

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLATAFORMA TECNOLÓGICA NUMA ENTIDADE GESTORA DE ÁGUA

Metodologia para a definição de um modelo
preditivo de roturas de condutas de
abastecimento

NUNO MIGUEL ARAÚJO CASTRO NEVES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor João Pedro Gomes Moreira Pêgo

Coorientador: Mestre João Pedro Martins Vieira e Moreira

JUNHO DE 2018

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2017/2018

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2017/2018 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

“What gets measured, gets managed.”

Peter Drucker

AGRADECIMENTOS

O fim desta dissertação é, também, o fim de um ciclo académico de cinco anos. É, por isso, o momento de agradecer a todas as pessoas que marcaram este caminho, porque um agradecimento não basta.

Ao Professor João Pedro Pêgo e ao Engº Pedro Vieira, pela oportunidade, disponibilidade e orientação durante toda a dissertação.

À Engª Catarina Tuna, que acompanhou desde início este trabalho, pela contribuição e reflexão crítica proporcionada, e pelos demais conselhos.

À Engª Rita Cunha, por todo o apoio facultado durante esta dissertação, mas, sobretudo, pela forma como me recebeu.

À Engª Marisa Fernandes e Jacinta Guerra, com quem partilhei todos os dias deste trabalho, pela simpatia e alegria com que me receberam na sala da Inovação.

Ao Engº Bruno Guimarães, à Drª Joana Araújo, à Engª Sara Cunha, à Engª Susana Garcia e à Engª Vânia Tavares, pelos momentos e simpatia demonstrados.

Ao Ricardo Pereira, ao Engº Flávio Oliveira, ao Sr. Valdemar Freitas, à Inês, ao João e ao Tiago, e a todos que de alguma forma se envolveram neste trabalho.

Em especial, à minha família. Não por estes cinco anos, mas por tudo aquilo que hoje sou.

À Sofia, por tudo aquilo que representou durante este trabalho, e representa, hoje, na minha vida.

Ao Francisco, ao Marcelo, ao Nelson e ao Pedro, e a todos os meus amigos, que especialmente partilharem estes 5 anos comigo.

RESUMO

A presente dissertação visa contribuir para a melhoria da atividade decisória das entidades gestoras de recursos hídricos, através da definição e da problematização de um modelo preditivo de roturas de condutas de abastecimento de água.

Em plena era da pós-informação, no auge da sociedade tecnológica, os gestores convertem-se, cada vez mais, em decisores. Não basta, portanto, disponibilizar-lhes dados; cumpre, outrossim, aferir da sua qualidade, designadamente através do recurso a ferramentas da ciência computacional. Este estudo trata, assim, da aquisição, do processamento e da apresentação de informação filtrada no âmbito de procedimentos tramitados à luz da chamada “*Big Data Analytics*”.

Tendo por base o ciclo de vida do Processo Típico de Modelação Preditiva, opta-se por uma metodologia sequencial. No seguimento de um primeiro ponto, dedicado ao estudo e à compreensão desta problemática, trata-se da recolha, do processamento e análise de dados, antes de, no último capítulo, se desenvolver e problematizar um modelo preditivo de roturas em condutas de abastecimento.

Num excurso povoado de conclusões preliminares e intercalares, conclui-se com um axioma fundamental: é hoje científica e tecnologicamente possível – isto é, desejável – desenvolver um modelo que contribua para conduzir, hoje, as entidades que gerem as condutas da água de amanhã.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de abastecimento de água, condutas de abastecimento, roturas, modelo preditivo, plataforma tecnológica, entidade gestora, ciclo urbano da água e gestão patrimonial de infraestruturas.

ABSTRACT

The present dissertation aims to contribute to the decision-making improvement in Water Utilities, through the definition and the problematization of a predictive model of water distribution pipe breaks.

In the midst of the post-information era, at the pinnacle of the technological society, managers are increasingly becoming decision makers. It is therefore not enough to provide them with data; it is also necessary to assess its quality, in particular through the use of computational science tools. This study thus deals with the acquisition, processing and presentation of filtered information within the scope of procedures processed in the light of the so-called "Big Data Analytics".

Based on the life cycle of the Typical Process of Predictive Modeling, a sequential methodology is chosen. Following a first point, dedicated to the study and understanding of this problem, it is the collection, processing and analysis of data, before, in the last chapter, to develop and problematize a predictive model water distribution pipe breaks.

In a study populated by preliminary and interim deductions, it concludes with a fundamental axiom: it is now scientifically and technologically possible to develop a model that will contribute today to the entities that manage the water pipes of tomorrow.

KEY WORDS: Water supply system, water pipes, breaks, leaks, predictive model, technological platform, water urban cycle, infrastructure assets.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT	V
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	2
2 ROTURAS EM CONDUTAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. CAUSAS DE ROTURA	3
2.2.1. MATERIAL.....	4
2.2.2. DIÂMETRO NOMINAL.....	5
2.2.3. IDADE	5
2.2.4. VARIAÇÃO SAZONAL	6
2.2.5. TEMPERATURA.....	7
2.2.6. CONDIÇÕES DO SOLO	7
2.2.7. PRESSÃO	7
2.2.8. COMPRIMENTO	8
2.2.9. CORROSÃO	8
2.2.10. REINCIDÊNCIA DE ROTURAS	9
2.3. TIPOS DE ROTURA.....	9
2.3.1. ROTURA LONGITUDINAL	9
2.3.2. ROTURA TRANSVERSAL.....	10
2.3.3. FURO	10
2.3.4. ROTURA EM JUNTAS, SOLDAS OU LIGAÇÕES	10
2.4. MODELOS PREDITIVOS DE ROTURAS - EVOLUÇÃO	11
2.4.1. PONDERAÇÃO DO PONTO DE DETERIORAÇÃO	11
2.4.2. MODELO ECONÓMICO	11
2.4.3. MODELO MECANICISTA	11
2.4.4. MODELO DE REGRESSÃO	12
2.4.5. MODELO DE PROBABILIDADE	12
2.5. MODELOS ESTATÍSTICOS VS MACHINE LEARNING.....	12

3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ENTIDADE GESTORA – ÁGUAS DO PORTO, EM	15
3.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA	15
3.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	16
3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EM ALTA	17
3.2.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EM BAIXA	18
3.2.3. SETORIZAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	19
3.2.4. ARMAZENAMENTO, TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	22
3.2.5. TELEMETRIA E TELEGESTÃO	23
3.3. EXPLORAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	24
3.3.1. PRIORIDADES DE INTERVENÇÃO	24
3.3.2. RESPONSABILIDADES POR GRUPO OPERACIONAL	24
3.3.2.1. Piquete de água	24
3.3.2.2. Reparação de avarias na rede pública	25
3.3.2.3. Serviços de Sondagem	25
3.3.3. PROGRAMA DE GESTÃO DE ORDENS DE SERVIÇO – H2PORTO	25
3.3.3.1. Interligação do H2PORTO com o SIG	26
3.4. MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO INFRAESTRUTURAL	26
3.4.1. PLANO DE RENOVAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	26
4 ANÁLISE DE DADOS – ÁGUAS DO PORTO, EM	29
4.1. INTRODUÇÃO	29
4.2. RECOLHA DE DADOS	29
4.3. ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS	31
4.3.1. SIG – SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	31
4.3.1.1. Material	32
4.3.1.2. Diâmetro	35
4.3.1.3. Idade	39
4.3.1.4. Zona de Medição e Controlo (ZMC)	41
4.3.1.5. Comprimento	41
4.3.2. PROGRAMA DE GESTÃO DE ORDENS DE SERVIÇO – H2PORTO	43
4.3.3. DADOS METEOROLÓGICOS	46
4.3.4. DADOS OPERACIONAIS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	47
4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA - ROTURAS	49
4.4.1. MATERIAL	49
4.4.2. DÉCADA DE CONSTRUÇÃO	51
4.4.3. DIÂMETRO NOMINAL	53

4.4.4. ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO	55
4.4.5. TEMPERATURA.....	59
4.4.6. PRESSÃO	64
4.4.7. COMPRIMENTO	71
5 PLATAFORMA TECNOLÓGICA: DASHBOARDS E MODELO PREDITIVO	73
5.1. INTRODUÇÃO	73
5.2. DASHBOARDS POWERBI	74
5.3. MODELO PREDITIVO	79
5.3.1. DADOS CONSIDERADOS	79
5.3.2. MODELO DE PREVISÃO DE PROBABILIDADE	80
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
6.1. CONCLUSÃO	83
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	91
ANEXO A: ARQUITETURA DA PLATAFORMA TECNOLÓGICA	93
ANEXO B: ANÁLISE ESTATÍSTICA – ROTURAS DÉCADA DE CONSTRUÇÃO	95
ANEXO C: ANÁLISE ESTATÍSTICA – ROTURAS TEMPERATURA	101
ANEXO D: MODELO DE PREVISÃO DE PROBABILIDADE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS	105
ANEXO E: FORMULÁRIO DE INTERVENÇÃO ROTURAS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Curva da Banheira (Adaptado – Rajani <i>et al.</i> , 2001)	5
Figura 2 – Representação da Sazonalidade na Distribuição do Número de Roturas em duas EG Distintas [Esquerda: Caso Reino Unido; Direita: Caso Portugal] (Rezaei <i>et al.</i> , 2015)	6
Figura 3 – Conduta em Fibrocimento Corrosão (Technologiezentrum Wasser – www.tzw.de)	8
Figura 4 – Rotura Longitudinal (Makar <i>et al.</i> 2001)	9
Figura 5 – Rotura Transversal (Makar <i>et al.</i> , 2001)	10
Figura 6 – Furo (Makar <i>et al.</i> 2001)	10
Figura 7 – Rotura em Juntas, Soldas ou Ligações (Makar <i>et al.</i> 2001)	10
Figura 8 – Ciclo de Vida do Processo Típico de Modelação Preditiva em Machine Learning (Collier, M. 2015)	13
Figura 9 – Organograma da Águas do Porto, EM (www.aguasdoporto.pt)	16
Figura 10 – Evolução da Água Entrada no Sistema (AES, Água Faturada (AF), Água Não Faturada (ANF) e da poupança acumulada entre 2006 e 2017 (Águas do Porto, 2018)	17
Figura 11 – Mapa do Sistema Geral da AdDP (www.addp.pt)	18
Figura 12 – Solução do SAA da cidade do Porto desenvolvido no projeto “Porto Gravítico” (Martins, J. P. <i>et al.</i> 2007)	19
Figura 13 – Principais ZMC do sistema de distribuição de água da cidade do Porto (Águas do Porto, 2018)	20
Figura 14 – Sub - ZMC do sistema de distribuição de água da cidade do Porto (Águas do Porto, 2018)	20
Figura 15 – Distribuição dos medidores de caudal do SAA da cidade do Porto (Águas do Porto, 2015)	21
Figura 16 – Áreas de influência das VRP do SAA da cidade do Porto (Águas do Porto 2018)	22
Figura 17 – Exemplo da visualização dos dados provenientes da Telemetria (Águas do Porto 2018)	23
Figura 18 – Reparação de uma avaria (rotura de conduta distribuidora)	25
Figura 19 – Metodologia de classificação e cálculo Plano de Renovação da Rede de Distribuição de Água	27
Figura 20 – Prioridade 1 e 2 do Plano de Remodelação da Rede de Distribuição de Água	28
Figura 21 – Exemplo ArcMAP	30
Figura 22 – Fluxograma de Dados	31
Figura 23 – “Dashboard” Material do SAA Adutoras e Distribuidoras	33
Figura 24 – “Dashboard” Material do SAA Adutoras	34
Figura 25 - “Dashboard” Material do SAA Distribuidoras	34
Figura 26 – Distribuição de Diâmetros do SAA Adutoras e Distribuidoras (Em Serviço)	37

Figura 27 – Distribuição de Diâmetros do SAA Distribuidoras (Em Serviço).....	38
Figura 28 – Distribuição de Diâmetros do SAA Adutoras (Em Serviço)	38
Figura 29 – “Dashboard” Distribuição da Década de Construção do SAA Adutoras e Distribuidoras (Em Serviço)	39
Figura 30 – Excerto do Ficheiro .xlsx do SAA com Metodologia de Preenchimento para DATA_CONST	40
Figura 31 – Exemplo ArcMAP Segmentação de Conduto 42	42
Figura 32 – Exemplo da Tabela do Histórico de Roturas com ID_Entidade	44
Figura 33 – Mapa de Pontos Roturas.....	45
Figura 34 – Mapa de Temperatura Roturas	45
Figura 35 – Exemplo Dados Meteorológicos.....	46
Figura 36 – Variação da Temperatura Exterior (2014-2018)	46
Figura 37 – Ficheiro .INP – ZMC Fonte da Moura	47
Figura 38 – Taxa de Rotura por Material (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado)	50
Figura 39 – Taxa de Rotura por Década de Construção	52
Figura 40 – Taxa de Rotura por Década de Construção (FFD).....	53
Figura 41 – Taxa de Rotura por Década de Construção (PEAD)	53
Figura 42 – Taxa de Rotura por DN	55
Figura 43 – Mapa de Roturas Material Defeituoso.....	57
Figura 44 – Taxa de Rotura por ZMC.....	59
Figura 45 – Distribuição Mensal de Roturas	60
Figura 46 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura Mínima.....	60
Figura 47 – Distribuição Diária das Roturas Vs Temperatura Mínima	61
Figura 48 – Distribuição Semanal das Roturas Vs Temperatura Média Mínima	61
Figura 49 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (PEAD)	62
Figura 50 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FF).....	62
Figura 51 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FC)	63
Figura 52 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Amplitude Máxima	63
Figura 53 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura Máxima	64
Figura 54 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão	66
Figura 55 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão (PEAD).....	66
Figura 56 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão (FC)	67
Figura 57 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão (FF)	67
Figura 58 – Mapa de Temperatura Pressão – ZMC Fonte da Moura	68

Figura 59 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão (PEAD) Excluindo R. da Vilarinha e Tv. de Passos	68
Figura 60 – Taxa de Rotura por Intervalo de Variação de Pressão.....	70
Figura 61 – Indicadores Rotura Vs Comprimento	72
Figura 62 – “Dashboard” SAA Material (Power BI)	74
Figura 63 – “Dashboard” SAA Idade (Power BI).....	75
Figura 64 – “Dashboard” SAA Diâmetro (Power BI)	75
Figura 65 – “Dashboard” Roturas (Power BI)	76
Figura 66 – “Dashboard” Roturas (Power BI)	76
Figura 67 – “Dashboard” SAA vs Roturas TR por Material (Power BI).....	77
Figura 68 – “Dashboard” SAA vs Roturas TR e IVI por ZMC (Power BI)	78
Figura 69 – “Dashboard” SAA vs Roturas N.º Roturas e Temperatura (Power BI).....	78
Figura 70 – Modelo de Previsão de Probabilidade Curva Característica de Operação do Recetor (COR)	80
Figura 71 – Modelo de Previsão de Probabilidade Resultados do Teste	81
Figura 72 – Modelo de Previsão de Probabilidade Análise de Atributos	81
Figura 73 – Modelo de Previsão de Probabilidade Análise Comprimento + Pressão Máxima	82
Figura 74 – Arquitetura da Plataforma Tecnológica (Águas do Porto 2018a)	93
Figura 75 – Taxa de Rotura por Década de Construção (AC).....	95
Figura 76 - Taxa de Rotura por Década de Construção (FC).....	95
Figura 77 – Taxa de Rotura por Década de Construção (FF)	96
Figura 78 – Taxa de Rotura por Década de Construção (FFD).....	96
Figura 79 – Taxa de Rotura por Década de Construção (FG).....	97
Figura 80 – Taxa de Rotura por Década de Construção (PEAD).....	97
Figura 81 – Taxa de Rotura por Década de Construção (PRV)	98
Figura 82 – Taxa de Rotura por Década de Construção (PVC)	98
Figura 83 – Taxa de Rotura por Década de Construção (Todos os materiais)	99
Figura 84 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (AC).....	101
Figura 85 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FC)	101
Figura 86 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FF)	102
Figura 87 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FFD).....	102
Figura 88 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FG).....	103
Figura 89 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (NC).....	103
Figura 90 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (PEAD).....	104

Figura 91 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (PVC).....	104
Figura 92 – Modelo de Previsão de Probabilidade Análise Comprimento + Pressão Máxima	105
Figura 93 – Modelo de Previsão de Probabilidade Idade + Comprimento.....	105
Figura 94 – Modelo de Previsão de Probabilidade Pressão Máxima + Comprimento.....	106
Figura 95 – Modelo de Previsão de Probabilidade Pressão Máxima + Comprimento.....	106
Figura 96 – Formulário de Intervenção das Roturas (1)	107
Figura 97 – Formulário de Intervenção das Roturas (2)	108

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Fatores Responsáveis pelas Roturas (Røstum, 2000)	4
Quadro 2 – Classificação do tipo de propriedade	28
Quadro 3 – Lista de Materiais SAA (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)	32
Quadro 4 – Distribuição de Diâmetros do SAA Adutoras e Distribuidoras (Em Serviço)	35
Quadro 5 – Distribuição do SAA por Classe de Comprimento SIG Completo	41
Quadro 6 – Distribuição do SAA por Classe de Comprimento SIG Completo	42
Quadro 7 – Junção de Troços por Conduto Exemplo	43
Quadro 8 – Exemplo da Configuração dos Dados de Pressão Não Tratados	48
Quadro 9 – Exemplo da Configuração dos Dados de Pressão Tratados	48
Quadro 10 – Exemplo da Configuração dos Dados de Caudal Não Tratados	48
Quadro 11 – Exemplo da Configuração dos Dados de Caudal Tratados	48
Quadro 12 – Distribuição Anual das Roturas por Material (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)	49
Quadro 13 – Taxa de Rotura por Material (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)	50
Quadro 14 – Distribuição das Roturas por Década de Construção (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)	51
Quadro 15 – Taxa de Rotura por Década de Construção	52
Quadro 16 – Distribuição das Roturas por Classe DN (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado)	54
Quadro 17 – Taxa de Rotura por Classe DN	54
Quadro 18 – Distribuição Anual das Roturas por ZMC (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado) ...	55
Quadro 19 – Distribuição das Roturas por ID_Entidade (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado) ..	56
Quadro 20 – Repetição de <i>ID_Entidade</i> (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)	57
Quadro 21 – Taxa de Rotura por ZMC	58
Quadro 22 – Distribuição das Roturas por Intervalo de Pressão (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)	64
Quadro 23 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão	65
Quadro 24 – Distribuição das Roturas por Intervalo de Variação de Pressão (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado)	69
Quadro 25 – Taxa de Rotura por Intervalo de Variação de Pressão	70
Quadro 26 – Distribuição das Roturas por Classe de Comprimento (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)	71
Quadro 27 – Distribuição das Roturas por Classe de Comprimento (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)	71

Quadro 28 – Distribuição das Roturas por Classe de Comprimento (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado).....	72
--	----

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AC – Aço

AdDP – Águas do Douro e Paiva, S.A.

AdP – Águas do Porto, EM

AES – Água Entrada no Sistema

AF – Água Faturada

ANF – Água Não Faturada

BPE – Betão Pré-Esforçado

CMP – Câmara Municipal do Porto

CUA – Ciclo Urbano da Água

DEC - Departamento de Engenharia Civil

DN – Diâmetro Nominal

EE – Estação Elevatória

EG – Entidade Gestora

EM – Empresa Municipal

ETA – Estação de Tratamento de Água

FC – Fibrocimento

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FF – Ferro Fundido

FFD – Ferro Fundido Dúctil

FG – Ferro Galvanizado

GPI – Gestão Patrimonial de Infraestruturas

IA – Inteligência Artificial

IVI – Índice de Valor da Infraestrutura

IWA – International Water Authority

ML – Machine Learning

NC – Não Conhecido

NS – Nota de Serviço

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SIG – Sistema de Informação Geográfico

SMAS – Serviços Municipalizados de Água e Saneamento

PE – Ponto de Entrega

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PEMD – Polietileno de Média Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PRV – Plástico Reforçado com Fibra de Vidro

PVC – Policloreto de Vinilo

PT – Plataforma Tecnológica

TR – Taxa de Rotura

UO – Unidade Orgânica

VRP – Válvula Redutora de Pressão

ZMC – Zona de Medição e Controlo

1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO

Ao longo dos séculos, a presença da água moldou e sustentou o desenvolvimento das cidades. Hodiernamente, os canais de Amesterdão, o porto de Shangai, o delta do Nilo, o aqueduto de Segóvia e até a foz do rio Douro, são a prova de que a água tornou estes locais únicos e atrativos.

De facto, as cidades raramente são criações espontâneas, sendo por isso consequência das necessidades e exigências inerentes à vida humana. Assim, naturalmente, as redes de água revelam-se como uma parte essencial de qualquer território, pelo que a sua boa gestão e qualidade são fundamentais para a sustentabilidade do meio urbano.

Com efeito, embora discreto, o papel das Entidades Gestoras (EG) de água revela-se fundamental e complexo, exigindo cada vez mais uma resposta ambientalmente capaz e economicamente viável, evidenciando assim uma pressão crescente sobre estas. Deste modo, urge um novo paradigma, onde as tecnologias da informação e a análise de dados se mostram essenciais na organização e racionalização de processos, pressupondo uma visão estratégica que promova modelos de governança inovadores, e, com isto, o desenvolvimento de um sistema integrado cada vez mais forte e fiável.

É neste sentido, para a Águas do Porto, EM (AdP), que nasce a necessidade de implementação de uma Plataforma Tecnológica (PT), uma solução agnóstica e integradora, que agregue, processe e explane toda a informação de forma personalizada, para os diferentes níveis de ação de uma EG, desde o Conselho de Administração, até ao Cliente. Resumidamente, trata-se de uma plataforma que visa a integração da informação sobre operações, ativos físicos e o funcionamento das redes, de forma contínua, fiável e em tempo real. A PT possibilita, entre outros, a conceção de uma solução “*user friendly*” de monitorização, o desenvolvimento de modelos de simulação numérica, de quantidade e qualidade, dos sistemas do Ciclo Urbano da Água (CUA), e, ainda, a implementação de um módulo de gestão operacional com sistema de emissão automática de alertas. Este último sistema, tendo por base o histórico de registos e também modelos de previsão de fatores externos, serve de base à construção de modelos preditivos capazes de aumentar a eficiência e eficácia na gestão das redes e, inclusivamente, dando auxílio à tomada de decisão, precavendo possíveis problemas nos sistemas do CUA.

1.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

É nesta perspetiva que surge uma oportunidade de investigação, sobre os padrões comportamentais que levam à ocorrência de roturas em condutas de abastecimento de água. Na verdade, este é um tema há muito abordado, mas que carece, inevitavelmente, da qualidade e quantidade de informação por parte das EG. Por conseguinte, com a criação de uma PT capaz de reger a aquisição de dados, processar e apresentar a informação, este assunto ganha uma nova relevância, nomeadamente no desenvolvimento de modelos preditivos (“*Big Data Analytics*”) com recurso a ferramentas da ciência computacional,

como é o caso da Inteligência Artificial (IA), a que esta dissertação de mestrado procurará modestamente contribuir (Anexo A).

De facto, o progresso de deterioração das redes de abastecimento de água é cada vez mais preocupante para as EG de água e, também, para os seus clientes (Rajani *et al.*, 2005). Em Portugal e muitos outros países, após décadas de investimento em novas infraestruturas, com o objetivo de assegurar um abastecimento de água universal, a necessidade de renovação infraestrutural e gestão dos ativos torna-se cada vez mais pertinente. Por conseguinte, à medida que as condutas envelhecem, a sua capacidade estrutural diminui, estando, por isso, suscetíveis a mais fugas e roturas (Toumbou *et al.*, 2012), que implicam a perda de água, o aumento dos custos de exploração da rede e, também, a diminuição da qualidade do serviço.

Neste sentido, urge estudar e definir metodologias para contrapor esta situação, tanto ao nível de deteção de roturas, apoiando assim o trabalho operacional, como também ao nível da tomada de decisão das EG, nomeadamente na Gestão Patrimonial de Infraestruturas (GPI), priorizando e direcionando investimentos, como suporte a um planeamento economicamente sustentável.

Em suma, trata-se de uma estratégia de manutenção preventiva, considerada inclusivamente como uma das quatro boas práticas recomendadas pela “*International Water Authority*” (IWA), que procura maximizar a fiabilidade do SAA, minimizando os custos operacionais e explorando ao máximo a extensão de vida útil de cada conduta.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, organizados segundo uma lógica sequencial, que teve por base o Ciclo de Vida do Processo Típico de Modelação Preditiva.

No presente capítulo realiza-se um breve enquadramento do tema e dos objetivos que estão na base deste estudo.

Seguidamente, no capítulo 2 apresentou-se uma exposição dos conceitos básicos e teóricos, relacionados com ocorrência de roturas, assim como a evolução histórica da modelação preditiva neste campo. Para além disso, procede-se a uma revisão da literatura, através do estudo e referência bibliográfica.

No capítulo 3 procede-se à contextualização da Entidade Gestora (EG) em análise. Para além de um enquadramento histórico, neste faz-se uma descrição geral do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) da cidade do Porto, e da gestão da sua exploração.

Relativamente ao capítulo 4, este é reservado à apresentação e estudo dos dados. Numa primeira fase procede-se à identificação e compreensão das diferentes fontes de informação, seguindo-se o seu processamento e tratamento, e, por último, a sua correlação e análise estatística. Este processo sequencial funcionou como metodologia de estudo ao problema e compreensão das regras de negócio da EG, assim como uma forma iterativa de deteção de inconsistências e anomalias nos dados.

No capítulo 5 é apresentado um projeto realizado em “*PowerBI*”, a integrar a PT, assim como o desenvolvimento de um modelo preditivo de roturas em condutas de abastecimento.

Por último, são apresentadas as considerações finais de todo o trabalho desenvolvido, assim como a definição de sugestões para eventuais desenvolvimentos futuros.

2

ROTURAS EM CONDUTAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo a revisão bibliográfica sobre as condições e os fatores críticos responsáveis pela deterioração e a ocorrência de roturas em condutas de abastecimento, e como estes contribuem para o período de vida útil das mesmas. Para além disso, será também abordada uma contextualização da evolução dos modelos existentes, nomeadamente o desenvolvimento de estudos que tiveram como objetivo a modelação do comportamento de redes de abastecimento de água face às roturas. Da análise efetuada, serão referidos os modelos preditivos, e ainda a utilização de técnicas de “*Big Data Analytics*” para a correlação e deteção de padrões comportamentais dos dados, que levam ao acontecimento de roturas.

2.2. CAUSAS DE ROTURA

As roturas em condutas de abastecimento são ocorrências naturais em qualquer Sistema de Abastecimento de Água (SAA) (Berardi *et al.*, 2008). Rajani *et al.* (2001) referem que estas podem estar relacionadas com as características físicas das condutas, as características do meio ambiente ou as características operacionais.

Assim, de acordo com Hu *et al.* (2007), a ocorrência de uma rotura é determinada pela combinação destes fatores, que varia mediante as condições onde o SAA se encontra inserido, sendo que a causa específica de uma rotura pode muitas vezes ser incerta.

Com efeito, apesar do âmbito deste trabalho não procurar esmiuçar ao detalhe o fenómeno de ocorrência de roturas, torna-se importante o estudo global destes fatores, de forma a compreender os comportamentos que levam à cedência estrutural de uma conduta.

Com o mesmo propósito, Røstum (2000) listou uma série de fatores, que se apresentam no Quadro 1.

Quadro 1 – Fatores Responsáveis pelas Roturas (Røstum, 2000)

Características físicas das condutas	Características do meio ambiente	Características operacionais
Idade	Variações Climáticas Sazonais	Picos de Pressão
Material	Condições do Solo	Variação da Pressão
Diâmetro	Nível Freático	Velocidade da Água
Comprimento	Movimentos do Solo	Qualidade da Água
Pressão Nominal	Intensidade do Tráfico	Histórico de Roturas
Espessura da Parede	Temperatura	Manutenção e Reparação
Profundidade de Implantação	Corrosão	Proteção Catódica

Em seguida, será apresentada uma descrição detalhada, sobre os fatores mais debatidos na literatura. Usualmente, estes apresentam-se como as variáveis chave e com maior impacto no desenvolvimento de roturas em condutas de abastecimento de água.

2.2.1. MATERIAL

O material de uma conduta é, indubitavelmente, um fator crucial no padrão comportamental da rede, existindo atualmente diversos materiais aplicáveis num SAA. Historicamente, as primeiras condutas eram fabricadas em ferro, nomeadamente o Ferro Fundido (FF) e Ferro Galvanizado (FG), classificando-se como um material metálico. Posteriormente, surgiram os materiais cimentícios, como é o caso do Fibrocimento (FC), e, mais recentemente, os materiais plásticos, tais como o Policloreto de Vinilo (PVC) e os Polietilenos de Alta, Média e Baixa Densidade (PEAD, PEMD e PEBD). De facto, Pelletier *et al.* (2003) mostra uma forte dependência entre o tipo de material e o respetivo ano de instalação, o que verifica a evolução histórica na utilização dos materiais em condutas de abastecimento de água.

Além disso, vários estudos têm vindo a ser realizados ao longo do tempo, sobretudo através da análise de casos em diferentes EG, como por exemplo Toumbou (2012), numa pequena cidade do Quebec, Sattar (2017), numa grande área da cidade de Toronto, e até em Portugal, na cidade de Lisboa, Matos (2008). Nestes, para além de ser uma variável a considerar no estudo do comportamento das roturas, o material da conduta evidencia-se como um critério de agrupamento, pelo qual todos os restantes dados do SAA são agregados e, posteriormente, analisados. Røstum (2000) declara isso mesmo, afirmando que diferentes materiais devem ser analisados de forma separada. Adicionalmente, Rajani *et al.* (2001) mostraram que o material da conduta deve ser um critério de estratificação, em vez de uma variável explicativa, muito por causa dos processos de envelhecimento subjacentes aos diferentes materiais das condutas.

Mais especificamente, Kimutai *et al.* (2015) mostra que os materiais cimentícios e os materiais metálicos, nomeadamente o FF, apresentam um comportamento comparativamente pior ao longo do tempo, dado o enfraquecimento estrutural do material da conduta. O autor indica que estes devem ser substituídos por materiais essencialmente plásticos, dependendo do local e de uma análise de custo.

Røstum (2000) alerta ainda para o facto das técnicas de fabricação terem evoluído consideravelmente ao longo do tempo, pelo que o mesmo tipo de material pode evidenciar padrões comportamentais diferentes.

2.2.2. DIÂMETRO NOMINAL

O diâmetro nominal é um fator que gera consenso na literatura, e apresenta-se como uma característica recorrentemente interligada à ocorrência de roturas.

Andreou (1986) e Hu *et al.* (2007) mostram-nos uma relação inversa entre o diâmetro e a Taxa de Rotura¹, isto é, quanto maior o diâmetro, menor é a taxa de rotura. Wengström (1993) afirma que a elevada taxa de rotura em diâmetros inferiores a 200mm, se justifica pela resistência reduzida da conduta, como consequência das paredes finas e pela pouca fiabilidade na execução das juntas.

Adicionalmente, Røstum (2000), para as condutas de pequeno diâmetro, sugere a velocidade reduzida como indiciadora da deposição de materiais suspensos da água, que possibilita a formação de bactérias nocivas à conduta. Em oposição, as condutas de grandes diâmetros, somente apresentam este problema durante ou imediatamente após a sua instalação.

2.2.3. IDADE

Ao contrário do que é intuitivamente expectável, a literatura não se mostra consensual quanto à influência da idade nas roturas de condutas de abastecimento.

Efetivamente, enquanto alguns autores defendem uma relação linear entre a idade e as roturas (Hu *et al.*, 2007; Harris *et al.*, 2013), outros apontam para uma ligação não linear (O'Day 1982; Andreou 1986; Gowler *et al.*, 1989; Boxall *et al.*, 2007).

Estes últimos, apesar de concordarem que a idade deve contribuir em algumas circunstâncias e numa fase avançada, para o aumento do número de roturas em condutas, afirmam que recorrentemente existem roturas numa fase inicial do ciclo de vida destas, influenciado pela qualidade dos materiais e por condições externas, tais como as técnicas de instalação e as condições do meio onde as condutas são instaladas, que implicam um comportamento não linear (Figura 1). Røstum (2000) e Boxall *et al.* (2007) alertam, por isso, para uma análise às características do período de instalação, com a perspectiva de evidenciarem padrões comportamentais distintos.

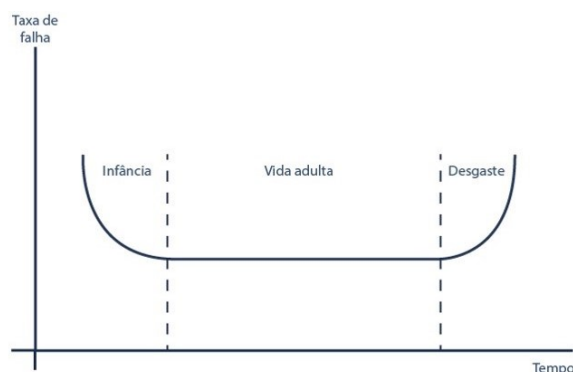


Figura 1 – Curva da Banheira (Adaptado – Rajani *et al.*, 2001)

¹ Número de roturas por quilómetro

Wengström (1993) acrescenta ainda que o histórico das condutas não permite uma análise fiável à dependência da idade, uma vez que poderão estar envolvidas estratégias de reparação que poderão mascarar essa ligação.

2.2.4. VARIAÇÃO SAZONAL

A ocorrência de roturas em condutas de abastecimento tende a seguir um padrão sazonal, que depende, essencialmente, de EG para EG. De facto, a título de exemplo, Hu *et al.* (2007) apresenta uma incidência maior de roturas no verão, enquanto Harvey *et al.* (2013) evidencia a ocorrência deste fenómeno predominantemente no inverno. Adicionalmente, Andreou (1986) mostra que para diâmetros menores de 200 mm, a taxa de rotura é maior durante o inverno.

Neste sentido, num estudo efetuado no Reino Unido, Sægrov *et al.* (1999) observou as razões dos picos sazonais de roturas. Assim, para o pico de inverno, o autor constatou que este era causado sobretudo pelos efeitos de contração térmica das condutas, acrescentando ainda que para um histórico de 10 anos, a taxa de rotura mostrava-se relacionada com a temperatura, enquanto para o pico de verão, este era atribuído à secagem e contração irregular dos solos de argila.

Outros autores corroboram este estudo, nomeadamente Hu *et al.* (2007), para os picos de verão, acrescentando ainda que a contração dos solos implica uma atenuação pouco eficiente da distribuição das cargas, exercendo, por isso, maiores forças na estrutura da conduta. Por outro lado, Harvey *et al.* (2013) e Hu *et al.* (2007), apontam ao facto das baixas temperaturas, durante o inverno, implicarem a expansão das águas freáticas, produzindo assim um aumento de pressão na estrutura da conduta.

Para além disso, Røstum (2000) afirma que os efeitos climáticos são incertos como uma variável para a predição exata de roturas, servindo apenas como um instrumento de planeamento e priorização, na gestão das equipas de exploração da rede de água.

Como exemplo, e atestando os comportamentos distintos de EG para EG, na Figura 2 foi possível observar a distribuição de roturas ao longo do ano, para um caso de estudo no Reino Unido e em Portugal, respetivamente.

Contudo, após análise dos dois exemplos, constatou-se que no caso português, este se situava numa zona rural, tipicamente influenciada por um pico sazonal de população flutuante nos meses de verão. Assim, suspeita-se que a variabilidade dos consumos na rede se apresente como um fator decisivo, dado as alterações nas condições de exploração do SAA, e não pelos efeitos de contração do solo.

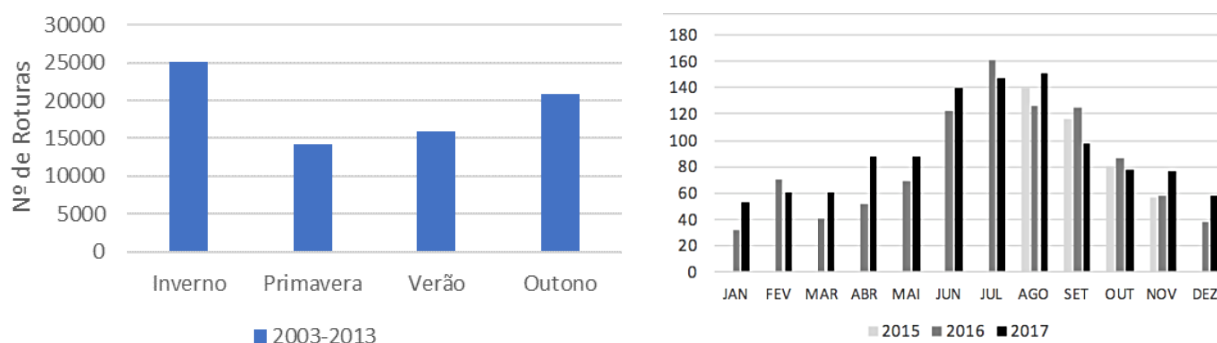


Figura 2 – Representação da Sazonalidade na Distribuição do Número de Roturas em duas EG Distintas [Esquerda: Caso Reino Unido; Direita: Caso Portugal] (Rezaei *et al.*, 2015)

2.2.5. TEMPERATURA

A influência da temperatura na ocorrência de roturas foi já alvo de estudo por diversos autores. Maioritariamente, este é considerado como um fator importante, embora não seja predominante para a ocorrência do fenómeno (Rezaei *et al.*, 2015).

Rajani *et al.* (2012) afirma que o efeito da temperatura evidencia-se de forma distinta consoante o tipo de material da conduta. De facto, embora os materiais plásticos exibam um coeficiente de expansão térmica superior, são as condutas metálicas que apresentam uma taxa de rotura maior, dado o seu comportamento pouco flexível (Grigg, 2005).

Adicionalmente, Rezaei *et al.* (2015) declara que uma redução da temperatura pode contribuir para o aumento de roturas em condutas de abastecimento, não só devido a contração do material, como também por causa do aumento simultâneo do volume da água no interior das condutas².

Assim, Habibian (1994) mostra que sempre que a temperatura atinge um novo mínimo, um aumento do número de roturas é sentido, essencialmente, nas condutas não afetadas no período anterior.

2.2.6. CONDIÇÕES DO SOLO

A interação entre o solo e as condutas tem sido um tema divergente na literatura. Como exemplo, Hembara *et al.* (2012) assume que este é um dos fatores mais importantes para a ocorrência de roturas, enquanto Rezaei *et al.* (2015) mostra que este fator não justifica grande parte das roturas do seu estudo, pelo que não se evidencia como um fator determinante.

Resumidamente, ambos os autores analisam o impacto deste fator sob duas formas. Em primeiro, através de cargas externas que são submetidas às condutas, fruto dos movimentos do solo, e, por último, sob a grau de agressividade do solo (corrosão), que danifica a capacidade estrutural da conduta.

Porém, é consensual que alguns tipos de solo, nomeadamente os solos argilosos, apresentem um comportamento deficitário que se relaciona com a ocorrência de roturas, dado o seu comportamento expansivo (Hembara *et al.*, 2012; Pritchard *et al.*, 2013).

2.2.7. PRESSÃO

A pressão apresenta-se como uma variável dinâmica na ocorrência de roturas. De facto, este é um fator que exhibe uma grande variabilidade diária, causada pelos padrões de consumo próprios de um SAA. Assim, Røstum (2000) alerta para 2 aspetos que contribuem para a ocorrência de roturas: os picos de pressão e a variação de pressão.

Hu *et al.* (2011) observou uma relação linear crescente entre a pressão e as roturas. Adicionalmente, o autor salienta que o decréscimo de resistência mecânica das condutas, com a idade, torna-as mais suscetíveis à ocorrência de roturas, para níveis de pressão tecnicamente admissíveis.

Contudo, este é um fator de difícil análise, uma vez que para acessibilidade dos dados, a EG vê-se obrigada a proceder a um investimento substancial com equipamentos de medição transversais a toda rede, ou então na modelação numérica do sistema, que, naturalmente, exige um grau de fiabilidade relevante no cadastro existente.

² Dilatação anómala da água: A partir dos 4°C, a água apresenta um aumento de volume.

Por último, relativamente à variação de pressão, Rezaei *et al.* (2015) verificou uma relação linear crescente entre a TR e o aumento da variação de pressão na rede, apresentando um ajuste linear com um coeficiente de determinação muito perto da unidade ($R^2=0.94$).

2.2.8. COMPRIMENTO

O comprimento das condutas varia ao longo da rede, não existindo propriamente limites definidos para tal. A par do material, diversos autores admitem este fator como agregador, e não como uma variável propriamente explicativa (Andreou 1986; Wengstrom 1993). Røstum *et al.* (1997) recomenda condutas na ordem dos 100 metros, afirmando que para tubagens muito longas, várias condicionantes podem coincidir no favorecimento de ocorrência de roturas.

Por outro lado, Andreou (1986) e Mark *et al.* (1987) observaram que o número de roturas variava segundo a raiz quadrada do comprimento total do sistema, referindo apenas que o comprimento individual da conduta poderá ter alguma dependência na ocorrência de roturas. Contudo, é consensual que este fator se apresenta como uma das variáveis menos estudadas na bibliografia.

Por último, Poulton *et al.* (2007) alerta para o facto de recorrentemente os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) representarem uma conduta em vários troços, fruto das necessidades funcionais do operador para edição de cadastro, pelo que podem enviesar análises e resultados estatísticos.

2.2.9. CORROSÃO

A corrosão das condutas é vista como um fator fundamental em muitos estudos, especialmente do fim do século XX, onde as redes de água eram constituídas, predominantemente, por materiais metálicos e cimentícios.

Tesfamariam *et al.* (2005) demonstra que a resistência estrutural de uma conduta é afetada pela corrosão, que começa aleatoriamente no tempo e espaço, progredindo cronologicamente. Acrescenta ainda que este fator é impulsionado pela interação entre as propriedades do solo, tais como a humidade, o pH, o tipo de solo ou a atividade bacteriológica, e as condições climáticas.

Mais concretamente, Wheeler *et al.* (1988) observou que 90% das roturas em condutas de Fibrocimento (FC), com mais de 50 anos, eram atribuídas à corrosão (Figura 3). Mais ainda, Røstum (2000) observou consequências de corrosão interna e externa, em condutas de Ferro Fundido (FF), Ferro Fundido Dúctil (FFD) e ainda de Aço (AC).

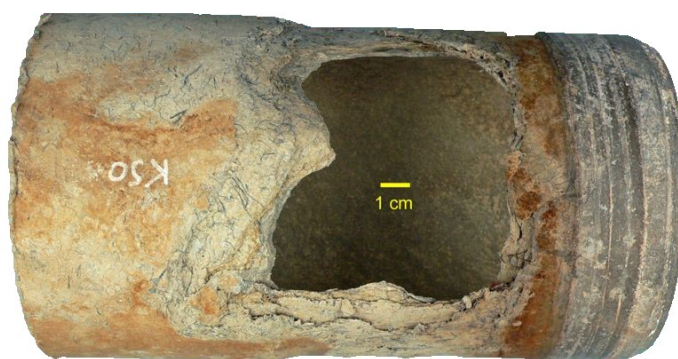


Figura 3 – Conduto em Fibrocimento | Corrosão (Technologiezentrum Wasser – www.tzw.de)

2.2.10. REINCIDÊNCIA DE ROTURAS

A reincidência de roturas ou o número de roturas prévias de uma conduta evidencia-se como um fator significativo para a predição de novos eventos (Andreou 1986). De facto, são vários os autores que desenvolveram diferentes modelos estatísticos, em muito influenciados pelo número de roturas prévias (Andreou 1986; Eisenbeis 1994; Malaindain *et al.* 1999). Assim, de forma consensual, observaram que a taxa de rotura aumentava a cada rotura, tendo inclusivamente afirmado que a partir da terceira, a taxa mostrava-se constante. Røstum (2000) denomina esta fase como “fast breaking state”, isto é, fase de rotura rápida.

Goulter *et al.* (1988) analisou a distribuição temporal e espacial das roturas num caso de estudo, demonstrando que a ocorrência deste fenómeno indiciava o aumento de roturas futuras. Mais especificamente, afirma que cerca de 60% de todas as roturas subsequentes mostraram ocorrer num espaço de 3 meses após a primeira falha.

Para além disso, outras razões se encontram associadas à reincidência de roturas. Ora, como consequência da reparação de uma rotura, alguns procedimentos podem agravar o estado de uma conduta, tais como o movimento dos solos, causado pela escavação, os picos de pressão, motivado pelo fecho e abertura de válvulas e, ainda, a movimentação de maquinaria pesada.

Por último, Røstum (2000) alerta ainda para as agravantes subjacentes às diferentes zonas de utilização do solo, suscetíveis à reincidência de roturas, tais como zonas de grande tráfico, cruzamentos, áreas comerciais e ainda zonas de tráfico pesado.

2.3. TIPOS DE ROTURA

As roturas em condutas de abastecimento ocorrem segundo diversas formas. Este ponto dará uma breve contextualização dos tipos de roturas mais comuns.

Naturalmente, estas dependem do tipo de material, do diâmetro e, também, da forma como as condutas são instaladas e, posteriormente, exploradas. Assim, estas podem ser agrupadas pelos seguintes pontos.

2.3.1. ROTURA LONGITUDINAL

As roturas longitudinais resultam de uma fissura que se estende ao longo do comprimento da conduta (Figura 4). Rajani *et al.* (2001) e Makar *et al.* (2001) observaram este tipo de ocorrência predominantemente nas condutas de grande diâmetro, como consequência do excesso de pressão interna e das forças atuantes na estrutura. Adicionalmente, referem a variação térmica como um fator relevante na deformação da conduta e no desenvolvimento de esforços internos.



