

Análise e Quantificação de Afluências Indevidas em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais com Recurso a *Machine Learning*

Tiago Filipe Fonseca Monteiro

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Cidália Maria de Sousa Botelho
(Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: Joaquim Manuel Veloso Poças Martins
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Isabel Maria Lopes Mesquita
(Técnica do Ambiente na Unidade de Águas Residuais da Águas do Porto, E.M.)

setembro, 2020

Agradecimentos

A realização desta dissertação foi possível graças à intervenção de um conjunto de pessoas e entidades que, ao longo destes últimos meses de trabalho, contribuíram, de forma essencial, para a concretização deste documento.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha família e aos meus amigos pelo apoio incondicional, em particular ao André Silva pela preciosa ajuda em programação.

Agradeço, também, ao meu orientador e Professor Engenheiro Joaquim Poças Martins, por me ter dado a conhecer este tema, pelo apoio prestado e disponibilizado a qualquer momento e pela partilha das suas ideias e visão únicas sobre esta área.

A todos os professores, com os quais me cruzei ao longo destes 5 anos, e à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, deixo o meu apreço e reconhecimento pelo conhecimento que me foi transmitido.

À Engenheira Isabel Mesquita, reconheço-lhe todo o apoio, paciência, incentivo ao longo do trabalho que fui realizando na Águas do Porto, E.M., com a consciência de que não poderia ter tido melhor orientadora. Deixo ainda palavras de imenso apreço à Engenheira Catarina Tuna e ao Engenheiro Francisco Sousa, pelo interesse que mostraram pelo meu trabalho e pela partilha da sua experiência profissional. Ao Sr. Bessa, agradeço a generosidade que demonstrou ao longo das visitas de campo nas quais o acompanhei. A todos os restantes colaboradores, com os quais me cruzei, agradeço a calorosa receção, a simpatia e a disponibilidade.

Finalmente, expresso a minha gratidão à Águas do Porto, E.M. pelo modo como me receberam e pelas condições de trabalho proporcionadas.

Resumo

As afluências indevidas em redes de drenagem de águas residuais do tipo separativo afetam a sustentabilidade ambiental, socioeconómica e estrutural de uma entidade gestora e do meio que a rodeia. Os caudais excedentários diminuem a eficiência e o desempenho dos sistemas de transporte e tratamento de águas residuais. Nas estações de tratamento de águas residuais, o aumento do volume de caudais a tratar acarreta um aumento dos custos de operação e manutenção, enquanto acelera o desgaste das infraestruturas, promovendo a ocorrência de inundações e a descarga de efluentes não tratados para os meios recetores.

Com esta dissertação, foram aprofundados e consolidados conhecimentos relativos às afluências indevidas, às suas causas e consequências e impactos que acarretam ao nível ambiental, de saúde pública, estrutural e socioeconómico. Foram também estudadas diversas metodologias de quantificação destes caudais excedentários e analisadas várias tecnologias que podem ser aplicadas no terreno, as quais auxiliam na identificação de possíveis infiltrações na rede.

Numa primeira fase, utilizou-se um método de séries temporais que permitiu a quantificação dos volumes de caudais parasitas que circulam nas redes de drenagem de 10 bacias da cidade do Porto, assim como a elaboração de mapas de criticidade da rede, priorizando os locais em termos de intervenção e reabilitação. Posteriormente, a aplicação do método do triângulo permitiu determinar a tipologia dessas afluências indevidas, podendo tratar-se de afluências diretas (quando têm origem em eventos pluviométricos) ou indiretas.

A segunda fase deste trabalho consistiu na elaboração de um programa de *Machine Learning*, usando o método de ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*), capaz de prever caudais excedentários à rede de drenagem de águas residuais. Os resultados obtidos serão tidos em conta na revisão do plano de controlo de afluências indevidas do município do Porto.

Todos os dados utilizados e validados durante este projeto foram fornecidos pela empresa Águas do Porto, E.M.

Palavras-Chave: afluências indevidas, caudais excedentários, eficiência, sustentabilidade, mapas de criticidade, *Machine Learning*

Abstract

Infiltrations and inflows in sewage drainage networks of the separative type affect the environmental, socioeconomic and structural sustainability of a management entity, as well as the environment and populations that surround it. Surplus flows decrease the efficiency and performance of wastewater transport and treatment systems. In the wastewater treatment plants, the increase in the volume of flows to be treated causes an increase in the operation and maintenance costs, while accelerating the wear and tear of the infrastructures, promoting the occurrence of floods and the discharge of untreated effluents to the receiving environment.

With this dissertation, knowledge related to infiltrations and inflows, its causes and consequences and impacts that have on an environmental, public health, structural and socioeconomic level were deepened and consolidated. Several methodologies for quantifying these surplus flows were also studied and various technologies, which help in the identification of possible infiltrations in the network and can be applied on the ground, were analysed.

In a first phase, a time series method was used in order to quantify the volumes of parasitic flows that circulate in the drainage networks of 10 basins in the city of Porto, as well as the elaboration of criticality maps of the network, prioritizing locations in terms of intervention and rehabilitation. Subsequently, the application of the triangle method allowed to determine the typology of these inflows, which may be direct (when they originate after a pluviometric event) or indirect ones.

The second phase of this work consisted of the elaboration of a *Machine Learning* program, using the ARIMA method (*AutoRegressive Integrated Moving Average*), capable of predicting surplus flows to the wastewater drainage network. The results obtained will be considered in the review of the plan to control undue inflows in the municipality of Porto.

Keywords: infiltrations and inflows, surplus flows, efficiency, sustainability, criticality maps, *Machine Learning*

Índice Geral

Agradecimentos.....	III
Resumo	V
Abstract.....	VII
Índice Geral.....	IX
Índice de Figuras.....	XV
Índice de Tabelas	XXII
Notação e Glossário	XXVI
Letras Gregas	XXVII
Índices	XXVIII
Lista de Siglas	XXX
Capítulo 1 Introdução	1
1.1. Enquadramento e Apresentação do Projeto	2
1.2. Objetivos da Dissertação.....	3
1.3. Organização da Tese.....	3
Capítulo 2 Revisão Bibliográfica.....	6
2.1. Redes de Drenagem Urbanas.....	7
2.2. Problemática das Afluências Indevidas.....	9
2.2.1. Tipos de Afluências Indevidas	11
2.2.1.1. Afluências Indevidas Diretas	13
2.2.1.2 Afluências Indevidas Indiretas	14
2.2.2. Fatores que Influenciam a Ocorrência de Afluências Indevidas.....	15
2.2.3. Impactos das Afluências Indevidas.....	19
2.2.3.1. Impacto no Ambiente e na Saúde Pública	20
2.2.3.2. Impacto Técnico e Estrutural	21

2.2.3.3. Impacto Socioeconómico	22
2.3. Legislação Portuguesa e Internacional	24
2.4. Métodos de Quantificação de Afluências Indevidas em Fase de Exploração ...	27
2.4.1. Método do Caudal de Tempo Seco	28
2.4.2. Método das Séries Temporais	29
2.4.3. Método do Triângulo	30
2.4.4. Método do Mínimo Móvel	31
2.4.5. Método do Caudal Mínimo	32
2.4.6. Método das Séries Temporais Poluentes	33
2.4.7. Método dos Isótopos Estáveis	33
2.4.8. Condutividade	34
2.4.9. Quadro-Resumo	34
2.5. Recomendações da ERSAR	36
2.6. Indicadores de Desempenho	37
2.6.1. Impacto das Infiltrações	38
2.6.2. Impacto das Ligações Indevidas à Rede Doméstica	39
2.6.3. Aplicação de Avaliação de Indicadores de Desempenho	40
2.7. Tecnologias Auxiliares de Quantificação de Afluências Indevidas	41
2.7.1. Caudalímetros	41
2.7.1.1. Escoamentos Sob Pressão	42
2.7.1.1.1. Caudalímetros Eletromagnéticos	42
2.7.1.1.2. Caudalímetros Ultrassónicos	43
2.7.1.1.3. Caudalímetros Deprimogéneos	44
2.7.1.2. Escoamentos com Superfície Livre	45
2.7.1.2.1. Caudalímetros com Descarregador de Soleira Delgada	45
2.7.1.2.2. Caudalímetros com Caleira	47
2.7.1.2.3. Caudalímetros com Multissensorização	48
2.7.1.3. Caudalímetros Utilizados nas Águas do Porto, E.M.	48
2.7.2. Udómetros	50

2.8. Técnicas de Detecção de Infiltrações.....	51
2.8.1. <i>Greater Dublin Strategic Drainage Study</i>	51
2.8.1.1. Testes com Máquinas de Fumo	52
2.8.1.1.1. Objetivos.....	52
2.8.1.1.2. Equipamentos e Materiais	53
2.8.1.1.3. Metodologia de ensaios de fumo	54
2.8.1.1.4. Ambiente, Qualidade e Segurança.....	56
2.8.1.2. Inspeção Visual CCTV.....	56
2.8.1.3. Isolamento de Pequenos Traços de Rede	58
2.8.1.4. Teste com Recurso a Traçadores	58
2.8.2. Outras Metodologias de Detecção de Afluências Indevidas	58
2.8.2.1. Ensaios de estanquidade.....	58
2.8.2.2. Técnicas ultrassónicas (SONAR)	59
2.8.2.3. <i>Sewer Scanning and Evaluation Technology</i>	59
2.8.2.4. <i>Laser</i>	60
2.8.2.5. <i>Lamping</i>	61
2.8.2.6. Questionários a Residentes.....	61
Capítulo 3 Âmbito e Objetivos Específicos.....	63
3.1. Identificação dos Objetivos	64
3.2. Metodologias Adotadas na Quantificação e Qualificação de Afluências Indevidas	64
3.2.1. Método das Séries Temporais	64
3.2.2. Método do Triângulo	65
3.3. Avaliação Global da Área em Estudo	66
3.3.1. Fisiografia.....	67
3.3.1.1. Hipsometria.....	68
3.3.1.2. Declives.....	70
3.3.2. Geologia e Geomorfologia.....	71
3.3.2.2. Geomorfologia.....	71

3.3.2.3. Potencial de permeabilidade	72
3.3.2.4. Condicionantes geotécnicas.....	73
3.3.3. Hidrografia e Inundações	74
3.3.3.1. Bacias Hidrográficas	74
3.3.3.2. Inundações urbanas.....	75
3.3.4. Sistema Húmido	76
3.3.5. Ocupação do Solo	77
3.4. Definição dos Limites da Área em Estudo.....	78
3.5. Introdução ao <i>Machine Learning</i>	79
Capítulo 4 A Empresa.....	84
4.1. Apresentação da Águas do Porto, E.M.	85
4.2. Caracterização da Rede de Drenagem.....	86
4.2.1. Rede em Baixa	87
4.2.2. Rede em Alta	90
4.3. Estações de Tratamento de Águas Residuais	90
Capítulo 5 Resultados	95
5.1. Apresentação e Discussão de Resultados.....	96
5.1.1. Método das Séries Temporais	96
5.1.1.1. Análise das Variáveis que Influenciam as Afluências Indevidas	99
5.1.1.1.1. Intervenções na Rede	99
5.1.1.1.2. Extensão, Vida Útil do Material e Idade Média dos Coletores.....	100
5.1.1.1.3. Altitude das Bacias	104
5.1.1.1.4. Proximidade das Bacias a Níveis Freáticos	104
5.1.1.1.5. Inclinação das Bacias.....	104
5.1.1.1.6. Proximidade das Bacias aos Sistemas Húmidos	105
5.1.1.1.8. Resultado Geral	105
5.1.2. Mapas de Criticidade	107
5.1.3. Método das Séries Temporais vs Método do Triângulo.....	109
5.1.4. Afluências Indevidas Diretas e Indiretas	112

5.1.5. Caudais Afluentes às Estações de Tratamento de Águas Residuais.....	116
5.2. Estratégias Para a Redução das Afluências Indevidas.....	118
5.3. Modelo de ARIMA.....	120
Capítulo 6 Conclusões	125
Capítulo 7 Avaliação do Trabalho Realizado e Recomendações	128
7.1. Avaliação do Trabalho Realizado.....	129
7.2. Limitações e Trabalho Futuro.....	129
7.3. Apreciação Final	130
7.4. Recomendações	131
Referências Bibliográficas	133
Anexos	I
Anexo A Caudais Bombeados pelas Estações Elevatórias	III
Anexo B Tempos de Bombagem de Cada Estação Elevatória.....	XXII
Anexo C Capacidade de Bombagem das Estações Elevatórias	XXIV
Anexo D Águas Faturadas e Residuais Domésticas	XXVI
Anexo E Registos de Pluviosidade.....	XXIX
Anexo F Legenda da Carta de Ocupação do Solo do Porto	XXXII
Anexo G Gráficos Obtidos pela Aplicação do Método das Séries Temporais...	XXXIV
Anexo H Gráficos Obtidos pela Aplicação do Método do Triângulo	XL
Anexo I Caudais Afluentes às ETAR.....	L
Anexo J Gráficos Obtidos pela Aplicação do Modelo de ARIMA	LVIII

Índice de Figuras

Figura 2.1. Exemplificação dos sistemas de drenagem separativos, unitários e mistos. Retirado de (David & Barroso, 2017)	8
Figura 2.2. Escoamentos em eventos de precipitação. Retirado de (David & Barroso, 2017)	10
Figura 2.3. Afluências indevidas diretas e indiretas. Adaptado de (Paixão, 2016)	13
Figura 2.4. Esquema de um sistema de drenagem (Franz, 2007)	14
Figura 2.5. Exemplo de ligações indevidas à rede de drenagem de águas residuais. Retirado de (Mortinho, 2011).....	18
Figura 2.6. Impactos das afluências indevidas. Adaptado de (Coelho, 2013)	19
Figura 2.7. Exemplificação de ciclo de impactos técnicos e estruturais. Adaptado de (Bonito, 2014).....	21
Figura 2.8. Exemplificação de ciclo de impactos técnicos e estruturais. Adaptado de (Bonito, 2014).....	22
Figura 2.9. Categorias dos custos associados a infiltrações. Adaptado de (Coelho, 2013)	23
Figura 2.10. Metodologias de quantificação de afluências indevidas. Adaptado de (Franz, 2007); (R. Ramos, 2018)	27
Figura 2.11. Exemplificação do método do triângulo. Retirado de (Barros, 2015)	31
Figura 2.12. Categorias de caudalímetros.....	42
Figura 2.13. Caudalímetros eletromagnéticos tubular (a) e de inserção (b). Retirado de (Henriques et al., 2006).....	43
Figura 2.14. Caudalímetro ultrassónico. Retirado de (Henriques et al., 2006)	44
Figura 2.15. Caudalímetro deprimogéneo. Retirado de (Henriques et al., 2006)	44
Figura 2.16. Caudalímetros de diafragma (a), de bocal (b) e de tubo Venturi (c). Retirado de (Henriques et al., 2006).....	45
Figura 2.17. Descarregador retangular. Retirado de (Henriques et al., 2006)	46
Figura 2.18. Descarregador Bazin. Retirado de (Henriques et al., 2006)	46
Figura 2.19. Descarregador triangular. Retirado de (Henriques et al., 2006).....	46
Figura 2.20. Caleira Venturi com soleira. Retirado de (Henriques et al., 2006).....	47
Figura 2.21. Caleira Parshall. Retirado de (Henriques et al., 2006)	48
Figura 2.22. Caudalímetro PCM, da NIVUS. Retirado de (NIVUS - Instruction Manual PCM 4, 2011)	49
Figura 2.23. (A) e (B) Instalação de caudalímetro LT-US, (C) Caudalímetro LT-US ...	50
Figura 2.24. Udómetro. Retirado de (IPMA - Área Educativa - Udómetro, 2020)	51