Figura 4 – Rotura Longitudinal (Makar *et al.* 2001)

2.3.2. ROTURA TRANSVERSAL

As roturas transversais, circulares ou circunferenciais são apontadas como as mais comuns num SAA, ocorrendo, tal como o próprio nome indica, transversalmente ao eixo da conduta (Figura 5). Segundo a literatura, as principais causas devem-se aos movimentos do solo e à variação de temperatura (Habibian 1994; Rajani *et al.* 1996; Makar *et al.* 2001), especialmente quando a humidade do solo diminui (Gould *et al.* 2009). Para além disso, este tipo de rotura tende a ocorrer maioritariamente em condutas de pequenos diâmetros, dada a vulnerabilidade das paredes finas e os pequenos momentos de inércia (Makar *et al.* 2001).

Nos seus casos de estudo, Rajani *et al.* (1996) e Hu *et al.* (2007) observaram que 70% e 91% da distribuição das roturas eram deste tipo, respetivamente.



Figura 5 – Rotura Transversal (Makar *et al.*, 2001)

2.3.3. FURO

Como já referido anteriormente, a corrosão acarreta um papel relevante no desempenho de uma conduta. De facto, a combinação entre este fenómeno e a pressão interna leva à ocorrência de roturas, que se formam através do desgaste das paredes da conduta, até ao ponto em que a pressão rebenta com a espessura de parede remanescente (Figura 6). Este tipo de ocorrência tanto pode originar grandes ou pequenos furos, dependendo da localização e pressão sofrida pela conduta (Makar *et al.*, 2001).



Figura 6 – Furo (Makar *et al.* 2001)

2.3.4. ROTURA EM JUNTAS, SOLDAS OU LIGAÇÕES

Geralmente, muitas roturas tendem a desenvolver-se em pontos frágeis das condutas de abastecimento, tais como as juntas, soldas ou ligações de acessórios e ramais (Figura 7). Por serem pontos sensíveis, estes apresentam-se como locais preferenciais, especialmente por consequência da variação de esforços e cargas externas, que proporcionam a separação das secções (Makar *et al.*, 2001).



Figura 7 – Rotura em Juntas, Soldas ou Ligações (Makar *et al.* 2001)

2.4. MODELOS PREDITIVOS DE ROTURAS - EVOLUÇÃO

A modelação das roturas em condutas de abastecimento de água teve início por volta da década de 80. Os primeiros estudos basearam-se em análises estatísticas descritivas sobre os padrões e os fatores causadores de roturas.

O'Day (1982) estudou o histórico de falhas de uma EG em Filadélfia, tendo concluído que as roturas transversais eram mais propícias a condutas de pequeno diâmetro (<200 mm), enquanto as longitudinais se mostraram predominantes, sobretudo, nas condutas de diâmetros superiores (>250 mm). Adicionalmente, o autor concluiu que a gestão da rede deveria ter como base decisões técnicas e analíticas, que suportassem a decisão à priorização de investimento, face às análises até então desenvolvidas, que tinham como suporte apenas a idade.

Para além disso, a evolução da compreensão deste fenómeno levou a uma mudança de paradigma. De facto, dos estudos estatísticos descritivos, que apenas apresentavam uma modelação genérica do comportamento da rede, surgiu a necessidade de uma abordagem individual, isto é, conduta a conduta. Desta forma, as técnicas de gestão e priorização de investimentos passaram a ter uma análise mais pormenorizada, que se dividiram nas categorias de *“Ponderação do Ponto de Deterioração”*, *“Modelos Económicos”*, *“Modelos Mecanicistas”* e, por último, em *“Modelos de Regressão e Probabilidade de Falha”*.

2.4.1. PONDERAÇÃO DO PONTO DE DETERIORAÇÃO

Para Rogers *et al.* (2009), de uma forma simplista, o método de Ponderação do Ponto de Deterioração pode ser considerado como uma análise multicritério. Cabe ao gestor a definição de uma série de fatores causadores da ocorrência de roturas, tais como o tipo de material, a idade, a localização ou o histórico de roturas. Posteriormente, são divididos em classes de intervalos, sendo depois atribuído um peso a cada um destes.

Desta forma, uma classificação total por conduta é calculada, sendo depois comparável com um valor previamente definido pela EG, para o qual distingue uma conduta em pleno funcionamento, de outra sujeita a renovação (Loganathan *et al.* 2002; Rogers, P *et al.* 2009).

2.4.2. MODELO ECONÓMICO

O método do Modelo Económico consiste na relação entre o valor atual da reparação futura do ativo e o seu eventual custo de substituição. Com efeito, este modelo carece da previsão do número de roturas por conduta, que é obtido através de outros métodos preditivos, como é o caso do modelo de Regressão e Probabilidade de Falha.

Desta forma, procede-se à determinação do ponto de equilíbrio entre as duas curvas, em que a curva de custo total é a derivada da soma das duas curvas de reparação e substituição. Assim, o ponto mais baixo apresenta-se como o período ótimo para substituição da conduta (Grablutz *et al.* 2000).

2.4.3. MODELO MECANICISTA

O método do Modelo Mecanicista é baseado em modelos físicos, que têm como objetivo simular os comportamentos estruturais das condutas, como consequência da variação de pressão, da diferença de temperatura, da interação entre o material da conduta e o solo, entre outros possíveis.

No entanto, apesar do avanço tecnológico, este método apresenta ainda algumas limitações na modelação do comportamento das condutas, em relação aos fatores influenciadores da ocorrência de roturas (Agbenowosi 2000).

2.4.4. MODELO DE REGRESSÃO

Os Modelos de Regressão têm como objetivo identificar correlações entre diferentes variáveis, para um histórico de dados, de modo a extrapolar padrões temporais e espaciais. Com efeito, supondo uma continuidade do padrão comportamental no futuro, é possível à EG prever taxas de roturas que permitam uma gestão otimizada e a definição de um plano de investimento a longo prazo.

Cronologicamente, os primeiros estudos tinham como base técnicas de regressão linear ou exponenciais, de modo a determinar a relação da taxa de rotura das condutas em função do tempo. Com o avançar dos anos, novas técnicas estatísticas permitiram um avanço nos estudos, através da regressão multivariada que permitiu a modelação de fases distintas do estado das condutas, incluindo a conjugação de diversos fatores (Clarke *et al.* 1982; Rajani *et al.* 1999).

2.4.5. MODELO DE PROBABILIDADE

Apesar dos Modelos de Regressão terem perdurado ao longo do tempo, por volta da década de 90, o foco na modelação de roturas em condutas de abastecimento passou a ser os Modelos de Probabilidade. Ao contrário dos métodos anteriores, este tinha como objetivo a estimativa de probabilidade de uma rotura se suceder, num determinado tempo futuro durante o ciclo de vida útil expectável para uma conduta.

Com efeito, este método veio originar uma grande variabilidade nos modelos preditivos, através das diferentes considerações nas distribuições, nos fatores e ainda no ciclo de vida de cada conduta. Assim, duas abordagens probabilísticas surgiram com o objetivo de modelar a curva de ciclo de vida através das taxas de ocorrência de rotura (ROCOF³) e das funções de risco. Andreou (1986) utilizou um modelo de risco proporcional (PHM⁴), adotado da indústria farmacêutica, que modelou o comportamento da rede na “fase de uso” e na “fase de desgaste”, enquanto Goulter *et al.* (1987) fizeram uso da função de risco.

2.5. MODELOS ESTATÍSTICOS VS MACHINE LEARNING

Desde a década de 80 até ao presente, a área de “Analytics” sofreu uma grande evolução, sobretudo com o desenvolvimento da capacidade computacional no processamento e tratamento de grande volume de dados (“Big Data”). Neste sentido, a Estatística, que desde sempre tinha vindo a assumir um papel relevante, onde o poder da computação ainda não era opção, começou a ser preterida por ferramentas de Inteligência Artificial, como é o caso do “Machine Learning” (ML) (Meidan, Y *et al.*, 2017).

Com efeito, a investigação através de algoritmos de ML tem assumido um papel cada vez mais significativo. Sinteticamente, esta é uma ferramenta que “aprende com os dados”, ou seja, através de

³ Rate of Occurrence of Failure

⁴ Proportional Hazard Model

aprendizagem indutiva, procura o reconhecimento de padrões num determinado sistema de dados (Yarkoni *et al.* 2017).

Como abordagem típica a problemas de modelação preditiva no campo de ML, a literatura apresenta-nos alguns processos muito similares para o ciclo de etapas a seguir, tal como exemplo da Figura 8.

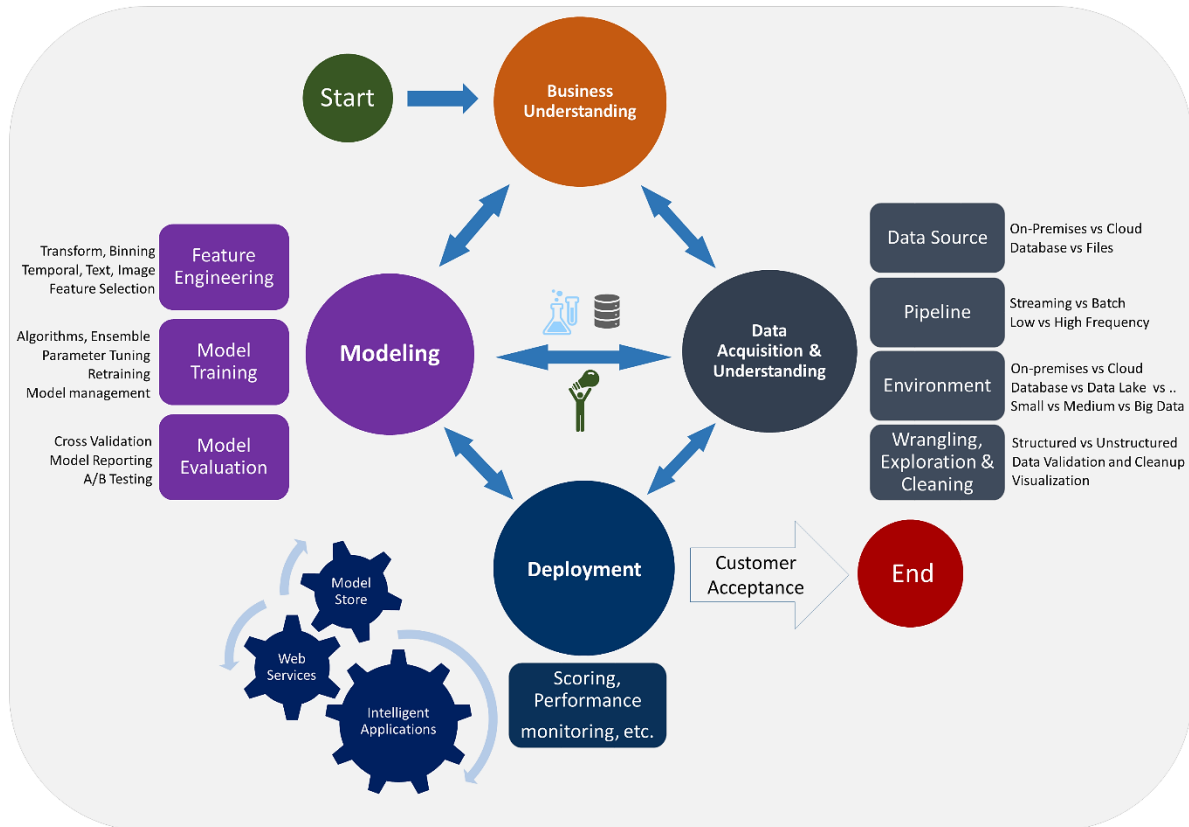


Figura 8 – Ciclo de Vida do Processo Típico de Modelação Preditiva em Machine Learning (Collier, M. 2015)

Ora, estruturalmente, este esquema reparte-se por quatro grandes momentos. Em primeiro lugar, a fase de “*Business Understanding*” define-se como o arranque do estudo e compreensão das regras de negócio. É nesta fase que se definem as variáveis chave do problema e as métricas de avaliação, tendo em vista a seleção da fonte de dados e identificação do objetivo final.

Seguidamente, a etapa de “*Data Acquisition & Understanding*” revela-se como a fase mais importante no processo de modelação preditiva. É neste momento que se inicia a transferência de dados da fonte, tendo em vista o objetivo final. Yarkoni *et al.* (2017) e Meidan *et al.* (2017) defendem a análise gráfica como um aspeto particularmente importante nesta etapa, sobretudo através de instrumentos de “*Business Intelligence*” (BI), que facilitam a estruturação dos dados e a deteção de possíveis inconsistências.

Relativamente ao terceiro momento, este compreende o início da modelação dos dados, que se reparte numa sequência de três fases. Em primeiro, dá-se lugar ao processo de “*Feature Engineering*”, ou seja, a engenharia de atributos, que procura filtrar, agregar e transformar os dados, tendo por base o conhecimento da etapa anterior e o domínio (“*expertise*”) dos algoritmos de ML a utilizar. Em segundo lugar, na etapa de “*Model Training*”, ou seja, treino do modelo, procede-se à divisão dos dados de modelação em duas partes, para treino e teste do modelo. Genericamente, o modelo é construído com

base nos dados de treino (~75%), e testado com a restante informação (~25%). Na terceira e última fase, segue-se a parte de “*Model Evaluation*” que consiste no teste de uma série de algoritmos de ML, tendo por base o objetivo final de cada área de negócio.

Por último, a fase de “*Deployment*”, isto é, o momento de entrega do modelo, ocorre após os diferentes testes da fase anterior, e seleção do algoritmo que melhor fiabilidade oferece às regras e modelo de negócio do projeto. Esta fase tem em vista a implementação do modelo preditivo na linha de produção da empresa, isto é, para ser alimentado em tempo real, de forma a recorrentemente atualizar e reaprender com a recolha de novos dados.

Naturalmente, este ciclo não é imutável, sendo por isso capaz de mudar entre os diferentes momentos do projeto, e ajustar-se às realidades de cada caso. Adicionalmente, outras ferramentas tecnológicas poderão associar-se a este ciclo, não só as de BI, como também outras aplicações agregadoras e explanatórias de informação (Collier, M., 2015).

3

CONTEXTUALIZAÇÃO DA ENTIDADE GESTORA – ÁGUAS DO PORTO, EM

3.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA

Os primeiros indícios de um sistema de abastecimento de água, na cidade do Porto, remontam ao ano de 1392, com o registo da existência de chafarizes e fontes para uso público de há mais de 6 séculos, ainda que sem condições de higiene.

Ora, com o crescimento natural da cidade, os sistemas de água foram igualmente progredindo mediante as exigências e as necessidades urbanas, até que, em 1882, devido à má qualidade da água e proliferação de doenças, a evolução dos cuidados de saúde e qualidade de vida impuseram uma mudança estrutural no sistema. Com efeito, ao dia 22 de março celebrou-se o primeiro contrato de concessão do sistema de abastecimento de água da cidade do Porto, com a *Compagnie Générale des Eaux pour l'Étranger*, sendo válido por 99 anos. Deste modo, a empresa francesa estabeleceu uma nova rede de água com origem no rio Sousa, onde posteriormente era elevada e transportada até à cidade, sendo distribuída por mais de 70 km de tubagens (Águas do Porto 2015).

Contudo, o sistema apresentou muitas carências estruturais, especialmente em períodos de cheia dos rios Sousa e Douro, o que levou a Câmara Municipal do Porto a resgatar a concessão em março de 1927, por 3500 contos⁵, e a criar os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento do Porto (SMAS do Porto) a 1 de abril do mesmo ano, com o objetivo de assegurar um serviço constante e de qualidade aos portuenses e à cidade.

De facto, os SMAS do Porto beneficiaram e cresceram a sua rede, tendo inclusivamente alargado a sua área de abastecimento aos concelhos de Gondomar, Gaia e Matosinhos em 1934. Com a necessidade de grandes investimentos para captação e tratamento de água, constituiu-se em 1998 a Águas do Douro e Paiva, SA (AdDP), uma empresa multimunicipal que passou a assegurar a gestão do abastecimento em alta de toda a área metropolitana do Porto, passando os SMAS do Porto a assegurar apenas a distribuição em baixa.

Por fim, em outubro de 2006, tendo em vista uma reforma no abastecimento de água na cidade, consequente de diversos problemas, tanto operacionais como de cariz financeiro, foi criada a Águas do Porto, EM (AdP), uma empresa detida inteiramente pela Câmara Municipal do Porto (CMP), que veio dar continuidade aos serviços anteriormente prestados, integrando ainda novas áreas da gestão do ciclo urbano da água.

⁵ 1 conto = 1000 escudos ≈ 5 euros

Atualmente, a AdP engloba todas as áreas do Ciclo Urbano da Água (CUA), e tem como objetivo a gestão eficaz do abastecimento de água, do tratamento de águas residuais e da drenagem de águas pluviais, praias e ribeiras, “*criando valor económico e social, focada no cliente, desenvolvendo boas práticas ambientais, de gestão e de motivação interna*” (Águas do Porto 2017). Estruturalmente, a Águas do Porto, EM encontra-se organizada tal como no organograma da Figura 9.

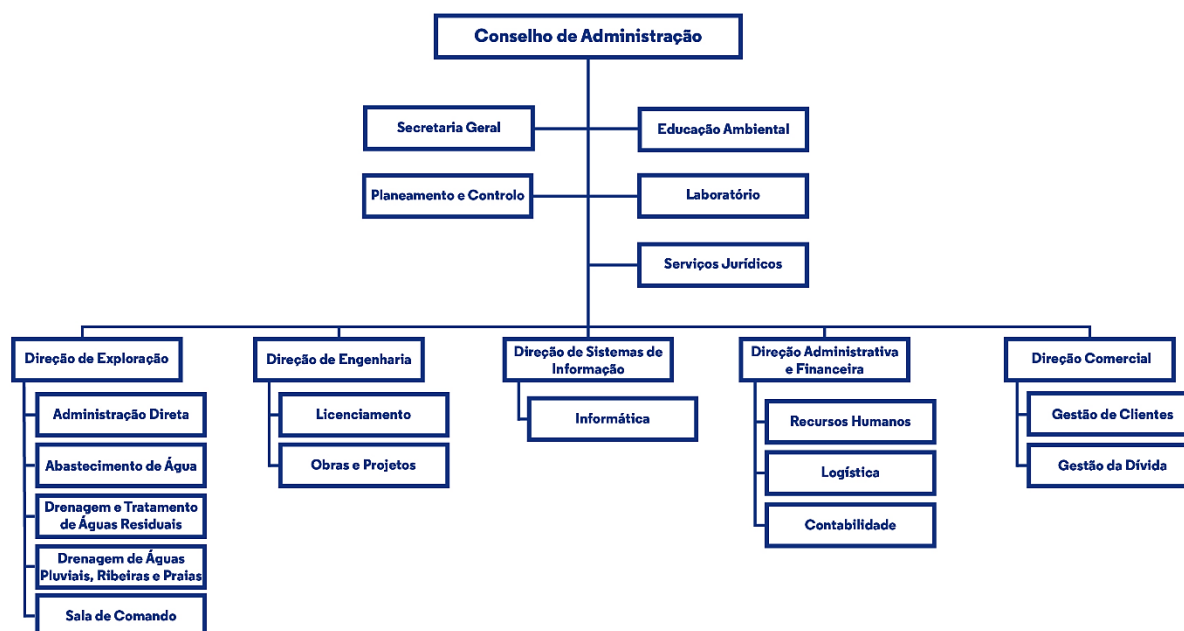


Figura 9 – Organograma da Águas do Porto, EM (www.aguasdoporto.pt)

3.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Segundo o *Relatório&Contas 2017*, a AdP é atualmente responsável pelo abastecimento de 155 667 clientes, o que representa 21 621 661 m³ de Água Entrada no Sistema (AES) durante o período em referência, ou seja, o equivalente a cerca de 59 237 m³ diários. Para além disso, no decurso de uma faturação total de 17 508 977 m³ de água, a empresa apresenta um índice de água não faturada de 19,0%, o que revela um aumento ténue de 0,4%, face ao ano transato, após um decréscimo progressivo desde 2006 (Águas do Porto 2018).

De facto, desde a sua formação que os resultados seguem uma tendência positiva, refletindo-se por isso uma poupança global crescente, tal como explícito na Figura 10, onde é apresentada uma visão geral da evolução de alguns índices operacionais desde 2006.



Figura 10 – Evolução da Água Entrada no Sistema (AES, Água Faturada (AF), Água Não Faturada (ANF) e da poupança acumulada entre 2006 e 2017 (Águas do Porto, 2018)

3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EM ALTA

O fornecimento de água à AdP é assegurado pela empresa multimunicipal Águas do Douro e Paiva, S.A. (AdDP). Segundo o Decreto-Lei nº 16/2017, a AdDP tem como objetivo a captação, o tratamento e o abastecimento de água para consumo público a 20 municípios do Grande Porto (Amarante, Arouca, Baião, Castelo de Paiva, Cinfães, Espinho, Felgueiras, Gondomar, Lousada, Maia, Matosinhos, Oliveira de Azeméis, Ovar, Paços de Ferreira, Paredes, Porto, Santa Maria da Feira, São João da Madeira, Valongo e Vila Nova de Gaia), tal como ilustrado na Figura 11.

No caso do município do Porto, a água captada tem como origem o rio Douro, mais precisamente na Estação de Tratamento de Água de Lever (ETA de Lever), que se situa imediatamente a montante da Barragem de Crestuma-Lever. Esta é assegurada por grupos de elevação submersíveis que encaminham a água para reservatórios de água bruta, onde posteriormente ao seu tratamento, e já na fase de transporte, é conduzida até ao Reservatório e Estação Elevatória (EE) de Jovim, que abastece subsequentemente todo o município.

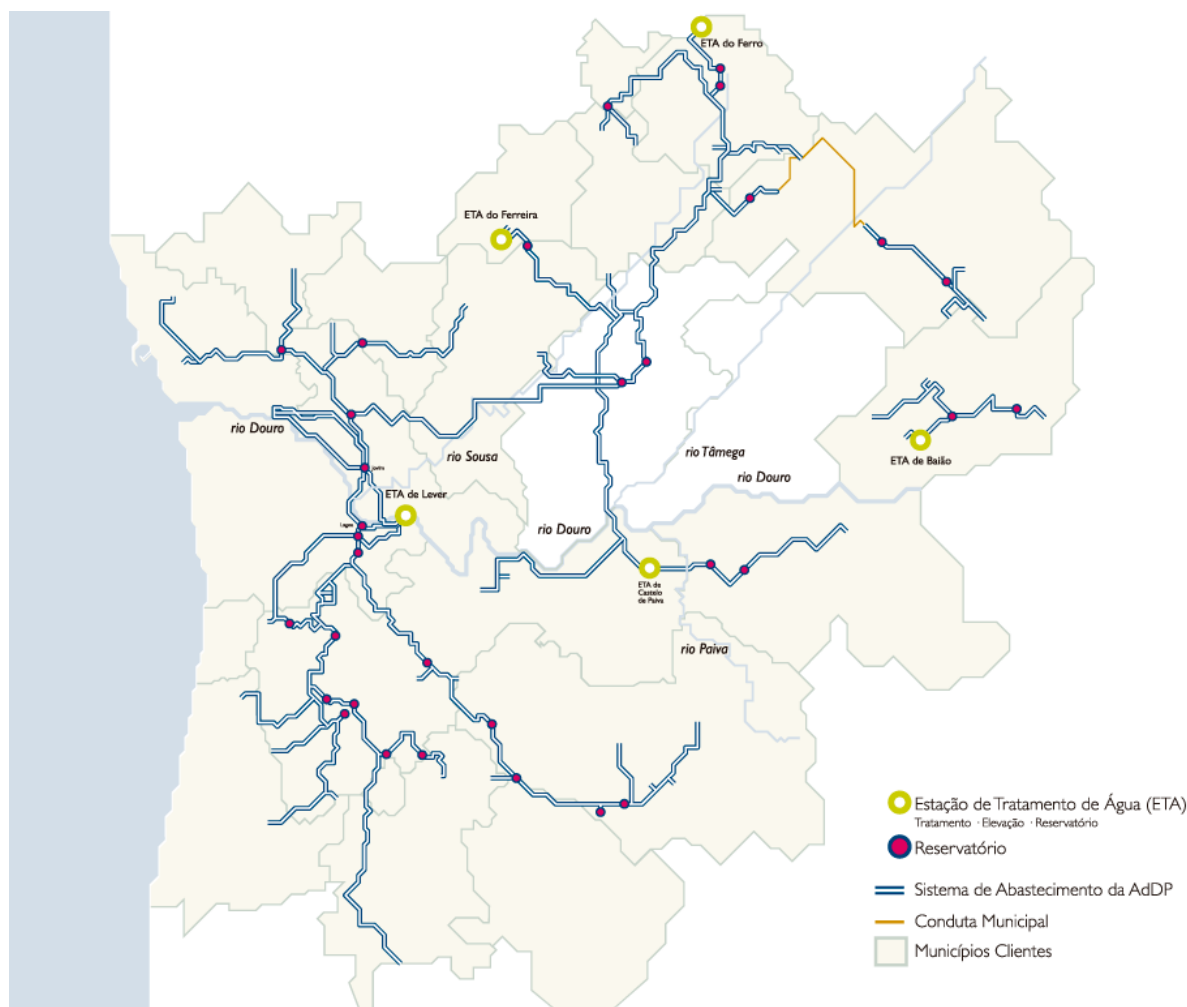


Figura 11 – Mapa do Sistema Geral da AdDP (www.addp.pt)

Este sistema adutor distribui-se por várias linhas de adução principais. A linha de adução ao município do Porto é constituída por dois percursos de grande capacidade: um que realiza a adução entre o reservatório multimunicipal de Jovim e o reservatório municipal de Nova Sintra, e outro que faz a adução entre Jovim e os reservatórios também multimunicipais de Ramalde e Pedrouços, que, consequentemente, aduzem a grande conduta adutora da Estrada da Circunvalação.

3.2.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EM BAIXA

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) da cidade do Porto é um dos maiores e mais antigos do país, com elevada densidade infraestrutural em meio urbano. Essencialmente, as condições da urbe envolvem uma rede de distribuição de 802 km (50 km de condutas adutoras e 752 km de condutas distribuidoras) com um desnível máximo de 160 m, que é fornecida a partir de 12 Pontos de Entrega (PE) em alta, nomeadamente nos reservatórios do Bonfim, Congregados, Carvalhido, Nova Sintra, Pasteleira e Santo Isidro, entre outros, ao longo do eixo adutor da Estrada da Circunvalação.

Estruturalmente, o sistema encontra-se organizado segundo um dos principais projetos estratégicos da AdP aquando da sua criação, o projeto “Porto Gravítico”, que ficou concluído em 2012 (Figura 12). A génese deste plano consistiu em assegurar o abastecimento de água a toda a cidade, essencialmente, por

via gravítica e de forma redundante⁶, suprimindo assim todo o antigo sistema de bombagem e, complementarmente, aumentando a fiabilidade da rede com o recurso à interligação das condutas adutoras.

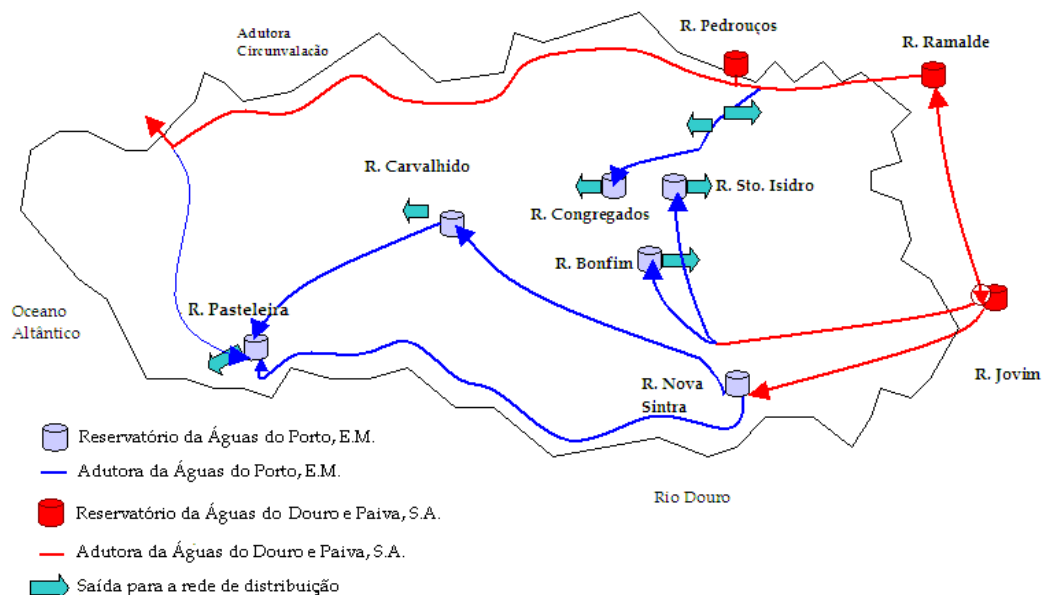


Figura 12 – Solução do SAA da cidade do Porto desenvolvido no projeto “Porto Gravítico” (Martins, J. P. *et al.* 2007)

3.2.3. SETORIZAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Atualmente, tendo como objetivo uma melhoria contínua na monitorização do controlo dos consumos e pressões na rede, reduzindo as perdas de água e, consequentemente, o nível de ANF, o sistema de distribuição encontra-se setorizado num total de 42 Zonas de Medição e Controlo (ZMC) gerais (Águas do Porto, 2018), distribuídas da seguinte forma:

- 22 ZMC principais aliadas aos pontos de entrega da água em alta, bem como aos reservatórios municipais de que fazem a adução e regularização das reservas de água municipais (Figura 13);
- 20 sub-ZMC interiores para um controlo mais refinado e eficaz dos consumos, dos níveis de pressão e das ocorrências (Figura 14).

⁶ Até à data de implementação do projeto, em 2012, verificou-se que praticamente todas as condutas principais da rede não estavam interligadas, pelo que a rotura de uma delas poderia deixar uma parte significativa da cidade sem de água.

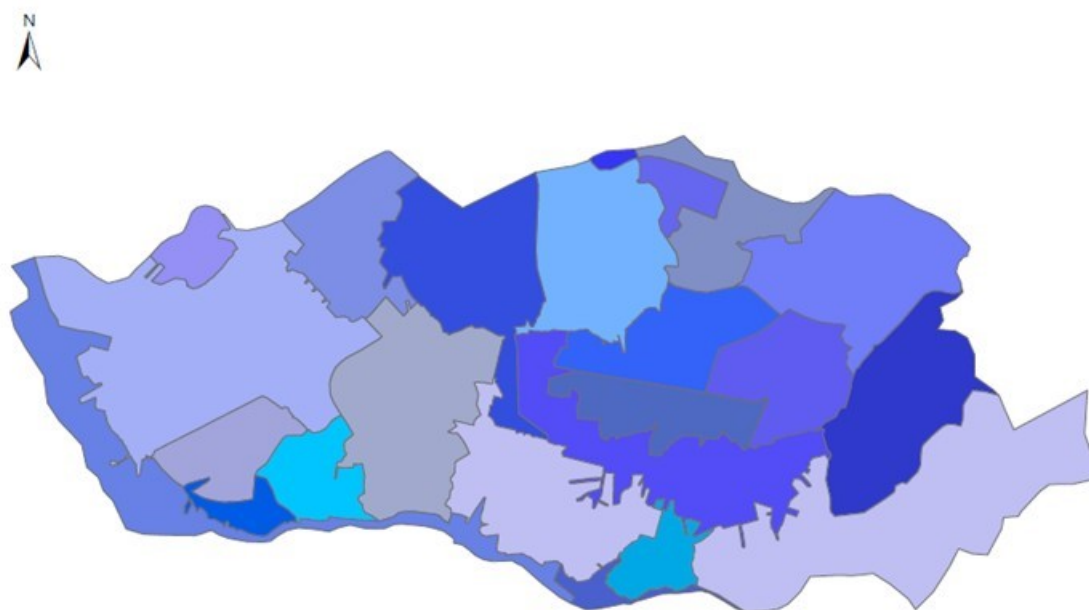


Figura 13 – Principais ZMC do sistema de distribuição de água da cidade do Porto (Águas do Porto, 2018)

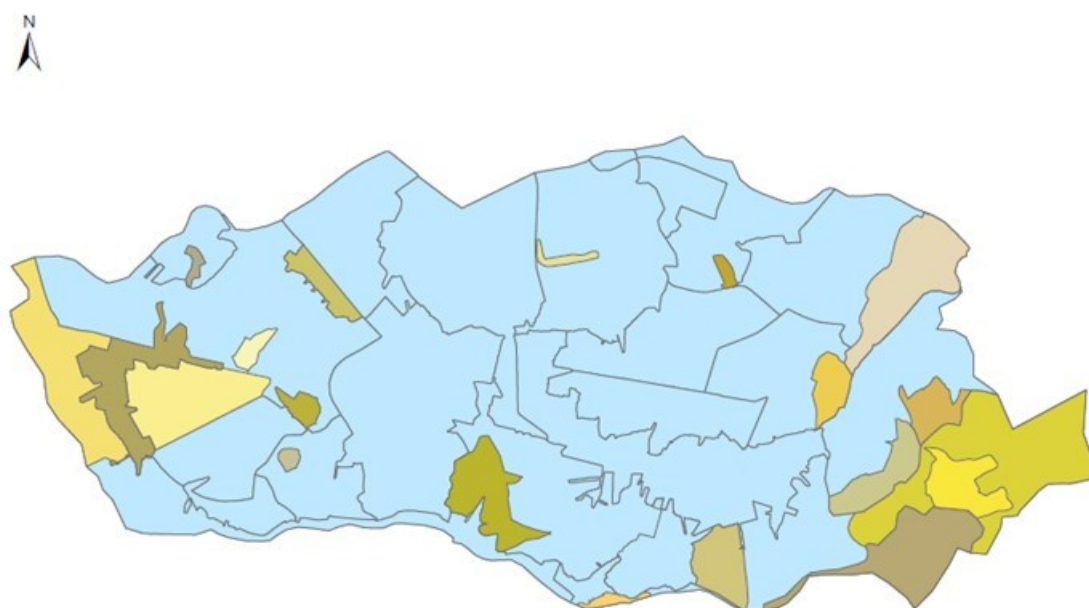


Figura 14 – Sub - ZMC do sistema de distribuição de água da cidade do Porto (Águas do Porto, 2018)

Como ilustrado na Figura 13, as 22 ZMC principais encontram-se num sistema fechado, e são equipadas com instrumentos de monitorização e controlo digital, em tempo real, para medição do caudal nos PE e nos reservatórios, e da pressão em pontos previamente estabelecidos de cada zona.

Desde 2007, esta setorização tem vindo a ser aperfeiçoada, tendo como objetivo um maior controlo dos consumos e das pressões na rede, reduzindo as perdas de água e, por conseguinte, diminuindo o valor de ANF. Com efeito, para uma monitorização e controlo mais eficaz dos consumos nas diferentes zonas, estas são totalmente fechadas, quando possível a nível operacional, dispondo de um único ponto de entrada de água com um medidor de caudal instalado que, através de um “*data logger*”⁷, regista e transmite os dados medidos para um “*software*” de monitorização da empresa. Da mesma forma, a redução das perdas de água está diretamente ligada ao controlo da pressão na rede, que, após reestruturação máxima da rede, tendo em consideração a geografia do terreno, é controlada através de Válvulas Redutoras de Pressão⁸ (VRP). Estas permitem uma regularização ótima da pressão a jusante, sendo especialmente importante nos intervalos de menor consumo que, na maioria dos casos, correspondem aos períodos noturnos.

Segundo o último balanço, o SAA da cidade do Porto está munido de, aproximadamente, 50 medidores de caudal ativos, auxiliados por 19 VRP, equipamentos estes distribuídos tal como podemos verificar na Figura 15 e Figura 16 (Águas do Porto 2018).

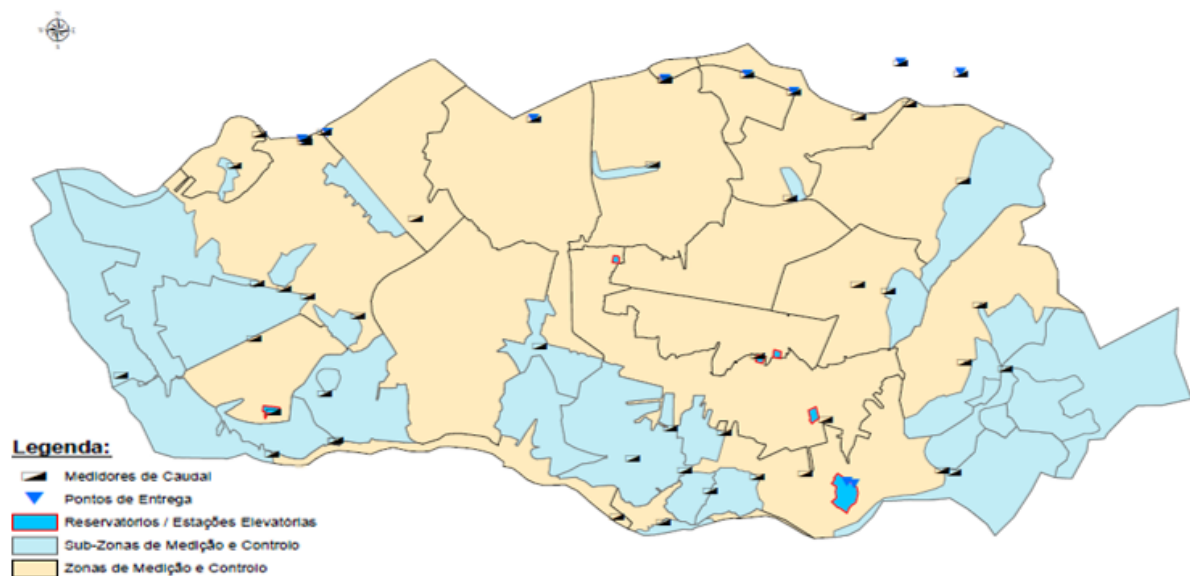


Figura 15 – Distribuição dos medidores de caudal do SAA da cidade do Porto (Águas do Porto, 2015)

⁷ É um dispositivo eletrónico que regista dados ao longo do tempo ou em função da sua localização através de um sensor instalado. (A. Purwadi *et al.* 2011).

⁸ As VRP são utilizadas nos sistemas hidráulicos como forma de uniformização e dissipação de energia hidráulica, através da indução de uma perda de carga localizada com efeito a jusante. (Ramos, H. *et al.* 2004).

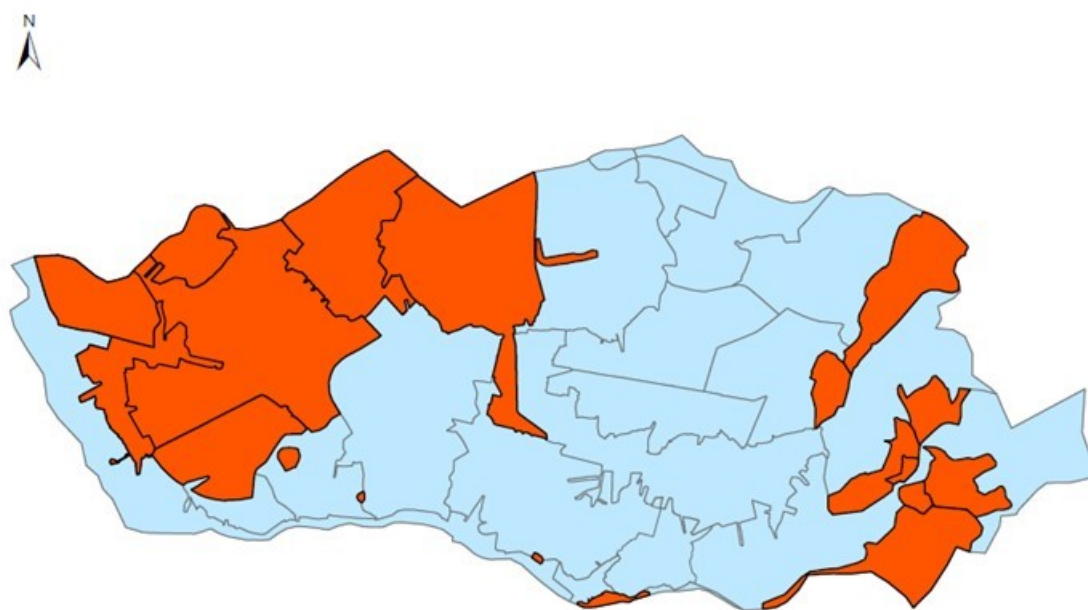


Figura 16 – Áreas de influência das VRP do SAA da cidade do Porto (Águas do Porto 2018)

3.2.4. ARMAZENAMENTO, TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A variação natural do consumo de água ao longo de um dia, aliada à inviabilidade económica da implementação de grandes condutas capacitadas de assegurar o fornecimento a qualquer momento, implica a existência de reservatórios de armazenamento de água. De facto, estes são componentes do SAA com funções de armazenamento de água, de regularização compensando as flutuações de consumo face à adução, de reserva operacional e de emergência, de equilíbrio de pressões na rede e de regularização do funcionamento de bombagens de EE.

Os reservatórios são classificados segundo a sua localização no sistema⁹ e face à superfície do terreno¹⁰. O seu local de implantação deve ter em conta a distância aos locais de consumo, e a uma cota que assegure as pressões mínimas legalmente exigidas, isto é, segundo o Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto, bem como de acordo com a gestão do próprio sistema ao nível das redundâncias existentes e necessárias. Com o documento referido, o legislador impõe valores de pressão máximos e mínimos para condutas de distribuição, respetivamente 600 kPa e 100 kPa, e também um limite nas flutuações de pressão num dado ponto, impondo uma variação máxima de 300 kPa.

No presente, o SAA da cidade é constituído por 6 reservatórios municipais ativos da responsabilidade da AdP: Bonfim, Carvalhido, Congregados, Nova Sintra, Pasteleira e Santo Isidro, tal como ilustrado na Figura 12.

A jusante dos reservatórios, o SAA da cidade do Porto é composto por 802 km de rede, que se divide em 752 km de condutas distribuidoras e 50 km de adutoras, tal como já foi referido anteriormente, com diâmetros que variam entre os 60 e os 800 mm, sendo vários os materiais constituintes das condutas, tais como o Ferro Fundido (FF), o Ferro Fundido Dúctil (FFD), o Ferro Galvanizado antigo (FG), o Aço

⁹ Os reservatórios podem encontrar-se a montante ou a jusante da rede de distribuição.

¹⁰ Os reservatórios podem ser enterrados, semienterrados, apoiados ou elevados.

(AC), o Fibrocimento (FC), o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), o Policloreto de Vinilo (PVC) bem como a Fibras de Vidro (PRV) (Águas do Porto, 2018).

3.2.5. TELEMETRIA E TELEGESTÃO

Hodiernamente, tendo em vista uma gestão racional e bem planeada, as Entidades Gestoras (EG) de água visam a otimização, modernização e melhor compreensão dos seus sistemas e métodos operacionais. Os SAA são um exemplo disso mesmo, e a implementação de sistemas de telegestão e de telemetria tem vindo a assumir um papel perentório na eficiência e planeamento dos processos e tomadas de decisão. De facto, estes sistemas evidenciam-se na obtenção de dados críticos e de informação de controlo remoto, no armazenamento de registos históricos para posterior tratamento e estudo de comportamentos de consumo, e, também, na gestão praticamente instantânea de todo o sistema de distribuição de água.

Com efeito, a Águas do Porto, EM integra vários sistemas de telemetria, assim como sistemas de telegestão associados nos reservatórios do Carvalhido, dos Congregados e Pasteleira, que são controlados através da Sala de Comando da empresa, bem como remotamente, de acordo com a política controlada de acessos ao sistema (Figura 17). Já numa perspetiva de controlo das perdas de água na rede, a globalidade das ZMC e sub-ZMC encontram-se munidas de um sistema de telemetria que permite o conhecimento do escoamento a vários níveis, nomeadamente da água distribuída, dos consumos, das pressões e dos níveis de água dos reservatórios. Assim, através da utilização de “data loggers”, estes permitem a leitura, o registo e integração, e o envio dos dados recolhidos para a sede da empresa, onde são analisados, permitindo detetar ocorrências de anomalias na rede, como é o caso de roturas de condutas, por exemplo.

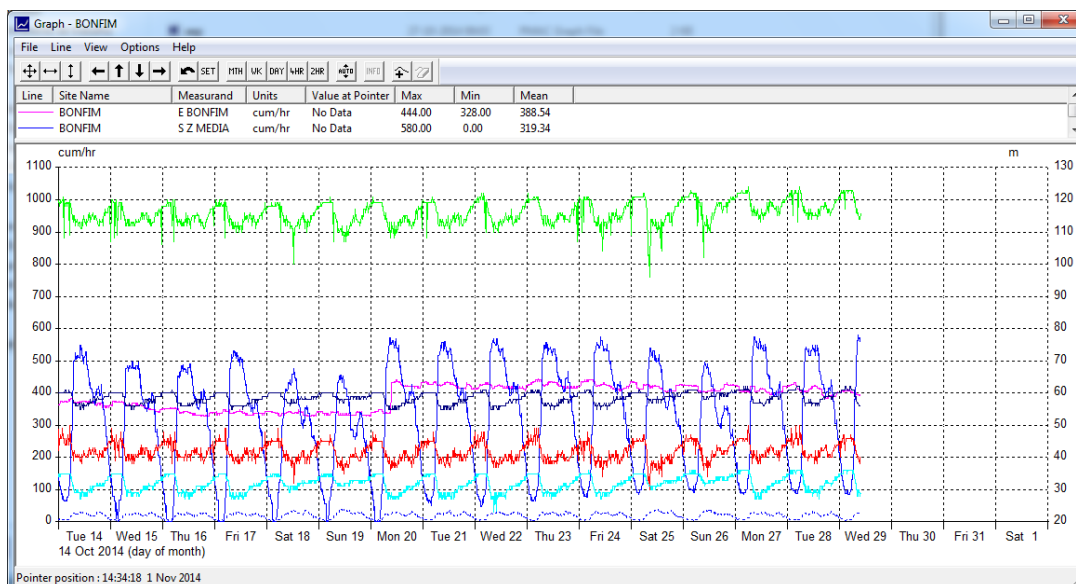


Figura 17 – Exemplo da visualização dos dados provenientes da Telemetria (Águas do Porto 2018)

3.3. EXPLORAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A Águas do Porto, EM é responsável por todo o SAA da cidade. Nesta perspetiva, toda a sua atividade e exploração do sistema compreende a manutenção e garantia do serviço desde os PE da entidade fornecedora em alta, até ao cliente final. Com efeito, é assegurado através de um grupo permanente de técnicos, uma intervenção diligente em praticamente todas as reclamações e avarias relacionadas com a área de exploração, tanto na rede pública, como na rede predial, desde que da competência da empresa.

Ora, este grupo de colaboradores, que assegura a gestão diária da rede, é composto por quadros técnicos superiores gestores do sistema, um coordenador técnico responsável pelo acompanhamento operacional, operacionais no serviço de piquete durante 24 horas por dia, equipas de sondadores, equipas de reparação das avarias, operadores de reservatórios e EE, uma equipa de manutenção de fontes, fontanários e bebedouros, elementos de “Pronto Socorro” e, por fim, uma equipa dedicada à distribuição de materiais para apoio constante (Águas do Porto 2015).

3.3.1. PRIORIDADES DE INTERVENÇÃO

As prioridades de intervenção seguem uma hierarquia definida pela EG, ainda que careça de uma ponderação na sua aplicação, tendo em conta determinados critérios, tais como a urgência dos trabalhos, a afetação de clientes de grande dimensão ou sensíveis e a compatibilização com outros serviços a decorrer e com programação previamente definida.

Assim, a reparação de avarias ou o atendimento a ocorrências que se registem na rede pública de abastecimento de água segue uma categorização que tem em conta aspetos prioritários como:

- Infiltrações prediais;
- Roturas de conduta ou de ramal domiciliário que impliquem a suspensão do serviço, perda de água e coloquem em causa a qualidade do serviço;
- Serviços sinalizados pelo Piquete como urgentes;
- Falhas de água ou de pressão;
- Reparações de ordem secundária, suscetíveis de fornecer um serviço contínuo, ainda que fora da sua plena capacidade de serviço.

3.3.2. RESPONSABILIDADES POR GRUPO OPERACIONAL

3.3.2.1. Piquete de água

Dotada de canalizadores especializados, esta unidade operacional atua por turnos, funcionando 24 horas por dia durante todo o ano, assegurando o serviço em articulação com a Sala de Comando da empresa (Águas do Porto 2015).

Assim, o Piquete garante uma resposta imediata às solicitações relacionadas com anomalias no SAA, tanto na rede pública, como predial (desde que da responsabilidade da EG), contribuindo para uma prestação de serviço de qualidade aos clientes.

Esta unidade operacional, na ocorrência de anomalias inexequíveis de resolução imediata, procede à concretização de medidas de mitigação do problema, reportando toda a situação à Sala de Comando, de forma a que sejam acionadas as medidas necessárias à restituição da normalidade.

3.3.2.2. Reparação de avarias na rede pública

À reparação de avarias da rede pública de abastecimento de água estão afetos vários operacionais do quadro permanente, constituindo no total várias equipas de dois ou três elementos, que asseguram o serviço permanente entre as 8h e as 20h, cobrindo outros períodos caso a necessidade assim o indique (Águas do Porto 2018a).

Os principais problemas que a AdP enfrenta diariamente consistem na reparação de roturas em condutas (Figura 18) ou ramais domiciliários, substituição de válvulas de seccionamento ou descarga, substituição de ramais domiciliários, reparação de hidrantes, reparação de tomadas de acesso a válvulas, entre muitos outros serviços.



Figura 18 – Reparação de uma avaria (rotura de conduta distribuidora)

3.3.2.3. Serviços de Sondagem

Os serviços de sondagem têm como objetivo a auscultação da rede de distribuição, de forma a detetar precocemente fugas e roturas de água, maioritariamente não visíveis, através do ruído provocado pelas mesmas. Este serviço é assegurado por operacionais especializados, tendo como auxílio o sistema de telemetria da empresa, que permite setorizar indícios de anomalias para análise.

Frequentemente, atendendo ao nível de afluência automóvel característico da cidade do Porto, estes serviços são realizados ao fim de semana, dias não úteis e em período noturno, de modo a evitar que o elevado ruído dos dias úteis prejudique a operação do serviço.

3.3.3. PROGRAMA DE GESTÃO DE ORDENS DE SERVIÇO – H2PORTO

Como sistema de gestão das ordens de serviço, a Águas do Porto, EM desenvolveu internamente um “*software*”, que tinha como objetivo a gestão integrada das reclamações diretas e Notas de Serviço (NS), tanto internas como externas. Com efeito, este apresentava-se como a principal ferramenta de trabalho da Sala de Comando e da Exploração do SAA, para registo das reclamações e ordens de serviço, controlo operacional, direcionamento dos recursos e registo dos dados. Em resumo, todas as solicitações eram redirecionadas para as respetivas Unidades Orgânicas (UO), dando origem a uma ou mais NS, de acordo com as intervenções necessárias. Adicionalmente, todas as ocorrências eram registadas com a devida caracterização e georreferenciação, mais concretamente com os dados do reclamante, localização

da ocorrência com o nome da rua, número de polícia associado e outras informações relacionadas, bem como a data e hora respetiva.

Após a resolução da ocorrência era registado, através de uma NS, todos os dados referentes à intervenção, tais como a duração total, com o registo da hora de início e de fim, o número de clientes afetados em caso de interrupção do abastecimento de água, os operacionais intervenientes (nomes, matrículas de viatura) e, por último, os materiais utilizados na intervenção e retirados no terreno, bem como o custo associado (Águas do Porto 2015).

Mais recentemente, com a desatualização tecnológica deste programa, e, inclusivamente, no seguimento da implementação da PT, a empresa procedeu à substituição deste pela plataforma *H2Porto*. Com efeito, toda a informação do antigo “*software*” foi migrada para o novo, sendo possível através deste último a procura, seleção e transferência de todos os dados referentes às NS do programa antigo.

3.3.3.1. Interligação do H2PORTO com o SIG

Atualmente, a georreferenciação é inserida através de arruamentos e números de polícia respetivos, a que se associa a ZMC e sub-ZMC. Desta forma, as ocorrências e serviços ficam agregados a uma propriedade e não aos ativos do sistema, tais como as condutas, acessórios, entre outros.

Ora, dado este desfasamento, a Águas do Porto, EM considera urgente uma reestruturação deste sistema, principalmente no que respeita à georreferenciação das ocorrências e dos serviços do SIG, de modo a proceder-se a uma correta gestão dos ativos que, naturalmente, se encontra associada a uma base de dados histórica fidedigna.

3.4. MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO INFRAESTRUTURAL

Até 2015, a Águas do Porto, EM não possuía qualquer plano formalizado de manutenção preventiva da rede de abastecimento de água. Por conseguinte, todas as intervenções ao nível da conservação infraestrutural advinham de necessidades decorrentes da exploração diária, ou seja, através de um comportamento reativo, face à variabilidade de acontecimentos anómalos na rede, quer fosse na sequência de inspeções periódicas pelas equipas operacionais, quer pela ocorrência de avarias que implicassem a intervenção imediata.

Neste sentido, a AdP determinou como uma das principais preocupações o desenvolvimento e execução de estratégias de Gestão Patrimonial de Infraestruturas (GPI), que possibilitem a sustentabilidade infraestrutural, operacional, ambiental e, sobretudo, económico-financeira. De facto, “*trata-se de uma mudança de atitude reativa, de reparação após avaria, para uma cultura de proatividade na gestão de infraestruturas e, consequentemente, do SAA*” (Águas do Porto 2015).

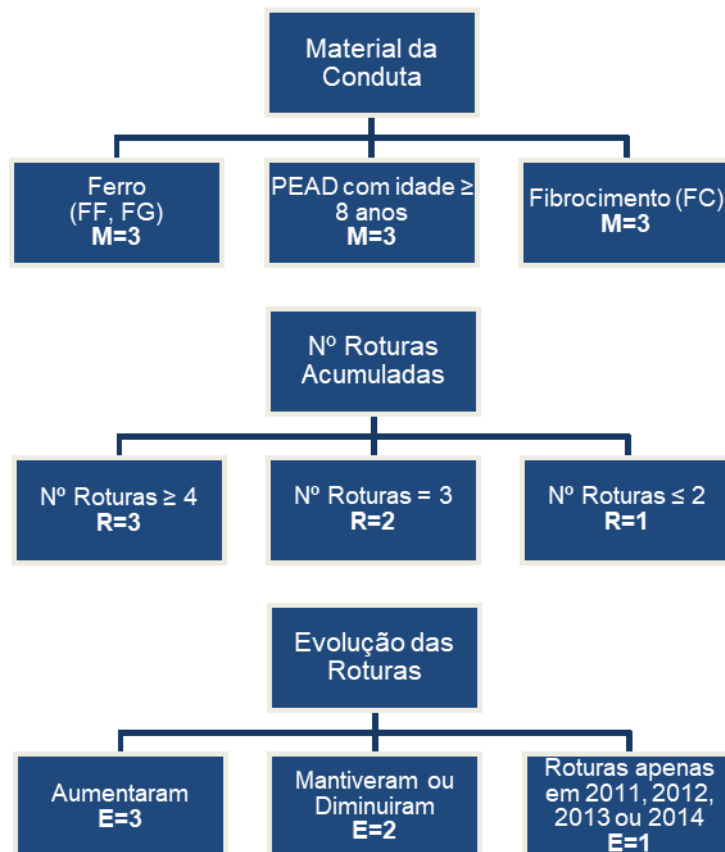
3.4.1. PLANO DE RENOVAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Com o propósito de uma gestão sustentável do SAA, e tendo por base o estudo e avaliação do seu estado funcional, a Águas do Porto, EM delineou o “Plano de Remodelação da Rede de Distribuição de Água”, que categorizou os investimentos a efetuar em função da sua prioridade: “Máxima” ou “Muito Urgente”, Urgente e “A monitorizar”.

Desta forma, a empresa optou por desenvolver um método interno de análise multicritério, a partir da informação disponível em base de dados e através da própria experiência, com o objetivo de rentabilizar

as suas infraestruturas e, conseqüentemente, de reduzir o índice de ANF. Assim, de acordo com o registo de informação disponível, consideraram o histórico de roturas¹¹ entre 2011 e 2014, a evolução das roturas ao longo do tempo e os materiais constituintes, como fatores determinantes para o estudo, classificando-os em 3 níveis.

Em suma, estabeleceu-se o seguinte procedimento de classificação e metodologia de cálculo (Figura 19), através da parametrização de cada um destes aspetos em 3 níveis.



$$I = \text{Material da conduta (M)} \times \text{Nº de Roturas acumuladas (R)} \times \text{Evolução (E)}$$

Figura 19 – Metodologia de classificação e cálculo | Plano de Renovação da Rede de Distribuição de Água

De modo a compatibilizar a experiência e o “*know-how*” interno dos técnicos de rede em face das prioridades estabelecidas para a substituição de condutas problemáticas, foi realizado um conjunto de reuniões internas operacionais para apoio à tomada de decisão e definição no plano, numa perspetiva de atuação integrada e consertada perante o objetivo.

Por fim, foi possível à EG priorizar os investimentos nesta área em função dos resultados obtidos, tal como representado no Quadro 1 e na Figura 20, onde a cor vermelha indica necessidade “Máxima” ou “Muito Urgente”, e a cor laranja de “Urgente”.

¹¹ Por roturas entende-se “roturas em condutas, roturas em ramal e válvulas a substituir que implicam perda de água” (Águas do Porto 2015).

Quadro 2 – Classificação do tipo de propriedade

Classificação da Prioridade	Índice I
Prioridade 1 – Muito Urgente	$I \geq 10$
Prioridade 2 – Urgente	$5 > I > 10$
Prioridade 3 – A Monitorizar	$I \leq 5$

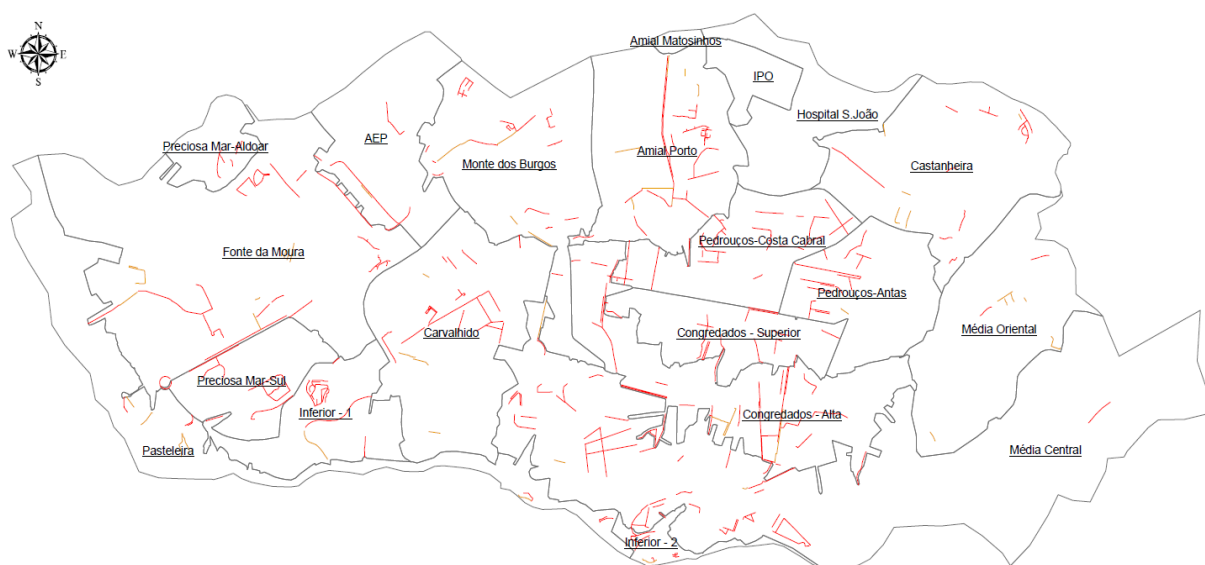


Figura 20 – Prioridade 1 e 2 do Plano de Remodelação da Rede de Distribuição de Água

Relativamente à Prioridade 3, uma vez que não necessitam de intervenção de carácter urgente, apenas carecem de monitorização contínua para análise da evolução infraestrutural, tal como explicado anteriormente.

No seguimento do “Plano de Remodelação da Rede de Distribuição de Água”, a Águas do Porto, EM definiu um procedimento de atuação dividido em 3 fases de intervenção, tendo em consideração os índices de ANF das várias ZMC do SAA:

- Numa primeira fase priorizou-se as condutas com necessidade “Máxima” de intervenção nas ZMC Média Central, Fonte da Moura, Pasteleira e Inferior, uma vez que representavam maior índice de ANF;
- Na segunda fase integraram-se as condutas com necessidade “Máxima” de intervenção nas ZMC dos Congregados – Alta, AEP e Pedrouços-Costa Cabral;
- Em último lugar, a terceira fase de intervenção integrou as restantes prioridades.

As duas primeiras fases de intervenção foram, inclusivamente, incluídas no Plano de Investimentos da empresa para o triénio 2015-2017, tendo a terceira fase sido planeada para depois de 2017 (Águas do Porto 2015).

4

ANÁLISE DE DADOS – ÁGUAS DO PORTO, EM

4.1. INTRODUÇÃO

A Águas do Porto, EM (AdP) encontra-se atualmente num processo de transição, no que toca à organização dos seus Sistemas de Informação. Sendo da responsabilidade da Entidade Gestora (EG) a gestão de todo o Ciclo Urbano da Água (CUA), é natural a densidade e complexidade inerente ao tratamento e processamento de toda a informação.

No passado, a par do desenvolvimento tecnológico, a empresa foi evoluindo, criando assim *softwares* de apoio à gestão e tomada de decisão, próprios de cada Unidade Orgânica (UO). Passados alguns anos, a AdP deparou-se com um problema na dispersão e interligação de toda a informação, que resultou numa entropia corporativa pouco benéfica para o desenvolvimento da empresa.

Assim, para o aumento da fiabilidade e eficiência na gestão da EG, o uso de tecnologias inovadoras revelou-se fundamental, resultando na criação da Plataforma Tecnológica (PT). Ora, esta solução que está, atualmente, a ser implementada, visa uniformizar as diferentes aplicações e bases de dados existentes, e, também, regar procedimentos e linhas de orientação de recolha e tratamento de dados, pelo que o estudo do presente trabalho tentará contribuir na identificação de oportunidades de melhoria.

Por conseguinte, o presente capítulo consistirá na análise e estudo dos dados fornecidos pela AdP (“*Data Acquisition & Understanding*” - Figura 8), tendo como objetivo o desenvolvimento do Modelo Preditivo.

4.2. RECOLHA DE DADOS

Para o desenvolvimento desta dissertação duas grandes fontes de informação foram utilizadas: o cadastro do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e a base de dados do Programa de Gestão de Ordens de Serviço – H2PORTO. Numa primeira fase, estas foram analisadas e tratadas de forma individual, e, posteriormente, estudadas em conjunto.

No primeiro caso, recorreu-se ao programa *ArcMAP*, que processa todo o Sistema de Informação Geográfico (SIG) da empresa, desde 2005, onde é possível explorar a informação da rede de forma georreferenciada e em tempo real. Esta base de dados, através da *layer*¹² da rede de água, tem como

¹² É através de camadas, que a informação no *ArcMAP* é representada.

principais características para cada conduta os seguintes atributos: *ObjectID*¹³, *ID_Entidade*¹⁴, *GlobalID*¹⁵, *ÚltimoEditor*, *DataAtualização*¹⁶, *Freguesia*, *Arruamento*, *CicloVida*¹⁷, *AnoInstalação*, *Função*¹⁸, *DataEntradaServiço*, *Material*, *DN*¹⁹, *DATA_CONST*²⁰, *OBRA_ASSOCIADA*²¹, *Empreiteiro*, *Cod_Rua*, *ZMC*²², *Subsistema*²³, *Proprietário*²⁴, *SHAPE_STLength*²⁵. Em suma, para cada conduta encontram-se atribuídas várias características, sendo distinguidas por um código único: *ID_Entidade* (Figura 21).

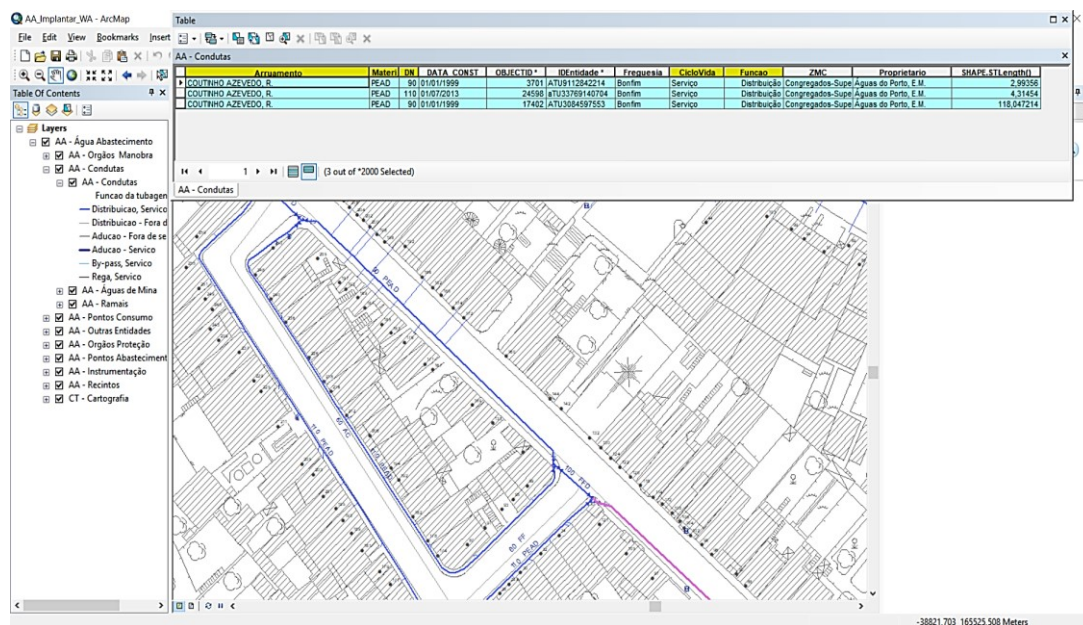


Figura 21 – Exemplo ArcMAP

Com efeito, para análise e tratamento dos dados, através da funcionalidade de exportação do *ArcMAP*, foi possível obter a informação da *layer* da rede de água em formato *.xlsx*, o que permitiu a manipulação no programa *Microsoft Excel*.

No segundo caso, o sistema H2PORTO foi utilizado para a recolha de todas as Notas de Serviço (NS) referentes às requisições de roturas. À semelhança do *ArcMAP*, através da funcionalidade de exportação, o programa de Gestão de Ordens de Serviço permitiu a recolha de informação segundo um ficheiro *.xlsx*, o que permitiu a manipulação e o tratamento de dados no programa *Microsoft Excel*.

¹³ Código de identidade único.

¹⁴ Código de identidade único.

¹⁵ Código de identidade único.

¹⁶ Data da última edição da conduta.

¹⁷ Estado de vida da conduta: “Em Serviço”, “Fora de Serviço” ou “Desativado”.

¹⁸ Função: Adutora, Distribuidora, Rega ou By-pass

¹⁹ Diâmetro

²⁰ Data de Construção da conduta. Semelhante aos atributos *AnoInstalação* e *DataEntradaServiço*.

²¹ Código que é atribuído à conduta em função da respetiva empreitada.

²² Zona de Medição e Controlo

²³ Subsistema corresponde a subzonas, dentro das ZMC.

²⁴ No SIG existem condutas que pertencem a outras entidades, nomeadamente a *Câmara Municipal do Porto* (CMP), *Águas do Douro e Paiva, S.A.* (AdDP) ou simplesmente de responsabilidade *Privada*.

²⁵ Comprimento

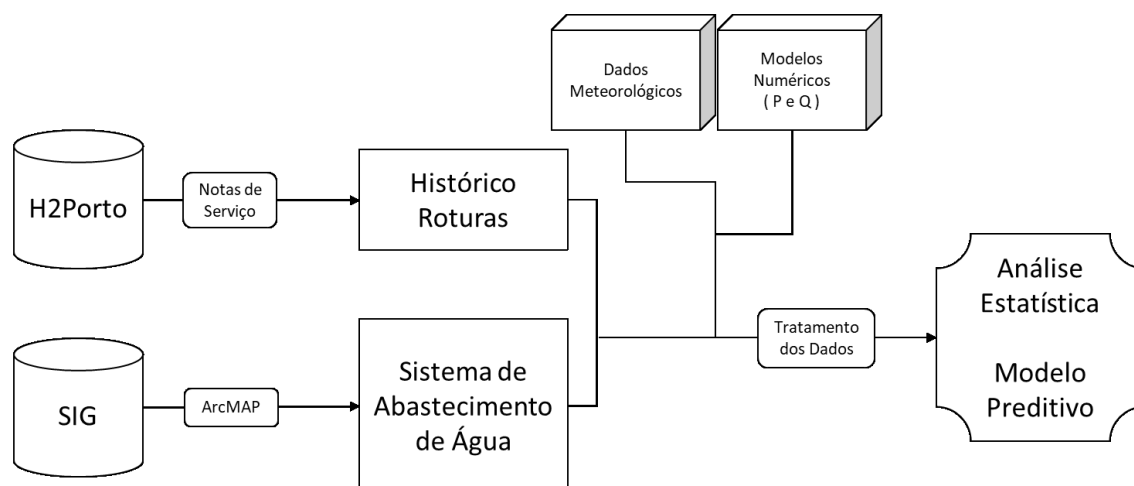


Figura 22 – Fluxograma de Dados

Para além disso, como esquematizado na Figura 22, outras fontes complementares foram utilizadas neste trabalho. Relativamente aos Dados de Meteorológicos, estes foram obtidos através da Estação Meteorológica da CMP, situada na Rua da Constituição, onde foi possível a exportação de dados desde 2014. Por outro lado, com o objetivo de estudar as condições de exploração do SAA, mais concretamente os valores de caudal e pressão por conduta, foi possível a análise de um modelo numérico para um dia médio anual de consumo, a cada 15 minutos. Contudo, estes modelos encontram-se ainda numa fase embrionária, pelo que a sua fiabilidade encontra-se ainda a ser testada e aperfeiçoada.

4.3. ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS

4.3.1. SIG – SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Como já explicado anteriormente, o SIG apresenta-se como uma fonte de dados essencial para a gestão infraestrutural da empresa, e de especial importância para o desenvolvimento deste trabalho. Desta forma, antes de avançar para o projeto final (“dashboards” e Modelo Preditivo), o primeiro passo consistiu na exportação da informação do SAA ao dia 10 de Março de 2018, com o objetivo de estudar e encontrar padrões anómalos na base de dados.

Resumidamente, a tabela dispunha de 26 655 troços de conduta (linhas) e 54 atributos para cada (colunas). Desde logo, numa análise expedita, algumas irregularidades foram imediatamente evidenciadas. Em primeiro lugar, 26 atributos não apresentaram qualquer informação, ou encontraram-se muito incompletos, pelo que a sua utilização ficou desde logo descartada. Adicionalmente, outros atributos importantes, tais como a *Freguesia*, o *AnoInstalação*, a *DataEntradaServiço*, a *DATA_CONST*, o *Material*, o *DN*, o *DNInterno* ou a *ZMC* apresentaram algumas falhas de informação, exibindo o valor 0 ou, simplesmente, em branco.

Assim, estes e outros aspetos serão explorados ao longo dos seguintes pontos, de forma a compreender a origem dos problemas associados à base de dados, assim como a respetiva solução adotada. Nesta análise, relativamente à *Função* e ao *Proprietário*, somente serão consideradas as condutas adutoras e distribuidoras, pelo que as de rega e “by-pass” serão descartadas, dada a sua insignificância na rede (apenas 16 metros de rede), e as de responsabilidade da AdP.

4.3.1.1. Material

Dos atributos relevantes a esta dissertação, começou-se por analisar a coluna *Material*, para todos os ciclos de vida, ou seja, “Em serviço”, “Fora de Serviço” e “Desativado”. Assim, apresentaram-se 16 categorias distintas, tal como descrito na coluna 1 do Quadro 3.

Quadro 3 – Lista de Materiais SAA (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Material – SIG	% Comprimento Total	Material - Corrigido
Aço - AC	2.31%	AC
Aço inoxidável - ACi	0.00%	AC
BC	0.12%	NC
Fibrocimento - FC	9.91%	FC
Ferro Fundido - FF	12.67%	FF
FF Blutop	0.04%	FFD
FFBlutop	0.14%	FFD
Ferro Fundido Dúctil - FFD	8.71%	FFD
Ferro Galvanizado - FG	1.22%	FG
Não Conhecido - NC	1.47%	NC
Polietileno de Alta Densidade – PEAD	62.93%	PEAD
Polietileno de Baixa Densidade - PEBD	0.06%	PEAD
Polietileno de Média Densidade - PEMD	0.01%	PEAD
Plástico Reforçado com Fibra de Vidro - PRV	0.11%	PRV
Policloreto de Vinilo - PVC	0.31%	PVC
(Em branco)	0.00%	NC

Com efeito, propuseram-se algumas alterações, de modo a simplificar e a corrigir eventuais erros. Assim, o Aço Inoxidável (ACi) foi integrado no Aço (AC), não só devido à sua reduzida expressão na rede, mas também devido à similaridade dos dois materiais.

Seguidamente, o material BC foi convertido em Não Conhecido (NC), tendo inclusivamente esta alteração sido carregada no SIG da empresa. De facto, este foi assumido como um erro de digitação do utilizador, uma vez que a letra “N” e a letra “B” se encontram juntas nos teclados de padrão *QWERTY*.

Para além destes, o FF Blutop²⁶ e o FFBlutop foram unidos ao Ferro Fundido Dúctil (FFD), uma vez que se trata, na verdade, de uma conduta em FFD, e não apresenta uma preponderância significativa face ao FFD.

De igual forma, em último lugar, o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e o Polietileno de Média Densidade (PEMD) foram aglomerados com o Polipropileno de Alta Densidade (PEAD).

Contudo, será importante salientar e ter em conta futuramente, que estas simplificações poderão ser a resposta a eventuais comportamentos anómalos na análise de ocorrência de roturas.

Em suma, após a simplificação referida, o número de materiais passou de 16 para 11, resultando nos “dashboards” da Figura 23, Figura 24 e Figura 25.

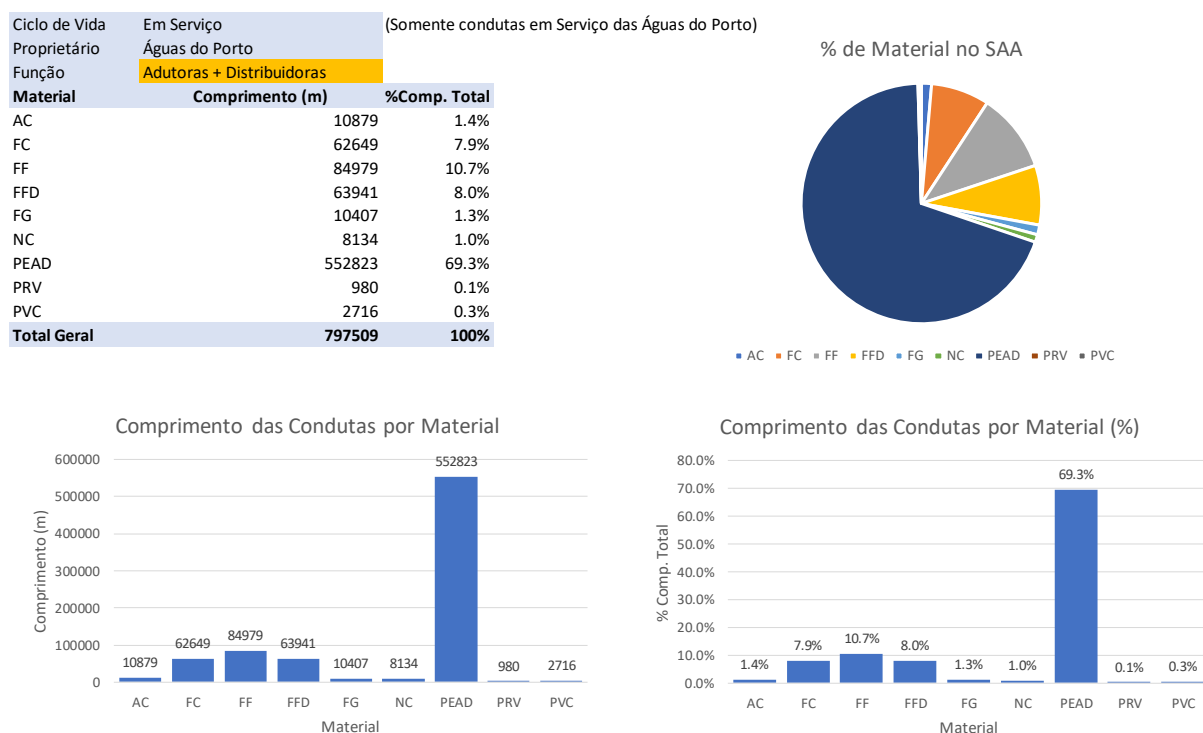


Figura 23 – “Dashboard” Material do SAA | Adutoras e Distribuidoras

²⁶ FF Blutop é uma gama de tubos e acessórios em FFD, com alguns avanços técnicos que beneficiam a sua utilização, especialmente na ampliação de redes de água. Destaca-se pela sua leveza, facilidade de instalação e pelo revestimento interior, que reduz as perdas de carga (www.pamline.pt/blutop).

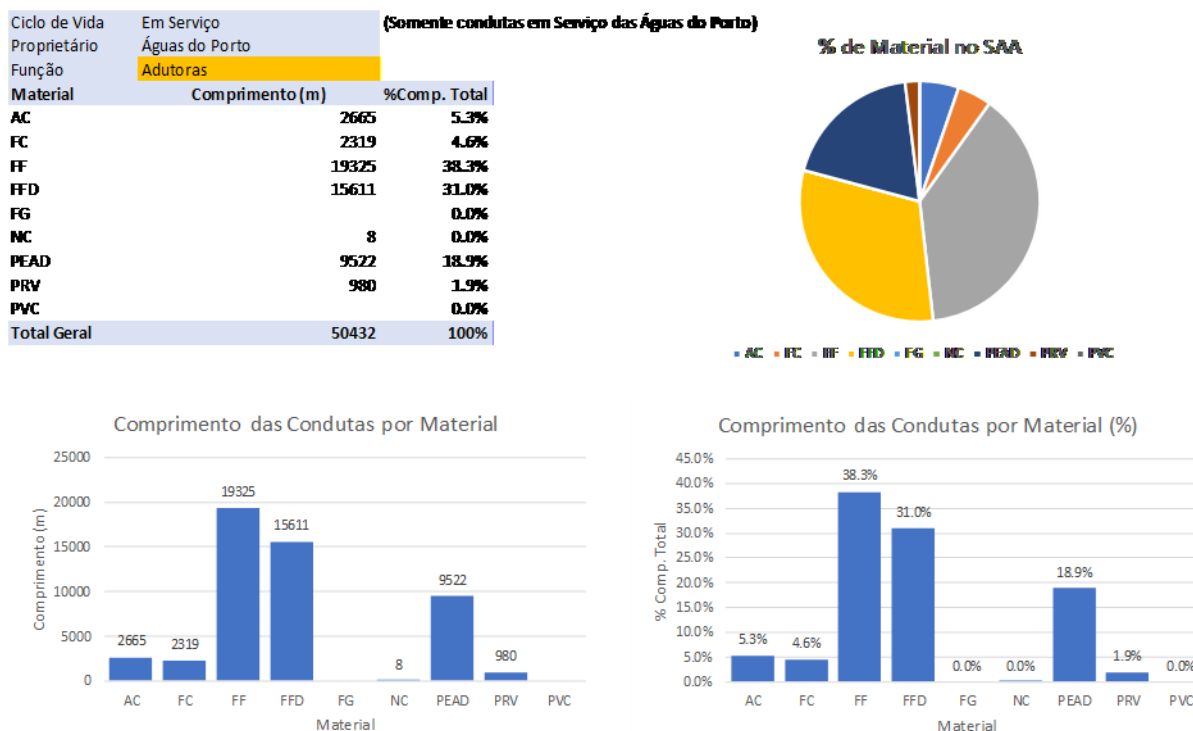


Figura 24 – “Dashboard” Material do SAA | Adutoras

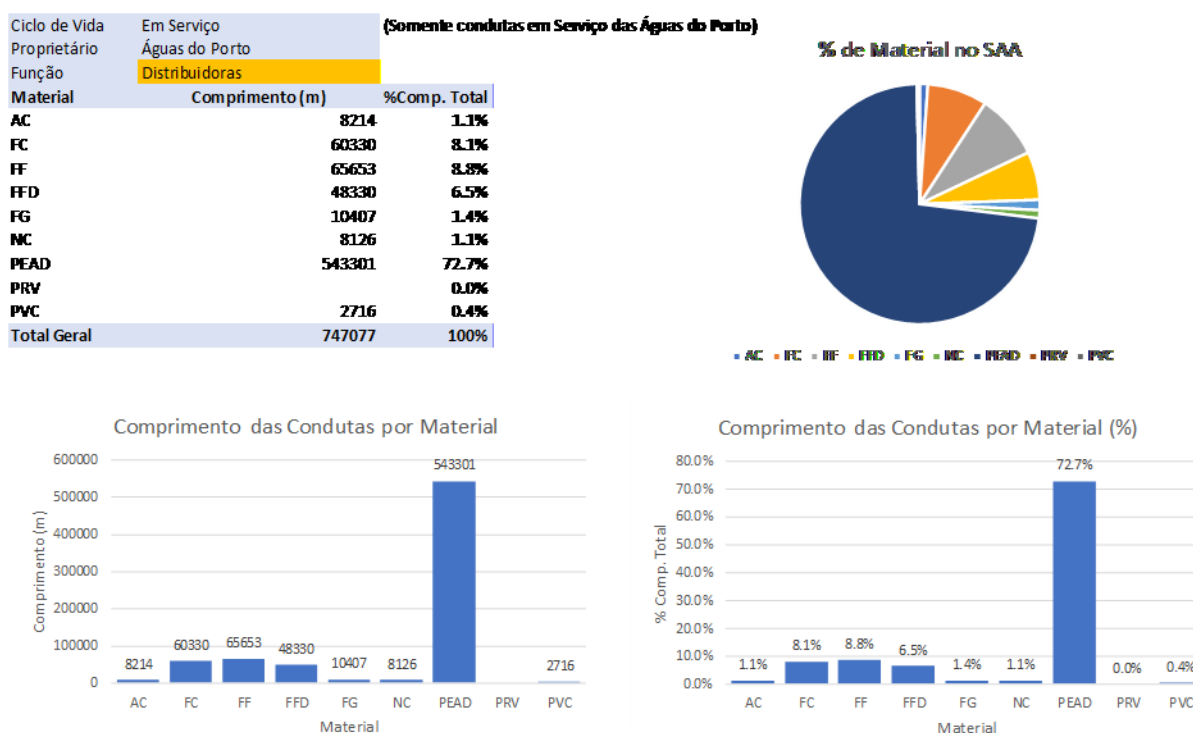


Figura 25 - “Dashboard” Material do SAA | Distribuidoras

Desta forma, uma ideia global do SAA ficou evidenciada de forma fácil e visual, o que permitiu tirar algumas conclusões:

- A extensão da rede de água é constituída por aproximadamente 50 km de adutoras e 750 km de distribuidoras.
- Aproximadamente 8 km de rede não tem material definido.
- Os materiais principais da rede são o PEAD (69.3%), FF (10.7 %), FFD (8.0%) e o FC (7.9%).
- Os materiais residuais do sistema, isto é, aqueles que apresentam uma percentagem residual, são o AC (1.4%), o FG (1.3%), o PVC (0.3%) e o PRV (0.1%).
- O grupo das adutoras é constituído maioritariamente por FF (38.3%), FFD (31.0%) e PEAD (18.9%), enquanto as distribuidoras por PEAD (72.7%).

4.3.1.2. Diâmetro

Com o objetivo de analisar a distribuição dos diâmetros no SAA recorreu-se a dois atributos da base de dados. Após análise, verificou-se que as colunas *DN* e *DNInterno* eram praticamente idênticas, pelo que se descartou o atributo *DNInterno*. Assim, optou-se por dividir numa tabela de dupla entrada a distribuição do comprimento da rede, em função do diâmetro e o material, já com as respetivas correções enunciadas no ponto anterior (Quadro 4).

Quadro 4 – Distribuição de Diâmetros do SAA | Adutoras e Distribuidoras (Em Serviço)

Diâmetro Nominal (mm)	Comprimento (m)									Total Geral
	AC	FC	FF	FFD	FG	NC	PEAD	PRV	PVC	
0		51	1			1055	115			1222
7.62							3			3
15					13					13
16							10			10
25					360		70		25	455
30			36		72				6	115
32		59			8		153			220
40	6	7	221		1073	2	389		1425	3122
50	50		151	16	8321	202	1378		742	10860
60		2315	7134		130	1507	361			11447
63							420			420
65							13			13
75					13		721		202	936
80	149	23929	10152	18	376	2467	982			38073

90							41136			41136
100	1237	12753	13847	15413		2129	1343			46722
110		6		950	41		377190	316		378503
125	1						27			28
150	2542	9983	8789	5241		772	284			27611
160		13	9	1086			90649			91757
200	939	6267	7916	8672			29191			52985
250	1949	1424	8704	1474			1818			15369
300	2020	2491	5385	14393			496			24785
310				2			66			68
315							3071			3071
350	756	1123	4620	325						6824
400	122	2228	2249	8424						13023
500	864		8489	2235			1505	644		13737
560							1426			1426
600	146		2158	4763						7067
650			1709							1709
700	6			235						242
750	15		3410							3425
800	14			693				337		1044
1110							6			6
1200	62									62
Total Geral	10879	62649	84979	63941	10407	8134	552823	980	2716	797509

Desta forma, foi possível retirar algumas conclusões quanto à fiabilidade da distribuição de diâmetros do SAA. De facto, a variabilidade de DN apresentada, numa primeira impressão, sugere algumas suspeitas quanto à veracidade dos mesmos. A título de exemplo, o DN 7.62 causou alguma desconfiança, assim como PEAD 100, FFD 110 e o PEAD 1110, que, na verdade, não existem na gama de diâmetros comerciais para o respetivo material. Da mesma forma, outros exemplos se destacaram nesta tabela, nomeadamente para os DN em que o Total Geral apresentou um valor residual.

Com efeito, após um inquérito interno na AdP, entendeu-se que a inconsistência dos dados, tal como em alguns casos na coluna *Material*, se deveu, não só a erros de digitação, como também a erros fortuitos por desconhecimento da parte do utilizador. Adicionalmente, com o objetivo de reportar e corrigir estas inconsistências, optou-se somente por alterar os erros para os quais a solução não colocasse em risco o

cadastro existente. Assim, procedeu-se somente à alteração dos DN 1110 e o 7.62 pelos DN 110 e 0, respetivamente, tendo, numa fase posterior, sido carregados para o SIG da empresa.

Os restantes diâmetros, que não correspondem à gama comercial do seu material, não sofreram qualquer alteração, de forma a salvaguardar a informação existente. Para além disso, supõe-se que o erro destes não seja grosseiro²⁷, pelo que futuras análises não resultaram em conclusões enviesadas.

Sumariamente, após as correções enunciadas, procedeu-se à análise gráfica dos dados, que resultaram numa série de “dashboards”, auxiliando o estudo desta variável (Figura 26, Figura 28 e Figura 27).

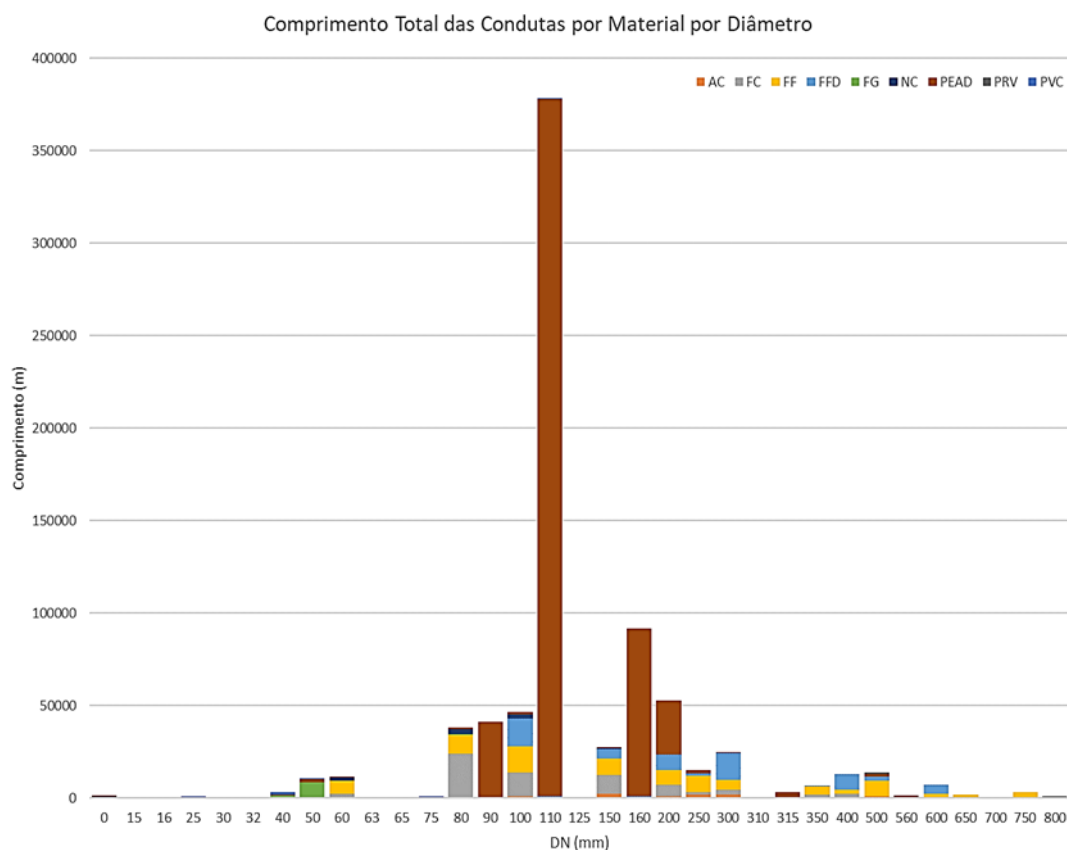


Figura 26 – Distribuição de Diâmetros do SAA | Adutoras e Distribuidoras (Em Serviço)

²⁷ Exemplos: PEAD DN 100 deverá corresponder a um PEAD DN 110, ou FFD DN 110 deverá corresponder a um FFD DN 100.