Figura 2.25. Representação esquemática do processo de ensaio de fumos. Adaptado de (Beheshti et al., 2015).....	53
Figura 2.26. Equipamentos e materiais necessários para os ensaios com máquinas de fumo: (A) Máquina geradora de fumo, (B) Sistemas de balonamento de coletores, (C) Mangueira flexível, (D) Gerador de energia com combustível, (E) Equipamentos de sinalização da via e (F) Fluido de fumos para gerador de fumos.....	54
Figura 2.27. Fluxograma de metodologia para a realização dos testes de fumo	55
Figura 2.28. Inspeção visual CCTV: (A) Veículo robotizado com cabo extensível e televisor, circulados a amarelo, (B) Câmara CCTV inserida na extremidade do cabo extensível, (C) Imagem gravada pela câmara CCTV e transmitida para o televisor colocado sob o veículo robotizado, (D) Ampliação da imagem transmitida pela câmara CCTV e (E) Triturador ou cortador.....	57
Figura 2.29. Imagem obtida através de um sonar. Retirado de (Moisio et al., 2004). 59	
Figura 3.1. Exemplificação esquemática do método das séries temporais	65
Figura 3.2. Exemplificação esquemática do método do triângulo	66
Figura 3.3. Localização do município do Porto. Retirado de (Google Maps, 2020)....	67
Figura 3.4. Carta hipsométrica da cidade do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)	68
Figura 3.5. Perfil de elevação da Avenida de Fernão de Magalhães	69
Figura 3.6. Perfil de elevação da Avenida da Boavista.....	69
Figura 3.7. Perfil de elevação geral da cidade do Porto - desde a costa atlântica até ao limite Nordeste do concelho.....	70
Figura 3.8. Declives, em graus, no concelho do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)	71
Figura 3.9. Carta geomorfológica do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)	72
Figura 3.10. Potencial de permeabilidade do município do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018).....	73
Figura 3.11. Condicionantes geotécnicas da cidade do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018).....	74
Figura 3.12. Rede hidrográfica da cidade do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)	75
Figura 3.13. Registo de inundações urbanas na cidade do Porto entre 1974 e 2004. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)	76

Figura 3.14. Sistema húmido da cidade do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)	77
Figura 3.15. Ocupação do solo na cidade do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2019)	78
Figura 3.16. Exemplo de bibliotecas disponíveis em python. Retirado de (Pires, 2020)	81
Figura 4.1. Subsistemas Ocidental e Oriental da cidade do Porto	86
Figura 4.2. Zonas de drenagem da cidade do Porto	87
Figura 4.3. Ejetor Shone, na zona da Foz	88
Figura 4.4. Áreas das bacias associadas a estações elevatórias (a vermelho), relativamente à área do município do Porto	89
Figura 4.5. Localização das ETAR em cada um dos subsistemas do município	91
Figura 4.6. Vista aérea da ETAR do Freixo. Retirado de (Porto., 2017)	92
Figura 4.7. Vista aérea da ETAR de Sobreiras. Retirado de (AQUALITRANS, 2019)	93
Figura 5.1. Aplicação do método das séries temporais na bacia de Igreja Paranhos (2018-2019)	96
Figura 5.2. Evolução das percentagens de afluências indevidas nas 10 bacias em análise (2018-2019)	97
Figura 5.3. Volumes absolutos de afluências indevidas nas 10 bacias analisadas (2018-2019)	98
Figura 5.4. Representação espacial das percentagens de afluências indevidas na cidade do Porto (2018)	108
Figura 5.5. Representação espacial das percentagens de afluências indevidas na cidade do Porto (2019)	108
Figura 5.6. Comparação de volumes elevados, obtidos pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2018)	109
Figura 5.7. Comparação de volumes elevados, obtidos pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2019)	110
Figura 5.8. Comparação de percentagens de afluências indevidas, obtidas pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2018)	110
Figura 5.9. Comparação de percentagens de afluências indevidas, obtidas pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2019)	111

Figura 5.10. Comparação de volumes de afluências indevidas, obtidos pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2018)	111
Figura 5.11. Comparação de volumes de afluências indevidas, obtidos pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2019)	112
Figura 5.12. Aplicação do método do triângulo na bacia de Augusto Lessa (2018) ..	113
Figura 5.13. Percentagens de afluências indevidas nas bacias analisadas (2018)	114
Figura 5.14. Percentagens de afluências indevidas nas bacias analisadas (2019)	114
Figura 5.15. Caudais afluentes à ETAR de Sobreiras (2018-2019)	117
Figura 5.16. Caudais afluentes à ETAR do Freixo (2018-2019).....	117
Figura 5.17. Estrutura de Low Impact Development. Retirado de (University of Arkansas Community Design Center, n.d.).....	119
Figura 5.18. Modelo de ARIMA para águas residuais - bacia de Nova Rio	122
Figura 5.19. Modelo de ARIMA para águas residuais domésticas - bacia de Tirares ..	122

Figura F.1. Legenda da carta de ocupação do solo da cidade do Porto	XXXII
---	-------

Figura G.1. Aplicação do método das séries temporais à bacia do Alto Arrábida .	XXXIV
Figura G.2. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Augusto Lessa	XXXIV
Figura G.3. Aplicação do método das séries temporais à bacia do Bacelo	XXXV
Figura G.4. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Nevogilde	XXXV
Figura G.5. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Nova Rio	XXXVI
Figura G.6. Aplicação do método das séries temporais à bacia do Pêgo Negro....	XXXVI
Figura G.7. Aplicação do método das séries temporais à bacia do Pinheiro Torres	XXXVII
Figura G.8. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Serralves	XXXVII
Figura G.9. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Tirares	XXXVIII

Figura H.1. Aplicação do método do triângulo à bacia do Alto Arrábida (2018)	XL
Figura H.2. Aplicação do método do triângulo à bacia do Bacelo (2018)	XL
Figura H.3. Aplicação do método do triângulo à bacia da Igreja Paranhos (2018) ...	XLI
Figura H.4. Aplicação do método do triângulo à bacia de Nevogilde (2018)	XLI
Figura H.5. Aplicação do método do triângulo à bacia de Nova Rio (2018)	XLII
Figura H.6. Aplicação do método do triângulo à bacia do Pinheiro Torres (2018) ..	XLII
Figura H.7. Aplicação do método do triângulo à bacia de Serralves (2018)	XLIII
Figura H.8. Aplicação do método do triângulo à bacia do Tirares (2018).....	XLIII

Figura H.9. Aplicação do método do triângulo à bacia de Augusto Lessa (2019)	XLIV
Figura H.10. Aplicação do método do triângulo à bacia do Bacelo (2019).....	XLIV
Figura H.11. Aplicação do método do triângulo à bacia da Igreja Paranhos (2019).	XLV
Figura H.12. Aplicação do método do triângulo à bacia de Nevogilde (2019).....	XLV
Figura H.13. Aplicação do método do triângulo à bacia de Nova Rio (2019)	XLVI
Figura H.14. Aplicação do método do triângulo à bacia do Pêgo Negro (2019)	XLVI
Figura H.15. Aplicação do método do triângulo à bacia do Pinheiro Torres (2019)	XLVII
Figura H.16. Aplicação do método do triângulo à bacia de Serralves (2019).....	XLVII
Figura H.17. Aplicação do método do triângulo à bacia de Tirares (2019)	XLVIII

Figura J.1. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia do Alto Arrábida, aplicando o modelo de ARIMA.....	LVIII
Figura J.2. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia de Augusto Lessa, aplicando o modelo de ARIMA	LIX
Figura J.3. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia do Bacelo, aplicando o modelo de ARIMA	LIX
Figura J.4. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia da Igreja Paranhos, aplicando o modelo de ARIMA	LX
Figura J.5. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia de Nevogilde, aplicando o modelo de ARIMA	LX
Figura J.6. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia do Pêgo Negro, aplicando o modelo de ARIMA.....	LXI
Figura J.7. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia do Pinheiro Torres, aplicando o modelo de ARIMA	LXI
Figura J.8. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia de Serralves, aplicando o modelo de ARIMA	LXII
Figura J.9. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia de Tirares, aplicando o modelo de ARIMA	LXII
Figura J.10. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia do Alto Arrábida, aplicando o modelo de ARIMA.....	LXIII
Figura J.11. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia de Augusto Lessa, aplicando o modelo de ARIMA.....	LXIV
Figura J.12. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia do Bacelo, aplicando o modelo de ARIMA	LXIV
Figura J.13. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia da Igreja Paranhos, aplicando o modelo de ARIMA	LXV

Figura J.14. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia de Nevogilde, aplicando o modelo de ARIMA	LXV
Figura J.15. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia de Nova Rio, aplicando o modelo de ARIMA	LXVI
Figura J.16. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia do Pinheiro Torres, aplicando o modelo de ARIMA	LXVI
Figura J.17. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia de Serralves, aplicando o modelo de ARIMA	LXVII
Figura J.18. Previsão dos caudais afluentes à ETAR de Sobreiras, aplicando o modelo de ARIMA	LXVII
Figura J.19. Previsão dos caudais afluentes à ETAR do Freixo, aplicando o modelo de ARIMA	LXVIII

Índice de Tabelas

Tabela 2.1. Vantagens e desvantagens dos sistemas separativos e unitários. Adaptado de (Duarte, 2014)	8
Tabela 2.2. Tipologia das afluências indevidas. Adaptado de (David & Barroso, 2017)	12
Tabela 2.3. Quadro-resumo dos critérios de quantificação dos caudais de infiltração, a nível nacional e internacional. Adaptado de (R. Ramos, 2018).....	26
Tabela 2.4. Quadro-resumo dos principais métodos de deteção de afluências indevidas. Adaptado de (Franz, 2007).....	35
Tabela 2.5. Exemplo de aplicação de indicadores de desempenho. Retirado de (M. do C. Almeida et al., 2012).....	41
 Tabela 3.1. Tipo de ocupação do solo do município do Porto	78
Tabela 3.2. Arruamentos pertencentes a cada bacia em análise	79
 Tabela 4.1. Subsistemas, zonas de drenagem e áreas das bacias associadas às estações elevatórias consideradas.....	89
Tabela 4.2. Número de prédios associados a cada bacia.....	90
 Tabela 5.1. Percentagens e volumes absolutos de afluências indevidas nas bacias em análise, nos anos de 2018 e de 2019	97
Tabela 5.2. Ranking das bacias com maiores percentagens e volumes de afluências indevidas em 2018 e em 2019 (ordem crescente)	99
Tabela 5.3. Lista de sintomas registados nos últimos dois anos e respetiva escala normalizada	100
Tabela 5.4. Comprimentos efetivos e normalizados da rede de coletores de cada bacia	101
Tabela 5.5. Tempo de vida útil, em anos, para os materiais dos coletores	101
Tabela 5.6. Valor atribuído a cada tipo de material	102
Tabela 5.7. Vida útil dos materiais dos coletores da rede de drenagem	103
Tabela 5.8. Idade média, em anos, e idade média normalizada de cada bacia em estudo	104
Tabela 5.9. Quadro com os resultados de cada variável para cada bacia	105
Tabela 5.10. Indicador “nº prédios/área da bacia”	106

Tabela 5.11. Qualificação das afluências indevidas nas 10 bacias analisadas (2018)	113
Tabela 5.12. Indicador "área sistema húmido/área da bacia"	116
Tabela 5.13. Resultados obtidos pela aplicação do modelo de ARIMA à bacia de Nova Rio	123
Tabela A.1. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória do Alto Arrábida (2018)	III
Tabela A.2. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Augusto Lessa (2018)	IV
Tabela A.3. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória do Bacelo (2018) ..	V
Tabela A.4. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória da Igreja Paranhos (2018)	VI
Tabela A.5. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Nevogilde (2018)	VII
Tabela A.6. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Nova Rio (2018)	VIII
Tabela A.7. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Pinheiro Torres (2018)	IX
Tabela A.8. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Serralves (2018)	X
Tabela A.9. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Tirares (2018) ..	XI
Tabela A.10. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Augusto Lessa (2019)	XII
Tabela A.11. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória do Bacelo (2019)	XIII
Tabela A.12. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória da Igreja Paranhos (2019)	XIV
Tabela A.13. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Nevogilde (2019)	XV
Tabela A.14. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Nova Rio (2019)	XVI
Tabela A.15. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória do Pêgo Negro (2019)	XVII
Tabela A.16. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Pinheiro Torres (2019)	XVIII
Tabela A.17. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Serralves (2019)	XIX
Tabela A.18. Caudais bombeados, em m ³ , pela estação elevatória de Tirares (2019)	XX

Tabela B.1. Tempos de bombagem, em horas, nas 10 estações elevatórias (2018). XXII

Tabela B.2. Tempos de bombagem, em horas, nas 10 estações elevatórias (2019). XXII

Tabela C.1. Capacidades teóricas de bombagem por estação elevatória..... XXIV

Tabela D.1. Abastecimento de água para consumo, em m³, por bacia (2018) XXVI

Tabela D.2. Abastecimento de água para consumo, em m³, por bacia (2019) XXVI

Tabela D.3. Volume de águas residuais domésticas, em m³, por bacia (2018).....XXVII

Tabela D.4. Volume de águas residuais domésticas, em m³, por bacia (2019).....XXVII

Tabela E.1. Registo da pluviosidade, em milímetros, na cidade do Porto (2018) ...XXIX

Tabela E.2. Registo da pluviosidade, em milímetros, na cidade do Porto (2018) ... XXX

Tabela I.1. Caudais afluentes às ETAR de Sobreiras e do Freixo, em m³ L

Notação e Glossário

cm ²	Centímetros quadrados
°C	Graus Celsius
h	Horas
ha	Hectare
hab	Habitantes
km	Quilómetros
km ²	Quilómetros Quadrados
l/s	Litros por segundo
m	Metros
m ³ /d	Metros cúbicos por dia
m ³ /(d.cm.km)	Metros cúbicos por diâmetro, por centímetro e por quilómetro
m ³ /d/km	Metros cúbicos por dia e por quilómetro
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
m ³ /hab/d	Metros cúbicos por habitante e por dia
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
m ³ /s/km	Metros cúbicos por segundo e por quilómetro
mm	Milímetros
%	Porcentagem

Letras Gregas

Δ Delta

Índices

A_{consumo}	Água para consumo
A_{SM}	Área de secção molhada
C	Capitação
C_{visita}	Câmara de visita
ΔH	Desnível entre zonas saturada e não saturada
E	Caudal diário de descarga industrial
$f_{\text{afluência}}$	Fator de afluência
H_{man}	Altura manométrica
I	Infiltração
$ID_1 \dots ID_8$	Indicador de desempenho 1 a 8
I_{ind}	Infiltração indireta
L_{coletor}	Comprimento de coletor
M	Número de dias do último período contínuo de tempo seco
^{16}O	Oxigénio 16
^{18}O	Oxigénio 18
P	População
$\%_{AI}$	Percentagem de afluências indevidas
$\%_{AR}$	Percentagem de água residual
Q	Caudal medido
$\bar{Q}$	Caudal registado em 24 horas
Q_{AR}	Caudal de água residual
Q_{inf}	Caudal de infiltração
$Q_{\text{máx dts}}$	Caudal máximo diário de tempo seco
$Q_{\text{máx lig}}$	Caudal máximo de ligação indevida

$Q_{\min}$	Caudal mínimo
$Q_{\min \text{ dts}}$	Caudal mínimo diário de tempo seco
Q_{mts}	Caudal médio em tempo seco
Q_{SC}	Caudal de secção cheia
$Q_{\text{teórico}}$	Caudal teórico
Q_{total}	Caudal total
$R_{\text{doméstico}}$	Ramal doméstico
t_{bombagem}	Tempo de bombagem
V_{AI}	Volume de afluências Indevidas
V_{ARD}	Volume de água residual doméstica
V_b	Volume de água residual elevado pelas bombas de cada estação elevatória
V_{lig}	Volume de água pluvial que provém de ligação indevida
$V_{\text{média}}$	Velocidade média do espectro
V_{mts}	Volume médio de água residual em tempo seco
V_n^{jad}	Volume de águas residuais domésticas/industriais atribuído ao ponto de medição j , no “dia de chuva” n
V_n^{jap}	Volume estimado de águas pluviais, atribuído ao ponto de medição j , no “dia de chuva” n
V_n^{jT}	Volume total medido no ponto de medição j (ETAR ou secção de entrega), no “dia de chuva” n
V_{pu}	Volume de precipitação útil
V_{som}	Velocidade do som
V_{tc}	Volume

Lista de Siglas

A2O	Água, Ambiente e Organização
AA	Estação Elevatória do Alto Arrábida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AdDP	Águas do Douro e Paiva, S.A.
AdP	Águas do Porto, E.M.
AES	Água de Entrada no Sistema
AF	Água Faturada
AL	Estação Elevatória de Augusto Lessa
AR	Água Residual
ARD	Água Residual Doméstica
ARIMA	<i>AutoRegressive Integrated Moving Average</i>
ARP	Água Residual Pluvial
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
B	Estação Elevatória do Bacelo
CCI	Curva Característica da Instalação
CCTV	<i>Closed-Circuit Television</i>
CE	Comissão Europeia
CEE	Comunidade Económica Europeia
COD	Concentração de Oxigénio Dissolvido
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i>
CRL	Câmara Ramal de Ligação
CSO	<i>Combined Sewer Overflow</i>
DWF	<i>Dry Weather Flow</i>
EE	Estação Elevatória

ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ESTA	<i>Electronic System for Travel Authorization</i>
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
ETS	Erro, Tendência e Sazonalidade
FFD	Ferro Fundido
FMR	Falta de Manutenção na Rede
GPI	Gestão Patrimonial de Infraestruturas
ID	Indicador de Desempenho
I/I	<i>Infiltration/Inflow</i>
IP	Estação Elevatória de Igreja Paranhos
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IRAR	Instituto Regulador de Águas e Resíduos
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LID	<i>Low Impact Development</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MDE	Modelo Digital de Elevação
MEE	Manutenção da Estação Elevatória
ML	<i>Machine Learning</i>
MST	Método das Séries Temporais
MT	Método do Triângulo
N	Estação Elevatória de Nevogilde
NR	Estação Elevatória de Nova Rio
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PMAC	<i>Parallelizable MAC</i>
PN	Estação Elevatória do Pêgo Negro

POO	Programação Orientada a Objetos
PP	Polipropileno
PT	Estação Elevatória de Pinheiro Torres
PVC	Policloreto de Vinilo
QE	Quadro Elétrico
RL	Ramal de Ligação
S	Estação Elevatória de Serralves
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SH	Sistema Húmido
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SONAR	<i>Sound Navigation and Ranging</i>
SSET	<i>Sewer Scanning and Evaluation Technology</i>
T	Estação Elevatória de Tiraes
TURH	Títulos de Utilização de Recursos Hídricos
US EPA	<i>United States Environment Protection Agency</i>
UV	Ultravioleta
WEF	<i>Water Environment Federation</i>
WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i>
ZCI	Zona Centro Ibérica
ZOM	Zona de Ossa-morena

Capítulo 1 | Introdução

1.1. Enquadramento e Apresentação do Projeto

O conceito de afluências indevidas na literatura anglo-saxónica é definido como “*infiltration and inflow*” (I/I, em português: infiltração e afluxo). Vários autores assumem diferentes significados para estes dois termos: (Kaczor, 2011) refere que o termo de infiltração se refere às águas subterrâneas que se infiltram em sistemas de drenagem, através de deficiências nas infraestruturas da rede. O termo de afluxo corresponde às águas provenientes de eventos pluviométricos que invadem os coletores de águas residuais. De um modo geral, as afluências indevidas consistem em todos os caudais de água, normalmente de origem pluvial, que se infiltram nos sistemas de drenagem de águas residuais. (Kaczor, 2011)

As afluências indevidas assumem particular interesse em sistemas de drenagem separativos, isto é, naqueles que têm duas redes de drenagem independentes: um para as águas residuais domésticas e industriais e outro para as águas pluviais. Nestes, as afluências indevidas são impossíveis de anular por completo, muito devido ao seu carácter multidimensional. Apresentam as mais variadas origens - ambientais, estruturais, económicas, antropogénicas -, impactando os sistemas de drenagem, comprometendo o seu desempenho e sustentabilidade. Devido ao carácter multidisciplinar das suas causas, também as consequências se dão a vários níveis - ambiental, saúde pública, estrutural e socioeconómico. A chegada de caudais excedentários às estações de tratamento de águas residuais conduz ao aumento dos custos de operação (nomeadamente de reagentes e energia) e provoca um maior desgaste das estruturas da instalação, podendo provocar, em casos extremos, a descarga de efluentes não tratados nos meios recetores.

Ainda assim, podem advir efeitos positivos, embora quase irrelevantes quando comparados com os negativos, nomeadamente em períodos seco e noturno, como por exemplo a autolimpeza, prevenção de sedimentação de detritos e diminuição do odor e corrosão nas tubagens. (Bonito, 2014)

A temática das afluências indevidas é um problema atual e importante, na medida em que afeta a sustentabilidade, o funcionamento e a eficiência deste tipo de sistemas. Atualmente, as afluências indevidas estão incluídas no dimensionamento das redes de drenagem, existindo regulamentação específica para a estimativa destes volumes quando não existem cadastros reais.

É, portanto, fundamental trabalhar no sentido de mitigar os impactos e reduzir a probabilidade de ocorrência destas infiltrações. A reabilitação e a substituição de infraestruturas podem ser uma das medidas a tomar para atingir estes objetivos. No entanto, deve-se apostar na consciencialização da população, instituindo políticas e medidas corretivas, apoiadas em procedimentos de fiscalização e aplicação preventiva.

1.2. Objetivos da Dissertação

O principal objetivo desta dissertação reside na quantificação e na qualificação das afluências indevidas de águas residuais pluviais nos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas, usando, para tal, os métodos das séries temporais e do triângulo, respetivamente.

A segunda parte deste trabalho foca-se no desenvolvimento de um programa em *Machine Learning*, auxiliado pelo modelo de ARIMA, capaz de fazer previsões ao nível dos volumes de afluências indevidas na rede de drenagem de águas residuais domésticas.

1.3. Organização da Tese

Esta dissertação está dividida em sete capítulos.

O Capítulo 1 corresponde à “Introdução”. Nela, são feitos o enquadramento e a apresentação do projeto, assim como são mencionados os principais objetivos desta dissertação.

O Capítulo 2 diz respeito à “Revisão Bibliográfica”, na qual se abordam vários temas. Começa com os vários tipos de redes de drenagem de águas residuais, dando especial foco ao separativo, uma vez que é o tipo de sistema do município do Porto. Posteriormente, é analisada a problemática das afluências indevidas, destacando-se as categorias em que as mesmas se dividem, as suas causas e os seus impactos a nível ambiental, de saúde pública, estrutural e socioeconómico, tanto para as entidades gestoras como para o meio e as populações que as rodeiam. Neste capítulo, é também mencionada a legislação, portuguesa e internacional, que regula as atividades de saneamento, dando particular destaque aos decretos que definem, quantificam e apresentam soluções de minimização dos caudais de infiltração. Por fim, são

apresentados métodos de quantificação de afluências indevidas em fase de exploração (método das séries temporais, método do triângulo, entre outros), os indicadores de desempenho que permitem caracterizar os tipos de infiltração e as ligações indevidas à rede, algumas tecnologias auxiliares - caudalímetros e udómetros - e técnicas de deteção de infiltrações, como por exemplo testes com máquinas de fumo ou inspeção visual CCTV.

No Capítulo 3, encontra-se o “Âmbito e os Objetivos Específicos” deste trabalho, assim como as metodologias adotadas na quantificação das afluências indevidas. Neste capítulo, procede-se também a uma avaliação global da área em estudo, por exemplo ao nível da fisiografia, hipsometria ou ocupação do solo. No final, é feita uma introdução ao *Machine Learning*, às bibliotecas usadas em *python* e ao modelo de ARIMA utilizado na previsão das afluências indevidas.

O Capítulo 4, “A Empresa”, inclui uma pequena apresentação da entidade gestora responsável pela drenagem e tratamento das águas residuais da cidade do Porto, nomeadamente ao nível das áreas em que intervém, assim como a caracterização da rede de drenagem de águas residuais.

O Capítulo 5, talvez o mais importante, corresponde à “Discussão dos Resultados” e é nele que se encontra a apresentação dos resultados, nomeadamente ao nível da quantificação e qualificação das afluências indevidas. Aqui, encontra-se, de igual forma, a análise e a discussão dos resultados obtidos, justificando-os, sempre que possível, com base na investigação teórica previamente realizada e com conhecimentos adquiridos ao longo das “visitas ao terreno”. A última parte deste capítulo diz respeito à apresentação dos resultados decorrentes da aplicação do modelo de ARIMA e às variáveis que podem ser utilizadas em futuros programas de *Machine Learning*.

O Capítulo 6, “Conclusões”, pretende resumir as principais ilações que foram retiradas após a realização desta tese.

No Capítulo 7, por último, está registada a autoavaliação ao trabalho desenvolvido, apresentando os pontos positivos e os obstáculos que foram encontrados. Por outro lado, são referidas também recomendações e sugestões para trabalhos futuros do género.

Capítulo 2 | Revisão Bibliográfica

2.1. Redes de Drenagem Urbanas

As redes urbanas de drenagem de águas residuais representam o conjunto de estruturas, conectadas entre si, que asseguram a condução das águas residuais domésticas, pluviais e industriais, provenientes de edifícios ou da via pública, ao destino final adequado. (R. Ramos, 2018)

Os sistemas de drenagem de águas residuais são essenciais, principalmente, em áreas urbanas, e têm, atualmente, os seguintes objetivos: (David & Barroso, 2017)

- 1) Recolher e transportar as águas residuais até um local apropriado para efeitos de tratamento (ETAR) e de descarga final;
- 2) Conduzir as águas pluviais provenientes essencialmente do escoamento de áreas impermeáveis, prevenindo a ocorrência de inundações;
- 3) Assegurar condições de descarga compatíveis com os objetivos de qualidade dos meios recetores.

O Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, que aprova o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, estabelece, no artigo 116º, a classificação dos sistemas de drenagem de águas residuais em quatro tipos: (Decreto-Lei nº 23/95, 1995)

- a) Separativos, que são constituídos por duas redes de coletores distintas: uma destinada às águas residuais domésticas e industriais e outra à drenagem das águas pluviais ou similares;
- b) Unitários, que são constituídos por uma única rede de coletores onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais;
- c) Mistos, que são constituídos pela conjugação dos dois tipos anteriores, em que parte da rede de coletores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo;
- d) Separativos parciais ou pseudo-separativos, em que se admite, em condições excecionais, a ligação de águas pluviais de pátios anteriores ao coletor de águas residuais domésticas.

Todos os sistemas supramencionados (e exemplificados na Figura 2.1) são indicados para escoamentos em superfície livre e, excecionalmente, para os escoamentos sob pressão. (Duarte, 2014)



Figura 2.1. Exemplificação dos sistemas de drenagem separativos, unitários e mistos. Retirado de (David & Barroso, 2017)

Na Tabela 2.1, encontram-se descritas as principais vantagens e desvantagens associadas aos principais sistemas de drenagem de águas residuais: separativos e unitários.

Tabela 2.1. Vantagens e desvantagens dos sistemas separativos e unitários. Adaptado de (Duarte, 2014)

Tipo de sistema	Vantagens	Desvantagens
Separativos	Transporte distinto da água, dependendo da sua origem Possibilidade de diferentes tratamentos para a água drenada	Custos de investimento mais elevados decorrentes da necessidade de construção de dois sistemas independentes Necessidade de assegurar as corretas ligações de cada ramal ao coletor correspondente
Unitários	Construção de um único sistema de coletores, mais simples, nomeadamente ao nível das ligações dos ramais aos coletores Custos de projeto e construção mais baixos	Descarga de excedentes poluídos em tempo de chuva, com impactos nefastos no ambiente Acréscimo de encargos energéticos e de exploração em instalações elevatórias e de tratamento, decorrente do acréscimo de caudal pluvial

O município do Porto foi o primeiro do País a usufruir de um sistema de saneamento. Em 1896, face ao agravamento das condições de higiene urbana resultante da vivência num estado de calamidade provocado pelas várias pestes, foi lançado um concurso público internacional para instalação de um sistema de drenagem de águas residuais. O concurso foi ganho pela firma inglesa *Hughes & Lancaster* que, na sua proposta, defendia a implementação de um sistema de drenagem do tipo separativo. (A. Ramos et al., 2015)

Os sistemas de drenagem separativos trazem como principal vantagem a diferenciação nas condições de tratamento e de descarga final do efluente, visto que é feita a

distinção da origem das águas. Contudo, implica um maior custo de primeiro investimento, associado à necessidade de ter duas redes de coletores distintas. Além disso, é fundamental uma construção cuidadosa em termos de ligações de ramais prediais. (R. Cordeiro, 2015)

Os sistemas de drenagem unitários, como é o caso do usado na cidade de Lisboa, acarretam custos de investimento mais reduzidos - quando comparados com os separativos - e possuem uma maior simplicidade em termos de ligação de ramais e coletores. A grande desvantagem deste tipo de construção prende-se com o excedente pluvial que, por um lado, conduz a um acréscimo energético e de exploração em estações elevatórias e de tratamento e, por outro, aquando da ocorrência de fenómenos de precipitação, leva à descarga de efluentes poluídos em meios recetores. (R. Cordeiro, 2015)

2.2. Problemática das Afluências Indevidas

O termo de afluências indevidas apresenta várias definições na literatura. Há autores, como Schilperoort (2004), que o definem como o caudal que circula no sistema, mas que não lhe pertence, independentemente da sua origem. (*Estimation of undue inflows in sewers systems: The case Study of Ribeira de Santa Catarina in Entroncamento*, n.d.); (Schilperoort, 2004)

Este conceito é comumente utilizado na sua versão anglo-saxónica “*infiltration and inflow*” (l/l, em português: infiltração e afluxo).