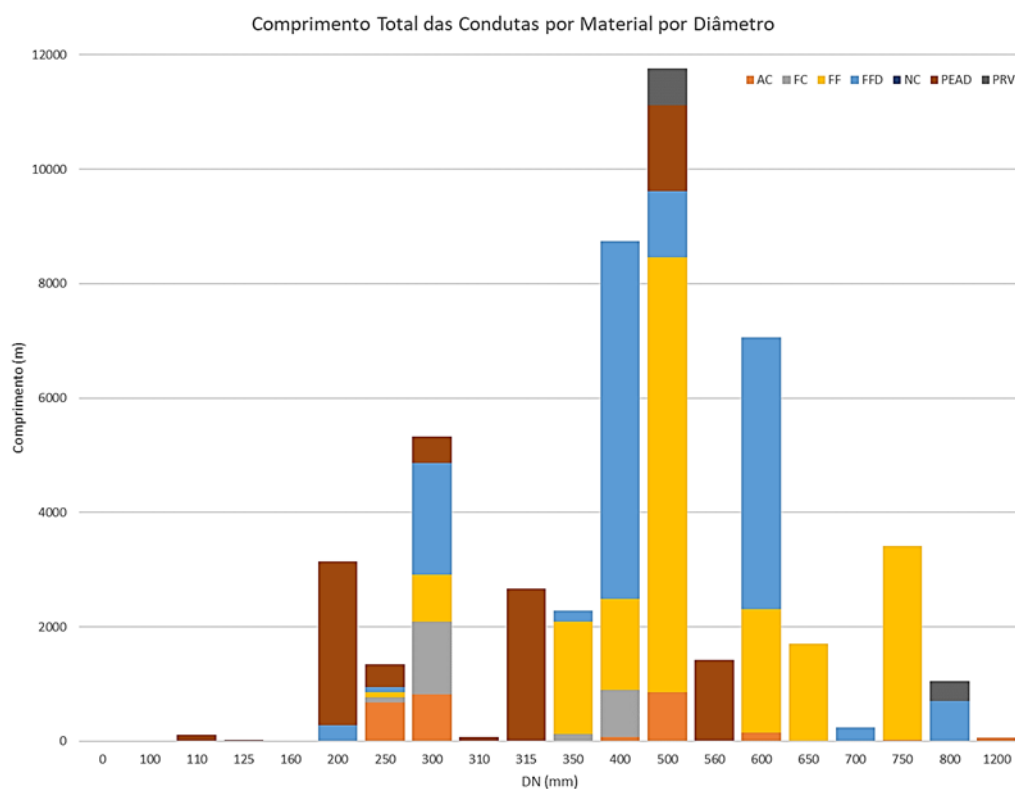


Figura 28 – Distribuição de Diâmetros do SAA | Adutoras (Em Serviço)

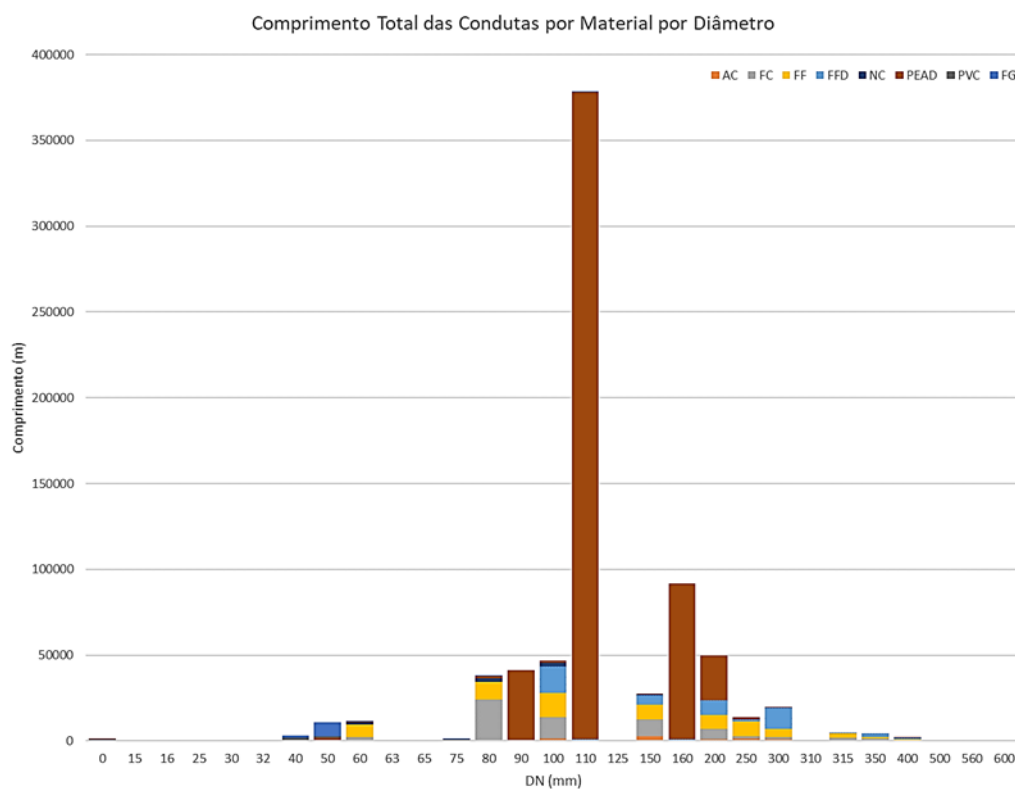


Figura 27 – Distribuição de Diâmetros do SAA | Distribuidoras (Em Serviço)

Desta forma, ficou evidenciada uma ideia global do SAA de forma simples e visual, o que permitiu tirar algumas deduções:

- A extensão da rede de água é constituída maioritariamente por condutas de diâmetro 110, 160 e 200.
- Nas adutoras, os diâmetros principais são o DN 400, o DN 500 e o DN 600.
- Nas distribuidoras, os diâmetros principais são o DN 110 e o DN 160.
- No grupo das adutoras existem diâmetros muito pequenos (DN 110), pelo que se suspeita que a sua *Função* não esteja corretamente atribuída.

4.3.1.3. Idade

Com o objetivo de analisar a idade da rede recorreu-se a três atributos da base de dados: *AnoInstalação*, *DataEntradaServiço* e *DATA_CONST*. Em primeiro lugar, foi analisado o preenchimento destas colunas, tendo-se posteriormente inquirido internamente sobre a razão de existirem 3 atributos para classificar um único aspeto. Ora, nessa análise, foi possível constatar que o atributo *DATA_CONST* era o mais completo, uma vez que, ao contrário dos outros, tinha bastantes células preenchidas.

Com efeito, utilizando o atributo mais informativo, procedeu-se ao estudo da distribuição da rede por década de construção, obtendo-se o “*dashboard*” representado na Figura 29.

Ciclo de Vida	Em Serviço										
Proprietário	Águas do Porto										
Função	Adutoras + Distribuidoras										
Década	AC	FC	FF	FFD	FG	NC	PEAD	PRV	PVC	Total Geral	%
NC	123			2427	4606	1128	40296		1337	49917	6.3%
1890		76		2			225			304	0.0%
1940							256			256	0.0%
1950	9761	1133	76290	4585	66		3046		58	94939	11.9%
1960			16	9						25	0.0%
1970	285	58044	1318	277	5350		7028	2	42	72347	9.1%
1980		169		8			3058	642		3877	0.5%
1990	619	2297	4713	17088	141	5798	201101		984	232741	29.2%
2000	91	929	2554	15532	245	1176	175620		286	196433	24.6%
2010	0		87	24012		33	122192	337	9	146670	18.4%
Total Geral	10879	62649	84979	63941	10407	8134	552823	980	2716	797509	100%

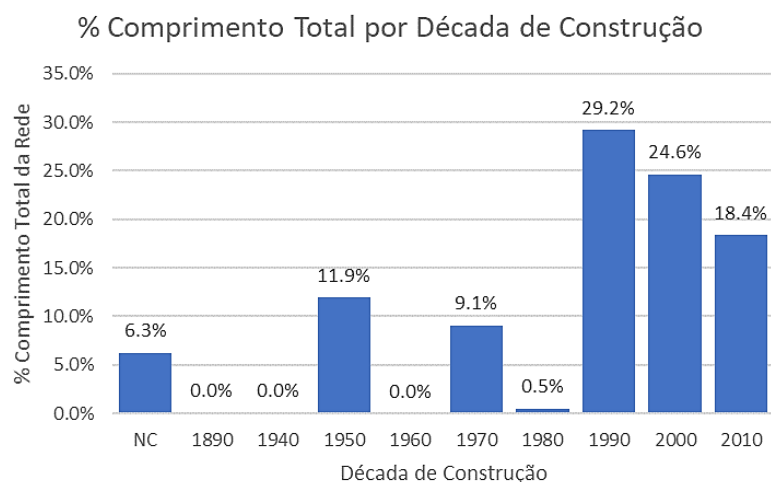


Figura 29 – “*Dashboards*” Distribuição da Década de Construção do SAA | Adutoras e Distribuidoras (Em Serviço)

Ora, ao contrário dos pontos anteriores, o estudo deste atributo não permitiu avaliar a fiabilidade dos dados, uma vez que não existiam valores pré-estabelecidos ou um conjunto de regras a que distribuição da década de construção pudesse seguir. Neste sentido, apenas uma análise estatística poderá ser analisada e, eventualmente interpretada, caso algum padrão comportamental anómalo seja verificado.

Por conseguinte, tendo por base as figuras anteriores, algumas constatações podem ser evidenciadas:

- Aproximadamente 75% da rede foi construída nas últimas 3 décadas.
- A década de 90 apresenta-se como a mais representativa (29.2%).
- Entre a década de 1890 e a de 1940, aparentemente, não houve qualquer construção de condutas de abastecimento de água.
- Das 9 décadas onde há dados de construção, 4 delas apresentam uma percentagem residual: 1890 (0.0%), 1940 (0.0%), 1960 (0.0%) e 1980 (0.5%).
- A extensão de rede sem data de construção ronda os 50 km (6.3%).

De facto, a distribuição da década de construção apresenta inconsistências, pelo que algumas questões poderão surgir. Em primeiro lugar, os 304 m instalados na década de 1890 suscitam alguma desconfiança, uma vez que condutas com cerca de 125 anos, já ultrapassaram largamente o seu período de vida útil. Para além disso, e ainda mais duvidoso, encontra-se o facto de as 4 décadas já mencionadas não apresentarem praticamente nenhuma construção de renovação ou expansão da rede.

Ora, após averiguação interna, constatou-se que uma parte significativa do sistema foi preenchida manualmente no atributo *DATA_CONST*, tendo por base critérios genéricos relacionados com o tipo de material. Por outras palavras, dada a exigência da entidade reguladora em datar toda a infraestrutura, a EG viu-se obrigada a atribuir uma idade a cada conduta sem informação, tendo, por isso, adotado uma data de construção em função do histórico do material da conduta na empresa. Assim, considera-se que uma parte significativa da rede apresenta este atributo estimado, pelo que a sua fiabilidade não está garantida.

Consequentemente, poderá ainda relacionar-se o facto de as 4 décadas já referidas não apresentarem praticamente nenhuma construção, dado o critério sistemático de atribuição de data que, aparentemente, tende para as décadas de 1950 e 1970.

Adicionalmente, verificou-se que algumas das condutas, que não tinham o atributo *DATA_CONST* preenchido, possuíam informação nos atributos *AnoInstalacao* ou *DataEntradaServico* (Figura 30). Com efeito, uma vez que este é um atributo de especial importância, e de forma a completar cadastro de uma forma minimamente fiável, adotou-se uma nova data de construção, em função do *AnoInstalacao* ou *DataEntradaServico*. Desta forma, procedeu-se a essa alteração num ficheiro *.xlsx*, tendo sido posteriormente carregado para o SIG da empresa.

IDEntidade	Freguesia	Arruamento	CicloVida	AnoInstalacao	DataEntradaServico	Funcao	Material	DN	DATA_CONST
ATU9753141735	Santo Ildefonso BONJARDIM, Tv. do		Servico	1950		3 FF		60	01/01/1950 00:00
ATU2100935679	Campanhã	PINHEIRO DE CAMPANHÃ, R. do	Servico	2002	08/01/2002 00:00	3 PEAD		90	A PREENCHER
ATU3450980357	Miragaia	S. PEDRO DE MIRAGAIA, L. de	Servico	1999		3 PEAD		110	01/01/1999 00:00
ATU2642981565	Miragaia	S. PEDRO DE MIRAGAIA, Tv. de	Servico	1989		3 PEAD		110	01/01/1989 00:00
ATU3282501475	S. Nicolau	S. JOAO NOVO, L. de	Servico	1999		3 PEAD		110	
ATU6359730077	S. Nicolau	COMÉRCIO DO PORTO, R. do	Servico	1999		3 FF		100	01/01/1999 00:00
ATU5541731295	S. Nicolau	COMÉRCIO DO PORTO, R. do	Servico	1950		1 FF		250	01/01/1950 00:00
ATU7988350986	S. Nicolau	COMÉRCIO DO PORTO, R. do	Servico	1999		1 FFD		300	01/01/1999 00:00
ATU1939288046	Campanhã	PINHEIRO DE CAMPANHÃ, Tv. do	Servico	2002	08/01/2002 00:00	3 PEAD		90	A PREENCHER
ATU1517711626	Vitória	VITÓRIA, R. da	Servico	1950		3 FF		150	01/01/1950 00:00
ATU4584940238	Vitória	TAIPAS, R. das	Servico	1950		3 FF		80	01/01/1950 00:00
ATU6843180058	Miragaia	VIRTUDES, Calç. das	Servico	2004		3 PEAD		110	01/01/2004 00:00
ATU1053221381	Paranhos	VOUGA, R. do	Servico	1997		3 PEAD		90	24/07/1997 00:00
ATU5145920151	Campanhã	PINHEIRO DE CAMPANHÃ, R. do	Servico	2002	08/01/2002 00:00	3 PEAD		90	A PREENCHER
ATU7108149044	Campanhã	PINHEIRO DE CAMPANHÃ, Tv. do	Servico	2002	08/01/2002 00:00	3 PEAD		90	A PREENCHER

Figura 30 – Excerto do Ficheiro *.xlsx* do SAA com Metodologia de Preenchimento para *DATA_CONST*

4.3.1.4. Zona de Medição e Controlo (ZMC)

Na análise à base de dados constatou-se a falta de preenchimento em alguns campos das colunas *ZMC* e *Freguesia*, apesar dos atributos *Arruamento* e *Cod_Rua* estarem devidamente inseridos. Por conseguinte, uma tabela foi desenvolvida com o objetivo de analisar a distribuição da rede de água por ZMC (Quadro 5).

Quadro 5 – Distribuição do SAA por Classe de Comprimento | SIG Completo

ZMC	Comprimento (m)	% Comprimento Total
AEP	21 240	2.7%
Amial Matosinhos	1 222	0.2%
Amial Porto	47 251	5.9%
Carvalhido	56 010	7.0%
Castanheira	48 619	6.1%
Congregados Alta	73 321	9.2%
Congregados Superior	31 918	4.0%
Fonte da Moura	99 959	12.5%
Hospital S. João	16 703	2.1%
Inferior-2	6 442	0.8%
IPO	2 841	0.4%
Média Central	42 163	5.3%
Monte dos Burgos	41 163	5.2%
Pasteleira	54 682	6.9%
Pedrouços-Antas	30 568	3.8%
Pedrouços-Costa Cabral	36 630	4.6%
Preciosa Mar-Aldoar	6 157	0.8%
Preciso Mar-Sul	18 848	2.4%
(Em branco)	161 705	20.3%

Com efeito, comprovou-se que cerca de 20% de toda a rede não tinha ZMC atribuída, pelo que se procedeu internamente à correção do SIG, refletindo-se nas análises seguintes.

4.3.1.5. Comprimento

Com o objetivo de analisar a disposição das condutas pelo respetivo comprimento, recorreu-se ao atributo *SHAPE_STLength*, do SIG. Desta forma, procedeu-se à distribuição da rede por classes de comprimento, que resultou no Quadro 6.

Quadro 6 – Distribuição do SAA por Classe de Comprimento | SIG Completo

Classe de Comprimento (m)	Comprimento Total (m)
[0; 1[	2 449.1
[1; 5[	9 188.0
[5; 25[	18 901.0
[25; 100[	99 378.4
[100; 250[	368 258.0
[250; 500[	336 175.7
[500; 750[	59 027.6
[750; 1000[	25 394.5
>=1000	1 506.2

Ora, pela análise da tabela, uma inconsistência tornou-se evidente. De facto, constatou-se que no intervalo das condutas com comprimento inferior a 1 metro, este apresentava um comprimento total de aproximadamente 2.5 km, o que, naturalmente, casou alguma desconfiança. Deste modo, recorrendo ao *ArcMAP*, procurou-se identificar exemplos de condutas com comprimento reduzido, de forma a compreender a sua contextualização no sistema, tal como representado na Figura 31.

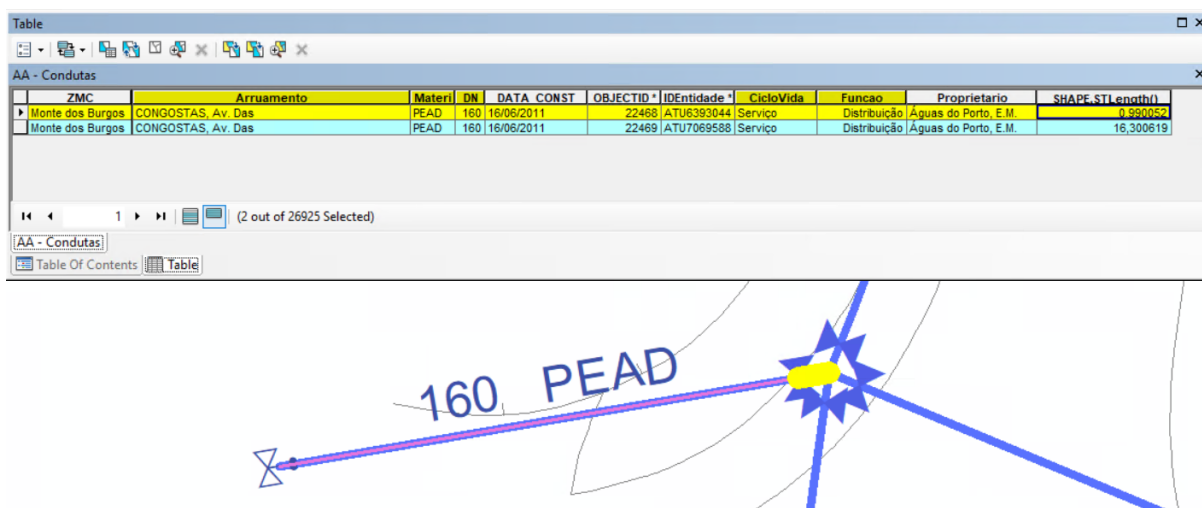


Figura 31 – Exemplo *ArcMAP* | Segmentação de Conduta

Por conseguinte, e, inclusivamente, após inquérito interno, concluiu-se que toda a rede de água se encontrava segmentada no SIG da AdP. Por outras palavras, para as condutas do SAA verificou-se que estas tanto podiam ser representadas num único troço, assim como em 5, 10 ou mais troços. Neste

sentido, procedeu-se à correção manual da representação²⁸, com o objetivo de relacionar o comprimento das condutas, com a ocorrência de roturas (Quadro 7). Com efeito, recorrendo a um ficheiro *.xlsx* com todos os troços do SAA ordenados por ordem decrescente do comprimento (*ID_Entidade*; *Material*; *DN*; *DATA_CONST*; *CicloVida*, *SHAPE_STLength*), desenvolveu-se uma metodologia que teve por base os seguintes passos:

- Seleção do *ID_Entidade* “Mãe” (troço da conduta de maior comprimento);
- Pesquisa da localização do troço “Mãe” (*ArcMAP*), e identificação dos troços adjacentes respeitantes à mesma conduta²⁹;
- Numa nova coluna, atribuição do *ID_Entidade* “Mãe” aos troços adjacentes respeitantes à mesma conduta;
- Com todos os troços unidos pelo *ID_Entidade* “Mãe”, procede-se à soma dos comprimentos individuais dos troços.

Quadro 7 – Junção de Troços por Conduta | Exemplo

ID_Entidade (SIG)	ID_Entidade “Mãe”	Ciclo Vida	Material	DN	DATA_CONST	SHAPE_STLength
ATU0001351763	ATU0001351763	Serviço	PEAD	160	15/03/2002	33.91
ATU8026331420	ATU0001351763	Serviço	PEAD	160	15/03/2002	28.39
ATU7145015257	ATU0001351763	Serviço	PEAD	160	15/03/2002	2.06
ATU0166194581	ATU0001351763	Serviço	PEAD	160	15/03/2002	1.75

Desta forma, dado o tempo disponível para o presente trabalho, procedeu-se à união de 19 985 troços, num total de 26 611, que resultou em 7 951 condutas.

4.3.2. PROGRAMA DE GESTÃO DE ORDENS DE SERVIÇO – H2PORTO

Como já referido previamente, o Programa de Gestão de Ordens de Serviço – H2PORTO apresenta-se como uma base de dados fundamental para o estudo deste trabalho. Na verdade, esta fonte de informação serviu a empresa ao longo de vários anos, estando atualmente em fase de transição. Contudo, dado o interesse do presente trabalho residir no histórico de roturas, toda a informação foi exportada tendo como origem esta plataforma.

Com efeito, dando continuidade a um trabalho em curso da AdP, de seleção e georreferenciação das NS entre 01-01-2013 e 31-12-2017, que sintetizou todas as intervencções referentes a sintomas relacionados com roturas num ficheiro *.xlsx*, procedeu-se à análise e revisão desta informação. De notar, tal como foi

²⁸ Esta forma de representação não foi vista como um erro relevante para a AdP, pelo que a sua correção no SIG não foi realizada. Na verdade, a representação encontra-se correta, estando apenas segmentada, fruto da edição de cadastro e da digitalização inicial realizada por volta de 2005, a partir das telas de cadastro.

²⁹ Por conduta entende-se a soma dos comprimentos de iguais características (DN, Material, Data de Construção), que se encontram ligados entre duas válvulas.

referido anteriormente (3.3.3.1.), a georreferenciação das NS procedeu-se sempre segundo o arruamento e o número de polícia, pelo que a ocorrência nunca se associou a um ativo da rede, surgindo assim um problema na interligação da informação entre o SAA e o histórico de roturas.

Por conseguinte, o primeiro passo consistiu em listar e compreender os sintomas extraídos:

- *Abrir_Sonda* – Este sintoma compreendia todas as intervenções onde a equipa operacional procedia a uma abertura de vala por suspeita de possível rotura. Assim, sempre que se verificou a utilização de materiais de reparação na NS, assumiu-se situação de rotura.
- *Rotura_Conduto* – Indicava todas as intervenções onde existiu a reparação de uma rotura.
- *Rotura_RamalDomiciliário* – Abrangia todas intervenções em roturas de ramal domiciliário. No entanto, sempre que se verificou nas observações da NS a identificação errada do sintoma em detrimento de uma rotura em conduta, estas assumiram-se como situação de rotura.
- *Rotura_RamalGeral* – Compreendia todas as intervenções em roturas de ramal geral, que foram consideradas como situações de rotura em conduta.

Assim, consideraram-se os sintomas *Rotura_Conduto*, *Rotura_RamalGeral* e, sempre que a condição mencionada se verificasse, *Abrir_Sonda* e *Rotura_RamalDomiciliário* como as NS indicativas de roturas em condutas de abastecimento, resultando assim em 2 808 roturas para um período de 5 anos.

Ora, com as roturas devidamente selecionadas, o passo seguinte consistiu em georreferenciar cada intervenção, associando cada evento à respetiva infraestrutura. Por outras palavras, procedeu-se à atribuição de um *ID_Entidade* para cada rotura, de forma a criar um elemento comum entre as duas bases de dados principais. Desta forma, através do arruamento e o número de polícia próprios de cada intervenção, recorreu-se ao seguinte processo para as 2 808 roturas:

- Recolha das coordenadas geográficas através da ferramenta *GoogleMaps*;
- Pesquisa pelas coordenadas geográficas recolhidas no ponto anterior no SIG da AdP;
- Identificação da infraestrutura coerente com a NS;
- Atribuição do *ID_Entidade* da infraestrutura (ativo da rede) à NS.

Em suma, este processo iterativo e moroso resultou na ligação do histórico de roturas com o SAA, obtendo-se uma tabela com as 2 808 roturas, tal como exemplificado na Figura 32.

N. Intervenção	Data Execução Intervenção	Latitude	Longitude	Rua	IDEntidade
AdP_13_ROT_00001	01/01/2013	41.151946	-8.667739	PADRE LUIS CABRAL, R. do	ATU5228601423
AdP_13_ROT_00004	01/01/2013	41.162043	-8.667576	PINHO LEAL, R. de	ATU8109760288
AdP_13_ROT_00007	02/01/2013	41.161329	-8.628038	FRANÇA, Av. da	ATU3022051513
AdP_13_ROT_00009	02/01/2013	41.178426	-8.578288	DIAMANTINA, R.	ATU6021015904
AdP_13_ROT_00016	02/01/2013	41.176454	-8.611773	CORONEL ALMEIDA VALENTE, R.	ATU1580367037

Figura 32 – Exemplo da Tabela do Histórico de Roturas com *ID_Entidade*

Como resultado da tabela, procedeu-se a uma primeira análise da distribuição geográfica das roturas, tendo como auxílio o suplemento do *Microsoft Excel* “*PowerMAP 3D*” (Figura 33 e Figura 34).

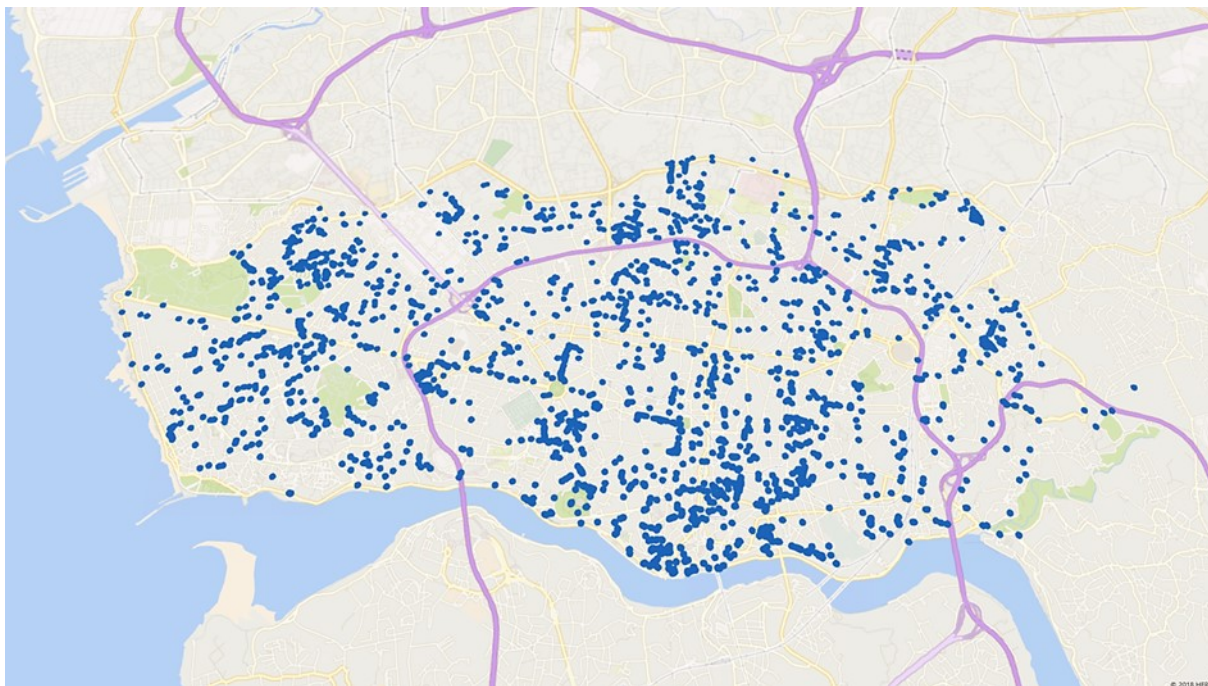


Figura 33 – Mapa de Pontos | Roturas

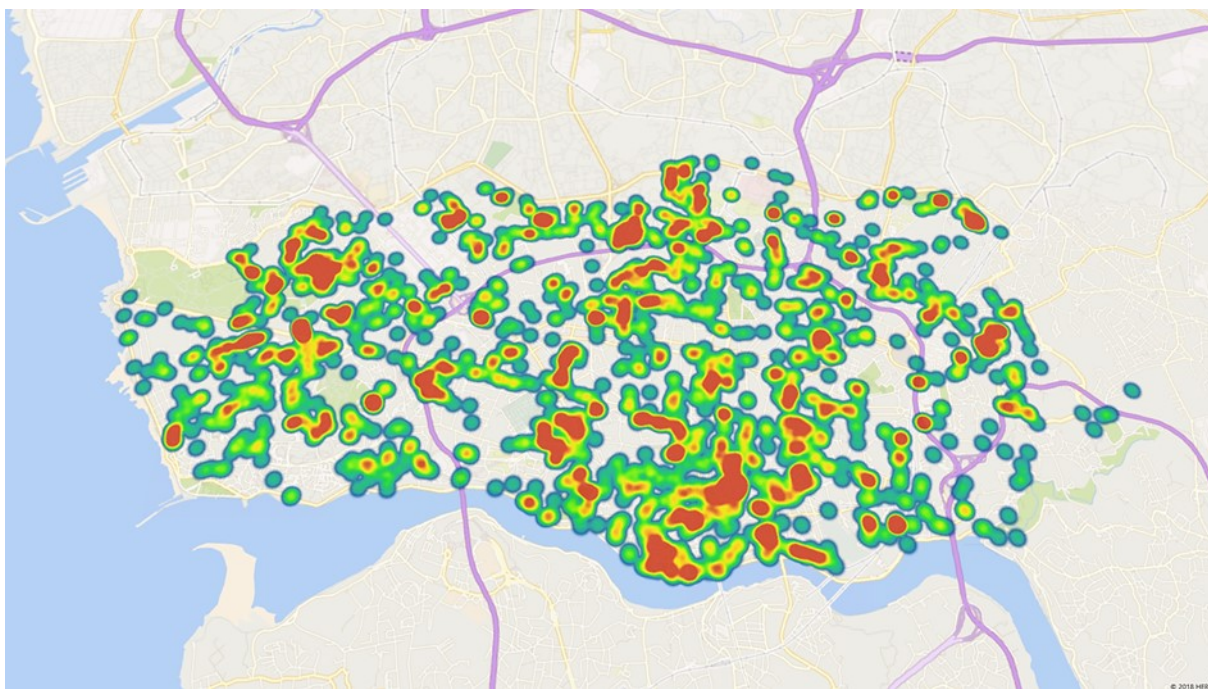


Figura 34 – Mapa de Calor | Roturas

Deste modo, a interpretação destas figuras não resulta na deteção de nenhuma inconsistência aparente, evidenciado apenas algumas zonas quentes (maior concentração de roturas), que pressupõem sinais de alerta para a EG, como é o caso da parte histórica e da zona noroeste da cidade do Porto.

4.3.3. DADOS METEOROLÓGICOS

Uma fonte de informação complementar a este trabalho consistiu nos dados provenientes da Estação Meteorológica da CMP, situada no centro da cidade. De facto, sendo um dos objetivos a correlação entre a ocorrência de roturas e a evolvente de fatores externos, procedeu-se ao tratamento e análise destes dados.

Assim, reuniram-se 45 arquivos .xls/x numa único ficheiro, com o objetivo de homogeneizar e agrupar toda a informação, que, em resumo, dispunha de 129 795 intervalos de 30 minutos (linhas) e 13 atributos (colunas), tal como exemplificado na Figura 35. A recolha compreendeu os anos de 2014 a 2018, havendo, contudo, falhas nos meses de janeiro, fevereiro, março e agosto de 2014.

Data	Hora	Temperatura Exterior	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Humidade Exterior	Ponto de Orvalho	Velocidade do Vento	Direção do Vento	Mar	Precipitação	Taxa de Precipitação	Radiação Solar
19/03/2014	17:00	21.30	21.60	21.10	42	7.8	1.6	SW	1015.3	0.00	0.0	113
19/03/2014	17:30	20.7	21.10	20.70	43	7.7	1.6	NW	1015.4	0.00	0.0	85
19/03/2014	18:00	20.40	20.70	20.10	43	7.4	1.6	W	1015.6	0.00	0.0	69
19/03/2014	18:30	19.60	20.10	18.90	47	7.9	1.6	NW	1015.9	0.00	0.0	43
19/03/2014	19:00	18.20	18.90	17.50	50	7.6	1.6	ENE	1016.1	0.00	0.0	8
19/03/2014	19:30	17.00	17.50	16.60	51	6.8	1.6	ENE	1016.2	0.00	0.0	0
19/03/2014	20:00	16.40	16.60	16.20	57	7.8	1.6	ENE	1016.3	0.00	0.0	0
19/03/2014	20:30	16.00	16.20	15.90	54	6.7	1.6	ENE	1016.3	0.00	0.0	0
19/03/2014	21:00	15.90	15.90	15.70	56	7.1	1.6	ENE	1016.5	0.00	0.0	0
19/03/2014	21:30	15.50	15.70	15.20	58	7.3	0.0	NE	1016.7	0.00	0.0	0

Figura 35 – Exemplo Dados Meteorológicos

De forma a validar as leituras recolhidas, procedeu-se a uma observação gráfica da variação de temperatura exterior, onde se procurou detetar eventuais erros impercetíveis numa análise genérica (Figura 36). De facto, registaram-se algumas leituras incoerentes, onde se compreendeu que estas resultavam de registos inválidos, onde o valor atribuído por defeito era 0.

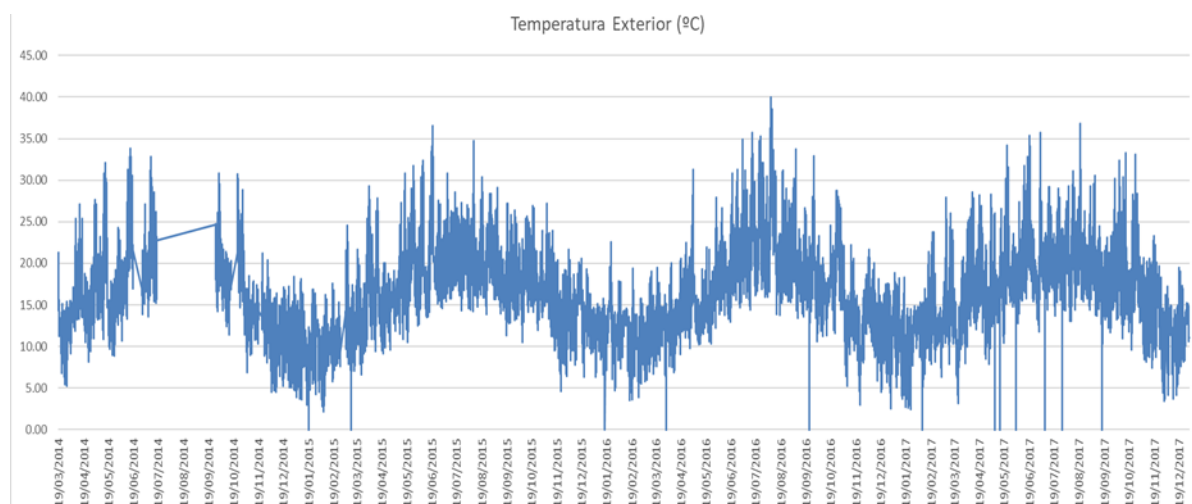


Figura 36 – Variação da Temperatura Exterior (2014-2018)

Com efeito, de modo a minimizar o erro em cada atributo, a solução passou pela substituição das leituras inválidas segundo a média dos valores adjacentes.

4.3.4. DADOS OPERACIONAIS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Como parte integrante do projeto de implementação da Plataforma Tecnológica (PT), a AdP tinha como objetivo a modelação numérica de toda a rede de água, em tempo real, em função das condições de exploração nos Pontos de Entrega (PE), ou seja, consoante os valores de caudal e pressão à entrada da rede.

Desta forma, ao contrário de uma grande parte das EG que apenas detém informação estática das suas redes (características físicas das condutas), a AdP apresenta-se assim com capacidade de determinação dos valores operacionais da rede, em cada conduta e em tempo real, abrindo espaço a uma análise individual dos ativos de forma dinâmica.

Assim, apesar dos modelos se encontrarem em fase de desenvolvimento e tendo por base um modelo para cada ZMC (Figura 37), procedeu-se à análise e definição de uma metodologia capaz de extrair e processar os dados de caudal e pressão, para um período de 48 horas, referentes aos dias de sexta-feira e sábado médios anuais. À semelhança do histórico de roturas, procurou-se associá-los à base de dados do SIG da empresa.

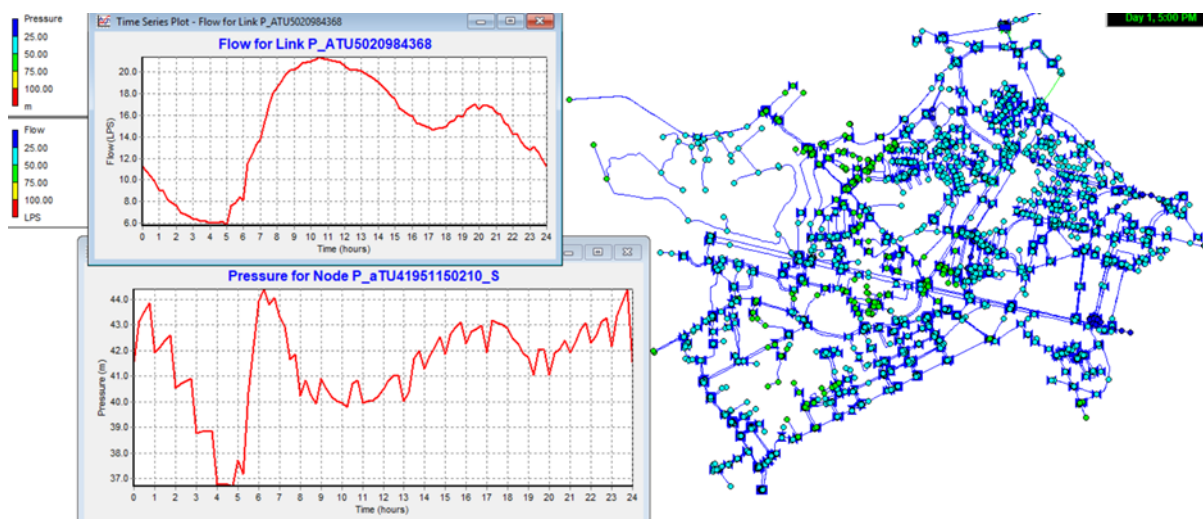


Figura 37 – Ficheiro .INP – ZMC Fonte da Moura

Através do ficheiro *.inp*, utilizando o programa EPANET, exportaram-se os dados de pressão para uma tabela, onde se procedeu à correção dos *ID_Entidade* para o formato definido pelo SIG da AdP, tendo-se em seguida eliminado a duplicação dos dados, optando-se sempre pelo valor maior por conduta³⁰.

De igual forma, para os dados de caudal apenas se efetuou a correção dos *ID_Entidade* para o formato definido pelo SIG da AdP (Quadro 8, Quadro 9, Quadro 10 e Quadro 11).

³⁰ Os valores de pressão encontram-se associados aos nós de cada conduta. A razão de existirem dois valores distintos para cada *ID_Entidade*, prende-se pelo facto destes serem calculados para a entrada e a saída da conduta.

Quadro 8 – Exemplo da Configuração dos Dados de Pressão Não Tratados

ID_Entidade	Pressão (m)			
	00:00	00:15	00:30	00:45
Junc P_aTU41951150210_S	41.54	43.14	43.52	43.84
Junc P_aTU41951150210_E	41.65	43.25	43.63	43.95
Junc P_aTU44824150326_S	58.87	60.4	60.72	61.01
Junc P_aTU44824150326_E	51.52	53.05	53.37	53.66
Junc P_ATU1184045383_S_break	40.04	41.64	42.01	42.34
Junc P_ATU1184045383_E_break	40.06	41.66	42.03	42.36

Quadro 9 – Exemplo da Configuração dos Dados de Pressão Tratados

ID_Entidade	Pressão (m)			
	00:00	00:15	00:30	00:45
aTU41951150210	41.65	43.25	43.63	43.95
aTU44824150326	58.87	60.4	60.72	61.01
ATU1184045383	40.06	41.66	42.03	42.36

Quadro 10 – Exemplo da Configuração dos Dados de Caudal Não Tratados

ID_Entidade	Caudal (L/s)			
	00:00	01:00	02:00	03:00
Pipe P_ATU2061044427	0.98	0.76	0.64	0.58
Pipe P_ATU3420522941	0.04	0.03	0.03	0.02
Pipe P_ATU9100577192_break	0.02	0.01	0.01	0.02
Pipe P_ATU8590583208_1	0.04	0.03	0.02	0.02

Quadro 11 – Exemplo da Configuração dos Dados de Caudal Tratados

ID_Entidade	Caudal (L/s)			
	00:00	01:00	02:00	03:00
ATU2061044427	0.98	0.76	0.64	0.58
ATU3420522941	0.04	0.03	0.03	0.02
ATU9100577192	0.02	0.01	0.01	0.02
ATU8590583208	0.04	0.03	0.02	0.02

4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA - ROTURAS

Após análise e tratamento dos dados de forma individual, o passo seguinte consistiu no estudo e correlação entre as diferentes fontes de informação. Mais concretamente, dado o tema do presente trabalho, procedeu-se à avaliação das relações de interdependência entre histórico de roturas e as diferentes variáveis já enunciadas, com o objetivo de compreender os fatores mais favoráveis à ocorrência de roturas em condutas de abastecimento. Neste sentido, uma série de soluções gráficas e intuitivas foram desenvolvidas.

Para além disso, dada a complexidade e quantidade de informação, este ponto teve também como objetivo a reanálise dos dados, de forma a diagnosticar eventuais erros não perceptíveis até então.

4.4.1. MATERIAL

Após a interligação das bases de dados, procedeu-se à distribuição temporal das roturas pelos diferentes materiais do SAA (Quadro 12). Neste caso, ao contrário das análises anteriores, todo o *CicloVida* da rede foi considerado, na eventualidade do histórico das condutas ser representativo das roturas ocorridas durante os 5 anos em estudo (2013 a 2018). Assim, as condutas do SAA em observação resumem-se aos ciclos “Em Serviço”, “Desativado” ou “Fora de Serviço”.

Quadro 12 – Distribuição Anual das Roturas por Material (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Material	Nº de Roturas						Comprimento
	2013	2014	2015	2016	2017	Total	Total (m)
AC	8	14	10	8	15	55	18 709
FC	101	123	90	81	135	530	90 656
FF	67	64	68	57	64	320	111 590
FFD	13	19	5	7	4	48	72 987
FG	20	13	13	17	14	77	11 129
NC	27	11	5	10	10	63	12 382
PEAD	287	312	342	394	408	1743	574 404
PRV	0	0	2	0	0	2	980
PVC	1	0	2	2	3	8	2 887
Total	524	556	537	576	653	2846	895 725

Deste modo, constatou-se que a média anual rondava as 570 roturas, sendo que grande parte destas ocorria nos materiais mais utilizados do SAA. Por conseguinte, de modo a comparar os materiais de forma normalizada, optou-se por determinar um indicador para cada, que se denominou de *Taxa de Rotura* (TR), assim como a respetiva representatividade na rede, de forma a avaliar a preponderância do material em todo o sistema. Assim, ambos se traduziram no Quadro 13 e na Figura 38.

Quadro 13 – Taxa de Rotura por Material (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Material	Taxa de Rotura (Nº Rot/km/ano)	Representatividade na Rede (Comp. Material / Comp. Total)
AC	0.59	2%
FC	1.17	10%
FF	0.57	13%
FFD	0.14	8%
FG	1.27	1%
NC	1.14	1%
PEAD	0.56	64%
PRV	0.41	0%
PVC	0.77	0%

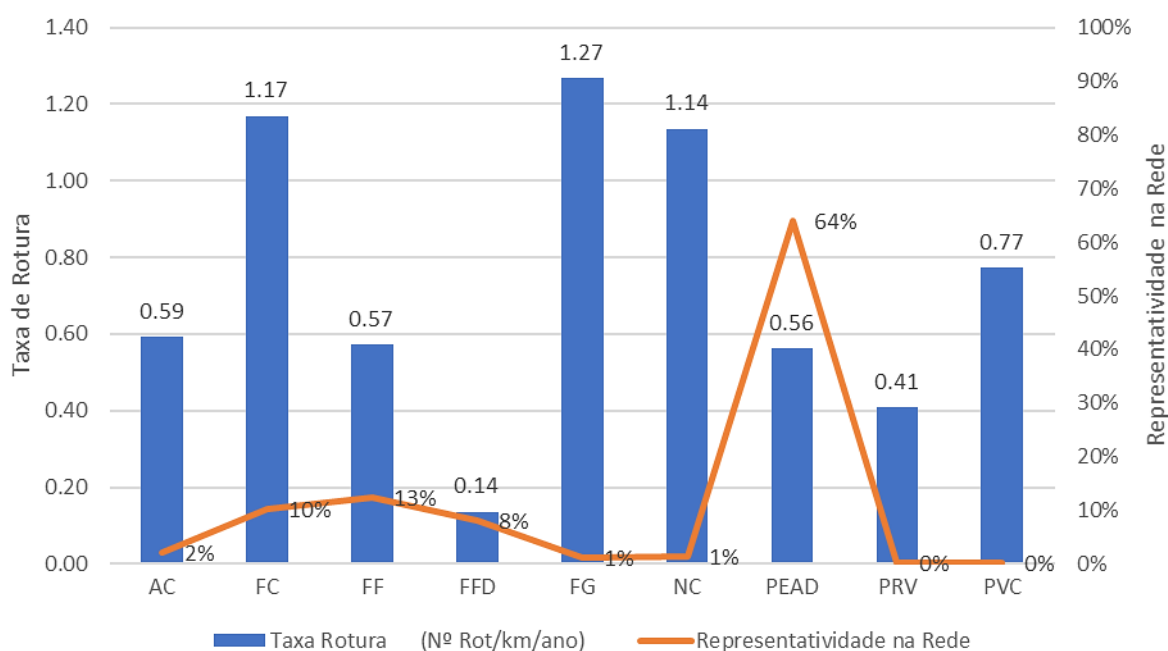


Figura 38 – Taxa de Rotura por Material (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Graficamente, evidenciou-se um comportamento distinto para cada material, onde se destacaram negativamente o FG, o FC e, curiosamente, o NC, com as *Taxas de Rotura* mais elevadas

(1.17 Roturas/Km/Ano, 1.27 Roturas/Km/Ano e 1.14 Roturas/Km/Ano, respetivamente). Por outro lado, o FFD apresentou-se como o material com menor TR (0.14 Roturas/Km/Ano).

Contudo, esta mesma análise não exclui a representatividade dos materiais na rede, pelo que a fiabilidade do valor da TR considerou-se tanto maior, quanto maior a representatividade do material demonstrada.