De acordo com (Kaczor, 2011), o primeiro consiste maioritariamente em águas subterrâneas que se infiltram em sistemas de drenagem através de, por exemplo, danos nas tubagens, más ligações à rede e/ou fugas através de paredes. Durante os períodos de chuva, este fenómeno aumenta. Por outro lado, o termo “*inflow*” compreende a água da chuva ou a água proveniente do derretimento da neve que entra nas sarjetas. Juntamente com esta água, são também arrastados os escoamentos do telhado e/ou do quintal que estão ligados indevidamente às redes de águas residuais domésticas. (Kaczor, 2011)

Para (Belhadj et al., 1995), *infiltration* provém de água subterrânea que, através de fissuras, ligações mal executadas e outros defeitos, se infiltra nos coletores da rede de drenagem. Pensa-se que o nível de infiltrações varia lentamente, de acordo com as variações sazonais dos níveis freáticos. Por sua vez, defende que o *inflow* resulta de

ligações inapropriadas, especialmente às câmaras de visita, e provoca picos nos caudais durante eventos de precipitação. (Belhadj et al., 1995)

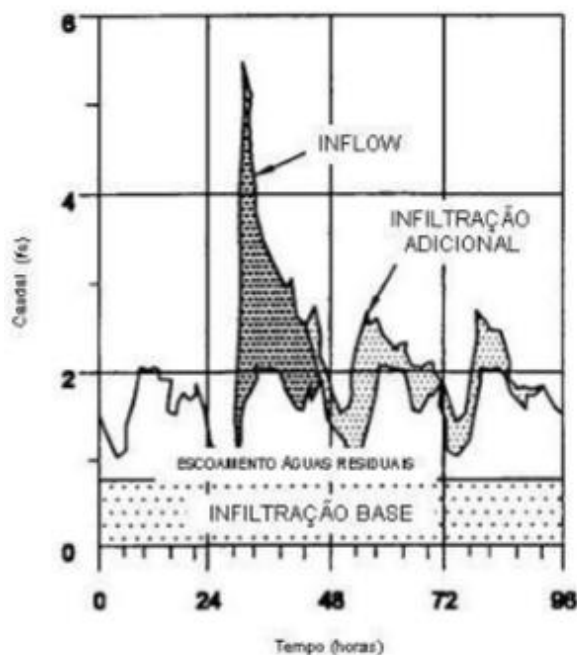


Figura 2.2. Escoamentos em eventos de precipitação. Retirado de (David & Barroso, 2017)

Como se verifica pela Figura 2.2, é comum a existência de infiltração adicional à infiltração base que ocorre após o evento de precipitação terminar e tem uma duração variável dependendo das características da respetiva bacia de drenagem, como a área, percentagem de impermeabilização, inclinação média, características hidrogeológicas do solo, estado de conservação das redes, entre outros. A duração de fenómenos de infiltração é geralmente mais longa do que os fenómenos de afluxo. A infiltração tem normalmente um maior significado e impacto durante o inverno. (David & Barroso, 2017)

A existência de fenómenos de afluências indevidas, principalmente devido ao seu carácter intrusivo, assume um importante relevo em sistemas de drenagem separativos. Nestes, são realizados diferentes encaminhamentos de acordo com a origem da água, havendo, por um lado, redes destinadas exclusivamente a águas residuais domésticas e industriais e, por outro, redes para águas pluviais ou similares. No caso dos sistemas de drenagem unitários, a ocorrência deste tipo de fenómenos revela-se de menor importância, uma vez que nestes o transporte de águas residuais domésticas, industriais e pluviais é realizado pela mesma rede de coletores. (R. Ramos, 2018)

2.2.1. Tipos de Afluências Indevidas

As águas que circulam nas redes de coletores podem ser de natureza doméstica, industrial, comercial, pluviais, subterrâneas e superficiais. (R. Ramos, 2018)

Nesta dissertação, pretende-se dar um ênfase especial às afluências indevidas de águas de origem pluvial que se infiltram na rede de drenagem de águas residuais domésticas. Porém, importa referir os diferentes tipos de afluências indevidas que se registam nos vários tipos de redes de drenagem (Tabela 2.2).

Tabela 2.2. Tipologia das afluências indevidas. Adaptado de (David & Barroso, 2017)

Afluências indevidas	I/I	Infiltration	Infiltração de base	Infiltração de água do subsolo e aquíferos Infiltração da exfiltração de coletores cruzados
			Infiltração direta	Desvio de águas superficiais e subterrâneas Ligações de bombagens para rebaixamento dos níveis freáticos
			Infiltração induzida pela precipitação	Infiltração através das câmaras de visita Infiltração devido a exfiltração de coletores pluviais
		Inflow	Afluxo induzido pela precipitação	Escoamento devido a ligações ilícitas Escoamento superficial que entra através das tampas de câmara de visita
	Domésticas			Ligações indevidas diretamente ao coletor pluvial Ligações indevidas diretamente ao meio recetor
	Industriais	Sem licença de descarga	Ligações indevidas diretamente ao coletor doméstico sem licença de descarga Ligações indevidas diretamente ao coletor pluvial sem licença de descarga Ligações indevidas diretamente ao meio recetor sem licença de descarga	
		Com licença de descarga	Ligações com licença de descarga, mas que não cumprem os parâmetros de qualidade estabelecidos	
	Maré			Entradas diretas no coletor doméstico através de pontos de descarga ligados ao meio recetor
	Água salina			Infiltração de água salina

Apesar de haver várias classificações para as afluências indevidas, como as mencionadas na tabela anterior, as mais importantes e recorrentes em casos de análise e de estudo desta temática relacionam-se com as afluências indevidas diretas e indiretas. Neste seguimento, o método de quantificação de afluências indevidas utilizado neste trabalho faz a distinção, precisamente, entre as afluências diretas e

indiretas. Na Figura 2.3, é apresentado um esquema geral da classificação das afluições indevidas.

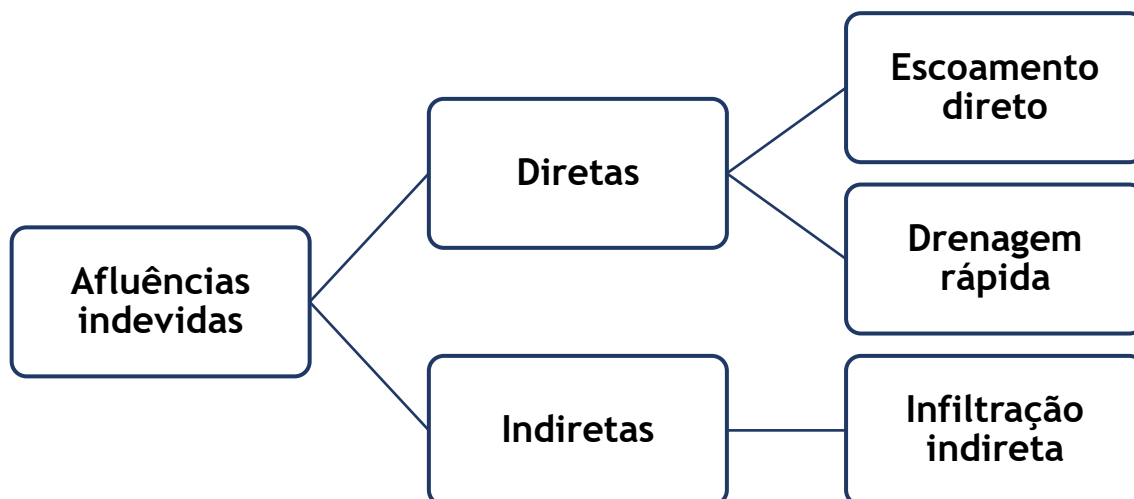


Figura 2.3. Afluências indevidas diretas e indiretas. Adaptado de (Paixão, 2016)

Assim, nos dois pontos seguintes, é feita uma alusão somente a estas duas categorias de infiltração.

2.2.1.1. Afluências Indevidas Diretas

Estes conjuntos de caudais são os diretamente resultantes de fenómenos pluviométricos, chegando à rede de coletores de águas residuais em intervalos de tempo espaçados, ao fim do registo de um evento pluviométrico. Estes caudais, denominados de escoamentos superficiais, podem ser catalogados em duas vertentes: (Paixão, 2016); (R. Ramos, 2018)

- a) Escoamento direto;
- b) Drenagem rápida.

Está comprovada a relação direta entre os escoamentos diretos e os volumes afluentes (caudais de ponta) às estações de tratamento, após eventos mais intensos de precipitação. Os caudais de ponta afluentes às ETAR serão tanto maiores quanto maior for a duração e intensidade do evento pluviométrico que os precedem. Normalmente, estes caudais são temporalmente curtos, variando em intervalos de tempo de minutos ou horas. (Paixão, 2016); (R. Ramos, 2018)

Por outro lado, a drenagem rápida é definida como o fenómeno de percolação da água através do solo, no qual é drenada pela rede de coletores antes de contribuir para o enchimento dos aquíferos. É precisamente devido à percolação no solo que este

fenômeno, ao contrário do escoamento direto, apresenta uma duração superior, podendo manifestar-se durante horas ou dias. As características e o estado hídrico do solo influenciam, juntamente com as condições geológicas locais e a intensidade e a duração do evento de precipitação, o tempo de resposta dos caudais de infiltração. (R. Ramos, 2018)

A minimização e correção das infiltrações diretas engloba, segundo a EPA (1991): (R. Ramos, 2018)

- a) Pesquisa dos locais de entrada de infiltração direta e determinação da sua legitimidade;
- b) Definição de políticas de controlo da infiltração;
- c) Estabelecimento de políticas e medidas corretivas, suportadas em procedimentos de fiscalização e aplicação preventiva.

2.2.1.2 Afluências Indevidas Indiretas

As afluências indiretas são aquelas que não resultam diretamente de um evento de pluviosidade. Desta forma, devem-se à subida do nível da água dos lençóis freáticos que, por sua vez, resulta de eventos pluviométricos e da variação das marés. Quanto maior for a zona saturada do solo (e, conseqüentemente, menor a zona não saturada), isto é, quanto maior for o desnível Δh , maior será o caudal de infiltração, como mostra a Figura 2.4. (Paixão, 2016); (R. Ramos, 2018)

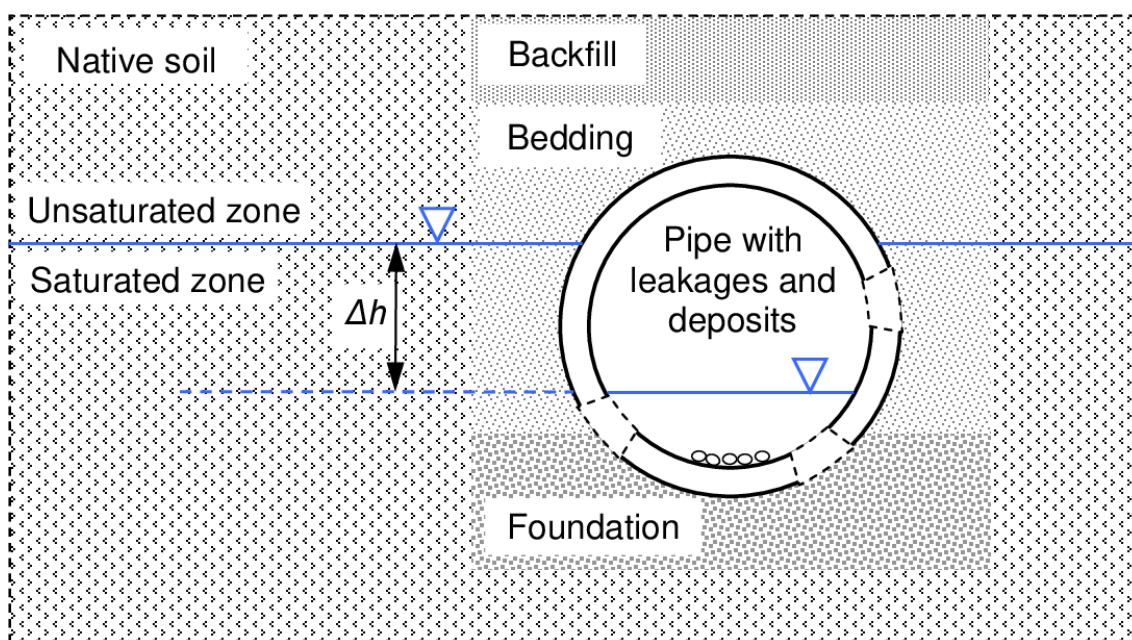


Figura 2.4. Esquema de um sistema de drenagem (Franz, 2007)

A correção das afluências indiretas obriga, segundo a EPA (1991), a: (R. Ramos, 2018)

- a) Avaliação e interpretação das condições de afluxo das águas residuais, o que permitirá determinar a presença e extensão da infiltração indireta;
- b) Localização e medição dos caudais excedentários;
- c) Eliminação das águas parasitas com recurso a vários métodos de reabilitação da rede.

2.2.2. Fatores que Influenciam a Ocorrência de Afluências Indevidas

Existem vários fatores que tornam uma determinada área mais favorável ao aparecimento de fenómenos de afluências indevidas. Na lista seguinte, apresentam-se, sem nenhuma ordem particular e de um modo geral, as principais razões de ocorrência de infiltrações: (Amorim et al., 2007) (R. Ramos, 2018)

- a) **Capacidade e extensão da rede de transporte:** a capacidade de transporte da rede está diretamente relacionada com o tamanho das tubagens e, deste modo, quanto maior for este, maior será a capacidade para suportar caudais elevados. Por outro lado, quanto maior for o comprimento da rede de coletores, maior será o número de caixas de visita e de ramais e, portanto, maior será a área de contacto com possíveis problemas associados a estes elementos;
- b) **Características do solo:** as infiltrações de caudais de origem pluvial dependerão do tipo de solo em questão. Assim, para solos impermeáveis, a água escorre até ser coletada pela rede pluvial, acabando por infiltrar-se, em muitos casos, na rede de águas residuais; pelo contrário, os solos altamente permeáveis irão permitir que a água se infiltre, criando uma situação menos gravosa a curto prazo. Sob outra perspetiva, a compacidade do solo é outro fator relevante na degradação da rede de coletores e tubagens, uma vez que, durante a ocorrência de fenómenos de precipitação, a água gera caminhos preferenciais de escoamento, arrastando consigo partículas do solo, provocando o seu aluimento e, deste modo, favorecendo o surgimento de fissuras e fendas na rede;
- c) **Corrosão:** este processo natural, que motiva a degradação das estruturas, pode ocorrer na parte interna ou externa das tubagens e também pode ser acelerado na presença de substâncias químicas. Internamente, este fenómeno ocorre na presença de oxigénio ou se o fluxo através das paredes for muito rápido. Na

parte externa, é mais provável o surgimento de corrosão quando as tubagens estão instaladas em ambientes húmidos ou quando ocorre a formação de condensação na superfície por onde circula um fluido frio; (*Bombas Grundfos Portugal S.A.*, 2020)

- d) **Densidade habitacional:** a maioria das ligações ilícitas observadas, que promovem a ocorrência de infiltrações indevidas, são provenientes de habitações e edifícios privados. Assim sendo, numa zona densamente habitada e de cariz mais suburbano, é provável existir um maior número de ligações ilegais à rede de saneamento que, por sua vez, se traduz num aumento de situações de afluências indevidas;
- e) **Estado de conservação dos elementos da rede:** a vida útil das tubagens depende do tipo de material utilizado e do modo de construção e operação do sistema. As redes que apresentam uma idade mais avançada são mais propícias ao aparecimento de infiltrações, decorrentes da perda de capacidade vedante das juntas, do surgimento de fendas, fissuras ou fraturas ou por falta de estanquidade das tampas de esgoto;
- f) **Estado da rede predial em domínio privado:** enquanto o estado da rede em domínio público se encontra sujeito a verificações, controlos e regulações por parte da entidade gestora, o mesmo não acontece na rede de domínio privado, não se tendo, portanto, garantias de utilização de boas práticas na implementação e monitorização dos elementos de rede. Como dito anteriormente, é no domínio privado que é mais provável existir um maior número de ligações ilegais à rede de saneamento que, por sua vez, se traduz num aumento de situações de afluências indevidas. As ligações domésticas ilegais à rede contribuem, em grande parte, para os valores obtidos em termos de afluências indevidas;
- g) **Ligações indevidas:** a existência de ligações indevidas, muitas vezes realizadas por leigos - tanto ao nível do conhecimento das leis em vigor como ao nível de conhecimento do tipo de material a utilizar e aos procedimentos adequados para uma correta instalação dos diversos equipamentos constituintes de uma rede de drenagem -, promove, por um lado, o aparecimento de fissuras nas tubagens (por exemplo, devido à má vedação das juntas). Por outro lado, verifica-se, mesmo em construções recentes, a manipulação das ligações à rede, em que as águas pluviais são encaminhadas para a rede de drenagem de águas residuais, originando infiltrações diretas por escoamento direto aquando e depois de um evento pluviométrico;

- h) **Modo de construção e colocação de condutas:** a implantação e instalação de condutas de forma deficiente, isto é, sem compactação adequada do solo e sem o recobrimento regulamentar, viabilizam o aparecimento de tensões de torção provocadas por assentamento que originam fissuras, fendas e fraturas que comprometem a integridade das estruturas;
- i) **Ocorrência de precipitação:** a precipitação é o principal vetor na existência de afluências indevidas diretas tanto ao nível de ligações ilícitas de águas pluviais à rede de drenagem de águas residuais, como ao nível de saturação do solo;
- j) **Pressão hidrostática:** a infiltração é proporcional à pressão hidrostática exercida sobre os elementos da rede;
- k) **Proximidade a estradas com elevado tráfego ou predominância de passagem de veículos pesados:** nestas zonas, a vibração provocada por estes veículos sujeita os elementos das rede de drenagem de águas a pressões constantes e elevadas, favorecendo a danificação dos mesmos e, conseqüentemente, o aparecimento de danos nos materiais, causando infiltrações;
- l) **Proximidade ao nível freático do solo ou aquíferos:** no caso da cota do nível freático de um aquífero ser superior à da soleira, há um aumento da possibilidade de ocorrência de infiltrações indiretas.
- m) **Topografia:** a topografia do terreno determina a quantidade de águas pluviais que afluem à rede quer se trate de escoamentos diretos ou drenagens rápidas. Assim, os pontos mais baixos de uma região são mais suscetíveis a receber uma maior afluência de caudais provocados por eventos de precipitação.

Sob uma perspetiva mais particular, as afluências indevidas de carácter direto surgem no seguimento de: (Bonito, 2014); (Coelho, 2013); (Paixão, 2016)

- a) Ligações indevidas de sumidouros ou coletores da rede pública pluvial, ou sumidouros ou ramais de redes prediais pluviais, ao sistema separativo doméstico;
- b) Mistura de caudais pluviais com domésticos na rede predial;
- c) Ligações erróneas e/ou ilícitas entre coletores pluviais e domésticos;
- d) Fendas ou falhas localizadas em órgãos da rede;
- e) Tampas de câmaras de visita dos coletores domésticos.

Na Figura 2.5, é possível observar a entrada direta de caudais pluviais na rede de drenagem de águas residuais, resultantes das seguintes ligações clandestinas:

- a) Ligação do sumidouro ao sistema público de drenagem;

- b) Ligação do tubo de queda das águas pluviais ao sistema de drenagem de águas residuais;
- c) Ligação de depósitos para a água residual.



Figura 2.5. Exemplo de ligações indevidas à rede de drenagem de águas residuais. Retirado de (Mortinho, 2011)

Ao contrário da infiltração direta, as afluências indiretas ocorrem tipicamente na rede em alta, dado que os coletores, nestas situações, se encontram a cotas mais baixas, em linhas de vale ou de água. (Bonito, 2014)

Assim, as infiltrações indiretas decorrem, entre outros, dos seguintes fatores: (Amorim et al., 2007); (Bonito, 2014); (Coelho, 2013)

- a) Densidade de ramais;
- b) Fugas existentes no sistema;
- c) Tipo de materiais das tubagens e qualidade de construção;
- d) Localização do nível freático;
- e) Idade dos elementos da rede;
- f) Proximidade a aquíferos;
- g) Pressão hidrostática sob ou sobre os elementos da rede;
- h) Tipo de solo envolvente;
- i) Presença de agentes químicos, responsáveis pela corrosão dos materiais da rede;
- j) Movimentos de terras junto às tubagens, provocando o seu deslocamento e/ou deformação.

2.2.3. Impactos das Afluências Indevidas

As afluências indevidas apresentam um caráter multidimensional, sendo impossíveis de anular completamente. Têm origem nas mais variadas causas - ambientais, estruturais, económicas, antropogénicas - e têm o poder de causar danos capazes de afetar e comprometer o desempenho geral dos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais. Devido às suas origens multidisciplinares, os impactos causados comprometem as mais variadas áreas, podendo-se sumariá-las em quatro âmbitos, tal como sugerido pela Figura 2.6. (Bonito, 2014); (Coelho, 2013); (R. Ramos, 2018)



Figura 2.6. Impactos das afluências indevidas. Adaptado de (Coelho, 2013)

Os impactos ambientais e de saúde pública relacionam-se com todos os efeitos negativos provocados no meio ecológico - tanto ao nível de seres vivos, como ao nível dos sistemas aquáticos - e na saúde da população residente na área de afetação. (Coelho, 2013)

Os impactos técnicos e estruturais prendem-se com todas as consequências trazidas para as infraestruturas dos sistemas de drenagem. (Coelho, 2013)

Por último, os impactos socioeconómicos cingem-se às repercussões sociais e económicas na população residente na área de influência da rede sanitária e na própria rede em si. (Coelho, 2013)

2.2.3.1. Impacto no Ambiente e na Saúde Pública

As afluências indevidas provocam o aumento do caudal que circula nos coletores das redes sanitárias que, por sua vez, se traduz no aumento da carga hidráulica sobre as infraestruturas, fomentando o desgaste dos materiais e, consequentemente, o aparecimento de fissuras e fendas nos elementos da rede. A existência de fissuras poderá estimular o fenómeno da exfiltração, isto é, a saída de água residual para o exterior que, por não ter sofrido nenhum processo de tratamento, apresenta elevadas cargas poluentes capazes de contaminar os cursos de água mais próximos e o solo envolvente. Desta forma, fica comprometida não só a saúde pública da população dessa área de afetação, como também todos os ecossistemas de seres vivos aí existentes. (Coelho, 2013); (R. Ramos, 2018)

Por outro lado, a existência de volumes de caudais mais elevados obrigará a um maior gasto de energia por parte das estações de bombagem (estações elevatórias, por exemplo). Ainda decorrente de um maior volume de caudal circulante na rede e tendo em conta o tratamento realizado nas ETAR, verifica-se o aumento da frequência de descargas de águas impróprias para os meios recetores, provocando nestes um crescimento na concentração de substâncias poluentes. (R. Ramos, 2018)

Ainda relativamente às estações de tratamento, estas podem registar uma diminuição na eficiência dos tratamentos, uma vez que estão dimensionadas para receber caudais inferiores àqueles que receberiam caso as redes fossem do tipo unitário, o que não acontece no município do Porto e, de um modo geral, no país. Embora no dimensionamento de uma estação seja reservada uma parcela para as águas excedentárias, a eficiência do tratamento pode ficar comprometida pela ultrapassagem dos volumes considerados nessa mesma parcela, devido às afluências indevidas que podem facilmente reduzir a capacidade útil de transporte e tratamento, provocando a sobrecarga do sistema e levando ao aumento do número de descargas de efluentes não tratados, contribuindo para a poluição dos solos e dos meios hídricos. (David & Barroso, 2017); (R. Ramos, 2018)

2.2.3.2. Impacto Técnico e Estrutural

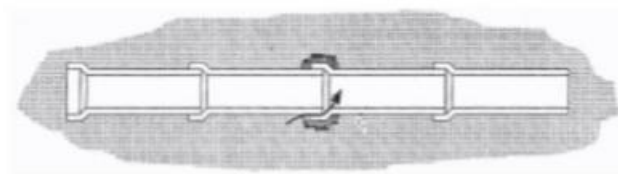
Os impactos técnicos e estruturais seguem um ciclo fechado, tal como se apresenta na Figura 2.7.



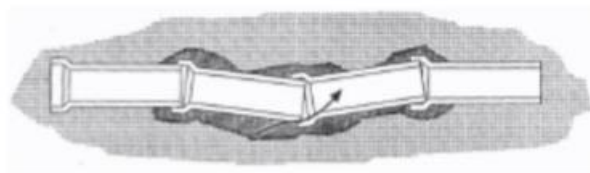
Figura 2.7. Exemplificação de ciclo de impactos técnicos e estruturais. Adaptado de (Bonito, 2014)

Os impactos técnicos e estruturais compreendem um ciclo fechado em que a existência de uma infiltração provoca o aumento do caudal excedentário que, por sua vez, impulsiona a deterioração dos coletores da rede. Esta situação é ainda mais gravosa no caso dos sistemas de drenagem mais envelhecidos, uma vez que o volume de infiltração nestes casos será superior ao que se registaria numa rede sanitária mais recente. Ainda assim, os sistemas mais recentes poderão apresentar altos níveis de infiltração quando a sua construção ou ligação dos vários componentes é deficitária. Estas situações, aliadas aos fenómenos de exfiltração e de infiltração de águas subterrâneas, provocam o aumento da velocidade da água quando esta atravessa o solo e o arrastamento dos sedimentos sólidos mais finos, aumentando o fluxo destes materiais, com potenciais danos para as infraestruturas, podendo rompê-las ou destruí-las. (David & Barroso, 2017); (R. Ramos, 2018)

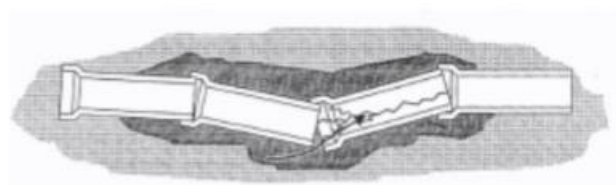
Na Figura 2.8, é apresentado um esquema temporal da desintegração de um coletor devido à infiltração de caudais parasitas. (R. Ramos, 2018)



1ª Fase: Defeito - derivado da construção ou derivado de fatores externos mencionados anteriormente - na ligação de uma junta ou na conexão lateral da conduta provoca a abertura da junta aquando da infiltração.



2ª Fase: Aumento dos fenómenos de infiltração e exfiltração provoca a desestabilização da trincheira, causando a desconexão, inversão da inclinação dos tubos.



3ª Fase: Cargas desiguais devido ao deslocamento originam deformações nas tubagens como articulações abertas e deslocadas, fissuras e inversão da inclinação.

Figura 2.8. Exemplificação de ciclo de impactos técnicos e estruturais. Adaptado de (Bonito, 2014)

2.2.3.3. Impacto Socioeconómico

A manutenção de sistemas sanitários desta complexidade é, por si só, uma enorme responsabilidade quando não há registo de problemas no seu funcionamento. Quando há danos estruturais provocados, por exemplo, pela infiltração de caudais parasitas, a reparação e os seus custos inerentes é, mais uma vez, responsabilidade da entidade gestora que explora este sistema. Ainda relacionado com a reparação de infraestruturas, esta pode, pontualmente, ser um processo longo e que abrange uma vasta área, muitas vezes de comércio, que sofre repercussões económicas significativas pelo dificuldade de deslocação dos clientes a estes estabelecimentos.

A nível social, os principais impactos são registados aquando da reparação de condutas, o que, em alguns casos, pode ser um processo extremamente moroso, afetando a dinâmica da área de afetação e originando descontentamento por parte da população. (R. Ramos, 2018)

Em dias de elevada precipitação, a existência de ligações ilícitas entre as redes de drenagem de águas pluviais e águas residuais associada à sobrecarga dos coletores poderá originar a ascensão do efluente doméstico para as ruas, provocando um impacto visual e olfativo relevante. (R. Ramos, 2018)

Em resumo, os custos decorrentes das infiltrações podem agrupar-se em quatro categorias, como mostra a Figura 2.9.

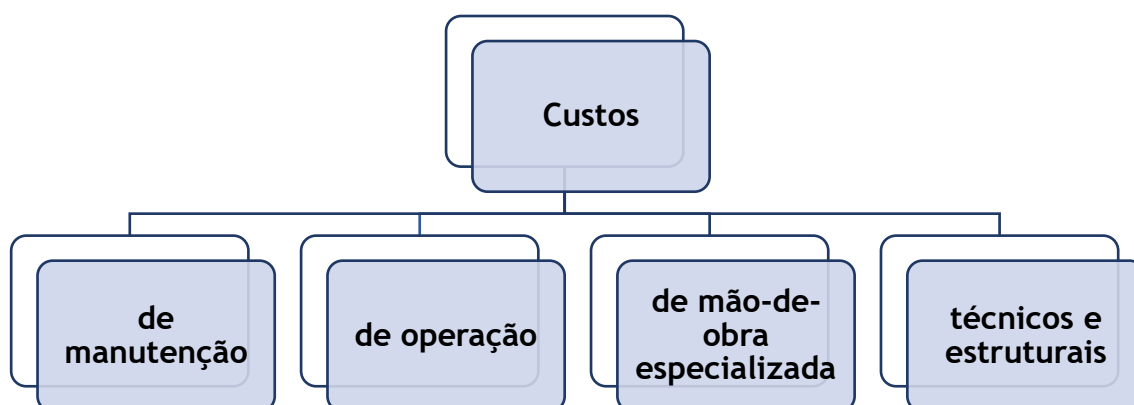


Figura 2.9. Categorias dos custos associados a infiltrações. Adaptado de (Coelho, 2013)

Os custos de manutenção prendem-se, essencialmente, com a reparação, reabilitação ou substituição de tubagens ou outros elementos essenciais. (Coelho, 2013)

Os custos de operação, maioritariamente ao nível da bombagem e do tratamento, são amplamente afetados pelos caudais excedentários, uma vez que os volumes a elevar e a tratar são superiores. Assim, as despesas com reagentes serão mais elevadas, sendo, no entanto, os custos energéticos os mais significativos na operação do sistema. (Coelho, 2013)

Os custos de mão-de-obra especializada estão associados às ações de formação para os funcionários da empresa. (Coelho, 2013)

Por último, os custos técnicos e estruturais advêm de estudos, análises, estratégias e investimentos a realizar e delinear para detetar e inverter possíveis infiltrações. São denominados, por vezes, de custos de capital. (Coelho, 2013)