4.4.2. DÉCADA DE CONSTRUÇÃO

À semelhança do ponto anterior, procedeu-se à distribuição temporal das roturas por década de construção, considerando todos os ciclos de vida da rede: “Em Serviço”, “Desativado” e “Fora de Serviço”. Adicionalmente, tendo por base o estudo realizado em 4.3.1.3., sobre a “Idade”, optou-se por desconsiderar as décadas de 1890 até 1950, dado a sua insignificância na rede (Quadro 14).

Quadro 14 – Distribuição das Roturas por Década de Construção (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Década de Construção	Nº de Roturas	Comprimento Total (m)
1950	388	131 379
1960	0	1 254
1970	571	100 202
1980	9	3 956
1990	961	256 666
2000	548	196 681
2010	69	147 131
NC	161	54 771

Ao contrário da TR por Material, a distribuição das roturas por década de construção não apresentou um comportamento homogéneo. Logicamente, tal como referido em 4.3.1.3., as inconsistências evidenciadas na distribuição dos dados mostraram-se como a principal causa para a forte heterogeneidade e não linearidade na distribuição e evolução das taxas de rotura, pelo que a fiabilidade desta análise se colocou, de igual forma, em causa. Por conseguinte, com o objetivo de analisar essa evolução, transpuseram-se os dados segundo indicadores, resultando no Quadro 15 e na Figura 39.

Quadro 15 – Taxa de Rotura por Década de Construção

Década de Construção	Taxa de Rotura (Nº Rot/km/ano)	Representatividade na Rede (Comp. Década / Comp. Total)
1950	0.59	15%
1960	0.00	0%
1970	1.14	11%
1980	0.45	0%
1990	0.75	29%
2000	0.56	22%
2010	0.09	16%
NC	0.59	6%

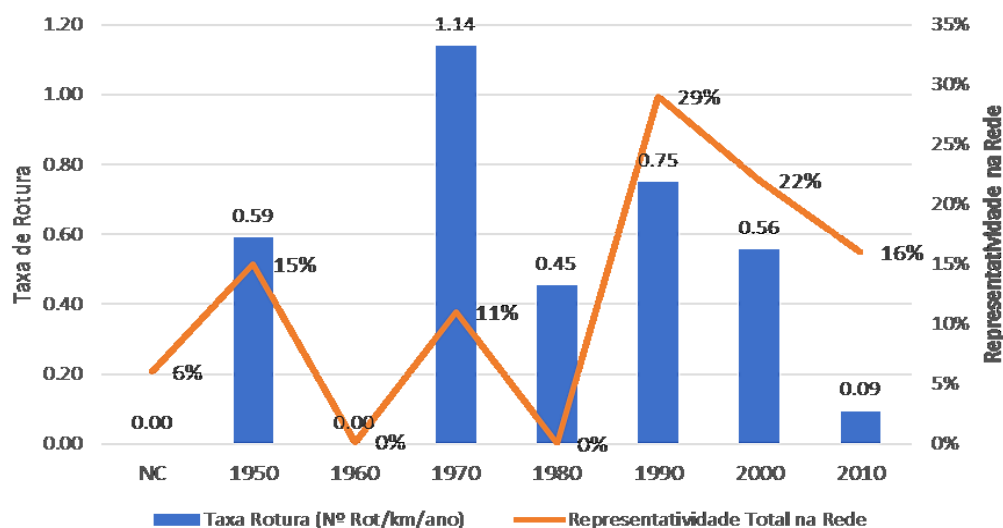


Figura 39 – Taxa de Rotura por Década de Construção

Em suma, para cada década de construção afigurou-se uma taxa de rotura distinta, que evidenciou alguns comportamentos lineares. De facto, atendendo às décadas de 1990, 2000 e 2010, registou-se um decréscimo gradual da TR, que se coaduna com uma evolução expectável segundo vários autores, ou seja, quanto menor a idade da rede, menor também a respetiva TR. Em oposição, constatou-se que as restantes décadas não seguiam esse comportamento, acrescendo ainda as inconsistências já mencionadas em 4.3.1.3., que nos indicaram irregularidades na distribuição temporal da rede. Para além disso, na década de 1950, apesar da representatividade existente, constatou-se uma TR equivalente à da década de 2000, o que demonstra incoerência no resultado atingido.

De forma mais exaustiva, optou-se por analisar graficamente a TR por década de construção para cada material do SAA, com o objetivo de extrapolar padrões comportamentais para cada um destes, e, eventualmente, proceder à identificação de materiais que apresentem inconsistências na distribuição dos dados (Anexo B), onde se destacaram o FFD (Figura 40) e o PEAD (Figura 41).

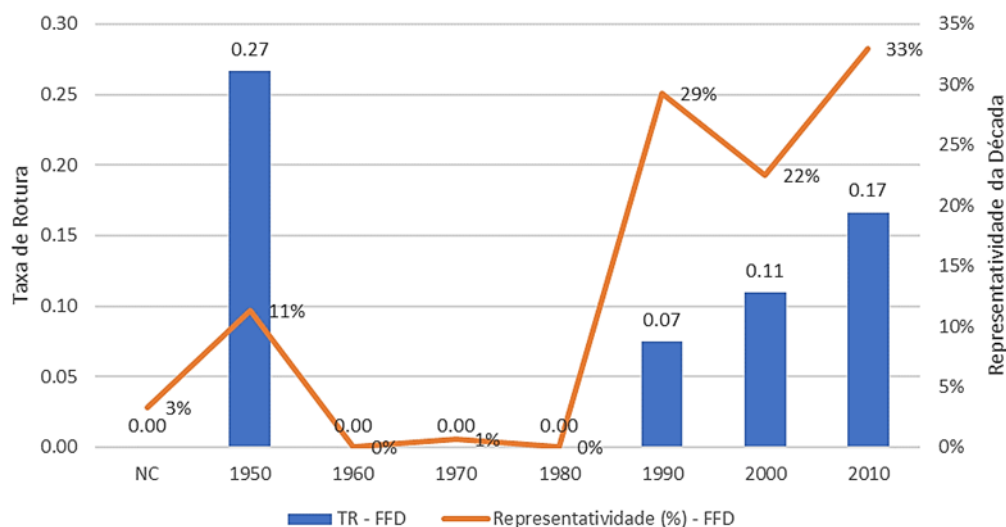


Figura 40 – Taxa de Rotura por Década de Construção (FFD)

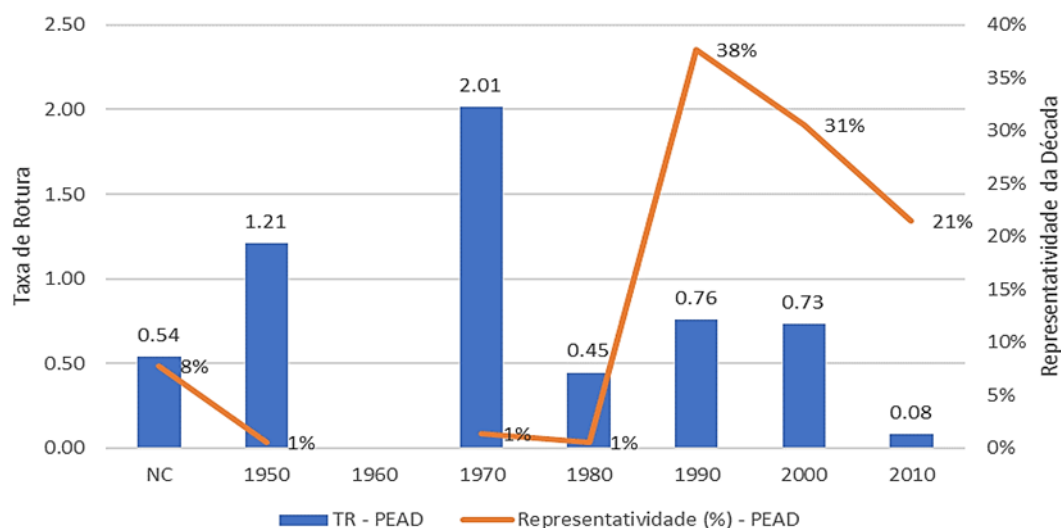


Figura 41 – Taxa de Rotura por Década de Construção (PEAD)

De facto, da análise das oito figuras constatou-se uma grande variabilidade no comportamento de cada material, nomeadamente no FFD e PEAD, que apresentam comportamentos distintos. Assim, concluiu-se que a relação entre a TR e a década de construção não é clara face aos dados analisados, contrariando assim a pesquisa bibliográfica em ambas as teorias apresentadas. Neste sentido, suspeita-se que a razão do problema poderá residir nas inconsistências referidas no ponto 4.3.1.3., pelo que a fiabilidade dos dados não é, uma vez mais, verificada.

4.4.3. DIÂMETRO NOMINAL

À semelhança dos pontos anteriores, procedeu-se à distribuição das roturas pelos diâmetros nominais, considerando todos os ciclos de vida da rede: “Em Serviço”, “Desativado” e “Fora de Serviço”. Contudo,

dada a elevada variabilidade de diâmetros, optou-se por definir classes agregadoras para a organização dos dados, e cálculo dos respetivos indicadores, onde se desconsideraram todas as condutas sem DN (Quadro 16).

Quadro 16 – Distribuição das Roturas por Classe DN (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Classe DN	Nº de Roturas	Comprimento Total (m)
[15,65]	251	35 892
]65,100[	771	102 518
[100,110]	1351	452 573
]110,160]	288	130 330
]160,300]	157	105 396
]300,500]	21	48 212
]500,1200]	6	19 088

Da análise ao quadro anterior, constatou-se uma predominância de roturas nas condutas de classe DN [100, 110] e DN]65, 100[. No entanto, dado a grande variabilidade dos comprimentos totais para cada categoria, implicou que o número de roturas não fosse comparável entre si. Com efeito, procedeu-se à análise da TR por classe, considerando o ponto médio de cada intervalo, onde se extrapolou uma linha de tendência (Quadro 17 e Figura 42).

Quadro 17 – Taxa de Rotura por Classe DN

Classe DN	Ponto Médio da Classe DN ³¹	Taxa de Rotura (Nº Rot/km/ano)	Representatividade na Rede (Comp. Classe / Comp. Total)
[15,65]	40	1.399	4%
]65,100[	82.5	1.504	11%
[100,110]	105	0.597	51%
]110,160]	135	0.442	15%
]160,300]	230	0.298	12%
]300,500]	400	0.087	5%
]500,1200]	850	0.063	2%

³¹ Ponto médio dos limites de cada Classe DN.

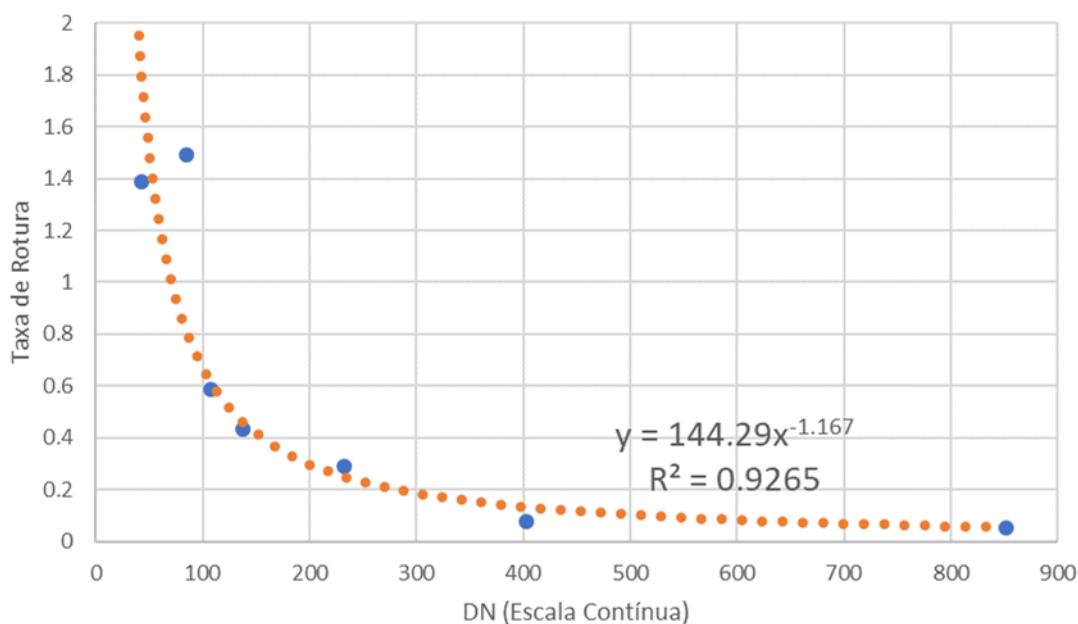


Figura 42 – Taxa de Rotura por DN

De facto, da análise da linha de tendência, constatou-se uma relação inversa entre o diâmetro e a TR, tal como enunciado por diversos autores e explicado em 2.2.2., evidenciando-se uma relação de potência com um coeficiente de determinação muito próximo da unidade ($R^2=0.9265$).

4.4.4. ZONA DE MEDIÇÃO E CONTROLO

Com o objetivo de estudar o comportamento das roturas nas diferentes ZMC da AdP, procedeu-se à distribuição temporal das roturas pelas diferentes zonas do SAA. À semelhança dos pontos anteriores, todo o *CicloVida* da rede foi considerado, na eventualidade do histórico das condutas ser representativo das roturas ocorridas durante os 5 anos em estudo (2013 a 2018). Assim, sintetizou-se todos os dados no Quadro 18.

Quadro 18 – Distribuição Anual das Roturas por ZMC (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)

ZMC	Nº de Roturas						Comprimento
	2013	2014	2015	2016	2017	Total	Total (Km)
AEP	11	6	9	14	15	55	27.5
Amial Matosinhos	0	1	1	3	2	7	1.3
Amial Porto	58	45	64	39	63	269	54.9
Castanheira	45	31	32	33	26	167	60.2
Congregados Alta	77	68	50	70	65	330	86.0
Congregados Superior	26	18	11	18	24	97	37.8

Fonte da Moura	147	102	103	107	94	553	110.8
Hospital de São João	11	13	15	7	4	50	18.3
Inferior-1	19	9	16	8	16	68	29.5
Inferior-2	5	14	9	10	16	54	10.1
IPO	0	3	1	1	0	5	2.8
Monte dos Burgos	38	23	18	25	23	127	47.5
Média Central	96	96	104	105	107	508	135.1
Média Oriental	37	26	31	14	18	126	47.2
Pasteleira	7	7	11	8	18	51	56.4
Preciosa Mar-Sul	16	16	7	13	5	57	19.2
Preciosa Mar-Aldoar	4	7	14	9	6	40	6.8
Pedrouços Antas	14	10	15	19	18	76	34.6
Carvalhido	23	17	30	51	20	141	61.1
Pedrouços Costa Cabral	5	12	17	18	13	65	48.6
Total	653	537	576	556	524	2846	895.7

Pela análise do Quadro 18, constatou-se um erro no número total de roturas. Na verdade, este mesmo problema tinha-se evidenciado em 4.4.1., não sendo detetado nem corrigido. Ora, antes da interligação das bases de dados principais, o número total de roturas era de 2 808, pelo que se identificou uma diferença de 38 roturas. Assim, de forma a diagnosticar a razão deste problema, procedeu-se à análise individual das roturas por conduta, de onde se obteve o Quadro 19 com os 5 *ID_Entidade* com maior número de ocorrências.

Quadro 19 – Distribuição das Roturas por ID_Entidade (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado)

ID_Entidade	Nº de Roturas
ATU2855127250	57
ATU8354500058	28
ATU6813288753	26
aTU61609160316	17
ATU7036997507	15

Com efeito, nenhuma dedução direta se retirou desta análise, embora tenha sido constatado uma série de condutas em PEAD com um número anormal de roturas. Desta forma, procedeu-se a uma investigação deste conjunto com o objetivo de compreender as causas destas ocorrências, onde se desenvolveu um mapa com a distribuição das roturas, e se inquiriu internamente, zona a zona, a razão para a concentração deste fenómeno.

Como resultado, à exceção de algumas condutas em que este acontecimento se considerou natural, registaram-se duas zonas associadas a duas empreitadas, onde o material instalado se revelou deficitário, e, por isso, causador de tantas roturas (Figura 43). Por conseguinte, todas as condutas da Rua da Vilarinha e da Travessa de Passos foram assinaladas com o atributo *Material Defeituoso*, de forma a que futuras análises deste trabalho tenham a capacidade de filtrar este problema.

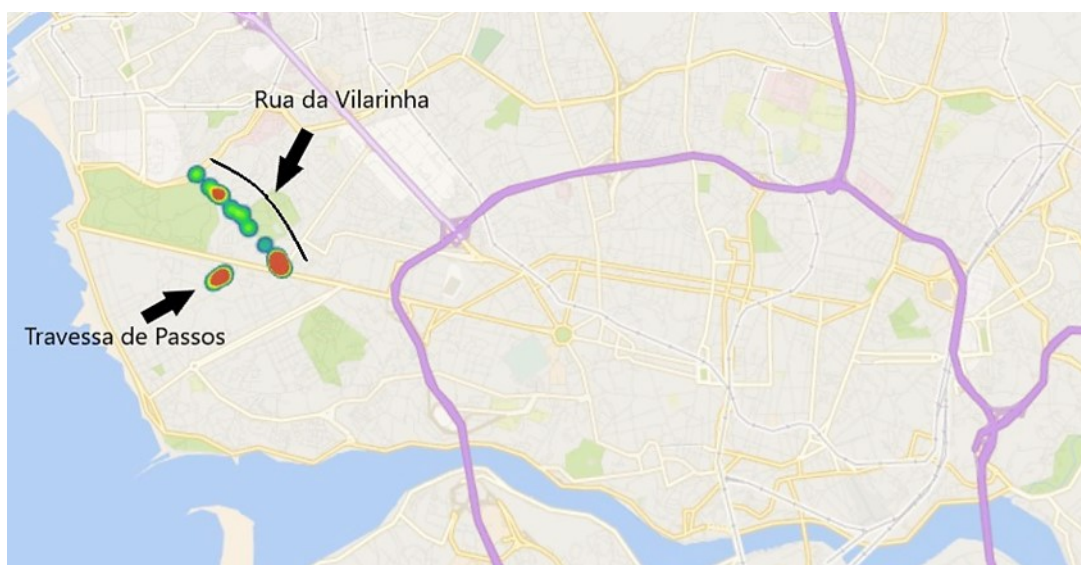


Figura 43 – Mapa de Roturas | Material Defeituoso

Ora, não tendo sido encontrada a razão do problema, seguiu-se uma análise à base de dados do SAA, onde, efetivamente, se constatou um erro no SIG, mais especificamente na utilização repetida dos *ID_Entidade*, tal como indicado no Quadro 20 das 5 condutas com mais repetições.

Quadro 20 – Repetição de *ID_Entidade* (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)

ID_Entidade	Nº de Repetições
aTU85348170518	9
ATU7384101592	9
ATU3018590377	8
ATU3694170788	5
ATU4271445850	4

Como explicado anteriormente, este atributo definia-se como elemento diferenciador, através da função de código único para cada conduta, pelo que a sua repetição se evidenciou na duplicação de dados.

Por conseguinte, constatou-se que 94 *ID_Entidade* apresentavam repetições na base de dados, totalizando ao todo 226 condutas. Deste modo, procedeu-se à correção interna do SIG da AdP, assim como o diagnóstico e retificação do processo que, até então, suscitava a ocorrência deste erro.

Após as correções, procedeu-se novamente à distribuição anual de roturas por ZMC, seguindo-se o cálculo (Quadro 21) e a distribuição gráfica (Figura 44) do indicador da TR.

Quadro 21 – Taxa de Rotura por ZMC

ZMC	Taxa de Rotura (Nº Rot/km/ano)
AEP	0.40
Amial Matosinhos	1.11
Amial Porto	1.04
Castanheira	0.58
Congregados Alta	0.74
Congregados Superior	0.50
Fonte da Moura	0.96
Hospital de São João	0.56
Inferior-1	0.46
Inferior-2	1.27
IPO	0.35
Monte dos Burgos	0.54
Média Central	0.76
Média Oriental	0.53
Pasteleira	0.18
Preciosa Mar-Sul	0.60
Preciosa Mar-Aldoar	1.25
Pedrouços Antas	0.44
Carvalhido	0.46
Pedrouços Costa Cabral	0.27

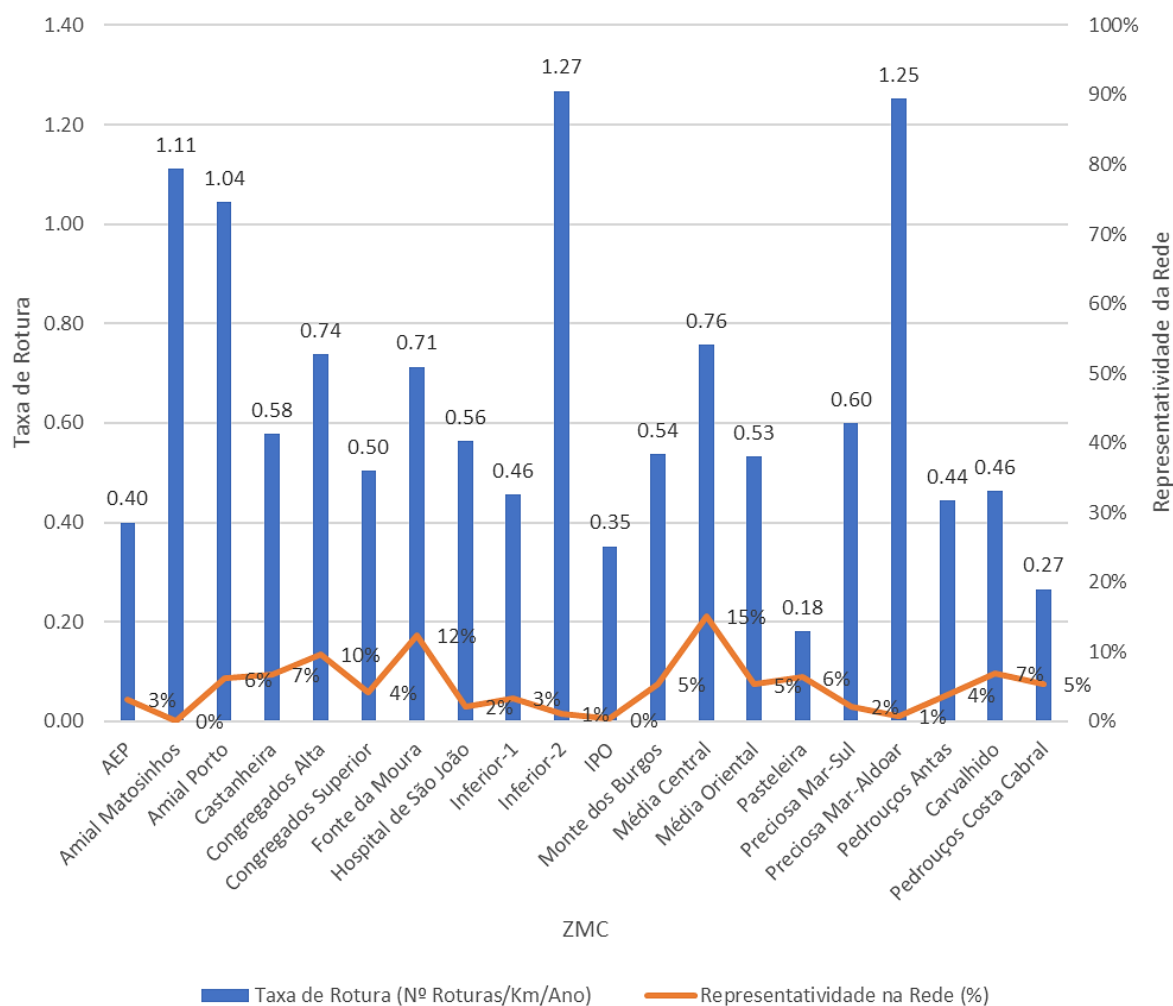


Figura 44 – Taxa de Rotura por ZMC

Da análise dos dados, embora com pouca representatividade, as ZMC Inferior-2 (1.27 Roturas/Km/Ano), Preciosa Mar-Aldoar (1.25 Roturas/Km/Ano), Amial Matosinhos (1.11 Roturas/Km/Ano) e Amial Porto (1.04 Roturas/Km/Ano) apresentaram as TR mais elevadas e preocupantes em todo o SAA. Contrariamente, as ZMC Pasteleira (0.18 Roturas/Km/Ano), Pedrouços Costa Cabral (0.27 Roturas/Km/Ano) e IPO (0.35 Roturas/Km/Ano) evidenciaram-se como as zonas de menor números de roturas por metro de comprimento.

Com efeito, este indicador mostrou-se representativo da eficiência da ZMC, e eventualmente comparável com outros indicadores, nomeadamente o Índice de Valor da Infraestrutura (IVI) por ZMC, o Índice de Nº de Reclamações por ZMC ou até a percentagem de ANF por ZMC.

4.4.5. TEMPERATURA

Sendo objetivo deste trabalho a correlação de fatores externos à ocorrência de roturas, procedeu-se à combinação do histórico de ocorrências, com os dados meteorológicos da CMP. O primeiro passo, tendo por base a pesquisa bibliográfica, consistiu na distribuição mensal de roturas, para os 5 anos de dados, na tentativa de comprovar um comportamento sazonal (Figura 45).

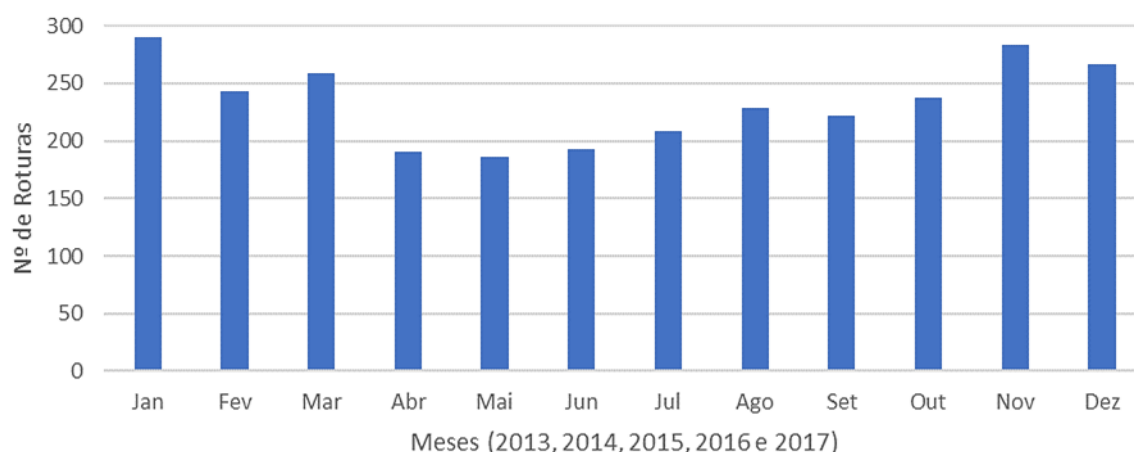


Figura 45 – Distribuição Mensal de Roturas

Com efeito, da análise da Figura 45 constatou-se uma predominância de roturas nos meses de Inverno, face aos meses de Verão, comprovando assim o efeito da sazonalidade referido previamente, e uma tendência para a ocorrência de mais roturas nos meses de temperaturas mais frias.

Seguidamente, com o intuito de estudar eventuais relações entre a temperatura mínima e o histórico de roturas, executou-se a distribuição, mensal e diária, das ocorrências e temperatura ao longo dos 5 anos de dados, resultando na Figura 46 e Figura 47.

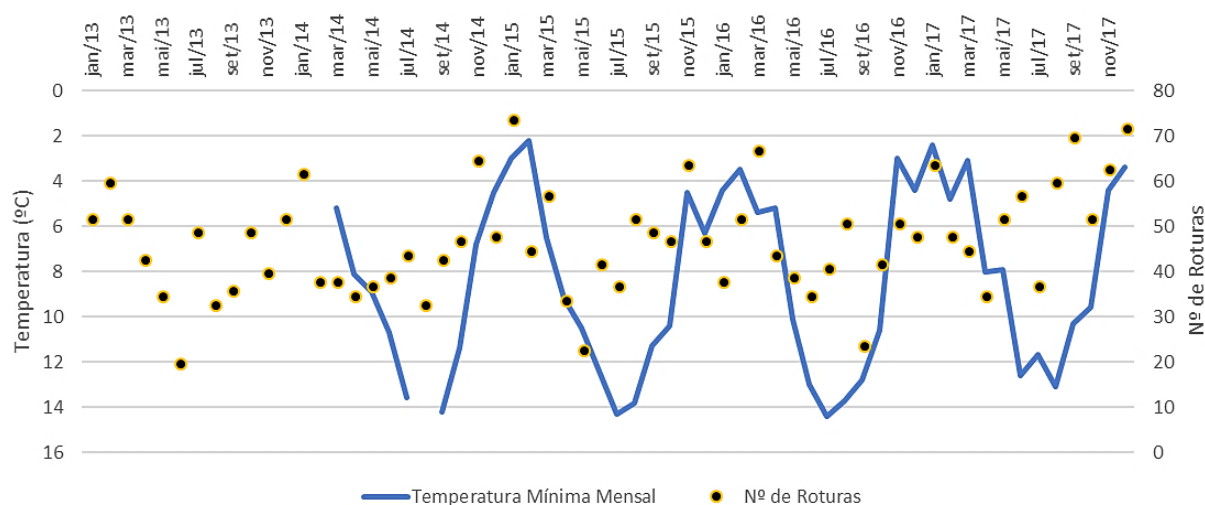


Figura 46 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura Mínima

Da análise da Figura 46 constatou-se algumas similaridades entre a temperatura mínima e a ocorrência de roturas. De facto, estas evidenciaram-se predominantemente em duas fases: nas descidas prolongadas de temperatura, e nos picos de temperatura mínima. A título de exemplo, atendendo aos meses de setembro a janeiro de 2014, 2015 e 2017, evidenciou-se uma descida da temperatura acompanhada com um aumento análogo do número mensal de roturas. Visualmente, a variação sazonal de temperatura tende a acompanhar o ritmo de ocorrência de roturas, particularmente na transição dos meses quentes para os meses frios.

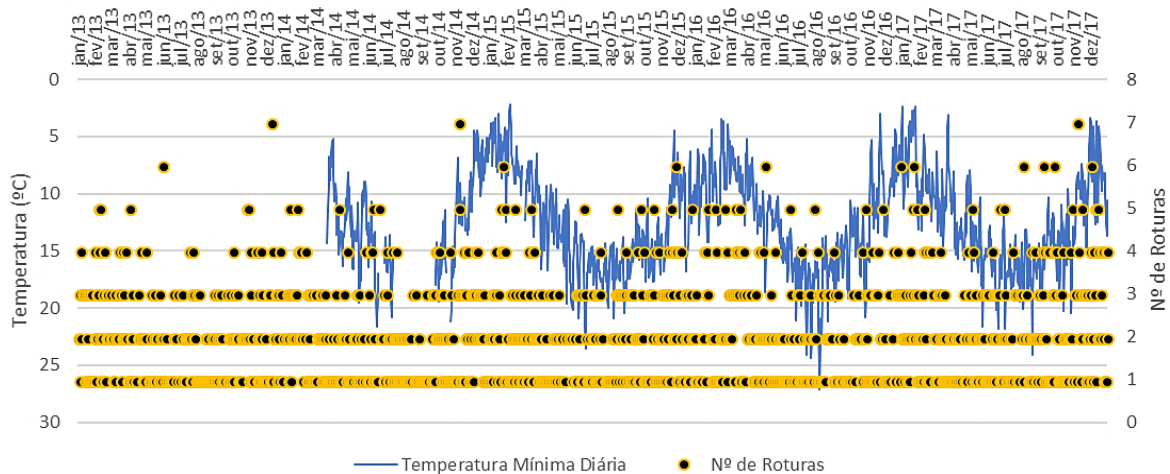


Figura 47 – Distribuição Diária das Roturas Vs Temperatura Mínima

Contudo, apesar das similaridades enunciadas, a análise gráfica dos valores diários não permitiu essa constatação de forma clara. Após reflexão e estudo dos dados, concluiu-se que o tipo de gráfico não permitia a comparação visual da distribuição, para além de que o “Nº de Roturas” correspondia à data de intervenção, e não há data de ocorrência da rotura, pelo que um intervalo de tempo entre estes mostrou-se relevante na fiabilidade desta representação. Deste modo, na tentativa de minimizar estes erros, procedeu-se a uma distribuição gráfica semanal (Figura 48).

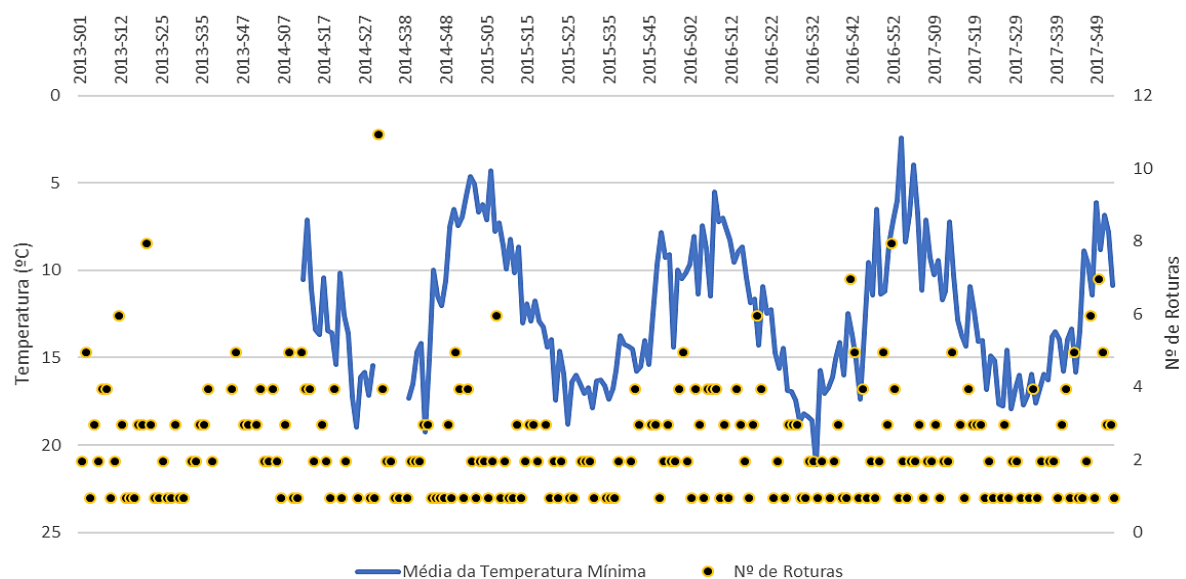


Figura 48 – Distribuição Semanal das Roturas Vs Temperatura Média Mínima

Ora, à semelhança da distribuição diária, a análise semanal da relação das roturas com a temperatura não mostrou um paralelismo gráfico significativo. Todavia, constatou-se que as dez semanas com mais roturas se sucederam em períodos onde a temperatura média mínima semanal foi inferior a 10°C, pelo que, uma vez mais, se verificou que as temperaturas mais frias são sinónimo de mais roturas.

Adicionalmente, procedeu-se à distribuição gráfica mensal de todos os materiais representativos do SAA (Anexo C), com o objetivo de verificar as constatações referidas, onde se destacaram a Figura 49, Figura 50 e Figura 51.

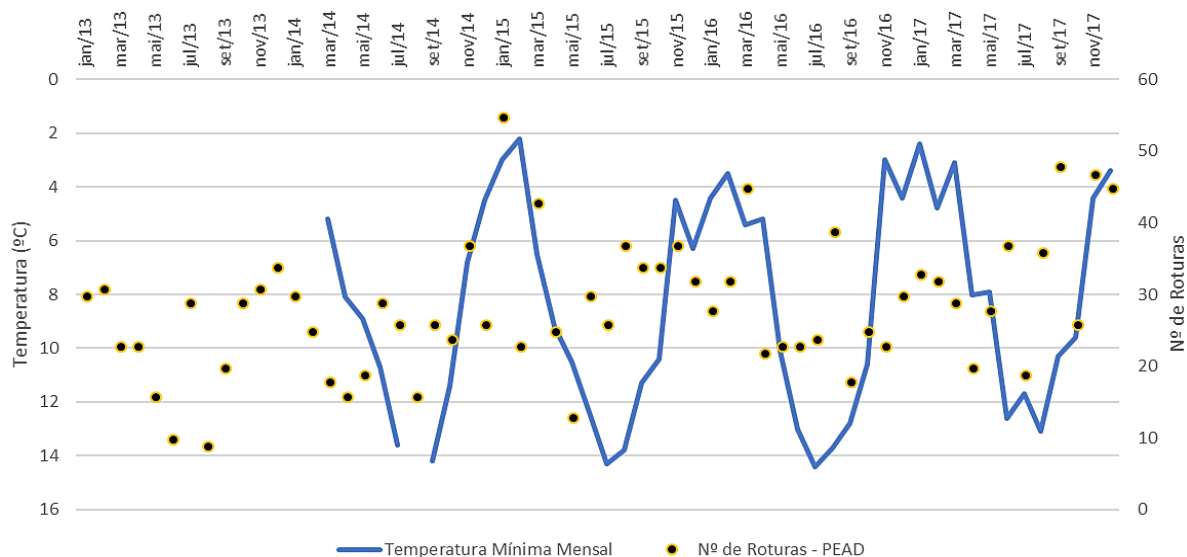


Figura 49 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (PEAD)

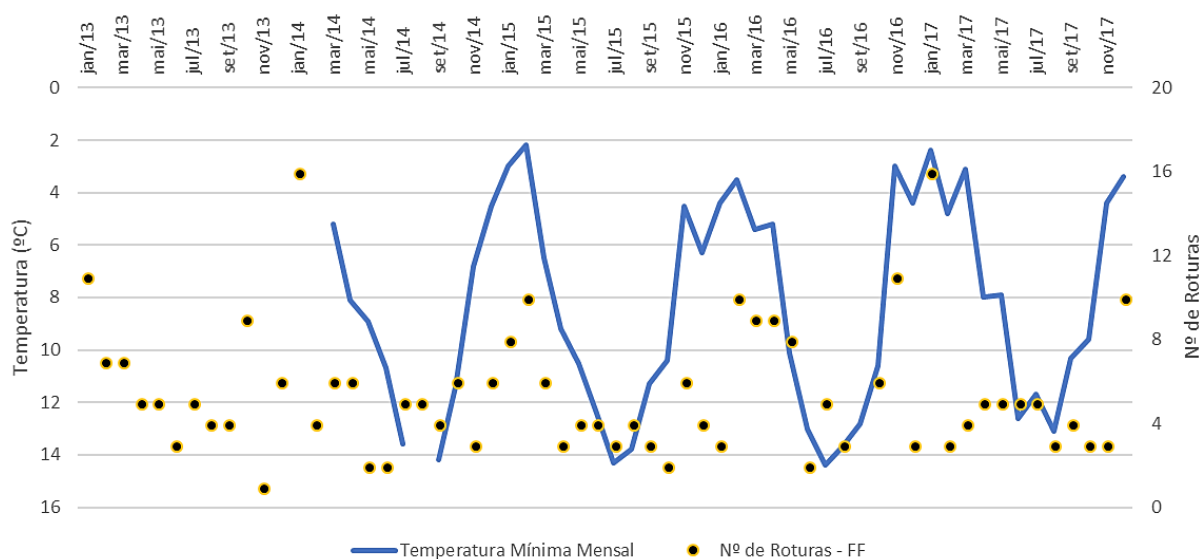


Figura 50 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FF)

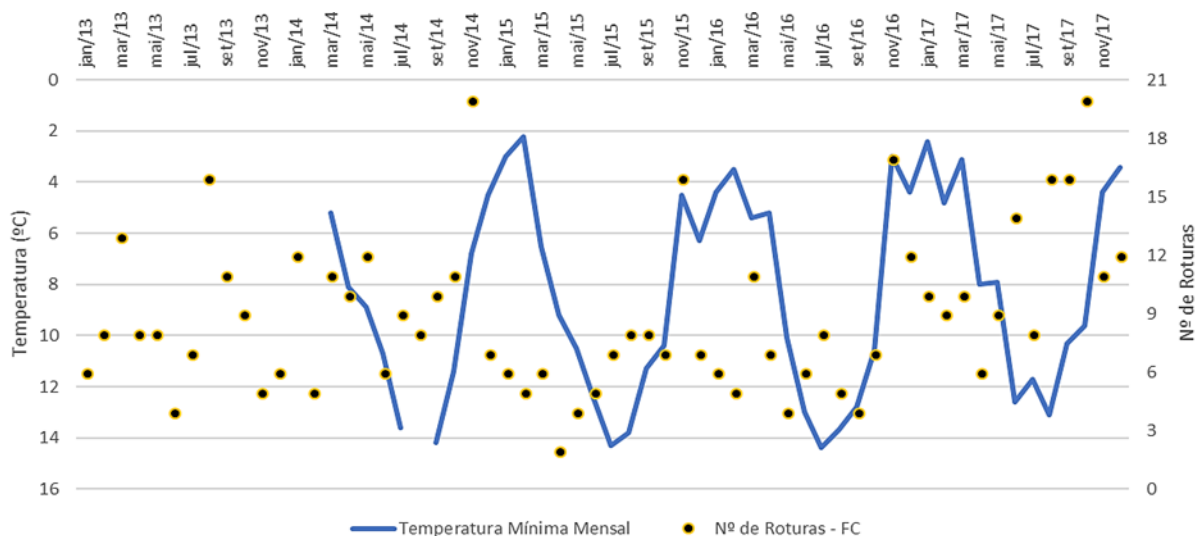


Figura 51 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FC)

Com efeito, após observação da Figura 49, Figura 50 e Figura 51 verificou-se que os factos apurados da análise geral se aplicaram aos materiais representados.

Por último, procedeu-se ao estudo de duas outras variáveis: a Amplitude da Temperatura Máxima³² (Figura 52) e a Temperatura Máxima (Figura 53), onde se optou pela distribuição gráfica mensal para a análise de possíveis relações.

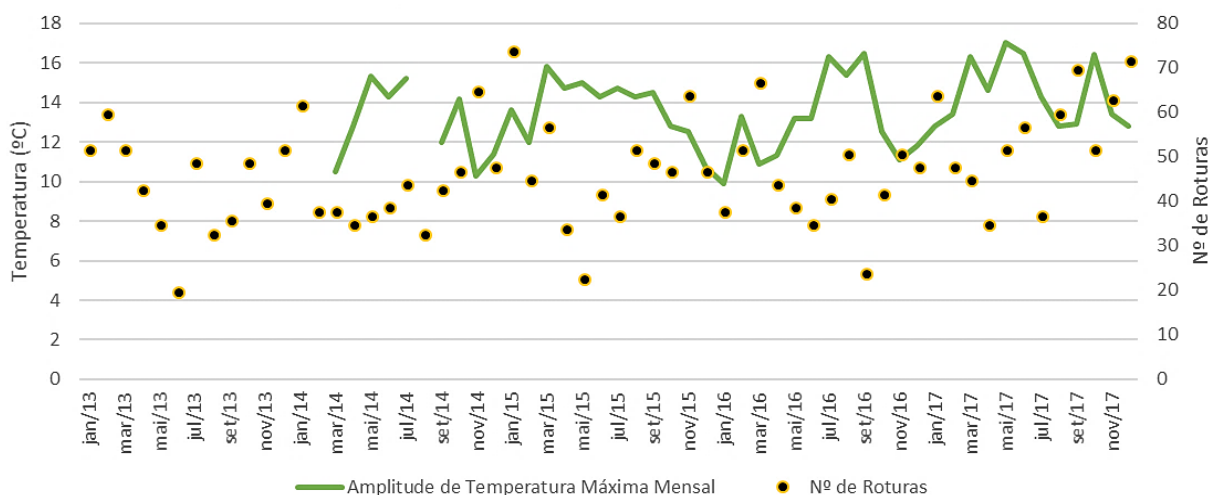


Figura 52 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Amplitude Máxima

³² Diferença de temperatura máxima mensal.

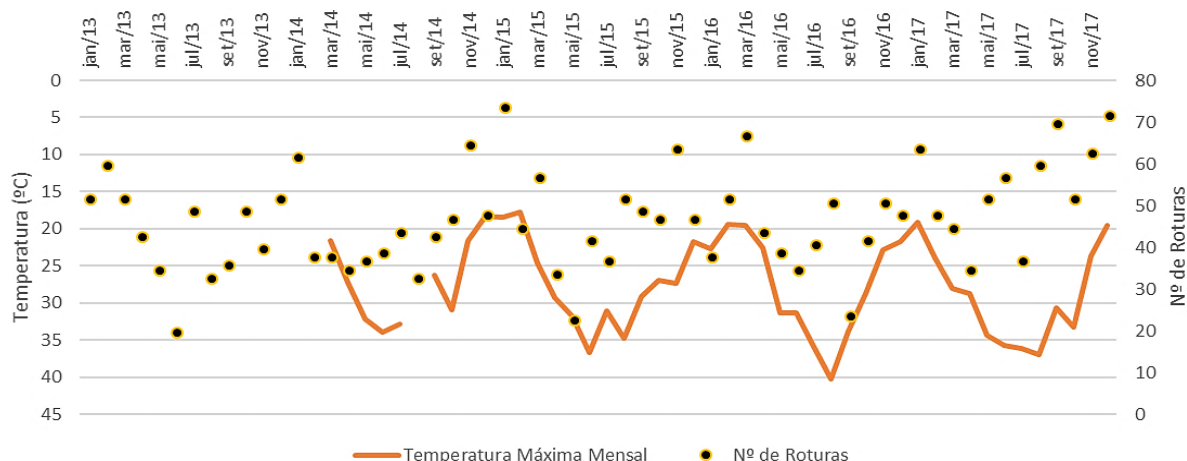


Figura 53 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura Máxima

Da análise dos gráficos, a Amplitude da Temperatura Máxima não apresentou nenhuma relação evidente, enquanto a Temperatura Máxima espelhou exatamente o oposto das conclusões demonstradas com a Temperatura Mínima, ou seja, o aumento da temperatura equiparou-se graficamente ao decréscimo do número de roturas, especialmente na transição dos meses frios para os meses quentes.