2.3. Legislação Portuguesa e Internacional

A nível nacional, existem vários diplomas legais que regulam as atividades de saneamento no País: (R. Cordeiro, 2015)

- 1) Decreto-Lei nº 207/94, de 6 de agosto, que aprova o regime de conceção, instalação e exploração dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e drenagem de águas residuais; (Decreto-Lei nº 207/94, 1994)
- 2) Decreto-Lei nº 294/94, de 16 de novembro, que estabelece o regime jurídico da concessão de exploração e gestão dos sistemas multimunicipais de tratamento de resíduos sólidos urbanos; (Decreto-Lei nº 294/94, 1994)
- 3) Decreto-Lei nº 23/95, de 23 de agosto, que aprova o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais; (Decreto-Lei nº 23/95, 1995)
- 4) Decreto-Lei nº 152/97, de 19 de junho, que transpõe para o direito interno a Diretiva nº 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de maio de 1991, relativamente ao tratamento de águas residuais urbanas; (Decreto-Lei nº 152/97, 1997)
- 5) Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto, que estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Revoga o Decreto-Lei n.º 74/90, de 7 de março; (Decreto-Lei nº 236/98, 1998)
- 6) Decreto-Lei nº 348/98, de 9 de novembro, que altera o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho (transpõe para o direito interno a Diretiva nº 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de maio, relativo ao tratamento de águas residuais urbanas), transpondo para o direito interno a Diretiva nº 98/15/CE, da Comissão, de 21 de fevereiro; (Decreto-Lei nº 348/98, 1998)
- 7) Decreto-lei nº 56/99, de 26 de fevereiro, que transpõe para o direito interno a Diretiva nº 86/280/CE, do Conselho, de 12 de junho, relativa aos valores limite e aos objetivos de qualidade para a descarga de certas substâncias perigosas, e a Diretiva nº 88/347/CEE, de 16 de junho, que altera o anexo II da Diretiva nº 86/280/CEE; (Decreto-Lei nº 56/99, 1999)

- 8) Decreto-Lei nº 194/09, de 20 de agosto, que estabelece o regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos; (Decreto-Lei nº 194/2009, 2009)
- 9) Decreto-Lei nº 195/09, de 20 de agosto, que altera o regime jurídico dos serviços de âmbito multimunicipal de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos. (Decreto-Lei nº 195/2009, 2009)

Mais concretamente, o artigo 126º do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais define, quantifica e apresenta soluções de minimização dos caudais de infiltração. Na Tabela 2.3, apresenta-se um quadro-resumo dos critérios de quantificação dos caudais de infiltração, em fase de projeto, em Portugal e noutros países. (R. Ramos, 2018)

Tabela 2.3. Quadro-resumo dos critérios de quantificação dos caudais de infiltração, a nível nacional e internacional. Adaptado de (R. Ramos, 2018)

País	Fonte	Valores de caudais de infiltração
Alemanha	Norma ATV118 (ATV-DVWK 2003)	100% do caudal doméstico em sistemas separativos (normalmente, salvo algumas exceções)
		Utilizada para o dimensionamento de estruturas especiais e estações de tratamento
Brasil	ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) - NBR 9649 (1986)	0,05 a 1 litros por segundo e por quilómetros de extensão da rede
	SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) (1984)	0,05 a 0,50 litros por segundo e por quilómetros de extensão da rede
EUA	ASCE (<i>American Society of Civil Engineers</i>) WEF (<i>Water Environment Federation</i>) (EPA, 2001)	0,05 a 1,39 metros cúbicos por dia, por centímetro de diâmetro e por quilómetro de extensão da rede
	<i>Metcalf & Eddy</i> (1991)	0,094 a 9,4 metros cúbicos por dia, por centímetro de diâmetro e por quilómetro de extensão da rede
	US EPA (<i>United States Environment Protection Agency</i>) Guidelines	140 litros por dia, por milímetro de diâmetro e por quilómetro de extensão da rede
Irlanda	<i>Greater Dublin Area Sewer Network</i> (2004)	10 a 15% do caudal médio diário em tempo seco
Portugal	Decreto Regulamentar nº 23/95, artigo 126º (1995)	100% do caudal médio anual, nas redes de pequenos aglomerados com coletores a jusante até 300 mm de diâmetro
		Proporcional ao comprimento e diâmetro dos coletores, nas redes de médios e grandes aglomerados ou 0,5 m ³ /(d.cm.km) quando se tratar de coletores recentes ou a construir
		4 m ³ /(d.cm.km) em coletores de precária construção e conservação
Reino Unido	<i>Water Authorities Association</i> (1989)	10% da capacidade do coletor deve ser destinada à infiltração

2.4. Métodos de Quantificação de Afluências Indevidas em Fase de Exploração

Há várias abordagens desenvolvidas que visam a quantificação de afluências indevidas em fase de exploração: (Paixão, 2016); (R. Ramos, 2018)

- a) **Balanços hídricos:** baseados na diferença entre os volumes registados a montante e a jusante de, por exemplo, uma ETAR;
- b) **Hidrogramas:** procedimento matemático de análise de diagramas temporais de caudais;
- c) **Marcadores:** baseados numa característica distintiva das águas residuais;
- d) **Modelos de simulação:** modelos computacionais, empregando algoritmos idênticos aos modelos de percolação, e inputs característicos da bacia a simular.

De seguida, são apresentadas, na Figura 2.10, várias metodologias de quantificação de afluências indevidas, destacando-se as mais recentes.

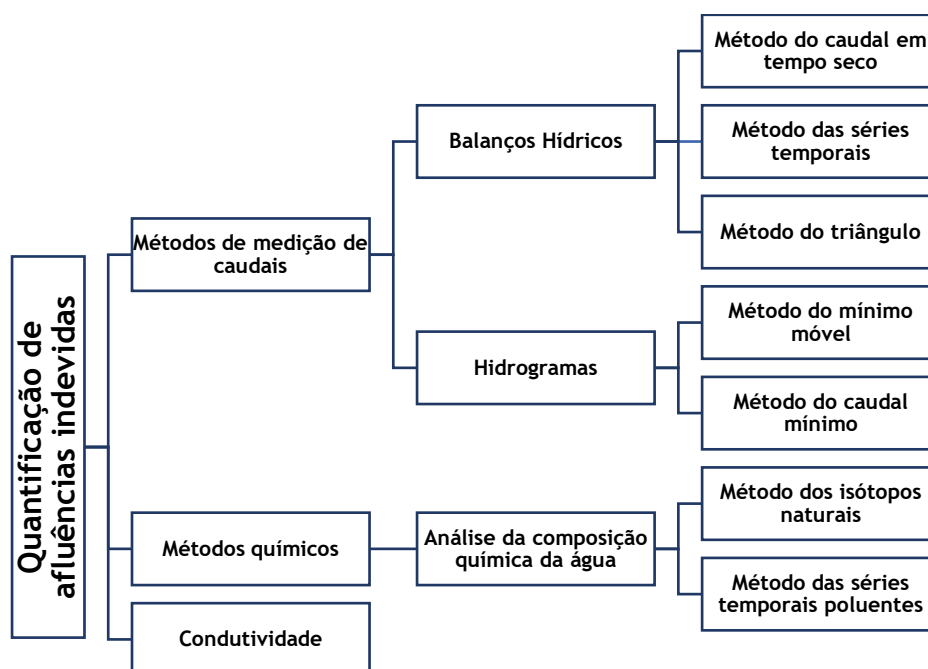


Figura 2.10. Metodologias de quantificação de afluências indevidas. Adaptado de (Franz, 2007); (R. Ramos, 2018)

Para determinar os caudais que afluem aos vários sistemas de drenagem existentes, elaboraram-se vários métodos, como os reportados na figura anterior. Todos eles se baseiam, no entanto, numa hipótese convencional que diz que o caudal total (Q_{Total})

que circula nas redes em tempo seco é constituído apenas por duas componentes: (R. Ramos, 2018)

- a) Q_{AR} , caudal de águas residuais, podendo estas ser de origem doméstica ou industrial;
- b) Q_{Inf} , caudal de infiltração.

Esta hipótese pode ser traduzida pela Equação (2.1): (Brombach et al., 2002)

$$Q_{Total} = Q_{AR} + Q_{Inf} \quad (2.1)$$

Rearranjando a Equação (1) de modo a isolar o parâmetro Q_{Inf} , verifica-se que é possível determinar o valor do caudal de infiltração que é dado pela diferença entre os somatórios dos caudais de tempo seco registados na secção mais a jusante da bacia ao longo de um ano (Q_{Total}) e dos caudais teóricos de águas residuais afluentes ao sistema no mesmo período (Q_{AR}). (R. Ramos, 2018)

2.4.1. Método do Caudal de Tempo Seco

O caudal em tempo seco (DWF, *dry weather flow* em inglês) corresponde a todos os volumes transportados num sistema de drenagem, excetuando apenas os provenientes de um evento pluviométrico, isto é, aqueles originários de infiltrações diretas. (R. Ramos, 2018)

Na Equação (2.2), está apresentada a fórmula matemática de cálculo deste caudal. (Weiß et al., 2002a)

$$DWF = C \times P + E + I_{Ind} \quad (2.2)$$

Em que:

DWF - Caudal em tempo seco (m^3/d);

C - Capitação média diária de água residual ($m^3/hab.d$);

P - População abrangida pela rede de drenagem (hab);

E - Caudal diário de descargas industriais (m^3/d);

I_{Ind} - Infiltração indireta (m^3/d).

Regra geral, os valores para os parâmetros supramencionados podem ser encontrados em diversas literaturas. A capitação média pode ser estimada por tabelas normativas, pelo Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, ou por medições em estações de tratamento. A população abrangida pela rede de drenagem pode ser consultada nos Relatórios e Contas apresentados, anualmente, pela entidade gestora. O caudal diário de descargas industriais é baseado no valor máximo admissível a descarregar para cada tipologia de indústria. (R. Ramos, 2018)

Sabendo o caudal em tempo seco, determina-se, por fim, o caudal de infiltração. O valor do caudal em tempo seco é fiável se nos 7 a 10 dias anteriores à consulta não tiver ocorrido nenhum fenómeno de precipitação. No caso de não ser possível estimar o caudal em tempo seco, pode-se determinar a infiltração indireta utilizando a expressão simplificada da Equação (2.3). (R. Ramos, 2018)

$$I_{\text{Ind}} = 0,45 \times \text{DWF} = 0,45 \times (C \times P + E + I_{\text{Ind}}) = 0,8 \times (C \times P + E) \quad (2.3)$$

Importa referir que o valor de 45% é utilizado para uma capitação doméstica de 115 a 120 L/hab.d, de acordo com um estudo realizado no Reino Unido. (Greater Dublin Drainage, 2005) É necessário, pois, proceder a uma análise e investigação mais rigorosas para situações com capitações domésticas fora do intervalo referido. (R. Ramos, 2018)

2.4.2. Método das Séries Temporais

O método das séries temporais (não confundir com o método das séries temporais de cargas poluentes), um dos utilizados na parte prática desta dissertação, consiste no agrupamento cronológico dos registos diários de volumes de águas residuais (Equação (2.4) e dos caudais de águas residuais domésticas diárias por mês, obtidos através da multiplicação de um fator de afluência (0,9) pelos consumos mensais (águas faturadas) (Equação (2.5)).

$$V_b = t_b \times Q_{\text{teórico}} \quad (2.4)$$

$$V_{\text{ARD}} = 0,9 \times A_{\text{consumo}} \quad (2.5)$$

Em que:

V_b - Volumes de águas residuais (m^3). Podem ser consultados no Anexo A;

t_b - TempoS de bombagem (h). Podem ser consultados no Anexo B;

Q_t - Caudal teórico das bombas (m^3/h). Podem ser consultadas no Anexo C;

V_{ARD} - Volumes de águas residuais domésticas (m^3). Podem ser consultados no Anexo D;

$A_{consumo}$ - Abastecimento de água para consumo (m^3). Pode ser consultado no Anexo D;

Os volumes de afluências indevidas (V_{AI}) são dados pela diferença de volumes de água residual e de água residual doméstica, como mostra a Equação (2.6):

$$V_{AI} = V_b - V_{ARD} \quad (2.6)$$

Por outro lado, a percentagem de afluências indevidas ($\%_{AI}$) numa determinada rede é dada pela Equação (2.7):

$$\%_{AI} = \frac{V_{AI}}{V_b} \quad (2.7)$$

2.4.3. Método do Triângulo

O método do triângulo é um dos métodos utilizado na parte prática desta dissertação e consiste na disposição, por ordem crescente de grandeza, dos caudais diários de águas residuais originado uma curva em forma de “S”. Adicionalmente, insere-se o caudal médio diário de águas residuais domésticas e os caudais diários de águas residuais influenciados pela precipitação, como pode ser observado na Figura 2.11. (R. Ramos, 2018); (Weiß et al., 2002a)

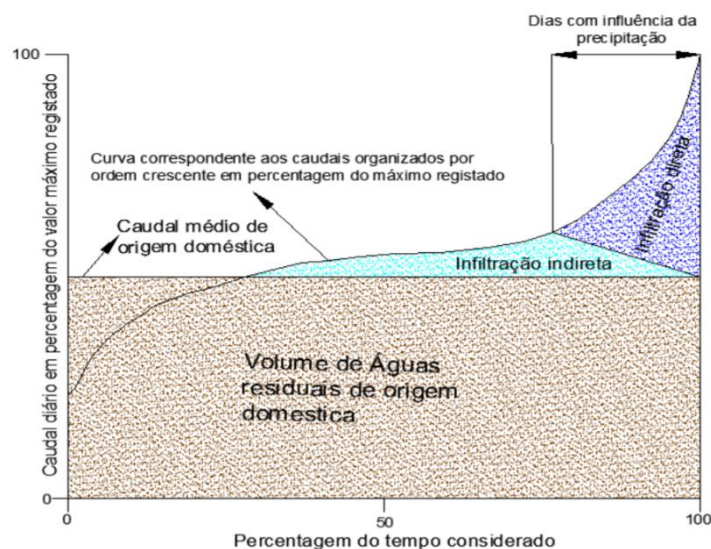


Figura 2.11. Exemplificação do método do triângulo. Retirado de (Barros, 2015)

Pela visualização da figura anterior, constata-se que a área abaixo da reta dos caudais médios diários de águas residuais domésticas corresponde aos volumes de águas residuais de origem doméstica. Por outro lado, a área acima dessa reta corresponde aos volumes de infiltrações, diretas ou indiretas consoante a influência da precipitação.

Após o início de um evento de precipitação, o valor da infiltração indireta é teoricamente nulo, enquanto a componente direta atinge um valor bastante elevado. Matematicamente, assume-se que existe uma relação linear nesta situação e, por isso, traça-se uma reta entre os dois extremos, que faz a distinção entre as infiltrações diretas e indiretas. À esquerda dessa linha, encontram-se, teoricamente, os caudais de tempo seco e, à direita, os caudais influenciados pela precipitação. (R. Ramos, 2018)

2.4.4. Método do Mínimo Móvel

O método do mínimo móvel, de acordo com (Weiß et al., 2002a), permite avaliar as infiltrações através do registo de medições num determinado período. É baseado na premissa de que o caudal em tempo seco de um dado dia é igual ao caudal mínimo registado nos 21 dias precedentes. Os 21 dias perfazem um intervalo de tempo que permite excluir quaisquer interferências do escoamento superficial a curto prazo, isto é, eliminar as intromissões das infiltrações provocadas pela precipitação. (R. Ramos, 2018)

A aplicação deste método pressupõe a existência de registos diários de caudais afluentes às ETAR. Este método de quantificação de afluições indevidas é fácil de aplicar e oferece a possibilidade de distinguir entre os volumes das afluições com origem direta e indireta, bastando, para isso, fazer a diferença entre o mínimo móvel (ou seja, o caudal dos 21 dias anteriores ao dia em questão) e o caudal médio de origem doméstica. (R. Ramos, 2018)

A principal vantagem associada ao método do mínimo móvel está no facto de não ser necessário o registo de precipitação, visto que é capaz de determinar as afluições indevidas apenas com base no registo dos caudais afluentes. (Weiß et al., 2002a)

2.4.5. Método do Caudal Mínimo

O método do caudal mínimo retorna valores de infiltrações indiretas, utilizando, para isso, os valores de caudais mínimos em tempo seco. O caudal mínimo é estimado durante o período noturno, altura em que o valor de caudais de águas residuais atinge o seu mínimo em todo o dia. (R. Ramos, 2018)

Considera-se, para efeitos de cálculo, que o caudal mínimo em tempo seco contém infiltrações e cerca de 10% de água residual. A Equação (2.8) traduz para modelo matemático a afirmação anterior. (Amorim et al., 2007)

$$I = Q_{\min} \times (1 - \%_{AR}) \quad (2.8)$$

Em que:

I - Infiltrações (m^3/d);

$Q_{\min}$ - Caudal mínimo (m^3/d);

$\%_{AR}$ - Percentagem de água residual, normalmente 10%, embora este valor possa sofrer alterações consoante a presença de atividade industrial, nomeadamente durante o período noturno, ou consoante a extensão da rede (a percentagem de água residual tende a ser mais elevada para redes de drenagem mais extensas). Para se obterem resultados mais fiáveis, o ideal seria recorrer a medidores de caudal ultrassónicos, capazes de registar valores de caudal a partir de alturas de escoamento mais baixas. (M. Almeida & Cardoso, 2010)

Por outro lado, considerando que o caudal registado em 24 horas corresponde a todo o volume de águas afluentes às estações de tratamento, temos, de acordo com a Equação (2.9): (R. Ramos, 2018)

$$\bar{Q} = Q_{AR} + I \quad (2.9)$$

Em que:

$\bar{Q}$ - Caudal registado em 24 horas (m^3/d);

Q_{AR} - Caudal de água residual (m^3/d).

2.4.6. Método das Séries Temporais Poluentes

O método das séries temporais poluentes não requer investigações relativas às origens das infiltrações. Em vez disso, a parcela de água não essencial é estimada por meio de uma análise combinatória entre a medição de séries temporais de concentrações de cargas poluentes e as descargas de águas residuais - normalmente, estas medições são realizadas no período diurno. Este método é inovador na medida em que usa, por um lado, dispositivos em linha que operam automaticamente, possibilitando o registo de séries temporais de concentrações de cargas poluentes com alta resolução temporal e, por outro, procedimentos avançados de modelação para identificar variações de padrões de infiltração. (Kracht, 2007)

2.4.7. Método dos Isótopos Estáveis

O método dos isótopos estáveis usa a composição de ^{16}O e ^{18}O nas águas de abastecimento e nas águas subterrâneas como *proxy* para as águas residuais e infiltradas, respetivamente. A partir da diferença entre as razões isotópicas da água residual e infiltrada, é possível determinar a infiltração direta com base em medições destas razões à saída de uma dada sub-bacia e aplicando, de seguida, equações de balanços de massa. (Kracht, 2007); (R. Ramos, 2018)

A principal desvantagem deste método prende-se com o facto de apenas poder ser aplicado em sub-bacias, nas quais as águas de abastecimento e subterrânea são isotopicamente uniformes. (R. Ramos, 2018)

2.4.8. Condutividade

A quantificação de afluxos e infiltrações derivados de precipitação em redes de drenagem pode ser dificultada quando estes dois últimos ocorrem ao mesmo tempo que os caudais excedentários na rede. É desta forma que surge o método baseado na condutividade, que tem como principal objetivo a determinação dos caudais de infiltração e de afluxo. Esta técnica decompõe, separadamente, as afluências derivadas de eventos pluviométricos e a infiltração induzida pela chuva com base em dados de condutividade, simples e fáceis de monitorizar. A determinação de afluências é possibilitada através da regeneração dos dados de caudais baseados nas estimativas de afluxos e infiltrações derivados de precipitação. (Zhang et al., 2018)

2.4.9. Quadro-Resumo

Na Tabela 2.4, está representado um quadro-resumo dos principais métodos de deteção de afluências indevidas, com destaque para os dados de que cada um precisa para o seu funcionamento, assim como a hipótese que colocam, as escalas temporais possíveis e, por fim, as suas principais vantagens e desvantagens.

Tabela 2.4. Quadro-resumo dos principais métodos de detecção de afluências indevidas. Adaptado de (Franz, 2007)

Método	Fatores	Avaliação
Caudal em tempo seco	Dados Hipótese Escala Vantagens Desvantagens	Caudal diário de água residual, definição do clima, abastecimento de água para consumo/número de habitantes Anual Simples Apenas se considera o caudal em tempo seco, definição de clima variável, tendência para subestimar I/I
Triângulo	Dados Hipótese Escala Vantagens Desvantagens	Caudal diário de água residual, número de dias sem precipitação, abastecimento de água para consumo/número de habitantes Caudal de água residual constante Anual Simples, representação gráfica Definição ambígua de I/I, caudal constante de água residual
Caudal mínimo	Dados Hipótese Escala Vantagens Desvantagens	Caudal de água residual, definição de clima Caudal mínimo é idêntico ao caudal de I/I Diária Simples Sensível à transição temporal do caudal, escolha arbitrária do tempo de medição
Mínimo móvel	Dados Hipótese Escala Vantagens Desvantagens	Caudal diário de água residual, número de dias sem precipitação, abastecimento de água para consumo/número de habitantes Caudal de água residual constante Diária Não há escolhas arbitrárias por parte do utilizador, estudo e análise fáceis da variabilidade de I/I
Séries poluentes temporais	Dados Hipótese Escala Vantagens Desvantagens	Caudal de água residual, medições contantes de COD Águas de I/I não contêm COD Diária Consideração de diluição e caudal mínimo noturno Custos elevados para as medições
Isótopos estáveis	Dados Hipótese Escala Vantagens Desvantagens	Caudal de água residual, medições de ^{18}O Conteúdo de ^{18}O em águas residuais é diferente do da água proveniente de I/I Diária Fácil aplicação, consegue determinar ligações indevidas Custos elevados para as medições, a fonte de abastecimento de água não é local

2.5. Recomendações da ERSAR

A Entidade Reguladora de Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), outrora denominada por Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), elaborou a Recomendação IRAR nº 04/2007 - “Faturação de Serviços em “Alta” de Saneamento de Águas Residuais Urbanas em Sistemas com Contribuição de Águas Pluviais” - que menciona, entre outros conteúdos, as regras e procedimentos de medição a adotar na quantificação de águas pluviais afluentes aos sistemas de drenagem de águas residuais: (Recomendação IRAR nº 04/2007, 2007)

- a) *“Para melhor gestão de investimentos na redução de afluências indesejáveis com origem em redes de drenagem será fundamental que as entidades gestoras de sistemas “em alta” assegurem, sempre que técnica e economicamente justificável, registos de medições em secções de entrega, por forma a permitir não só estimar os caudais descarregados por cada utilizador, como avaliar a parcela com origem pluvial.”*
- b) *“Os caudais de tempo seco e de tempo húmido devem ser estimados a partir de registos contínuos de caudais à entrada das estações de tratamento e, quando justificável, em secções de entrega da rede em “baixa” na rede em “alta” (pontos de recolha), estabelecendo-se curvas padrão de evolução de caudal de tempo seco a partir de registos em período estival. Os volumes afluentes de origem pluvial podem ser estimados com base na diferença entre os volumes registados em tempo de chuva e os valores estimados para condições de referência de tempo seco.”*
- c) *“Para a definição de “dia de chuva”, recomenda-se que:*
 - a. *A entidade gestora e os utilizadores do sistema selecionem um udómetro (ou mais de um udómetro) localizado na área servida por cada estação de tratamento ou suficientemente próximo desta, cujas medições sejam consideradas representativas de ocorrência de contribuições de águas pluviais na área contributiva;*
 - b. *Pode ser razoável que um udómetro selecionado como representativo da ocorrência de precipitação na área servida por uma dada estação de tratamento seja considerado também representativo da ocorrência de precipitação em áreas vizinhas servidas por outras estações de tratamento;*

- c. *Considera-se “dia de chuva” numa dada área servida se se registar ocorrência de precipitação no udómetro selecionado para o respetivo ponto de medição (estação de tratamento ou secção de entrega);*
- d. *Nos “dias de chuva” os volumes medidos devem ser repartidos entre o volume de águas residuais domésticas/industriais (V^{ad}) e o volume de águas pluviais (V^{ap}) de acordo com a Equação (2.10), que incorpora a média aritmética dos volumes medidos no período antecedente de, pelo menos, M dias consecutivos de tempo seco:*

$$V_n^{jT} = V_n^{jad} + V_n^{jap} = \min \left(V_n^{jT}; \frac{\sum_{m=1}^M V_m^{jT}}{M} \right) + V_n^{jap} \quad (2.10)$$

Sendo:

V_n^{jT} - Volume total medido no ponto de medição j (ETAR ou secção de entrega), no “dia de chuva” n ;

V_n^{jad} - Volume de águas residuais domésticas/industriais atribuído ao ponto de medição j , no “dia de chuva” n ;

V_n^{jap} - Volume estimado de águas pluviais, atribuído ao ponto de medição j , no “dia de chuva” n ;

M - Número de dias do último período contínuo de tempo seco.”

- d) *“Caso o sistema em análise apresente um hidrograma com uma vincada recuperação lenta do padrão de tempo seco após “dias de chuva”, e que tal seja verificado por medição e/ou modelo matemático calibrado, pode aplicar-se a Equação (8), para determinação do V_n^{jap} , nos N^* dias de tempo seco, equivalentes, em termos de comportamento, a “dias de chuva”. O valor de N^* variará de sistema para sistema (e, possivelmente, de chuvada para chuvada).”*

2.6. Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho (ID) revelam-se, cada vez mais, como uma ferramenta de extrema importância, nomeadamente em termos de sustentabilidade de uma entidade gestora, quer a nível de recursos quer a nível económico. É frequente, em tempos mais recentes, encontrar, nos relatórios anuais das empresas, avaliações de

desempenho dos mais variados setores, seguidas de sugestões de correção ou de melhoria, baseadas na análise a estes indicadores. (Cardoso, 2008); (R. Ramos, 2018)

Os ID, que avaliam o desempenho de produtos e serviços de forma quantitativa e qualitativa, podem ser observados segundo três perspectivas: (R. Ramos, 2018)

- a) Implementação de sistemas de gestão da qualidade;
- b) Utilização de instrumentos de apoio à decisão;
- c) Utilização mais eficaz da tecnologia existente.

Há três tipos de indicadores de desempenho: (R. Ramos, 2018)

- a) Simples, aqueles que são representados por unidades dimensionais simples (horas, metros, entre outros);
- b) Multidimensionais, aqueles que são expressos por combinações de variáveis (euro/km, entre outros);
- c) Adimensionais ou percentagens, correspondentes a razões entre variáveis da mesma unidade.

Dos muitos indicadores existentes - 133 de acordo com o Manual de Boa Prática, publicado pela *International Water Association* -, os próximos capítulos focarão apenas os que dizem respeito àqueles que permitem avaliar as infiltrações e afluências indevidas de origem pluvial. (Cardoso, 2008); (R. Ramos, 2018)

2.6.1. Impacto das Infiltrações

De acordo com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), os indicadores que permitem avaliar o impacto das infiltrações nos sistemas de drenagem encontram-se nas Equações (2.11) a (2.16). (R. Ramos, 2018)

Equação (2.11) - Utilização da capacidade da secção cheia, que permite aferir a percentagem de caudal de infiltração (Q_{inf}) em relação ao caudal de secção cheia do coletor (Q_{sc}), ou seja, indica a percentagem de capacidade do coletor utilizada pelo caudal de infiltração.

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{sc}} (\%) \quad (2.11)$$

Equação (2.12) - Proporção do caudal de tempo seco, que indica a percentagem de caudal de infiltração (Q_{inf}) relativamente ao caudal medido em tempo seco (Q_{mts}), isto é, o contributo do caudal de infiltração no de tempo seco.

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{mts}} (\%) \quad (2.12)$$

Equação (2.13) - Caudal unitário por câmara de visita, que indica o caudal médio de infiltração (Q_{inf}) por câmara de visita (C_{visita}), sendo este último o número total de câmaras de visita que têm contribuição para o caudal de infiltração.

$$\frac{Q_{inf}}{C_{visita}} (m^3/s) \quad (2.13)$$

Equação (2.14) - Caudal unitário por comprimento do coletor, que indica o caudal médio de infiltração (Q_{inf}) que ocorre por quilómetro de comprimento do coletor ($L_{coletor}$).

$$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}} (m^3/s/km) \quad (2.14)$$

Equação (2.15) - Caudal unitário por área de parede do coletor, que indica o caudal médio de infiltração (Q_{inf}) por unidade de área da parede do coletor, sendo $L_{coletor}$ o comprimento do coletor e P o perímetro da parede do coletor.

$$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor} \times P} (m^3/s/(cm.km)) \quad (2.15)$$

Equação (2.16) - Caudal unitário de infiltração por ramal doméstico, que indica o valor do caudal médio de infiltração (Q_{inf}) por ramal doméstico ($R_{doméstico}$), sendo este último o número total de ramais domésticos que têm contribuição para o caudal de infiltração.

$$\frac{Q_{inf}}{R_{doméstico}} (\%) \quad (2.16)$$

2.6.2. Impacto das Ligações Indevidas à Rede Doméstica

Os indicadores de desempenho que avaliam o impacto da entrada de águas pluviais nos sistemas separativos da rede doméstica podem ser consultados nas Equações (2.17) a (2.19). (R. Ramos, 2018)

Equação (2.17) - Utilização da capacidade da secção cheia por ligações indevidas, que indica o valor do caudal máximo das ligações indevidas ($Q_{\text{máx lig}}$) em relação ao caudal de secção cheia (Q_{SC}). De um modo geral, avaliam a percentagem da capacidade do coletor que é usada pelo caudal proveniente das ligações indevidas, decorrente de eventos pluviométricos.

$$\frac{Q_{\text{máx lig}}}{Q_{\text{SC}}} (\%) \quad (2.17)$$

Equação (2.18) - Proporção do volume de escoamento pluvial relativamente ao de tempo seco, que indica a percentagem do volume de água pluvial proveniente das ligações indevidas (V_{lig}) em relação ao volume médio de águas residuais de tempo seco (V_{mts}).

$$\frac{V_{\text{lig}}}{V_{\text{mts}}} (\%) \quad (2.18)$$

Equação (2.19) - Proporção do volume de escoamento pluvial que afluí indevidamente ao

Sistema, que indica a percentagem de volume de água pluvial proveniente de ligações indevidas (V_{lig}) em relação ao volume de precipitação útil (V_{pu}) caído na bacia.

$$\frac{V_{\text{lig}}}{V_{\text{pu}}} (\%) \quad (2.19)$$

2.6.3. Aplicação de Avaliação de Indicadores de Desempenho

Na Tabela 2.5, encontra-se a aplicação de indicadores de desempenho num projeto que visou a minimização de afluências indevidas em sistemas municipais de águas residuais domésticas, a partir de caudais em tempo seco. Com base nos resultados obtidos para cada indicador de desempenho, é possível criar uma escala de priorização de intervenções na rede, como mostrou o projeto de (M. do C. Almeida et al., 2012) apresentado na Tabela 2.5.