4.4.6. PRESSÃO

Com o objetivo de estudar a relação entre a pressão da rede de água e as roturas, procedeu-se à distribuição das ocorrências pelos valores máximos de pressão de um dia médio anual, para cada conduta do SAA. Ora, dada a grande variabilidade dos valores de pressão e de forma a agrupar possíveis tendências, optou-se por dividir a pressão por classes, resultando no Quadro 22.

Quadro 22 – Distribuição das Roturas por Intervalo de Pressão (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Intervalo de Pressão (m.c.a.)	Nº de Roturas	Comprimento Total (Km)
Sem correspondência	1007	324.1
<0	4	8.4
[0; 15[	1	1.4
[15; 25[	9	8.0
[25; 35[	144	67.3
[35; 45[	413	166.2
[45; 55[	528	166.0
[55; 65[	489	94.4
[65; 75[	170	42.5
[75; 100[	43	14.2
>=100	12	3.4

Deste modo, constatou-se que grande parte do SAA se enquadrava entre os 35 e os 75 metros coluna de água, onde igualmente se verificou o maior número de roturas. Adicionalmente, identificaram-se cerca de 8.5 km de extensão de rede com valores de pressão negativa, o que, naturalmente, se assumiu como um erro de modelação.

Para além disso, a distribuição dos dados aferiu uma fração significativa do sistema de abastecimento, onde a interligação com o modelo não foi exequível, perdendo-se aproximadamente 324 km de informação da rede e metade do histórico de roturas. Desta forma, através de inquérito interno, procurou-se compreender o processo de exportação do SIG para o programa de modelação numérica, que diagnosticou algumas limitações, especialmente no carregamento de condutas sobrepostas, que dividia o *ID_Entidade*, em vários, tal como constatado em 4.3.4. (ex. Pipe P_ATU9100577192_break), e, ainda, na criação implícita de novos *ID_Entidade* no programa de modelação, fruto da incompatibilidade no carregamento de condutas de elevado comprimento e com acessórios mal inseridos.

Contudo, dado que os modelos se encontravam em fase de desenvolvimento, optou-se somente por reportar os erros averiguados, e prosseguir com a análise das taxas de rotura por intervalo (Quadro 23 e Figura 54).³³

Quadro 23 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão

Intervalo de Pressão (m.c.a.)	Taxa de Rotura (Nº Rot/km/ano)	Representatividade na Rede (Comp. Intervalo / Comp. Total)
Sem correspondência	0.62	36%
<0	0.10	1%
[0; 15[	0.15	0%
[15; 25[	0.22	1%
[25; 35[	0.43	8%
[35; 45[	0.50	19%
[45; 55[	0.64	19%
[55; 65[	1.04	11%
[65; 75[	0.80	5%
[75; 100[	0.60	2%
>=100	0.71	0%

³³ Modelos numéricos não validados (Em desenvolvimento). Adicionalmente, pressupõe-se que estes foram desenvolvidos tendo por base o SIG referente a uma determinada data, que não se ajusta à data da base de dados do SAA em que se interligou a informação. Por conseguinte, não sendo muito relevante, a atualização de dados compreendida neste intervalo de tempo não será integrada.

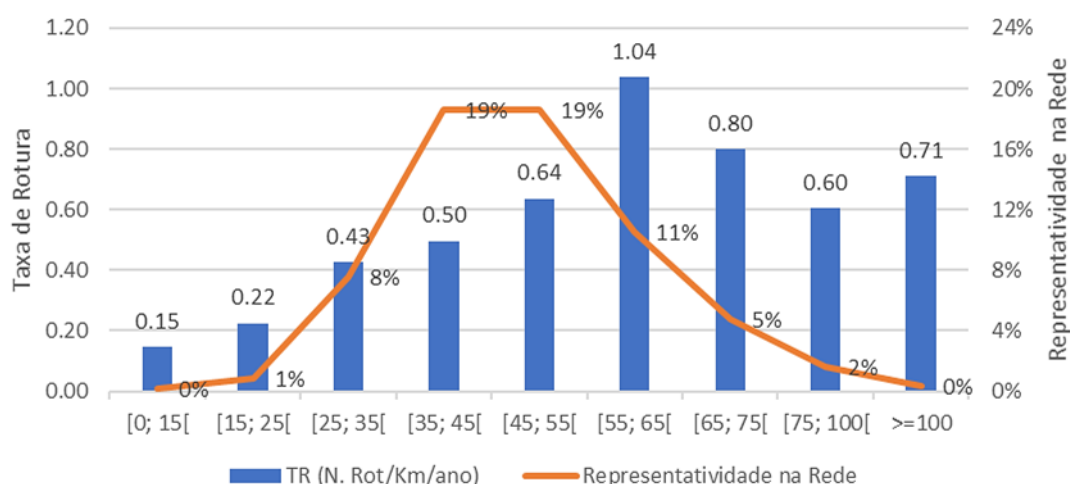


Figura 54 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão

Com efeito, nenhuma relação direta foi conclusiva, já que a taxa de rotura não verificou um comportamento monótono ao longo dos intervalos. No entanto, outros aspetos relevantes foram demonstrados pela análise gráfica.

De facto, a evolução da TR ao longo das classes apresentou um comportamento que se dividiu em 2 fases distintas, onde foram desprezados os intervalos com representatividade igual a 0%. Por um lado, do intervalo [15;25[à [55;65[verificou-se uma evolução crescente da TR, ou seja, o aumento de pressão na rede, evidenciou um crescimento análogo da TR. Por outro, do intervalo [55;65[à [75;100[constatou-se o comportamento contrário, com a TR a decrescer gradualmente, a par do aumento de pressão na rede.

Desta forma, mesmo sem a fiabilidade dos dados garantida, procurou-se compreender as razões que moldavam este comportamento, e que, inclusivamente, contrariava a linearidade enunciada por Hu *et al.* (2011). Assim, procedeu-se à distribuição gráfica da TR por Intervalos de Pressão para os três materiais mais representativos do SAA (Figura 55, Figura 56 e Figura 57).

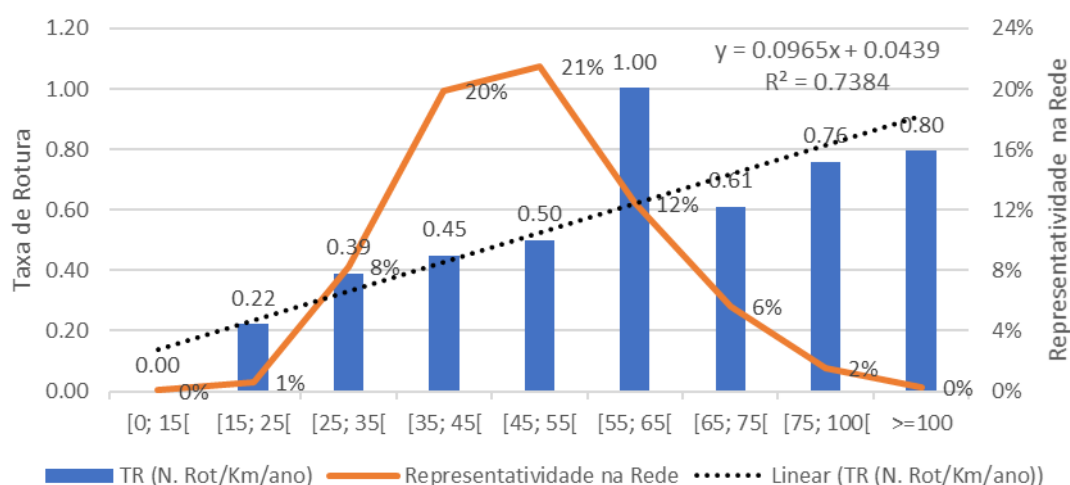


Figura 55 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão (PEAD)

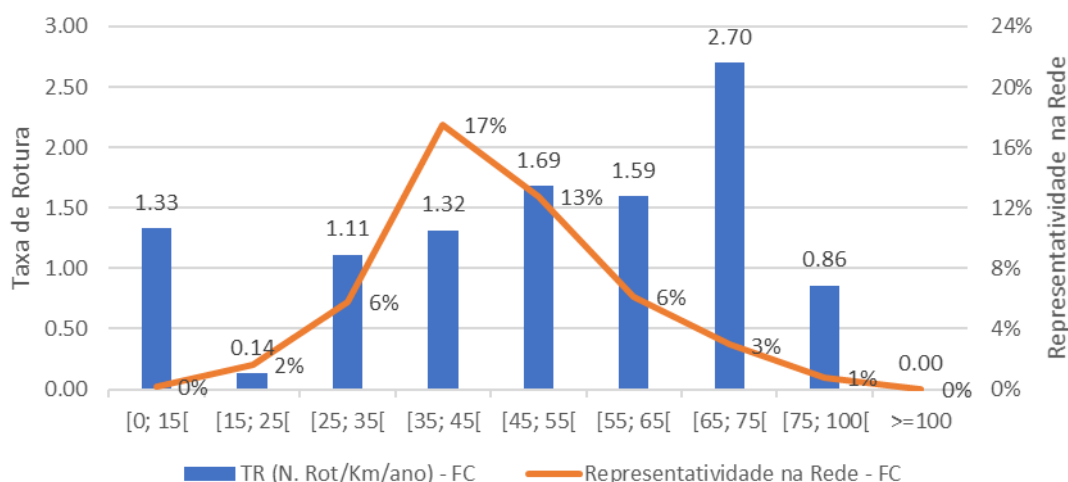


Figura 56 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão (FC)

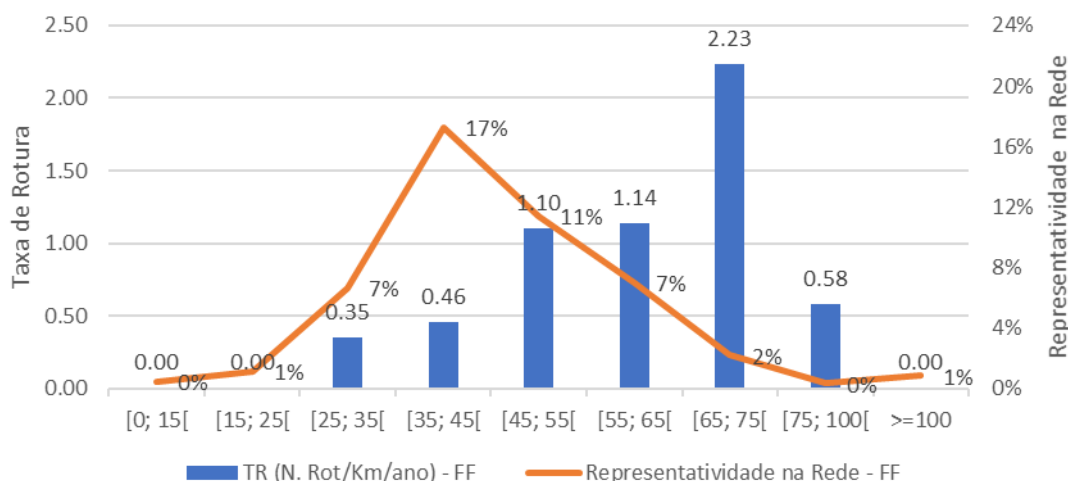


Figura 57 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão (FF)

Ora, após a análise da Figura 55, Figura 56 e Figura 57, desconsiderando os intervalos com uma representatividade residual na rede, constatou-se uma simplificação da evolução enunciada anteriormente. De facto, ao contrário das 2 fases identificadas para todo o SAA, no estudo por material o comportamento mostrou-se aparentemente monótono crescente, embora o FC e o FF não tenham evidenciado uma linearidade destacada.

No caso do PEAD, o mais representativo da rede, verificou-se uma linearidade quase perfeita, à exceção do intervalo de pressão [55;65[, onde se extrapolou uma relação linear com um coeficiente de determinação razoável ($R^2=0.7384$). Contudo, recordando os problemas referidos em 4.4.4. sobre as condutas em PEAD da Rua da Vilarinha e da Travessa de Passos, procedeu-se ao estudo de pressão nesses locais, com o objetivo identificar o intervalo em que estas zonas se enquadravam (Figura 58).

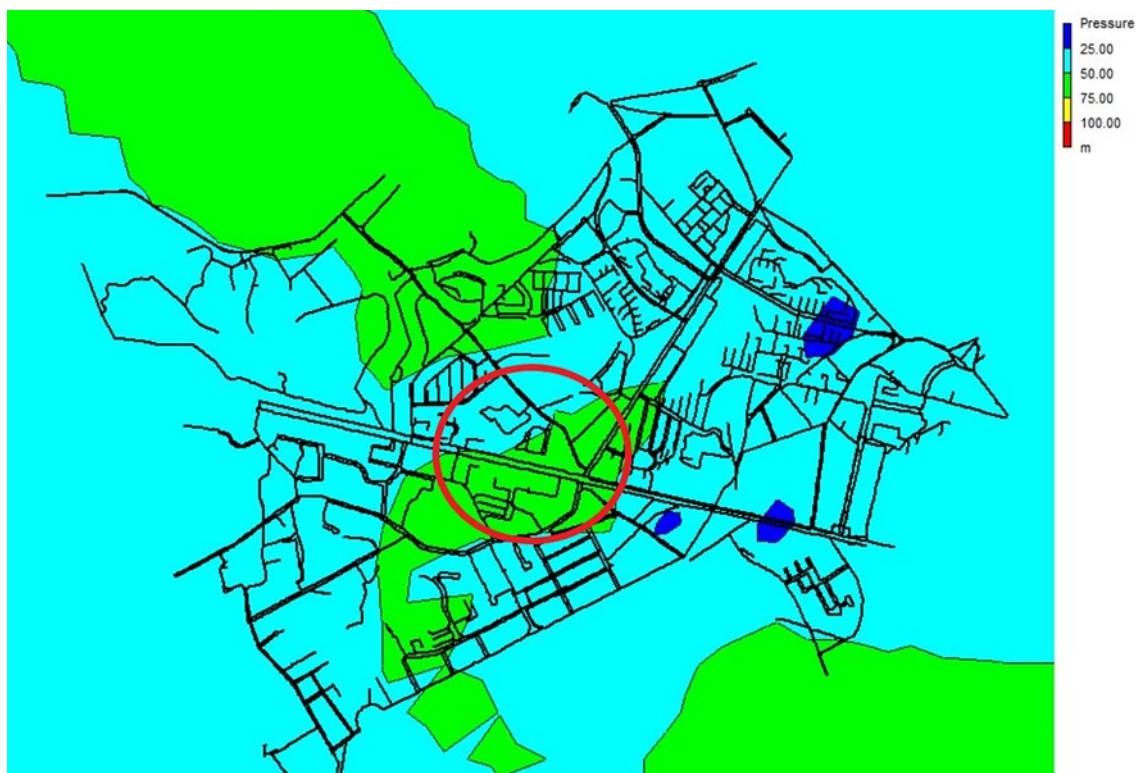


Figura 58 – Mapa de Cor | Pressão – ZMC Fonte da Moura

Com efeito, verificou-se que na zona referida os valores de pressão enquadravam-se entre os 50 e os 75 metros de coluna de água. Assim, procedeu-se a uma nova análise da TR por Intervalos de Pressão em PEAD, excluindo todas as condutas e roturas referentes à Rua da Vilarinha e Travessa de Passos (Figura 59).

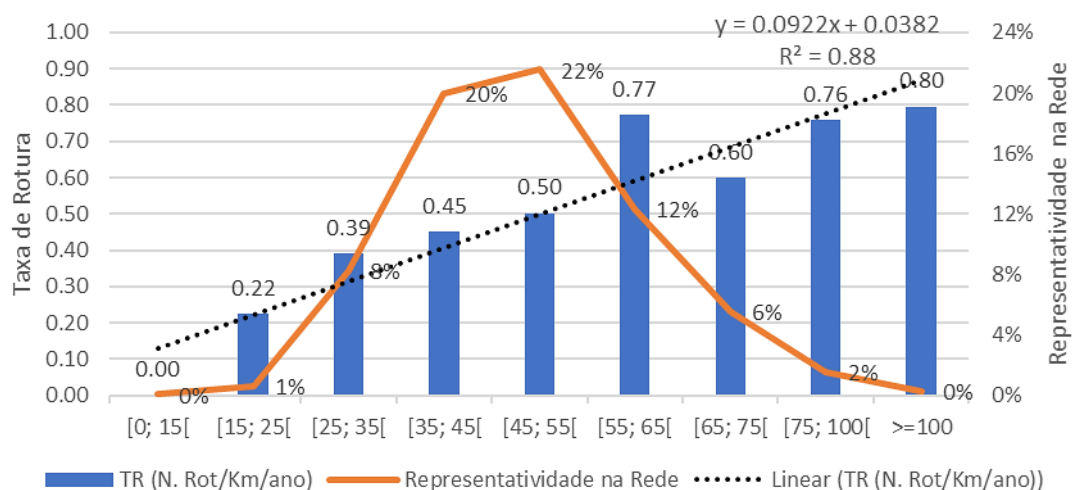


Figura 59 – Taxa de Rotura por Intervalo de Pressão (PEAD) | Excluindo R. da Vilarinha e Tv. de Passos

Desta forma, apesar da TR do intervalo de pressão [55;65[não ter sofrido uma redução que o colocasse entre a TR dos intervalos adjacentes, o ajuste linear apresentou um coeficiente de determinação ainda maior ($R^2=0.88$), o que confirma o enviesamento causado pelo comportamento das zonas referidas. Assim, foi possível concluir uma relação linear entre o aumento de pressão e a respetiva TR por material, particularmente para o PEAD.

Por outro lado, dando continuidade ao estudo entre a pressão da rede de água e as roturas, procedeu-se à distribuição das ocorrências pelos valores da variação de pressão máxima de um dia médio anual, para cada conduta. De igual forma, dada a elevada variabilidade dos dados, optou-se por segmentar a variação de pressão por intervalos, resultando no Quadro 24.

Quadro 24 – Distribuição das Roturas por Intervalo de Variação de Pressão (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Intervalo de Variação de Pressão (m.c.a.)	Nº de Roturas	Comprimento Total (Km)
Sem correspondência	977	324.1
[0; 5[	453	146.2
[5; 10[	807	208.7
[10; 15[	322	127.4
[15; 20[	153	47.8
[20; 25[	60	22.7
[25; 30[	8	7.2
[30; 35[	6	3.2
[35; 40[	0	1.0
≥ 40	4	7.7

Por conseguinte, constatou-se que grande parte do sistema apresentava uma variação máxima diária inferior a 15 metros de coluna de água, e que o número de roturas era tanto maior quanto maior fosse o comprimento total do intervalo. Da mesma maneira, tal como explicado anteriormente, cerca de 324 km da rede não obtiveram qualquer correspondência entre os dados de pressão e o SAA.

Assim, prosseguiu-se com a análise das taxas de rotura por intervalo, de onde resultaram os elementos seguintes (Quadro 25 e Figura 60).

Quadro 25 – Taxa de Rotura por Intervalo de Variação de Pressão

Intervalo de Variação de Pressão (m.c.a.)	Taxa de Rotura (Nº Rot/km/ano)	Representatividade na Rede (Comp. Intervalo / Comp. Total)
Sem correspondência	0.62	36%
[0; 5[	0.10	1%
[5; 10[	0.15	0%
[10; 15[	0.22	1%
[15; 20[	0.43	8%
[20; 25[	0.50	19%
[25; 30[	0.64	19%
[30; 35[	1.04	11%
[35; 40[	0.80	5%
>=40	0.60	2%

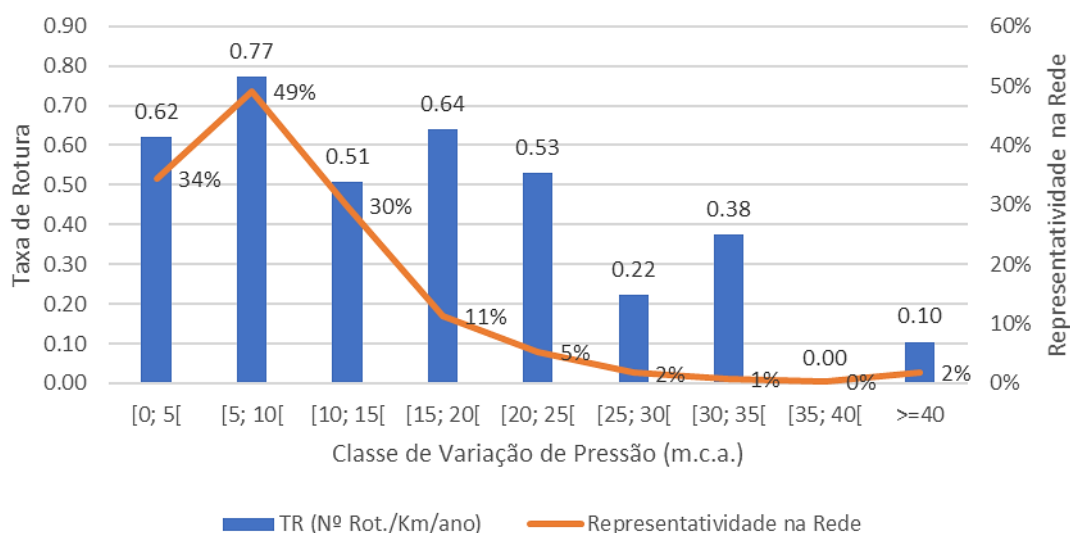


Figura 60 – Taxa de Rotura por Intervalo de Variação de Pressão

Com efeito, da análise da Figura 60, uma grande variabilidade na evolução da TR ao longo dos intervalos foi constatada, pelo que a variação de pressão máxima diária não constituiu uma relação direta entre a ocorrência de roturas no SAA.

4.4.7. COMPRIMENTO

Ao contrário dos pontos anteriores, para o estudo da relação entre o comprimento da conduta e a ocorrência de roturas, procedeu-se à análise de todas as tubagens que apresentaram 1 ou mais roturas, nos 5 anos de histórico. Ora, dada a repartição evidenciada no SIG, onde uma conduta, geralmente, se apresentava dividida em vários troços, optou-se por descartar toda a restante informação, dada a impossibilidade de proceder à concatenação de todos os troços do SAA.

Contudo, procurando relacionar a influência do comprimento com as ocorrências, procedeu-se à distribuição das condutas por classes de comprimento, assim como as respetivas roturas, resultando no Quadro 26.

Quadro 26 – Distribuição das Roturas por Classe de Comprimento (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Classe de Comprimento (m)	Nº de Roturas	Nº de Condutas	Comprimento Total (Km)
>=1000	6	4	6.1
[750; 1000[	11	7	5.9
[500; 750[	55	23	13.9
[250; 500[	443	147	48.1
[0; 250[	2220	1157	131.9

Pela observação da distribuição constatou-se que para condutas superiores a 500 metros não havia representatividade quer no número de roturas, quer no número de condutas. Deste modo, visto que a sua análise poderia implicar o enviesamento dos resultados, optou-se por considerar somente as condutas das classes [0; 250[e [250; 500[. Assim, procedeu-se a uma nova distribuição das duas classes, subdividindo-as em intervalos menores (Quadro 27).

Quadro 27 – Distribuição das Roturas por Classe de Comprimento (Em Serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Classe de Comprimento (m)	Nº de Roturas	Nº de Condutas	Comprimento (Km)
[450; 500[	27	7	3.3
[400; 450[	38	14	6.0
[350; 400[	74	27	10.1
[300; 350[	101	31	10.1
[250; 300[	203	68	18.6
[200; 250[	308	124	27.5
[150; 200[	477	225	39.0
[100; 150[	641	310	39.1
[50; 100[	497	276	20.6
[0; 50[	297	222	5.8

Com a amostra de dados mais homogénea, seguiu-se o estudo comparativo entre classes, com o objetivo de interpretar o comportamento das roturas em função do comprimento das condutas. Assim, procedeu-se unicamente ao cálculo de um novo indicador (Nº de Roturas / Nº de Condutas), uma vez que a falta de informação impossibilitou a avaliação da TR por classes (Quadro 28 e Figura 61).

Quadro 28 – Distribuição das Roturas por Classe de Comprimento (Em serviço; Fora de Serviço; Desativado)

Classe de Comprimento (m)	Nº de Roturas por Nº Conduta	Representatividade na Rede (Comp. Classe / Comp. Total)
[450; 500[	3.86	0%
[400; 450[	2.71	1%
[350; 400[	2.74	1%
[300; 350[	3.26	1%
[250; 300[	2.99	2%
[200; 250[	2.48	3%
[150; 200[	2.12	5%
[100; 150[	2.07	5%
[50; 100[	1.80	2%
[0; 50[	1.34	1%

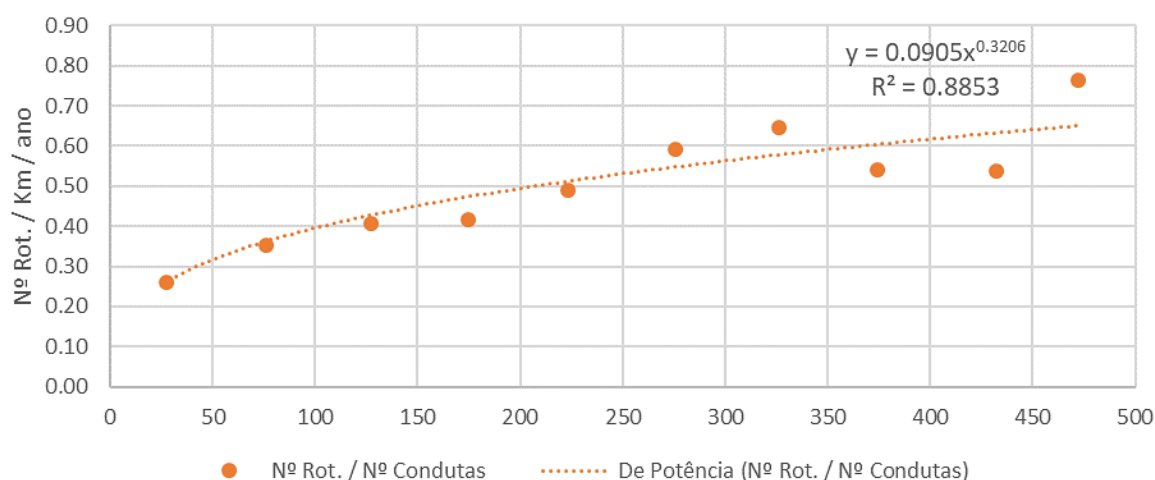


Figura 61 – Indicadores | Rotura Vs Comprimento

Desta forma, ainda que se tenha considerado apenas a rede sujeita a ocorrência de roturas, obteve-se um ajuste por uma linha de potência que evidenciou um coeficiente de determinação elevado e próximo da unidade ($R^2=0.8853$). Contudo, dado a insuficiência de dados, esta análise não permitiu a diferenciação das classes de comprimento, face a uma TR, permitindo apenas concluir que o número de roturas não é linearmente proporcional ao comprimento das condutas.

5

PLATAFORMA TECNOLÓGICA: DASHBOARDS E MODELO PREDITIVO

5.1. INTRODUÇÃO

As roturas em condutas de abastecimento de água são uma preocupação constante no dia a dia de qualquer EG, estando indubitavelmente relacionadas com a eficiência na gestão das perdas reais de água e, naturalmente, com a credibilidade da empresa. Neste contexto, tal como referido, a implementação da Plataforma Tecnológica abre espaço à introdução desta problemática numa perspetiva distinta, sobretudo através do módulo de “*Dashboard*” e Alarmística, e, também, do módulo de *Reporting e Data Mining* (Anexo A).

De facto, a AdP enfrenta atualmente uma mudança de paradigma, sobretudo na recolha de informação e tratamento de dados, de forma a agrupá-los e apresentá-los de forma fácil e interativa, onde o operador ou gestor têm a capacidade, numa análise rápida, de avaliar o desempenho pessoal ou coletivo, e ainda de ser alertado para problemas de forma automática (“*Dashboard*” e Alarmística). Neste sentido, o resultado da informação adquire um novo nível de importância, constituindo uma ferramenta de avaliação, que estabelece subconscientemente um comportamento reativo, que promove uma gestão ativa na mudança e na eficiência de processos.

Adicionalmente, a par da mudança de paradigma na empresa, outras ferramentas no campo da análise de dados surgem como uma oportunidade ao processamento e extração de conclusões das fontes de informação, tais como os instrumentos que resultam da área da Inteligência Artificial (IA). Assim, ainda na perspetiva do estudo das roturas em condutas de abastecimento, criam-se novos caminhos de interpretação e compreensão deste fenómeno, que podem implicar a deteção de roturas de forma preditiva, tanto a curto prazo, definindo as prioridades de auscultação da rede por parte dos sondadores, como também na definição e priorização de áreas de intervenção, de forma a planear a gestão e o investimento.

Por conseguinte, o presente capítulo procurará dar resposta a estas oportunidades, nomeadamente na criação de um projeto em “*Power BI*”³⁴, tendo em vista um portefólio de “*dashboards*” a integrar a PT, e ainda na análise da metodologia de desenvolvimento de modelos preditivos, com o recurso a ferramentas da área de “*Machine Learning*”³⁵, de modo a aferir a base de dados e a sua capacidade preditiva (“*Modeling*” – Figura 8).

³⁴ O Power BI é uma ferramenta de *Business Intelligence*, da Microsoft, que proporciona um conjunto de ferramentas para a análise de negócio de forma simples e personalizada.

³⁵ *Machine Learning* é um subcampo da ciência computacional, que evoluiu a partir da Inteligência Artificial. De forma simplista, esta ferramenta utiliza algoritmos de aprendizagem automática, que procura estabelecer relações e padrões comportamentais, tendo por base um grande conjunto de dados.

5.2. DASHBOARDS POWERBI

No seguimento das possibilidades citadas dos módulos de “*Dashboard*” e Alarmística, procedeu-se ao desenvolvimento de um projeto em *Power BI*, com o objetivo de integrar a PT e servir as diversas UO afetadas à Direção de Exploração, nomeadamente a UO de Abastecimento de Água e a subunidade de Gestão de Ativos.

Deste modo, o projeto organizou-se em 3 áreas, que consistiram essencialmente na descrição do “SAA”, na representação e distribuição do “Histórico de Roturas” e na comparação entre o “SAA vs Roturas”.

Na primeira parte, procedeu-se à criação de 3 páginas descritivas do estado do Sistema de Abastecimento de Água da AdP (Figura 62, Figura 63 e Figura 64) tendo como fonte de dados o Sistema de Informação Geográfica. Ora, apesar da simplicidade, este tipo de informação revela-se essencial para qualquer interveniente da rede de água, possibilitando a identificação e o estudo do SAA de forma fácil e interativa, através da capacidade adaptativa gráfica desta ferramenta, fruto dos diferentes campos de filtros produzidos (Material, Ciclo Vida, Função e ZMC).

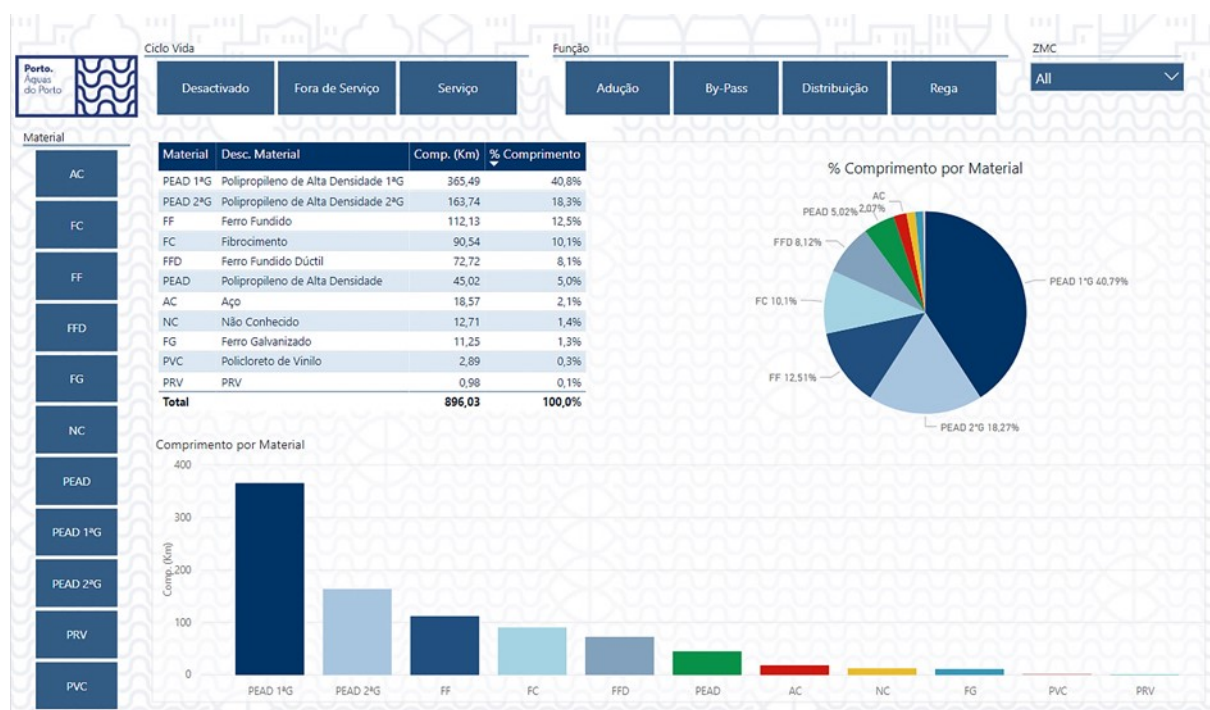


Figura 62 – “*Dashboard*” SAA | Material (Power BI)

Adicionalmente, este tipo de representação tende a realçar as inconsistências dos dados, sobretudo na identificação de valores desmesurados ou residuais não expectáveis. Como exemplo, na Figura 63, facilmente se verifica na distribuição da idade (gráfico inferior), 3 barras que se destacam do resto da amostra, pelo que se depreende que esta informação advém de uma introdução de dados generalizada, isto é, tendo por base uma estimativa, tal como comprovado no capítulo anterior.

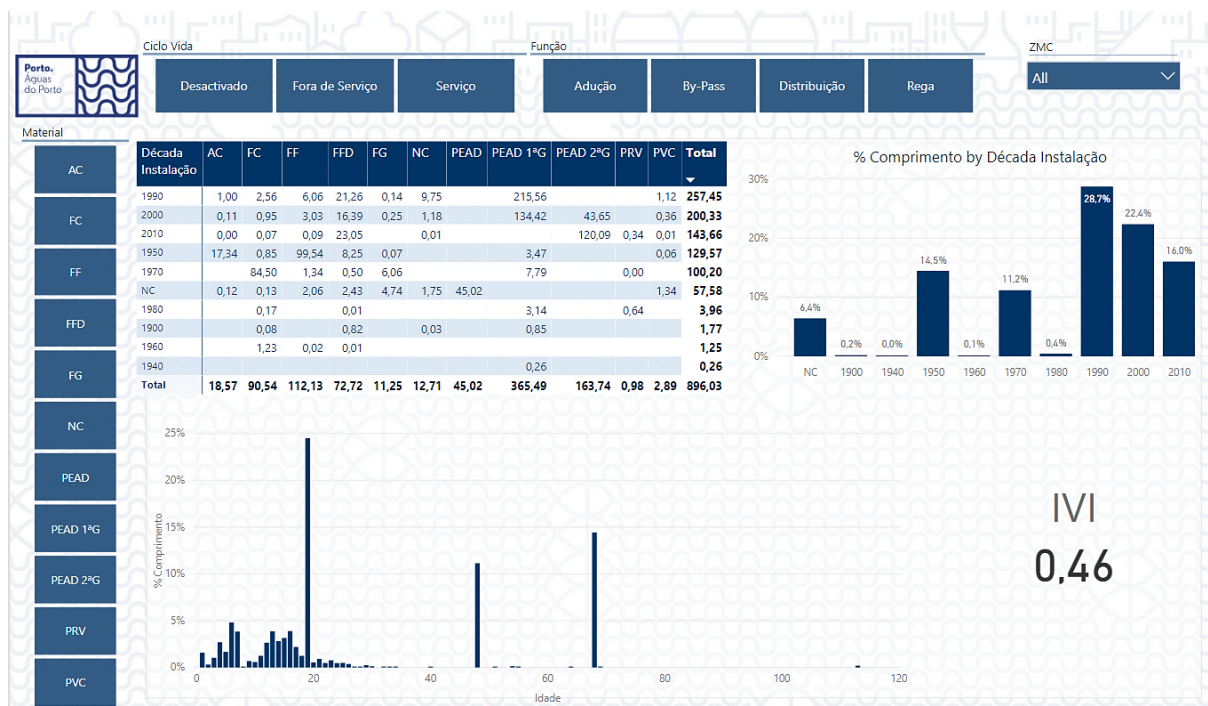


Figura 63 – “Dashboard” SAA | Idade (Power BI)

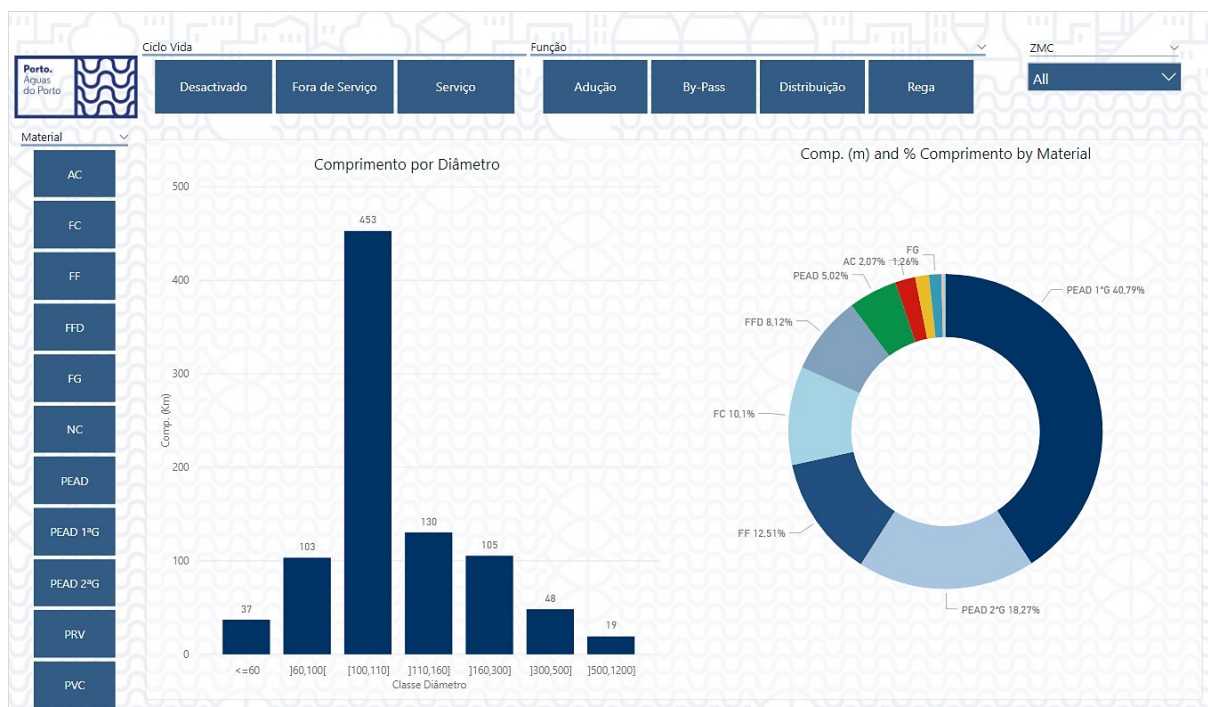


Figura 64 – “Dashboard” SAA | Diâmetro (Power BI)

Seguidamente, procedeu-se ao desenvolvimento da 2.ª área, que teve como objetivo o mapeamento e distribuição temporal das roturas na cidade do Porto. Além dos campos de filtros já produzidos para a descrição do SAA, desenvolveu-se um novo campo para a definição dos materiais conformes e

defeituosos, em virtude das zonas já mencionadas da Rua da Vilarinha e Travessa de Passos. Por conseguinte, produziu-se uma página com a georreferenciação das roturas (por pontos e cor) e um gráfico com distribuição anual, mensal e diária, que resultaram na Figura 65 e Figura 66.

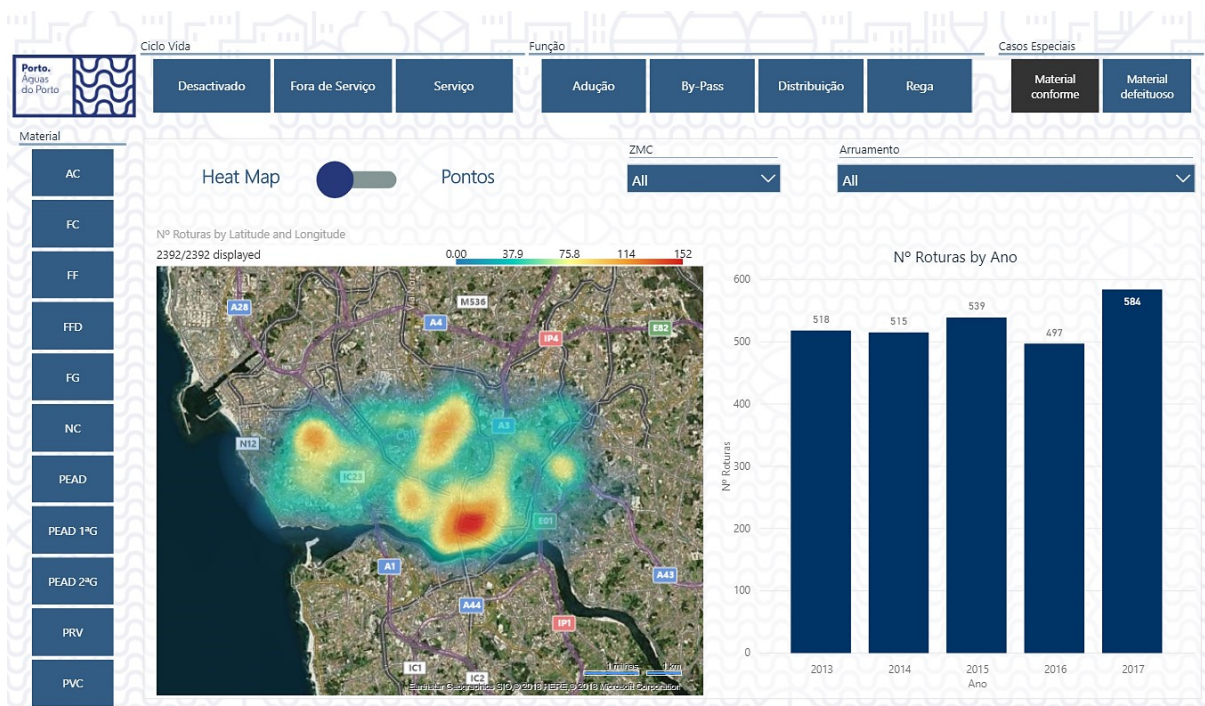


Figura 65 – “Dashboard” Roturas (Power BI)

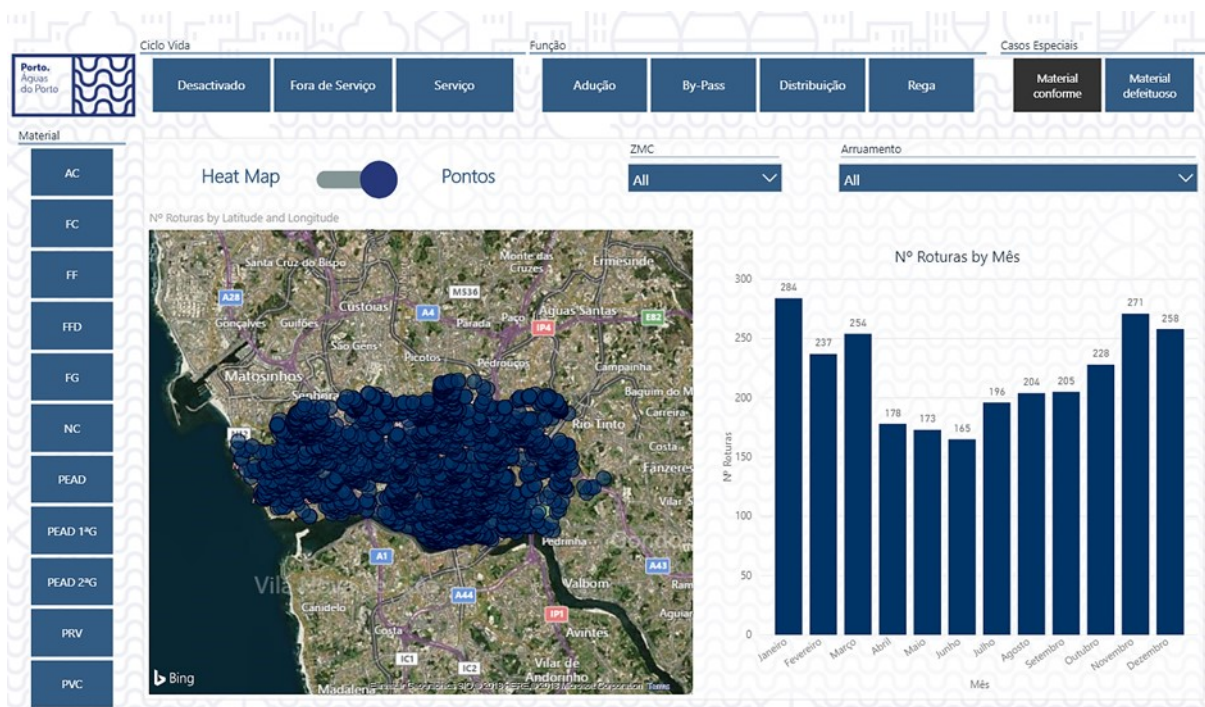


Figura 66 – “Dashboard” Roturas (Power BI)

Como resultado destes “Dashboards”, qualquer utilizador afeto a esta área poderá, numa análise rápida, compreender a distribuição e concentração das roturas, tanto no espaço como no tempo, obtendo informação de uma forma direta e intuitiva. Adicionalmente, uma funcionalidade de pesquisa livre foi acrescentada, de modo a explorar a localização das roturas por arruamento.

Em último lugar, para a análise da combinação entre o SAA e o histórico de roturas, à semelhança do capítulo anterior, desenvolveram-se sete páginas explicativas da relação entre as diferentes variáveis e a ocorrência das roturas. Embora mais técnicas, estas representações terão resultados mediante o tipo de aplicação dos seus utilizadores, podendo simplesmente funcionarem como meio de consulta, ou mesmo como instrumentos de estudo e cálculo de novos indicadores. Na Figura 67, Figura 68 e Figura 69 encontram-se representados três exemplos sendo os restantes referentes à TR por Década, à TR por DN, à TR por Classes de Pressão e, por último, à TR por Classes de Variação de Pressão.

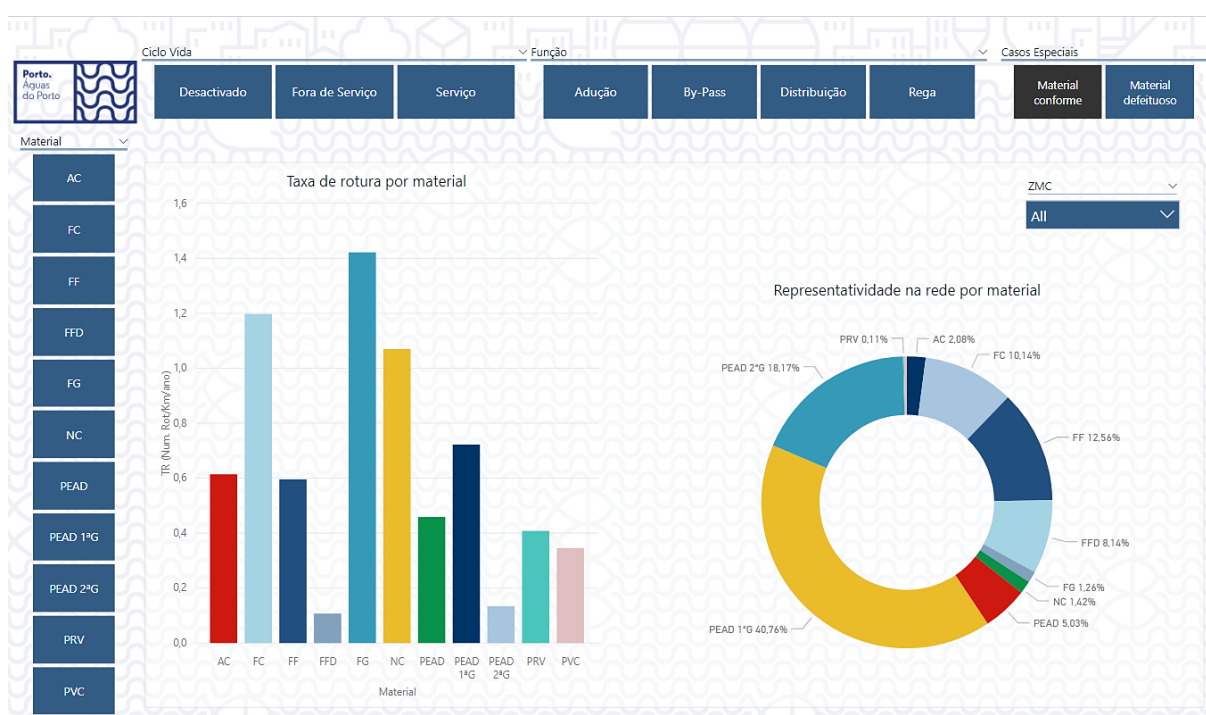


Figura 67 – “Dashboard” SAA vs Roturas | TR por Material (Power BI)

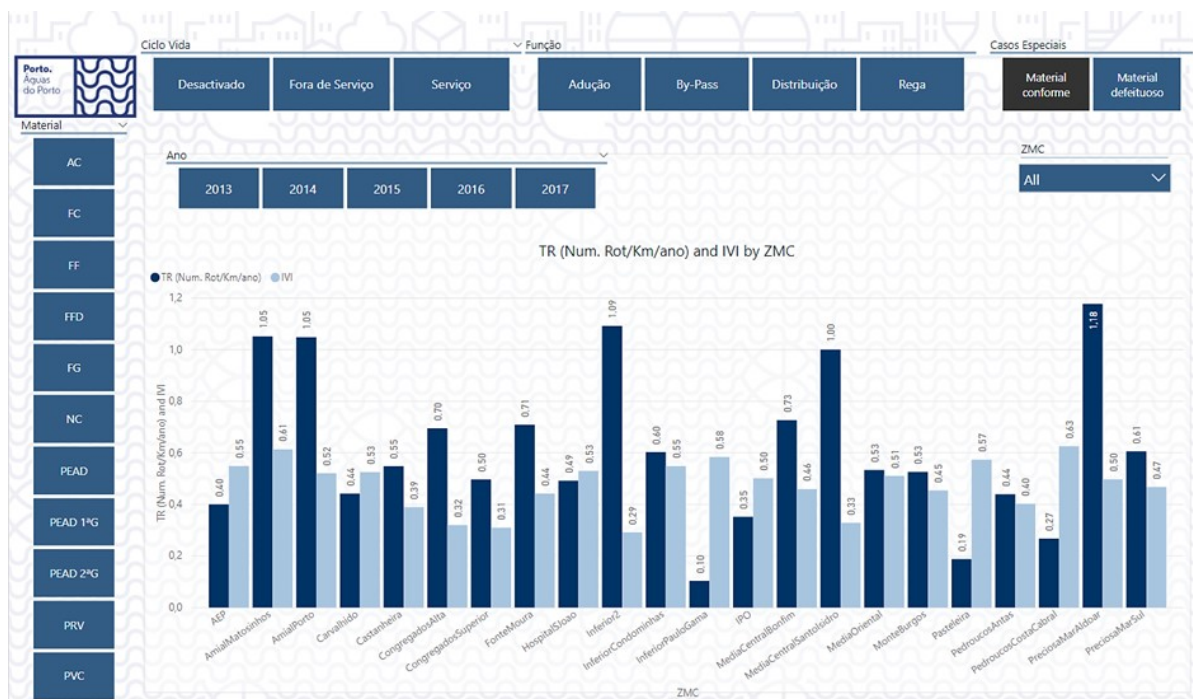


Figura 68 – “Dashboard” SAA vs Roturas | TR e IVI por ZMC (Power BI)

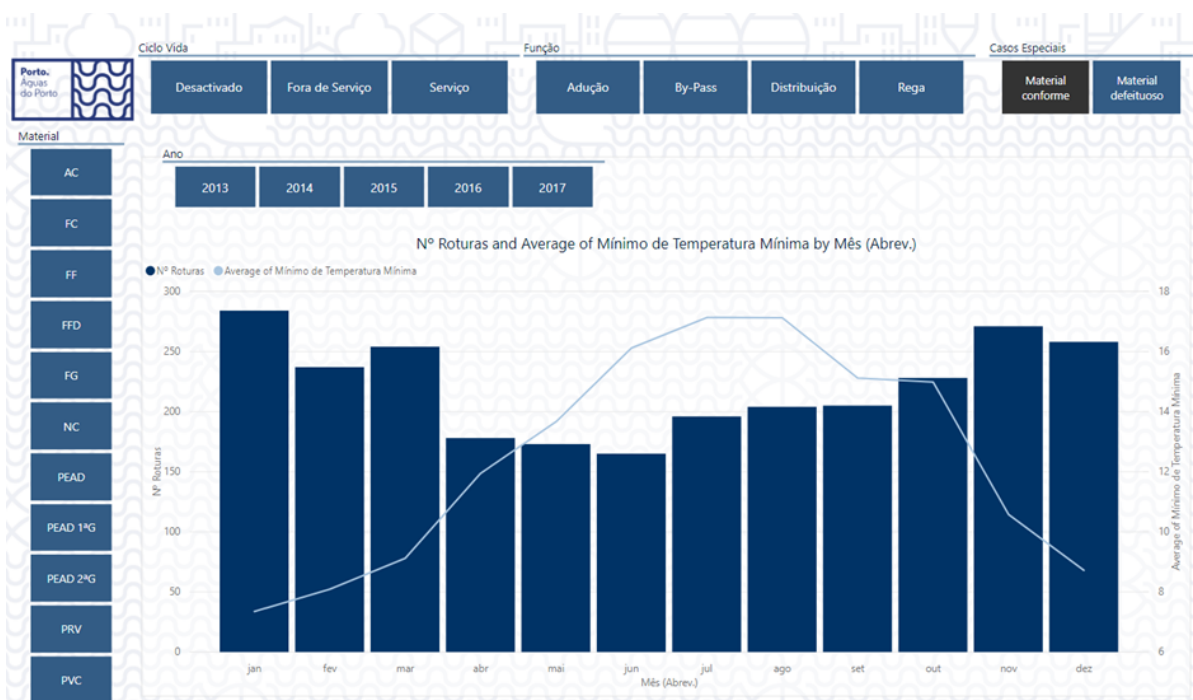


Figura 69 - “Dashboard” SAA vs Roturas | N.º Roturas e Temperatura (Power BI)

Em suma, o projeto desenvolvido constituiu um primeiro passo para o aproveitamento desta ferramenta no âmbito da estruturação do SAA, da distribuição de roturas e da combinação destes dois. Para além da sua interatividade e poder de transmissão de informação, este instrumento permite ainda a

manipulação dos dados de forma extremamente rápida, sem necessidade de tratamento, com o objetivo de obter relações gráficas e analíticas.

Contudo, para um verdadeiro proveito e rentabilização das técnicas de “*Business Intelligence*”, este projeto deverá ser integrado nos sistemas de informação da empresa, para funcionamento em tempo real, desenvolvendo ainda mecanismos de alerta para auxílio técnico na tomada de decisão. A título de exemplo, a criação de uma alarmística para a incidência excessiva de roturas numa determinada conduta ou ZMC seria uma possibilidade a desenvolver.

5.3. MODELO PREDITIVO

No seguimento da metodologia enunciada, procedeu-se ao desenvolvimento de um modelo preditivo em ML, com o objetivo de aferir a capacidade dos dados e a aptidão dos diferentes atributos para eventuais correlações preditivas.

Contudo, dada a complexidade e o período limitado em que se realizou este trabalho, nesta fase, optou-se por repartir o problema, com o objetivo de simplificar e criar uma primeira abordagem de resolução, e a identificação de eventuais padrões no conjunto de dados. Assim, alguns pressupostos e considerações foram adotados, que, naturalmente, influenciaram a fiabilidade e assertividade dos modelos.

5.3.1. DADOS CONSIDERADOS

De facto, as ferramentas de “*Machine Learning*” possibilitam atualmente a manipulação e o processamento de um grande volume de dados. No entanto, para o desenvolvimento de modelos preditivos fiáveis e exequíveis num esquema de negócio, estes exigem muita quantidade e qualidade na informação, e, sobretudo, de muito tempo para treino e teste do modelo.

Assim, no presente caso considerou-se um “*Dataset*”³⁶ composto pelas seguintes fontes de informação:

- SAA – 26 655 registos (troços de conduta) e 93 atributos;
- Histórico de Roturas – 2 808 registos (roturas);
- Dados Meteorológicos – 129 795 registos (leituras) e 13 atributos;
- Dados Operacionais – 9 596 registos (leituras de pressão associadas ao SAA);
- Dados Geográficos – 26 655 registos (coordenadas dos troços de conduta).

Por conseguinte, tendo por base o estudo dos capítulos anteriores, procedeu-se a algumas exclusões dos dados para a objetivação e teste do problema. Em primeiro lugar, todo o material considerado como defeituoso foi desconsiderado (Rua da Vilarinha e Travessa de Passos). Adicionalmente, todos os troços com o atributo *CicloVida* em “Fora de Serviço” ou “Desativado” foram igualmente descartados, pela possibilidade destes não se encontrarem no ativo durante o período em estudo (2013, 2014, 2015, 2016 e 2017), e, por isso, não representativos do intervalo temporal do “*Dataset*” das roturas. Pela mesma razão, todos os troços de conduta sem informação do atributo *DATA_CONST*, ou respetivos à década de 2010, foram igualmente desconsiderados. Por último, dada a exigência para o tratamento, processamento e treino do modelo, optou-se por não incluir os dados merológicos nesta fase.

Em suma, com as alterações efetuadas à base de dados do SAA e do Histórico de Roturas, resultaram 17 469 troços de condutas e 2 309 roturas (1 304 troços de condutas com roturas ~7% do SAA).

³⁶ Conjunto de dados.

5.3.2. MODELO DE PREVISÃO DE PROBABILIDADE

No seguimento da metodologia para o desenvolvimento de um modelo preditivo de roturas em condutas de abastecimento, optou-se pela escolha de algoritmos de aprendizagem supervisionada, mais concretamente através de modelos de previsão de probabilidade (Rotura ocorreu? sim ou não), tendo por base um conjunto de dados de treino e de teste.

Tal como explicado, uma vez mais procedeu-se a uma simplificação do problema, não elaborando a possibilidade de “*Feature Engineering*”, que, eventualmente, poderia otimizar a performance do modelo final.

Assim, passando diretamente à fase de “*Model Training*” e “*Model Evaluation*”, dividiu-se o conjunto dados em 70% para treino, e os restantes 30% para teste e avaliação do modelo. Para tal, recorreu-se ao programa “Jupyter³⁷”, que através de uma série de algoritmos preditivos³⁸ identificou aquele que melhor se ajustava aos dados fornecidos.

Com efeito, o teste apresentou assim numa performance com capacidade preditiva de aproximadamente 80% (Figura 70³⁹).

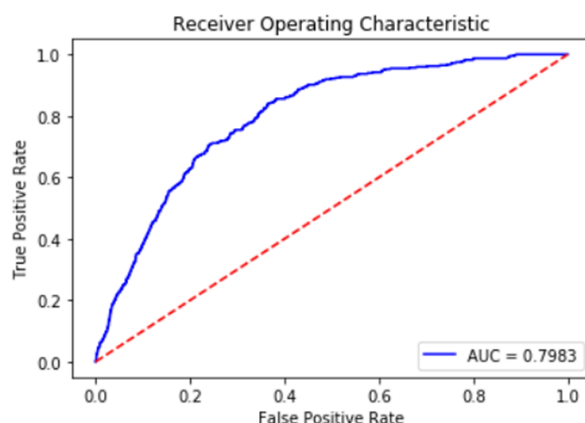


Figura 70 – Modelo de Previsão de Probabilidade | Curva Característica de Operação do Recetor (COR)

Por outras palavras, constatou-se que a definição deste modelo preditivo apresentava sensivelmente 80% de probabilidade de distinguir um troço com rotura de outro sem rotura. Contudo, verificou-se na distribuição de resultados do teste (Figura 71) uma quantidade considerável de falsos positivos (746), em relação aos verdadeiros positivos (218), uma vez que a “*base rate*”⁴⁰ do modelo apresentava um valor relativamente baixo (~7%).

³⁷ O “Jupyter” é uma aplicação web de código aberto, que permite criar e partilhar documentos com código, equações, visualizações e texto explicativo. Destaca-se essencialmente na análise de dados, onde permite a integração de diversas linguagens, tal como o “Python” ou o “R Studio”.

³⁸ Random Forest; Gradient Boosted Trees; Logistic Regression; XGBoost; Decision Tree; K Nearest Neighbors; Extra Trees

³⁹ A curva COR ilustra o desempenho de um sistema de classificador binário. Esta é calculada através do quociente entre a fração Verdadeiros Positivos e Positivos Totais (VP/P), e a fração Falsos Positivos e Negativos Totais (FP/N).

AUC=50% representa um modelo puramente aleatório (linha a vermelho). AUC=100% demonstra um modelo perfeito.

⁴⁰ A “*Base rate*” de um determinado modelo interpreta-se como um indicador da confiança ou fiabilidade dos dados (neste caso, o histórico de roturas). Quanto maior este fator, maior a assertividade do algoritmo (menos FP e mais VP).

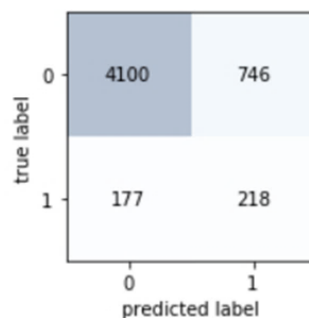


Figura 71 – Modelo de Previsão de Probabilidade | Resultados do Teste

Adicionalmente, procedeu-se à análise dos 20 atributos mais relevantes para o modelo, isto é, aqueles que se afirmaram como os mais preditivos, tal como indicado por ordem de importância na Figura 72⁴¹.

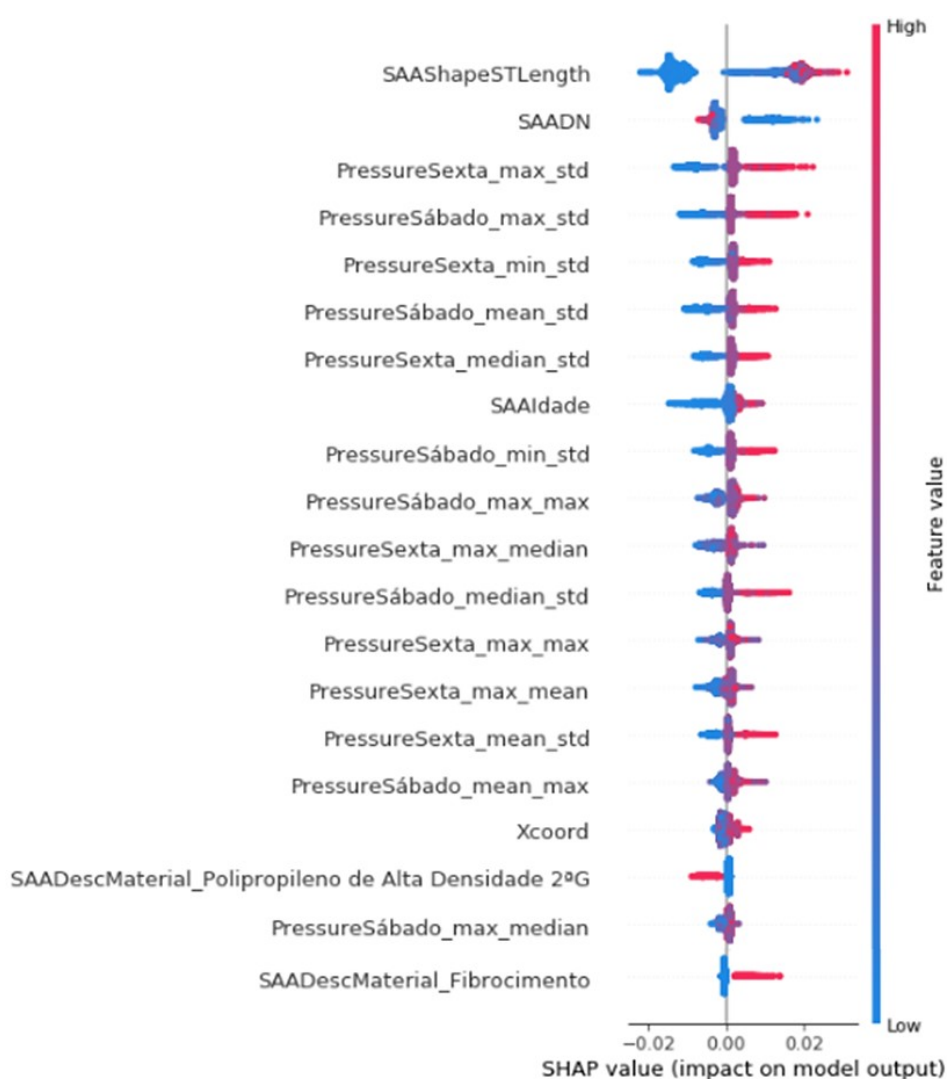


Figura 72 – Modelo de Previsão de Probabilidade | Análise de Atributos

⁴¹ A interpretação do gráfico divide-se em dois aspetos: distribuição e cor do atributo. Ora, quanto mais a distribuição se alonga para a direita do eixo, maior é a probabilidade do troço ter roturas. Relativamente à cor, esta representa o valor do atributo (cor vermelha – máximo; azul – mínimo).

Por conseguinte, dado o baixo “base rate” do modelo e, consequentemente, a possível imprevisibilidade da aprendizagem dos algoritmos, esta análise exigiu prudência na estruturação e dedução dos resultados, pelo que somente se consideraram os atributos de maior relevância. Neste sentido, constatou-se que o *ShapeST_Length*⁴², *DN*⁴³ e Pressão Máxima se evidenciaram como os fatores mais preditivos e relevantes para a ocorrência de roturas em condutas de abastecimento, o que corroborou em parte o estudo efetuado ao longo deste trabalho.

Por outro lado, a análise dos atributos permitiu ainda o desenvolvimento de outro grafismo capaz de correlacionar, isoladamente, duas variáveis, tendo em vista o seu impacto final na ocorrência de roturas (Figura 73 e Anexo D).

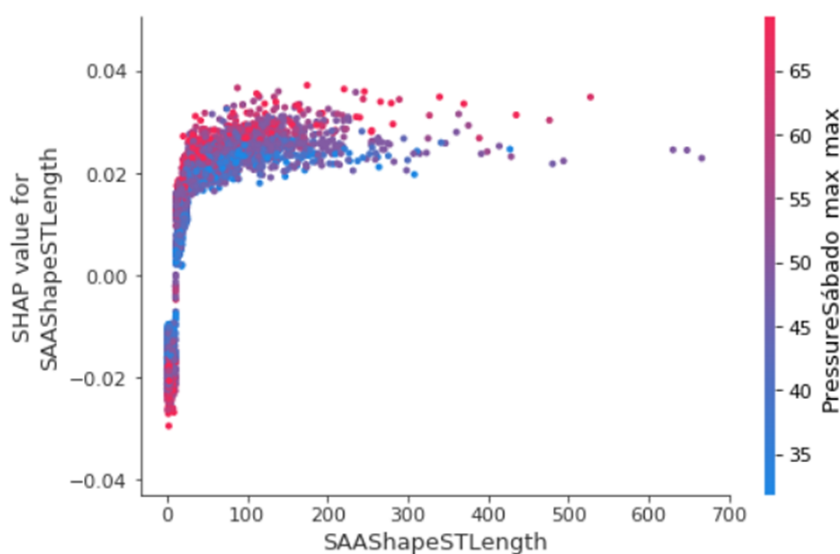


Figura 73 – Modelo de Previsão de Probabilidade | Análise Comprimento + Pressão Máxima

A título de exemplo, da Figura 73 extrapolaram-se algumas relações, que, uma vez mais, confirmaram a análise efetuada ao longo da metodologia deste trabalho. De facto, verificou-se que o aumento de pressão evidenciou uma relação de maior probabilidade de rotura. Além disso, o comportamento da distribuição denotou um aumento de probabilidade de rotura à medida que a pressão e o comprimento aumentaram.

Por conseguinte, com este primeiro teste destacaram-se um conjunto de atributos preditivos, que deverão, indubitavelmente, integrar o desenvolvimento futuro do modelo. Neste sentido, a exequibilidade de um modelo preditivo de roturas em condutas de abastecimento é comprovada, tendo, contudo, limitações na “base rate” do caso a modelar. Por conseguinte, para sucesso do projeto, exige-se à EG a recolha de mais dados de histórico, com o objetivo de elevar esse indicador e, consequente, a fiabilidade dos resultados preditivos. Adicionalmente, a atualização de cadastro mostra-se, também, fundamental para a implementação desta metodologia, em virtude do tratamento e considerações realizados inicialmente.

Em suma, o que é medido, é gerido.

⁴² Comprimento do troço de conduta.

⁴³ Diâmetro Nominal do troço de conduta.

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. CONCLUSÃO

A presente dissertação consistiu numa metodologia para a definição de um modelo preditivo de roturas em condutas de abastecimento de água, a par da mudança estrutural que ainda ocorre nos sistemas de informação da AdP, nomeadamente com a implementação da Plataforma Tecnológica.

Neste sentido, procurou-se com este trabalho percorrer as diferentes etapas do Ciclo de Vida do Processo Típico de Modelação Preditiva (Figura 8), estudando a validade desta metodologia e adaptando-a à realidade da empresa. Com efeito, após uma revisão bibliográfica e aprofundamento do tema, procedeu-se ao estudo da EG, desde o seu enquadramento histórico, até à forma como esta se organiza internamente, em especial, na exploração do seu SAA.

Numa empresa como a AdP, com tantos anos de história e uma tradição organizativa tão enraizada, tornou-se complexo o processo de levantamento e análise das diferentes fontes de informação. Ora, foi neste sentido que ao longo do trabalho foram descobertos alguns erros e inconsistências na informação disponibilizada, que se evidenciaram como hábitos intrínsecos ao sistema da empresa, necessitando de uma abordagem cuidada na sua identificação e posterior correção.

Assim, da análise de dados constatarem-se as seguintes conclusões:

- A categorização dos atributos na rede de água do SIG da AdP apresenta-se dispersa, verificando-se 26 atributos sem qualquer informação ou muito incompletos.
- Da lista de materiais do SAA inicialmente apresentada, procedeu-se à alteração de algumas inconsistências (BC por NC; FF Blutop por FFD; PEBD e PEMD por PEAD).
- A distribuição de diâmetros no SAA evidenciou uma grande variabilidade, onde se evidenciaram inconsistências na atribuição de DN por material (Ex: PEAD 100)
- Na análise da idade das infraestruturas constatou-se uma redundância na organização deste atributo no SIG. Uniformizou-se o *AnoInstalação* e *DataEntradaServiço* com o atributo *DATA_CONST*.
- A organização do SAA por ZMC apresentou 20,3% da rede (161 705 m) sem qualquer atributo, pelo que se procedeu à correção interna deste fator.
- Na análise dos comprimentos por conduta constatou-se uma segmentação generalizada em toda a rede, podendo uma conduta ser constituída por vários troços. Assim, cada *ID_Entidade* corresponde a um troço, e não a uma conduta completa.
- Do estudo do Programa de Gestão de Ordens de Serviço verificou-se a falta de interligação entre as ocorrências e os ativos da rede.
- Na distribuição espacial de roturas destacaram-se, com maior incidência, as zonas da parte histórica e da zona noroeste da cidade do Porto.

- Os modelos numéricos hidráulicos apresentam algumas inconsistências, estando atualmente a ser disponibilizados transversalmente a toda a empresa, de modo a que as diferentes Unidades Orgânicas possam contribuir para o seu desenvolvimento.
- Os materiais do SAA com maior TR foram o Ferro Galvanizado e o Fibrocimento.
- A década de construção apresentou uma variabilidade inesperada na distribuição da informação (décadas sem qualquer representatividade). Contudo, a década de 1970 verificou a maior TR.
- O Ferro Fundido Dúctil apresentou uma TR decrescente ao longo das décadas, contrariando o comportamento naturalmente esperado.
- A TR por DN evidenciou uma relação inversa entre o diâmetro e a taxa de rotura, ou seja, quanto maior o DN, menor a TR, em conformidade com a literatura.
- Da análise ao SIG diagnosticou-se uma prática interna, que implicava a duplicação de *ID_Entidade*, refletindo-se na análise da informação. Após correção do método, procedeu-se à remoção das duplicações.
- Com a análise à distribuição do número de roturas, identificaram-se duas zonas com elevado número de roturas, causadas por defeitos do material utilizado na empreitada (Rua da Vilarinha e Travessa de Passos).
- Embora com representatividade reduzida, as ZMC Inferior-2, Preciosa Mar-Aldoar e Amial Matosinhos apresentaram as TR mais elevadas de todo o SAA.
- Da análise à distribuição mensal de roturas verificou-se uma maior incidência de ocorrências nos meses de temperatura mais baixa.
- Graficamente, constatou-se algumas similaridades entre a temperatura mínima e a ocorrência de roturas, especialmente nas descidas prolongadas de temperatura e nos picos de temperatura mínima anuais.
- A variação anual da amplitude máxima de temperatura não apresentou nenhuma relação com distribuição de roturas.
- Apesar de algumas inconsistências, o aumento de pressão na rede evidenciou uma relação linear crescente com a TR.
- Os valores de variação máxima de pressão não apresentaram, aparentemente, qualquer relação com a TR.
- Da análise às condutas com roturas, constatou-se que o aumento do comprimento não verificou um aumento linearmente crescente da TR, mas sim de potência.

Consequentemente, esta dissertação culminou com a definição de um primeiro modelo preditivo, onde se destacaram um conjunto de atributos, que comprovaram a exequibilidade e preditividade deste problema. Contudo, é patente que o sucesso deste projeto necessitará ainda de mais fiabilidade das fontes de informação, onde se destacam as conclusões supracitadas, acrescendo ainda a necessidade de um histórico das ocorrências maior, de forma a aumentar a “*base rate*” do modelo preditivo, e, com isso, a fiabilidade dos resultados.

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A presente dissertação teve como objetivo o estudo de uma metodologia para a definição de um modelo preditivo de roturas em condutas de abastecimento. Com efeito, a conclusão deste trabalho abre espaço a futuros desenvolvimentos neste domínio, pelo que se sugerem as seguintes recomendações:

- Durante o período desta dissertação o SIG sofreu alterações consideráveis, não só pela deteção de algumas inconsistências consequentes deste estudo, mas pelo decorrer natural dos trabalhos da empresa. Assim, após a leitura da dissertação, uma atualização e reanálise às diferentes fontes de informação é recomendável.
- A interligação das ocorrências com a infraestrutura (SIG) é uma prioridade para a empresa, estando atualmente em fase de implementação. Só assim se conseguirá preservar o histórico comportamental da rede, para no futuro ser analisado.
- O SIG é uma plataforma dinâmica e variável no tempo. Neste sentido, recomenda-se o estudo e desenvolvimento de uma metodologia capaz de associar o histórico de ocorrências em função da infraestrutura, de modo a que a evolução natural da rede não seja sinónimo de perda de informação.
- A complexidade e dimensão do SIG acarreta, naturalmente, espaço a muitos erros e falta de informação. Desta forma, é evidente a necessidade de persistir a correção e atualização do cadastro, não só através do conhecimento dos operacionais da rede, mas também com a consulta de telas finais em arquivo. A segmentação das condutas afirma-se como uma desvantagem considerável para a definição de modelos preditivos de roturas no SAA.
- Com o desenvolvimento dos modelos numéricos hidráulicos, recomenda-se o estudo pormenorizado do impacto do caudal na ocorrência de roturas em condutas de abastecimento.
- A Reincidência de Roturas prevê-se como uma variável importante a considerar neste estudo. Com efeito, apesar de não ter sido explorada, dado o curto histórico de ocorrências, recomenda-se a sua análise em trabalhos futuros.
- A AdP encontra-se num período de mudança dos seus sistemas de informação. Por essa razão, surgem oportunidades de reestruturação de processos, que poderão contribuir diretamente para a recolha de mais e melhor informação, necessária ao processamento de dados e desenvolvimento de modelos preditivos.
- Outra variável não contemplada neste estudo foi o Tipo de Rotura (Furo; Fissura Longitudinal; Fissura Transversal; Na solda topo a topo; No acessório de eletrossoldadura; Na abraçadeira de ramal; Na junta de união de tubos; na ligação de acessório; Em abraçadeira de reparação). Neste sentido, não só no âmbito deste estudo, é recomendado o acréscimo desta questão no formulário de intervenção ou Nota de Serviço (Anexo E) das roturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A

Agbenowosi, N. (2000). *A Mechanistic Analysis Based Decision Support System for Scheduling Optimal Pipeline Replacement*. Dissertação de Doutoramento, Virginia Polytechnic Institute and State Univ. Blacksburg.

Águas do Porto, EM. (2018). Relatório & Contas 2017. Águas do Porto, EM, Porto.

Águas do Porto, EM. (2018a). Documentação Interna (Não pública)

Águas do Porto, EM. (2017). Relatório & Contas 2016. Águas do Porto, EM, Porto.

Águas do Porto, EM. (2015). Plano Estratégico de Gestão Integrada do Ciclo Urbano da Água no Município do Porto - Situação de Referência do Sistema de Abastecimento de Água. Águas do Porto, EM, Porto.

Alegre, H., Covas, D. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água. Uma abordagem centrada na reabilitação*. ERSAR, Lisboa.

Andreou, S. (1986). *Predictive Models for Pipe Break Failures and their Implications on Maintenance Planning Strategies for Deteriorating Water Distribution Systems*. Dissertação de Doutoramento, Massachusetts Institute of Technology

A. Purwadi, Y. Haroen, Farianza Yahya Ali, N. Heryana, D. Nurafiat and A. Assegaf (2011). *Prototype development of a Low Cost data logger for PV based LED Street Lighting System*, Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics, 2011, Bandung.

B

Berardi, L., Kapelan, Z., Giustolisi, O., Savic, D. A. (2008). *Pipe Deterioration Models for Water Distribution Systems*, Journal of Hydroinformatics, 19/08/2008, IWA.

Boxall, J. B., O'Hagan, A., Pooladsaz, S., Saul, A. J., & Unwin, D. M. (2007). *Estimation of Burst Rates in Water Distribution Mains*. Institution of Civil Engineers-Water Management, Institution of Civil Engineers by Thomas Telford, 06/2011, London.

C

Cardoso-Gonçalves, J., Tentúgal-Valente, J. (2018). *Gestão Operacional de Infraestruturas Hidráulicas, Sistema de Abastecimento de Água de Arouca*, 14º Congresso da Água, 07/03/2018, Évora.

Clark, R., Stafford, C., Goodrich, A. (1982). *Water Distribution Systems: A Spatial and Cost Evolution*. J. Water Resour. Plng. And Mgmt. Div., 1982.

Collier, M., Shahan, R. (2015). *Microsoft Azure Essentials-Fundamentals of Azure*. Microsoft Press, Washington.

D

Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de agosto, Diário da República n.º 194/1995, Série I-B de 1995-08-23, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

Decreto-Lei nº 16/2017 de 1 de fevereiro, Diário da República n.º 23/2017, Série I de 2017-02-01, Ministério do Ambiente.

Decreto-Lei nº 68/2008 de 14 de abril, Diário da República n.º 73/2008, Série I de 2008-04-14, Presidência do Conselho de Ministros.

E

Eisenbeis, C., Wang, J., Jourdan, M., Su, B. (1994). *Decomposed Software Pipelining: a new perspective and a new approach*. International Journal of Parallel Programming, 06/1994, Springer US.

G

Gowltier, C.; Kazemi, A. (1989) *Analysis of Water Distribution Pipe Failure Types in Winnipeg*, Journal of Transportation Engineering, 1989, Canada.

Grablutz, F. Hanneken, S. (2000). *Economic Modeling for Prioritizing Pipe Replacement Program*. St. Louis County Water Company, 2000, St. Louis.

Grigg, S. (2005). *Assessment and Renewal of Water Distribution Systems*. American Water Works Association. Journal, 01/02/2005, Denver.

H

Habibian, A. (1994). *Effect of Temperature Changes on Water-Main Breaks*. Journal of transportation engineering, 01/03/1994, ASCE, Washington.

Harris, N., Radlinski, M. (2013). *Asbestos-Cement Pipe Condition Assessment and Development of Optimum Replacement Methodology*. Sixth Congress on Forensic Engineering, 31/10/2013, ASCE, San Francisco.

Heller, L., Padua, V. L. (2006). *Abastecimento de água para consumo humano*. Editora UFMG, Belo Horizonte.

Hembara, V., Andreikiv, E. (2012). *Effect of Hydrogenation of the Walls of Oil-and-Gas Pipelines on their Soil Corrosion and Service Life*. Materials Science, 2012, Springer US, United States.

Hu, Y., Hubble, D. (2007). *Comparison of Statistical Models for Predicting Pipe Failures*. Canadian Journal of Civil Engineering, 01/05/2007, NRC Research Press.

Hu, Y., Vu, Q. (2011). *Analysis of Soil Conditions and Pipe Behaviour at a Field Site*. Canadian Geotechnical Journal, 27/05/2011, NRC Research Press.

K

Kettler, A., Goulter, I. (1985). *An analysis of Pipe Breakage in Urban Water Distribution Networks*, Canadian Journal of Civil Engineering,

Kimutai, E., Betrie, G., Brander, R., Sadiq, R. (2015). *Comparison of Statistical Models for Predicting Pipe Failures*. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 27/01/2015, ASCE, Cagliari.

L

Loganathan, V., Serali, D., Park, S., Subramanian, S. (2002). *Optimal Design-Rehabilitation Strategies For Reliable Water Distribution Systems*. Water Resources Research Center, Virginia Polytechnic Institute and State Univ., 2002, Blacksburg.

M

Malandain, J., Le Gauffre, P. and Miramond, M. (1999). *Modeling the Aging of Water Infrastructure*. Proceedings of the 13th EJSW, 08/09/1999, Dresden.

Makar, J., Desnoyers, R., McDonald, S. (2001). *Failure Modes and Mechanisms in Gray Cast Iron Pipe*. Underground Infrastructure Research, 10/06/2001, Ontario.

Marks, D., Andreou, S., Clark, R. (1987). *A New Methodology for modelling break failure patterns in deteriorating water distribution systems: Theory*, Journal of Advanced Water Resources, 01/03/1987.

Martins, J. P., Cunha, R. (2007). *Projecto Porto Gravítico: Reformulação De Um Sistema De Abastecimento De Água Centenário*, 2.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, 24/10/2007, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Matos, J. (2008). *Utilização de Redes Neurais Artificiais para a Modelação da Degradação de Sistemas de Distribuição de Água*. Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior Técnico.

Meidan, Y., Bohadana, M., Shabtai, A., Guarnizo, J., Ochoa, M., Tippenhauer, O., Elovici, Y. (2017). *A Machine Learning Approach for IoT Device Identification Based on Network Traffic Analysis*. In Proceedings of the Symposium on Applied Computing, 04/2017, ACM.

O

O'Day, K. (1982). *Organizing and Analyzing Leak and Break Data for Making Main Replacement Decisions*. Journal-American Water Works Association, 01/11/1982, St. Louis.

P

Pelletier, G., Mailhot, A., Villeneuve, J. (2003). *Modeling Water Pipe Breaks – Three Case Studies*, Journal of Water Resources Planning and Management, 01/03/2003, ASCE, Quebec.

Poulton, M., Le Gat, Y., Brémond, B. (2009). *The Impact of Pipe Segment Length on Break Predictions in Water Distribution Systems*. Strategic Asset Management of Water Supply and Wastewater Infrastructures, 2009, IWA, London.

Pritchard, G., Hallett, H., Farewell, T. (2013). *Soil Corrosivity in the UK–Impacts on Critical Infrastructure*, Infrastructure Transitions Research Consortium, 2013, Cranfield.

R

Rajani, B., Zhan, C., Kuraoka, S. (1996). *Pipe Soil Interaction Analysis of Jointed Water Mains*. Canadian Geotechnical Journal, 10/12/1996, Canada.

Rajani, B., Kleiner, Y. (2001). *Comprehensive Review of Structural Deterioration of Water Mains: Physically Based Models*. Urban water, 2001, Ontario.

Ramos, H., Covas, D., & Araújo, L. (2004). *Válvulas redutoras de pressão e produção de energia*, 7º Congresso da Água, 8/03/2004 LNEC, Lisboa.

Rezaei, H., Ryan, B., Stoianov, I. (2015). *Pipe failure Analysis and Impact of Dynamic Hydraulic Conditions in Water Supply Networks*, 13th Computer Control for Water Industry Conference, 31/06/2015, Leicester.

J.Røstum, Dören, L., Schilling, W. (1997). *Deterioration of Built Environment: Buildings, Roads and Water Systems*, Norwegian University of Science and Technology, IVB-report, 1997, Trondheim.

Røstum, J. (2000). *Statistical modelling of pipe failures in water networks*. Dissertação de Doutoramento, Norwegian University of Science and Technology.

S

Sægrov, S., Baptista, M., Conroy, P., Herz, K., LeGauffre, P., Moss, G., Schiatti, M. (1999). *Rehabilitation of Water Networks: Survey of Research Needs and On-Going Efforts*. Urban Water, 01/03/1999.

T

Tesfamariam, S., Rajani, B. (2005). *Estimating time to failure of ageing cast iron water mains under uncertainties*, Water management for the 21st century, 14/06/2015, University of Exeter, United Kingdom.

Toumbou, B., Villeneuve, J.P., Beardsell, G., Duchesne, S. (2012). *A general model for water distribution pipe breaks: development, methodology and application to a small city in Quebec, Canada*, Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 27/12/2012, ASCE, Quebec.

W

Wengström, T. (1993). *Comparative Analysis of Pipe Break Rates – A Literature Review*, Chalmers University of Technology, Department of Sanitary Engineering, Goteborg.

Wheeler, L., Hluchan, V., Hackerman, N. (1988). *Amino Acids as Corrosion Inhibitors in Hydrochloric Acid Solutions*. Materials and Corrosion, 1988, Weinheim.

Y

Yarkoni, T., Westfall, J. (2017). *Choosing Prediction Over Explanation In Psychology: Lessons from Machine Learning*. Perspectives on Psychological Science, 01/11/2017, Austin.

ANEXOS

ANEXO A: ARQUITETURA DA PLATAFORMA TECNOLÓGICA

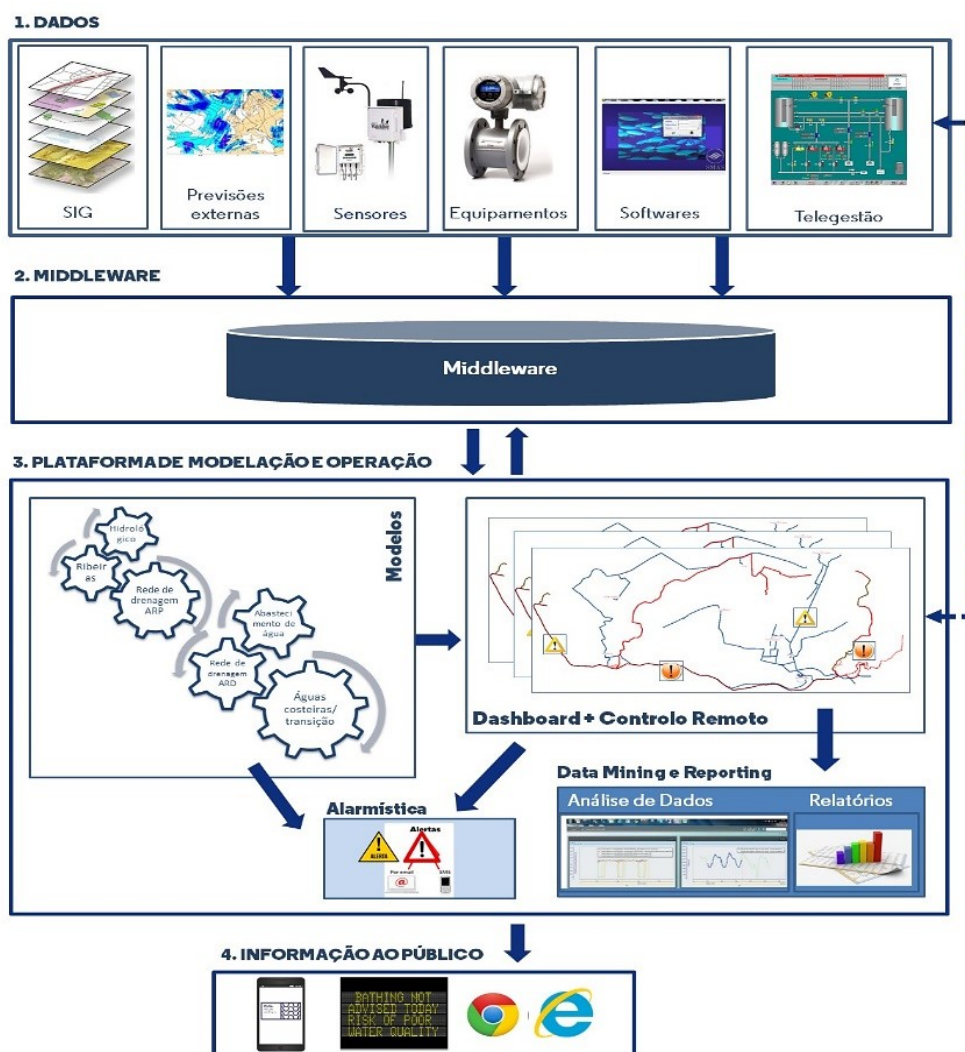


Figura 74 – Arquitetura da Plataforma Tecnológica (Águas do Porto 2018a)

ANEXO B: ANÁLISE ESTATÍSTICA – ROTURAS DÉCADA DE CONSTRUÇÃO

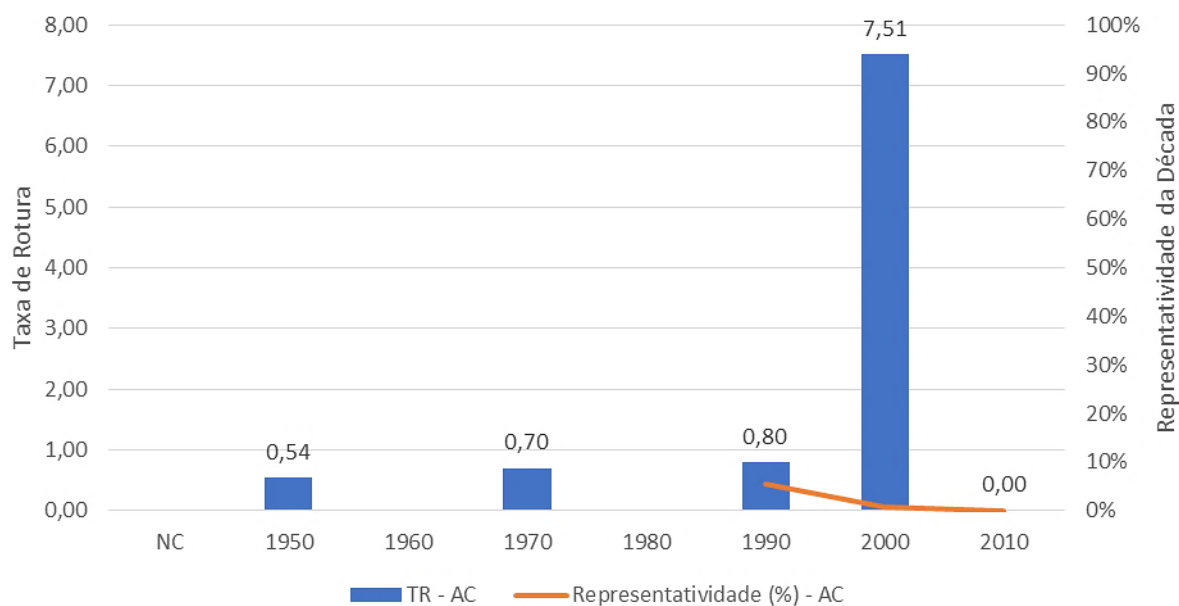


Figura 75 – Taxa de Rotura por Década de Construção (AC)

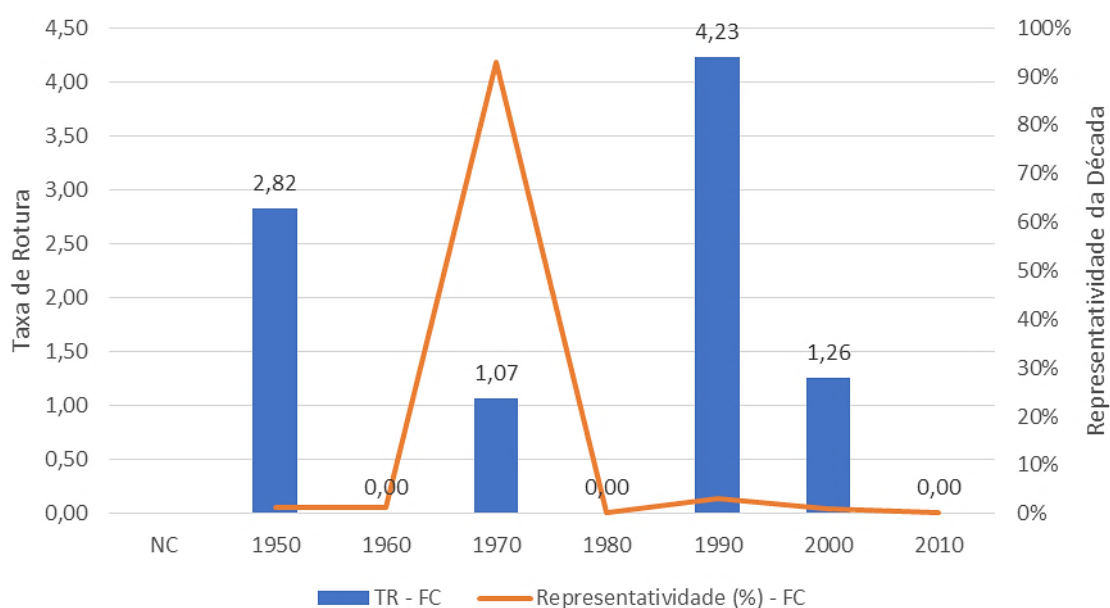


Figura 76 - Taxa de Rotura por Década de Construção (FC)

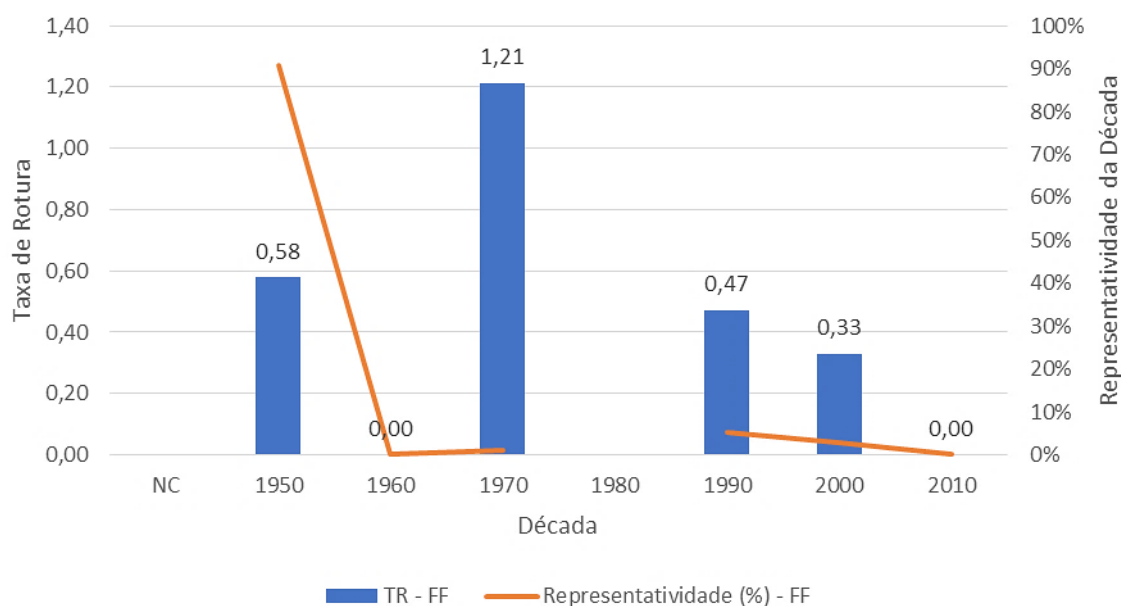


Figura 77 – Taxa de Rotura por Década de Construção (FF)

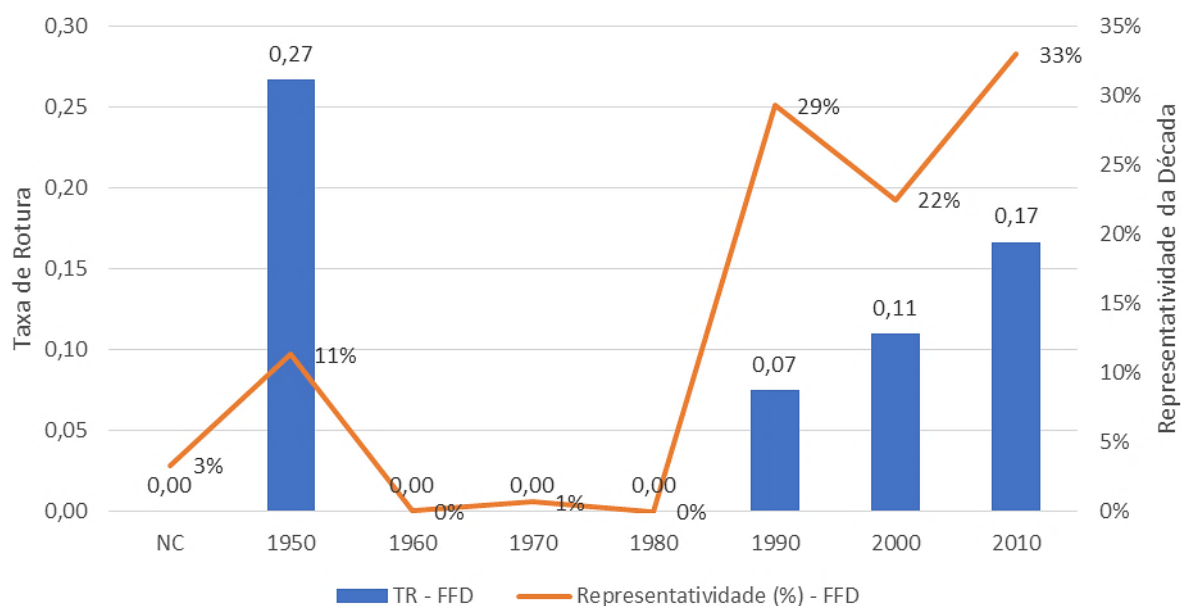


Figura 78 – Taxa de Rotura por Década de Construção (FFD)

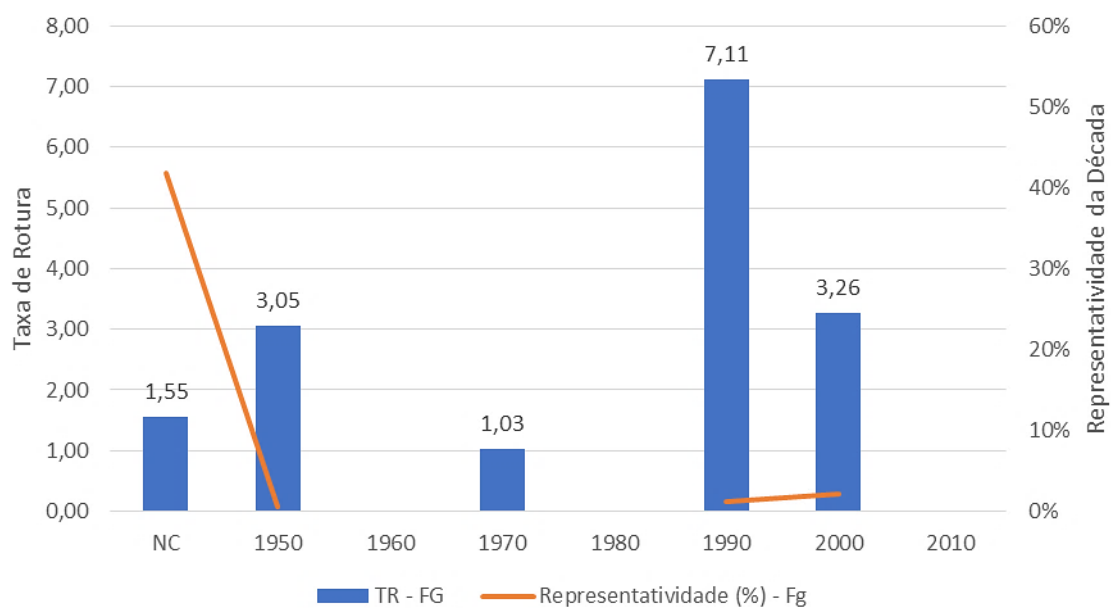


Figura 79 – Taxa de Rotura por Década de Construção (FG)

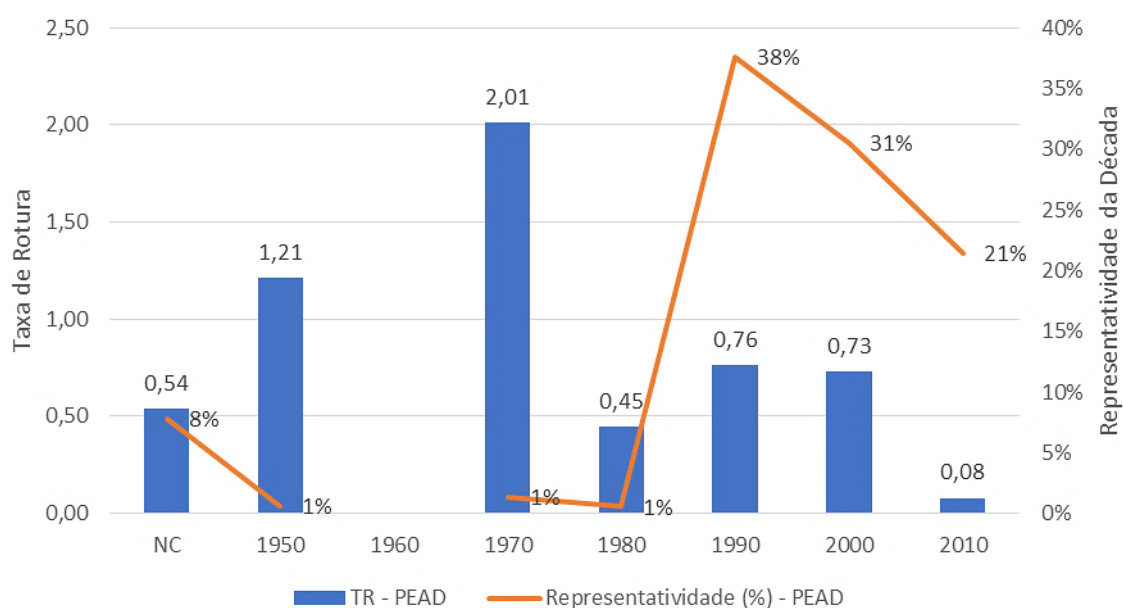


Figura 80 – Taxa de Rotura por Década de Construção (PEAD)

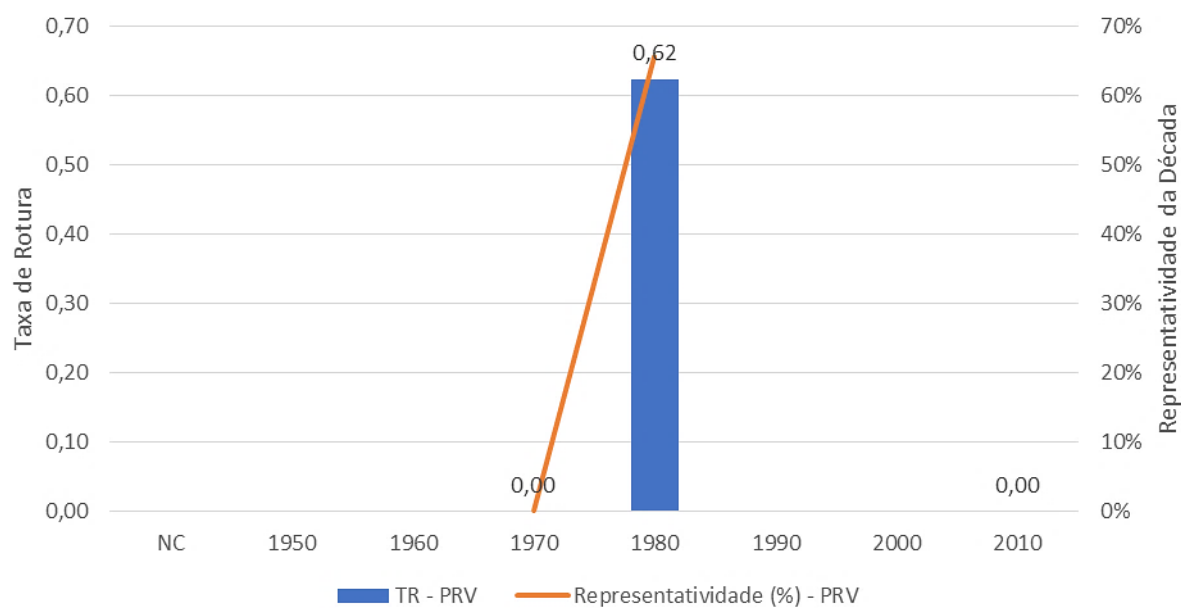


Figura 81 – Taxa de Rotura por Década de Construção (PRV)

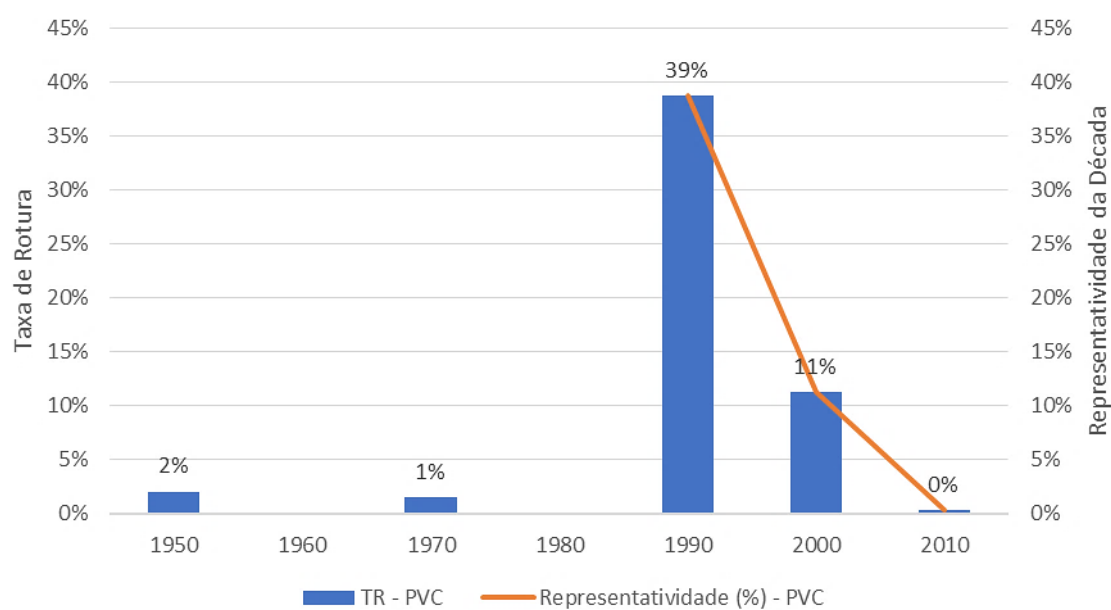


Figura 82 – Taxa de Rotura por Década de Construção (PVC)

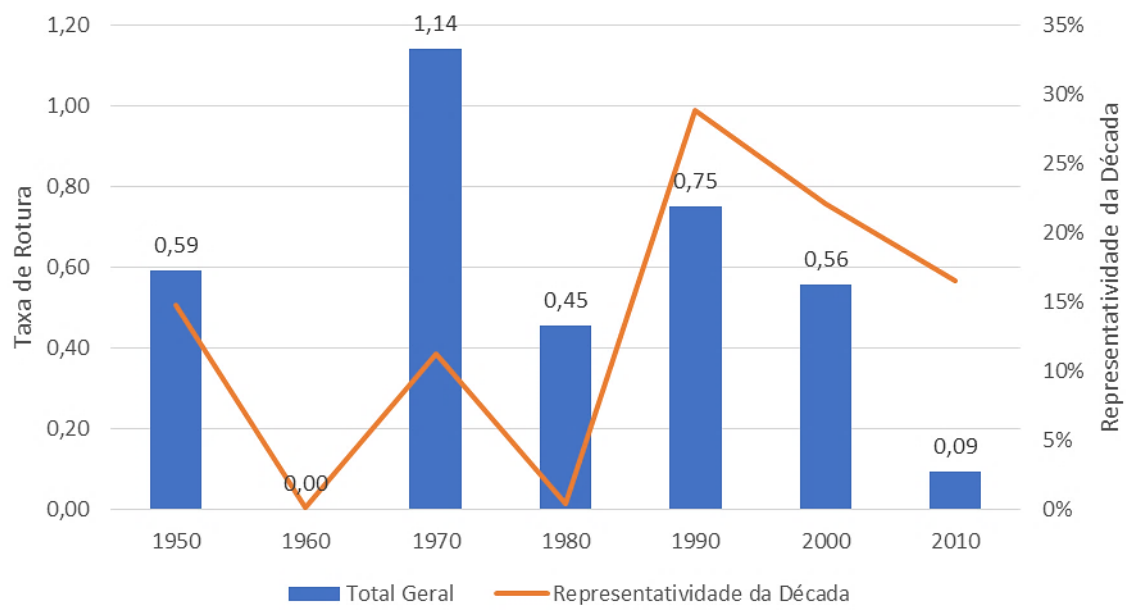


Figura 83 – Taxa de Rotura por Década de Construção (Todos os materiais)

ANEXO C: ANÁLISE ESTATÍSTICA – ROTURAS | TEMPERATURA

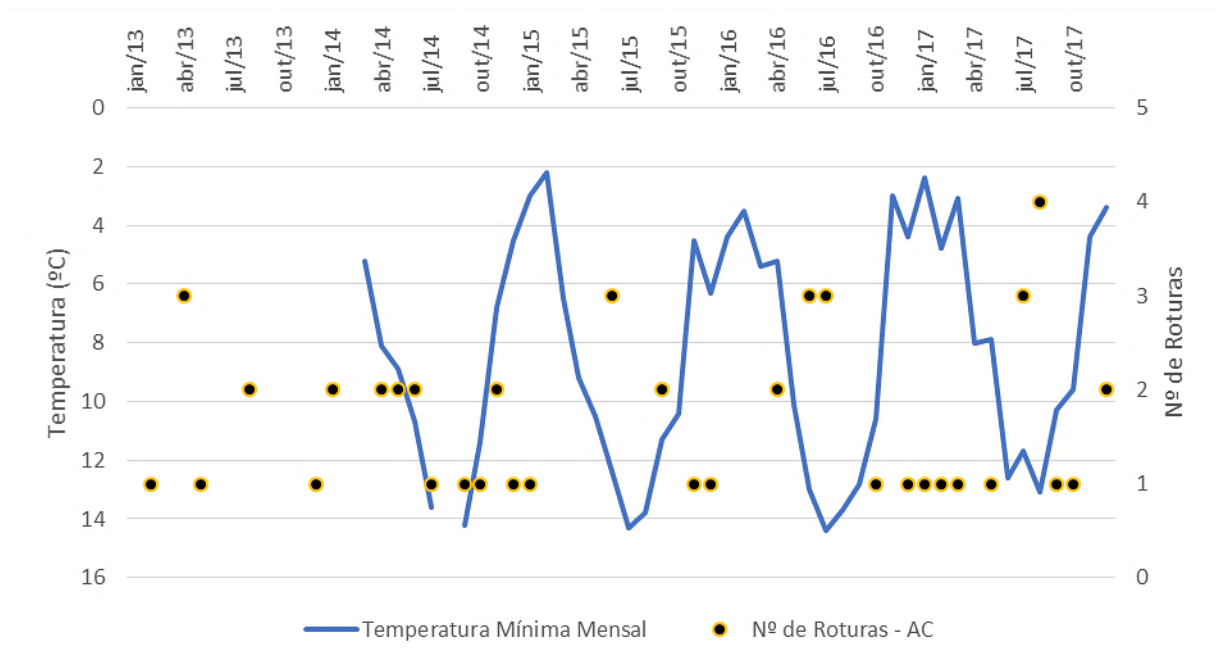


Figura 84 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (AC)

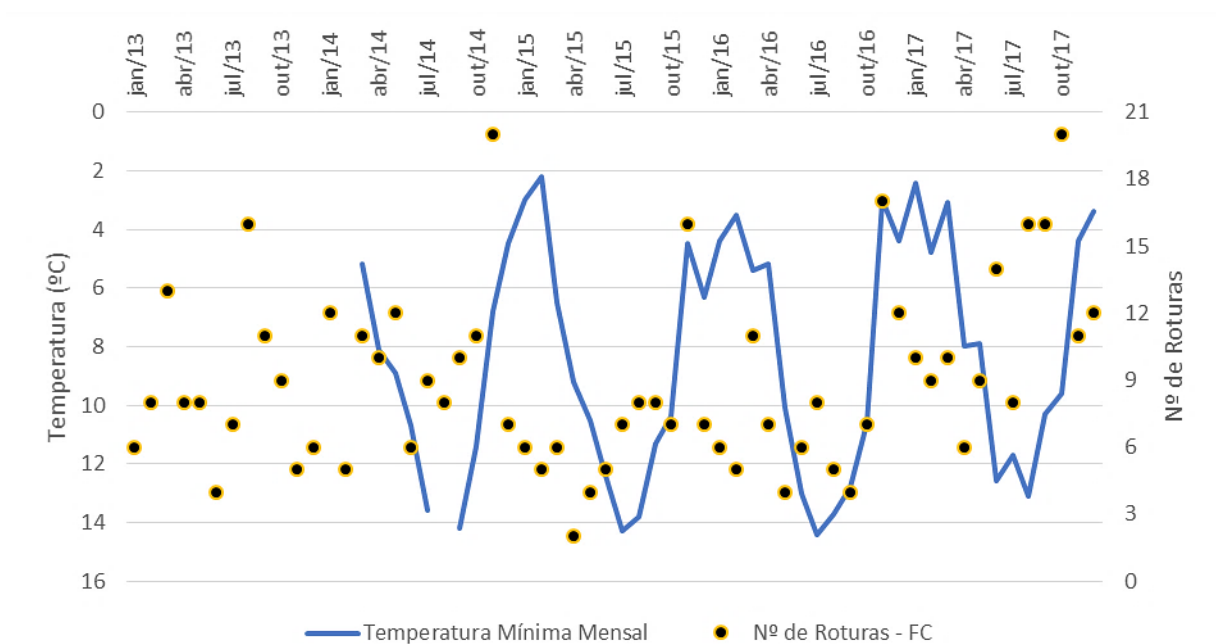


Figura 85 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FC)

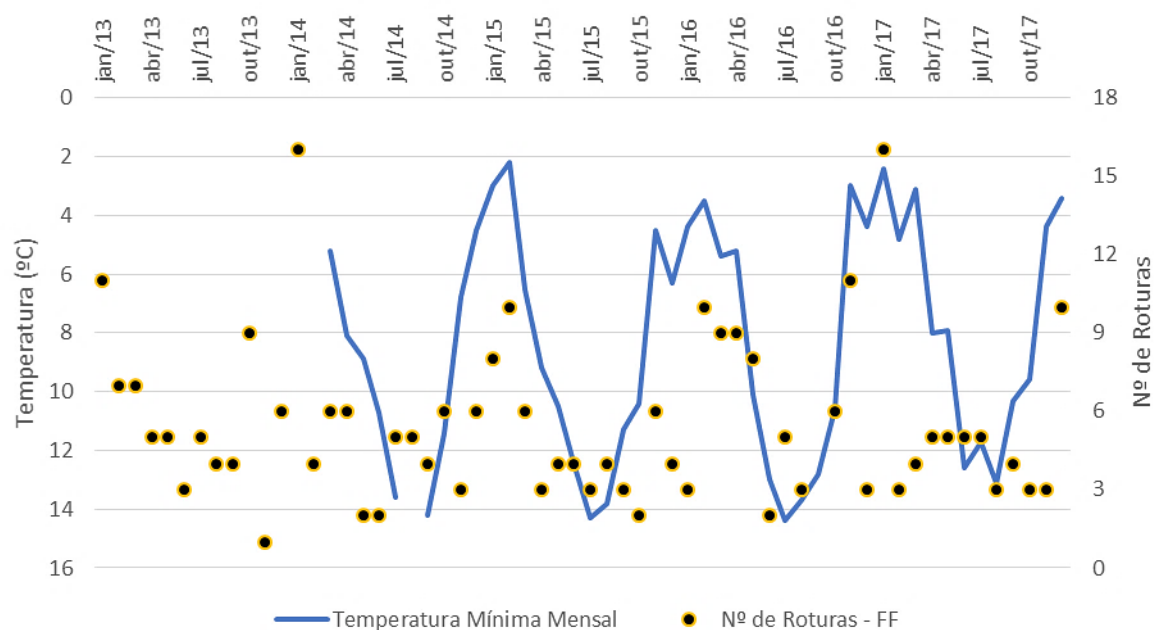


Figura 86 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FF)

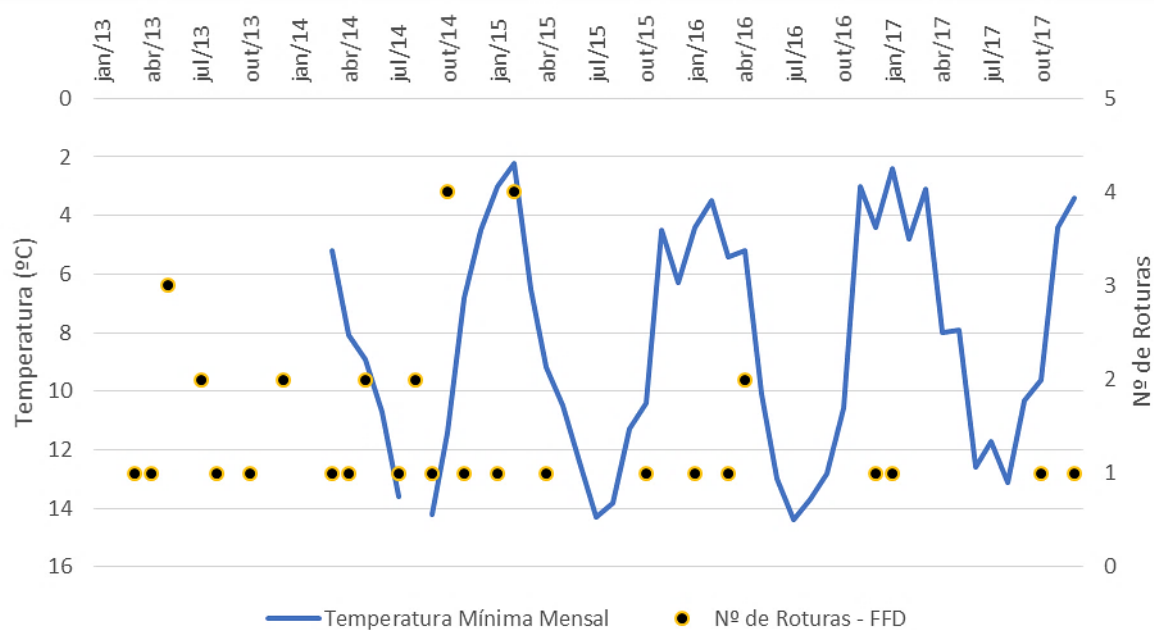


Figura 87 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FFD)

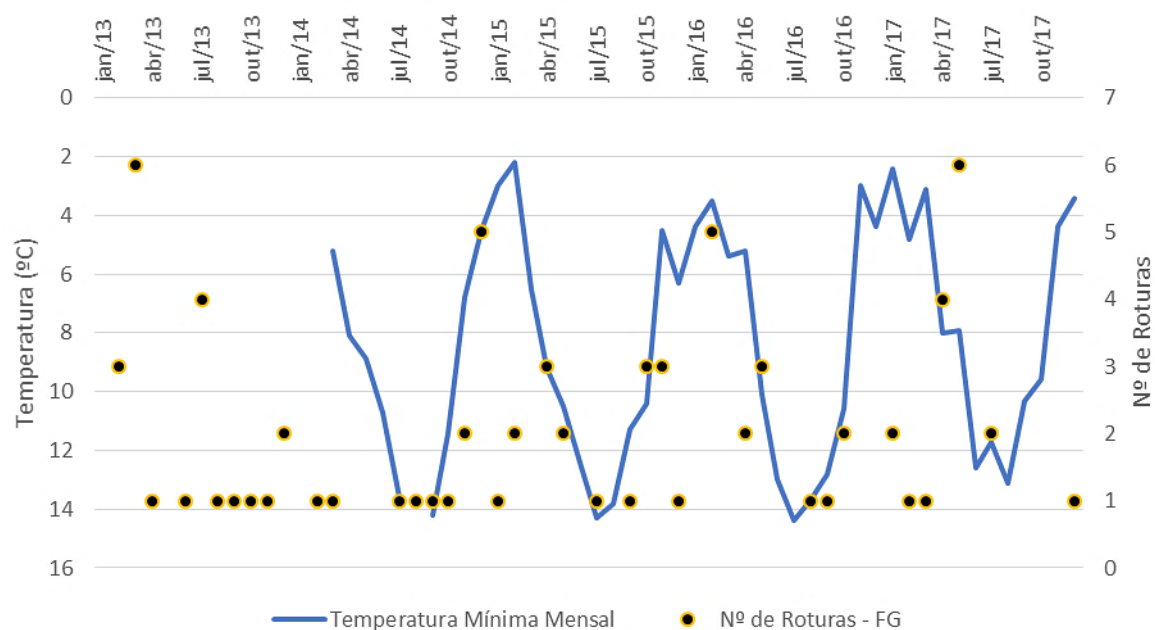


Figura 88 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (FG)

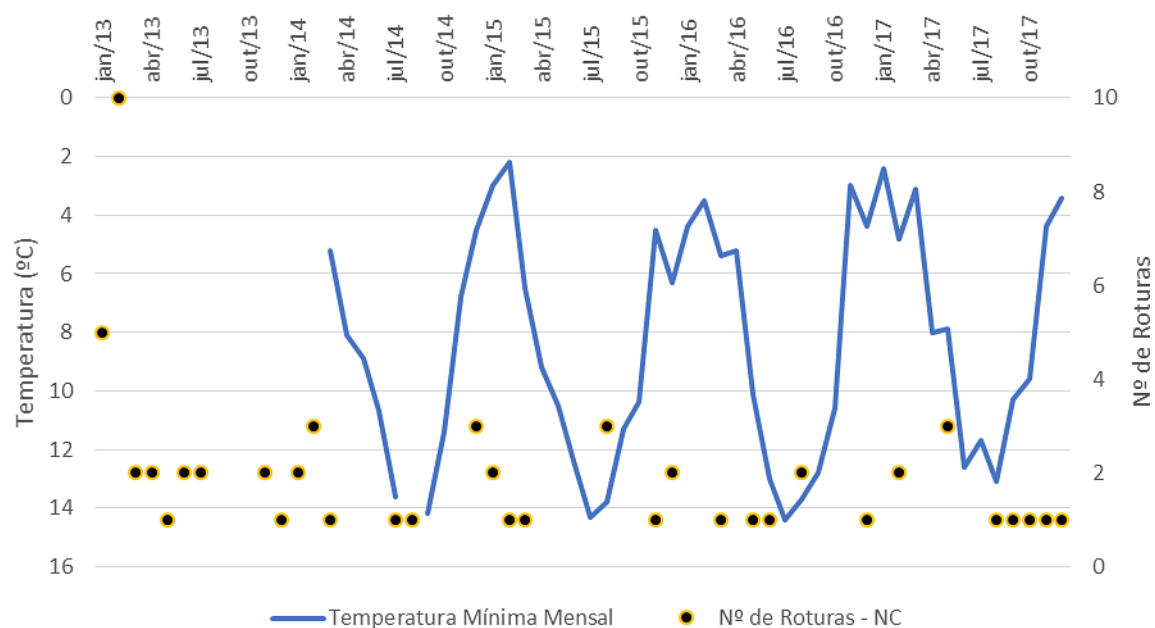


Figura 89 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (NC)

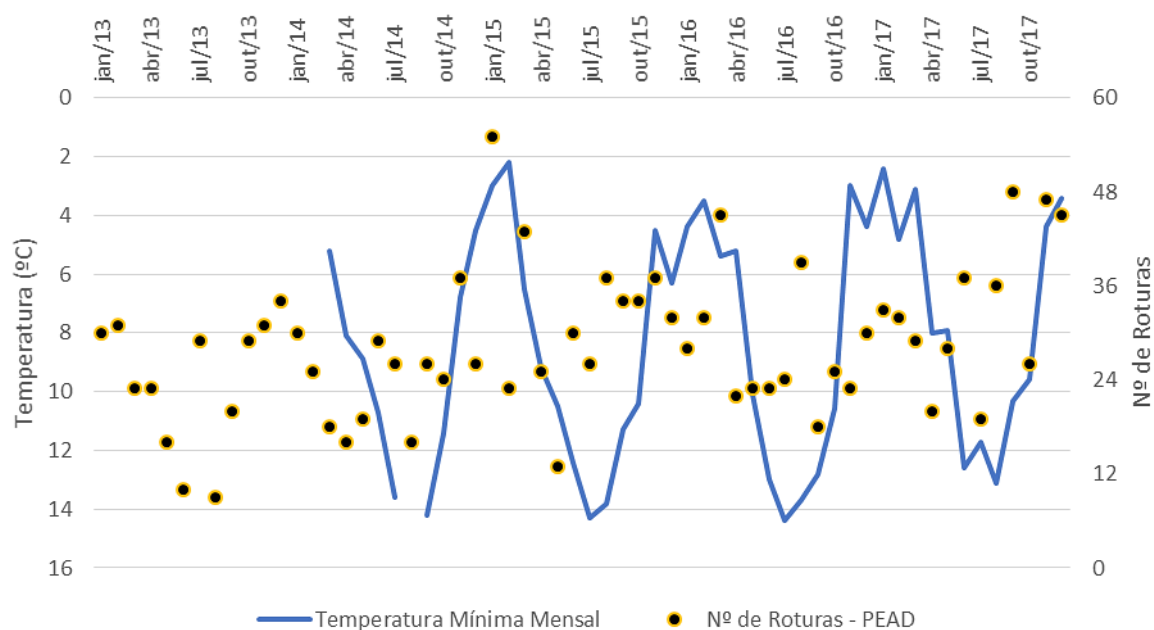


Figura 90 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (PEAD)

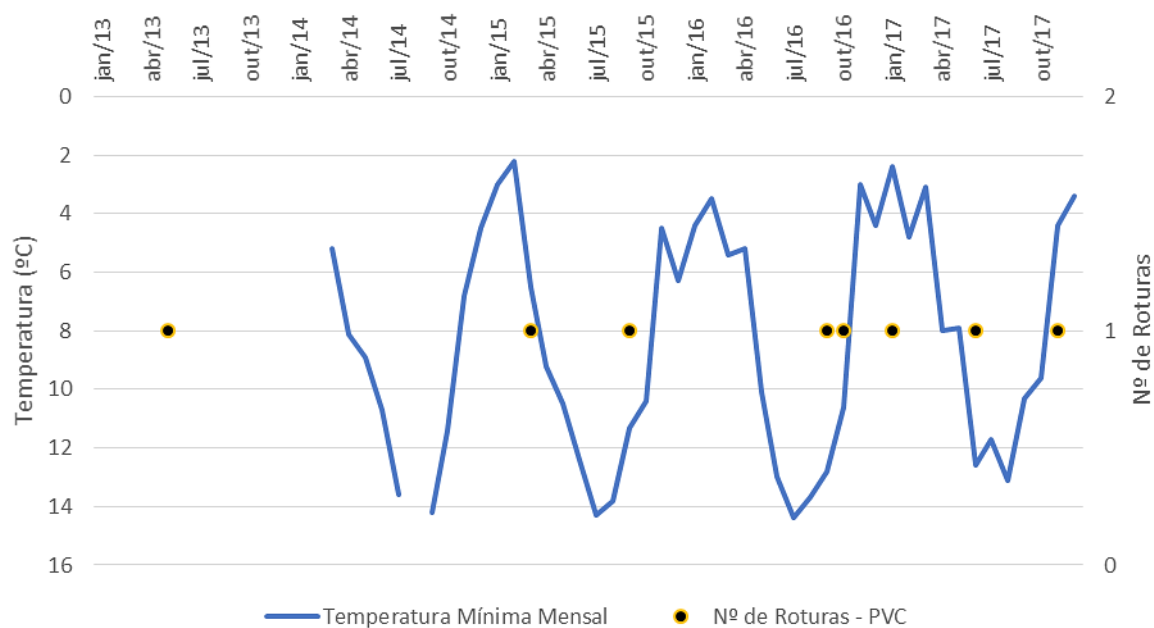


Figura 91 – Distribuição Mensal das Roturas Vs Temperatura (PVC)

ANEXO D: MODELO DE PREVISÃO DE PROBABILIDADE | CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS

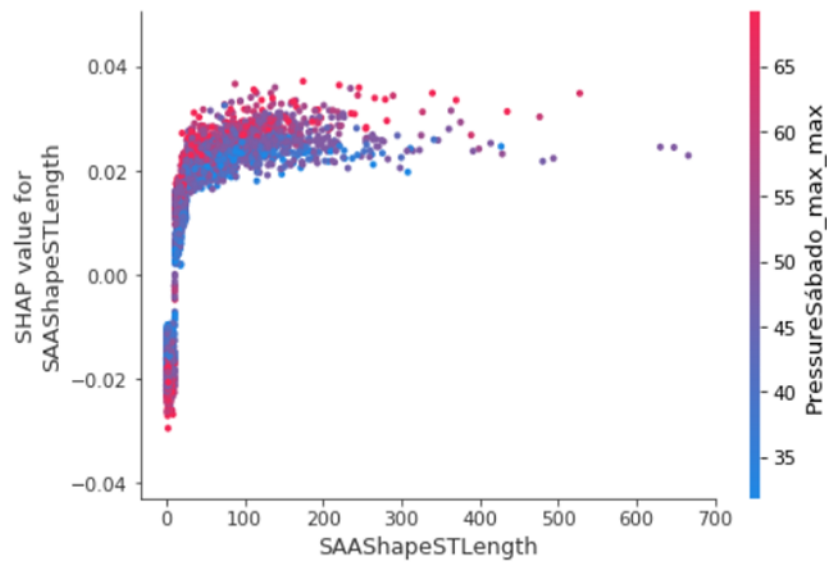


Figura 92 – Modelo de Previsão de Probabilidade | Análise Comprimento + Pressão Máxima

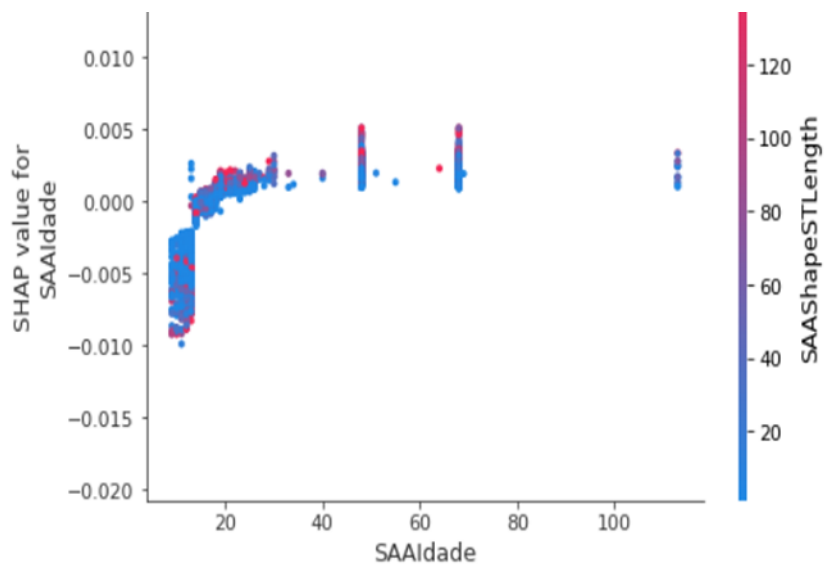


Figura 93 – Modelo de Previsão de Probabilidade | Idade + Comprimento

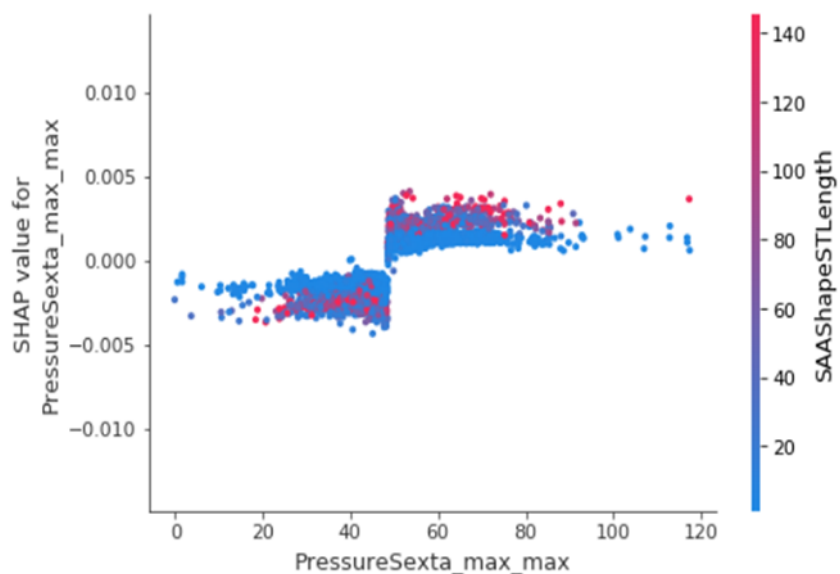


Figura 94 – Modelo de Previsão de Probabilidade | Pressão Máxima + Comprimento

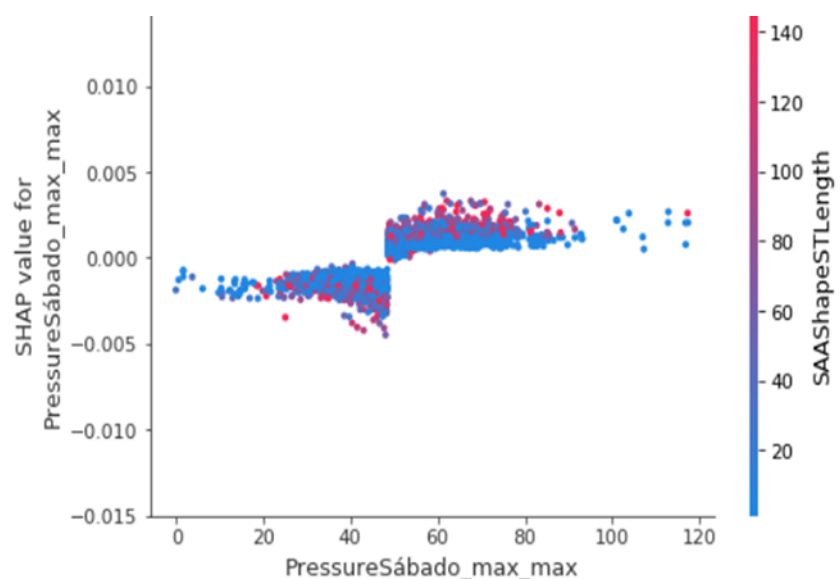


Figura 95 – Modelo de Previsão de Probabilidade | Pressão Máxima + Comprimento

ANEXO E: FORMULÁRIO DE INTERVENÇÃO | ROTURAS

-18°

 48% 18:16

 Registrar intervenção

Materials

Observações

Fotos
Não existem imagens

Variáveis

Fecho de água

Sim

Data de fecho

AAAA-MM-DD HH:mm:ss

Abertura de água

Comprimento material retirado

Comprimento material retirado m

Comprimento material instalado

Comprimento material instalado m

Sinalização

Necessário sinalizar

Serviço suspenso

Serviço suspenso

Material retirado

PEAD

Diâmetro material PEAD retirado

DN75 mm

Tirar Fotografia DEPOIS do serviço

Figura 96 – Formulário de Intervenção das Roturas (1)

-18°

 48% 18:16

 Registrar intervenção

Utilizadores

Veículos

00-00-00 (Opel Corsa)

Área

ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Sintoma

ABASTECIMENTO DE ÁGUA » ÁGUA » Tubagens » Rotura Conduta

Toponímia

Cedofeita » ALFREDO ALLEN (R.)

Observações Local

Zona/Bacia

Infraestrutura

Causas

Excesso de pressão; Mau estado de conservação; Natural; Provocada por empreiteiro; Provocada por Águas do Porto

Trabalhos

Reparar

Materiais

Observações

Fotos

Figura 97 – Formulário de Intervenção das Roturas (2)