Tabela 2.5. Exemplo de aplicação de indicadores de desempenho. Retirado de (M. do C. Almeida et al., 2012)

Designação	Indicador	Classificação da prioridade		
Caudal mínimo = f (infiltração)		Baixa	Média	Alta
ID ₁	$\frac{Q_{\min \text{ dts}}}{Q_{SC}} (\%)$	<25	25-50	>50
ID ₂	$\frac{Q_{\max \text{ dts}}}{Q_{SC}} (\%)$	<75	75-100	>100
ID ₃	$\frac{Q_{\min \text{ dts}}}{Q_{mts}} (\%)$	<25	25-50	>50
ID ₄	$\frac{Q_{\max \text{ dts}}}{Q_{mts}} (-)$	<3	3-5	>5
Quando aplicável				
ID ₅	$\frac{Q_{\min \text{ dts}}}{L_{\text{coletor}}} (\text{m}^3/\text{d} / \text{km})$	<40	40-80	>80
Ligações indevidas de origem pluvial à rede doméstica				
ID ₆	$\frac{Q_{\max \text{ tc}}}{Q_{SC}} (\%)$	<75	75-100	>100
ID ₇	$\frac{V_{tc}}{V_{mts}} (-)$	<3	3-6	>6
Quando aplicável				
ID ₈	$\frac{V_{tc} - V_{mts}}{V_{pu}} (\%)$	0-1	1-3	>3

2.7. Tecnologias Auxiliares de Quantificação de Afluências Indevidas

Os caudalímetros e os udómetros são tecnologias auxiliares que, indiretamente, participam no processo de quantificação de afluências indevidas. Os primeiros permitem quantificar, em tempo real, os caudais que passam pela rede e que, de seguida, chegam às estações de tratamento de águas residuais. Por outro lado, os udómetros permitem incorporar a influência da chuva nos caudais excedentários.

2.7.1. Caudalímetros

Os caudalímetros são equipamentos que medem caudais instantâneos. Na Figura 2.12, estão identificadas as tipologias de caudalímetros mais comuns.

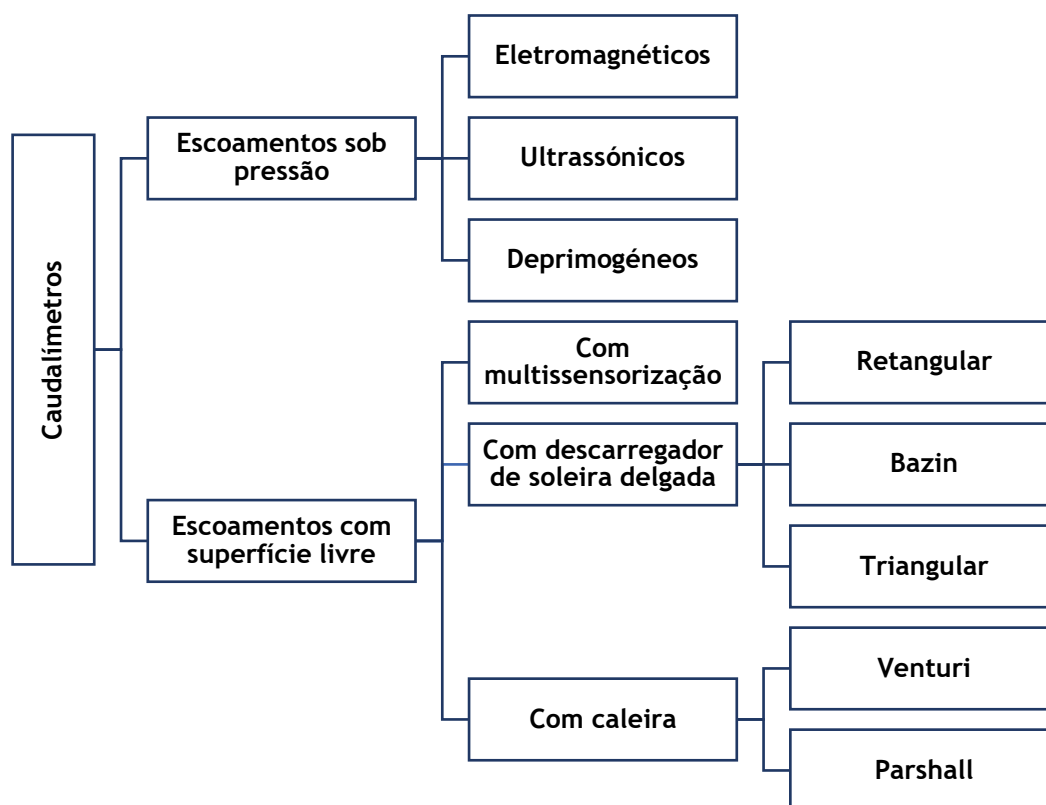


Figura 2.12. Categorias de caudalímetros

2.7.1.1. Escoamentos Sob Pressão

2.7.1.1.1. Caudalímetros Eletromagnéticos

Os caudalímetros eletromagnéticos, usados em escoamentos sob pressão, são constituídos por: (Henriques et al., 2006)

- Elemento primário ou transdutor de caudal, que cria um campo magnético através do qual escoam o líquido. Possui dois eletrodos em contacto com o líquido, que captam as diferenças de potencial;
- Elemento secundário ou condicionador de sinal, que controla a excitação do campo magnético e converte o sinal de tensão induzido nos eletrodos num sinal de saída normalizado proporcional ao caudal.

Existem dois tipos de caudalímetros eletromagnéticos: os tubulares, amplamente mais utilizados, e os de inserção, tal como se mostra na Figura 2.13.

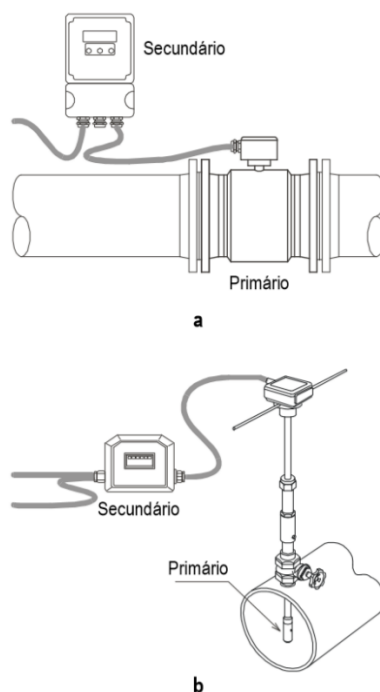


Figura 2.13. Caudalímetros eletromagnéticos tubular (a) e de inserção (b). Retirado de (Henriques et al., 2006)

2.7.1.1.2. Caudalímetros Ultrassônicos

Os caudalímetros ultrassônicos, também usados preferencialmente em escoamentos sob pressão, emitem ondas ultrassônicas que se propagam através do líquido e tornam a recebê-las depois de terem sofrido a influência do escoamento, usando o resultado dessa influência para medir o caudal. (Henriques et al., 2006)

É constituído pelos seguintes componentes, tal como é mostrado na Figura 2.14. (Henriques et al., 2006)

- a) Um par de transdutores ultrassônicos idênticos, em contacto com o líquido, contendo, cada um deles, um elemento piezoelétrico que funciona alternadamente como emissor e recetor de ondas ultrassônicas, contínuas ou pulsadas;
- b) Um tubo de medição, constituindo, juntamente com o par de transdutores ultrassônicos, o primário do caudalímetro;
- c) Um condicionador de sinal, também designado de secundário, com as mesmas funções do condicionador de sinal dos caudalímetros eletromagnéticos, excitando, em vez do campo elétrico, o elemento piezoelétrico.

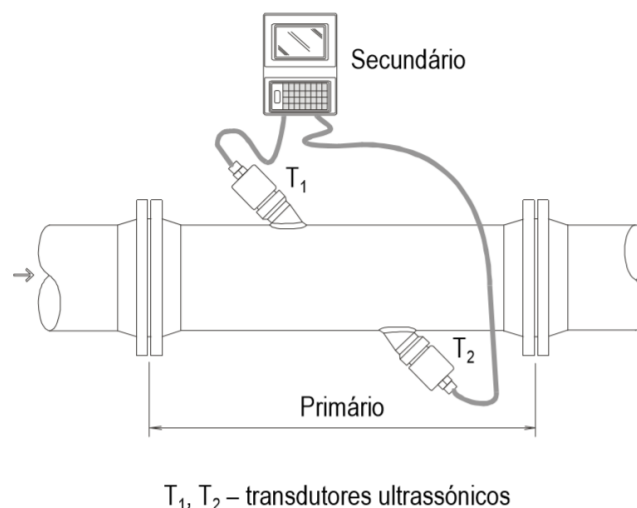


Figura 2.14. Caudalímetro ultrassônico. Retirado de (Henriques et al., 2006)

2.7.1.1.3. Caudalímetros Deprimogéneos

Os caudalímetros deprimogéneos, ou de pressão diferencial, são compostos pelos elementos que se seguem, tal como está representado na Figura 2.15. (Henriques et al., 2006)

- a) Um primário, inserido na conduta de instalação, que introduz um estreitamento no escoamento, aumentando a energia cinética e diminuindo a altura piezométrica e, conseqüentemente, a pressão, esta última sendo função do quadrado do caudal;
- b) Um secundário, que é um manómetro diferencial capaz de determinar o caudal instantâneo.

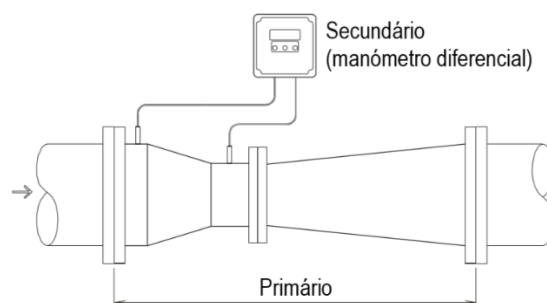


Figura 2.15. Caudalímetro deprimogéneo. Retirado de (Henriques et al., 2006)

Os três tipos de caudalímetros deprimogéneos são, tal como se mostra na Figura 2.16, os seguintes: (Henriques et al., 2006)

- a) Caudalímetros de diafragma;

- b) Caudalímetros de bocal;
- c) Caudalímetros de tubo de *Venturi*.

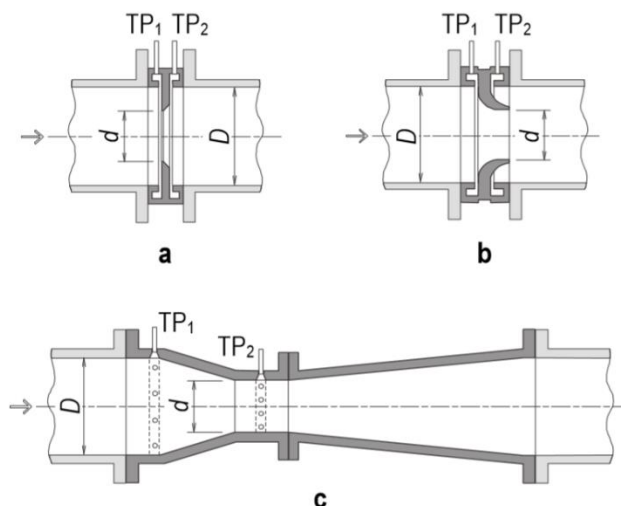


Figura 2.16. Caudalímetros de diafragma (a), de bocal (b) e de tubo *Venturi* (c). Retirado de (Henriques et al., 2006)

2.7.1.2. Escoamentos com Superfície Livre

Para os escoamentos com superfície livre, os caudalímetros referenciados são aqueles com descarregador de soleira delgada e com caleira. Os primeiros são constituídos por: (Henriques et al., 2006)

- a) Um descarregador de soleira delgada, executada numa chapa de pequena espessura, formando uma crista, com a qual o jato descarregado contacta;
- b) Um medidor do nível da superfície livre do escoamento, simplesmente, medidor de nível.

2.7.1.2.1. Caudalímetros com Descarregador de Soleira Delgada

Consoante a forma geométrica da crista da soleira, estes medidores de caudais podem ser denominados por: (Henriques et al., 2006)

- a) Descarregador retangular, quando a crista é retangular, tal como mostra a Figura 2.17;
- b) Descarregador *Bazin*, quando a crista é horizontal, tal como está representado na Figura 2.18;

- c) Descarregador triangular, quando a crista é angular e cuja bissetriz é vertical e equidistante das paredes do canal de alimentação, como se mostra na Figura 2.19.

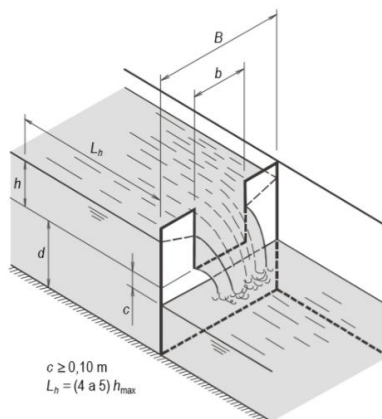


Figura 2.17. Descarregador retangular. Retirado de (Henriques et al., 2006)

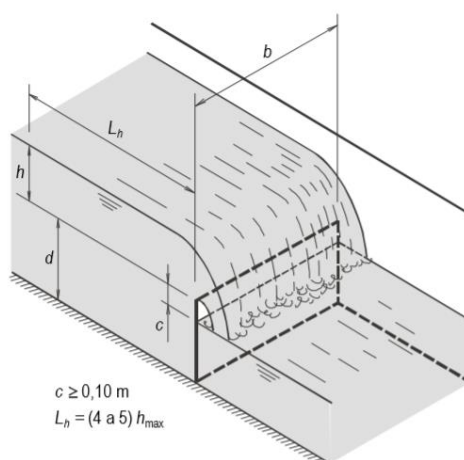


Figura 2.18. Descarregador Bazin. Retirado de (Henriques et al., 2006)

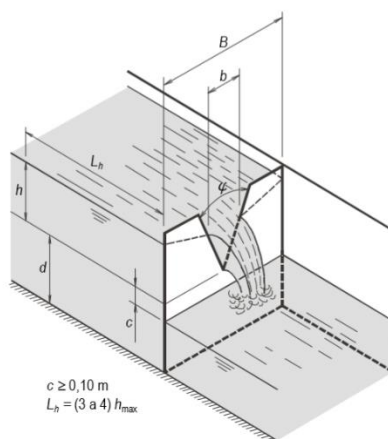


Figura 2.19. Descarregador triangular. Retirado de (Henriques et al., 2006)

2.7.1.2.2. Caudalímetros com Caleira

Os caudalímetros com caleira são compostos pelos elementos seguintes: (Henriques et al., 2006)

- Uma caleira de medição, inserida no canal de instalação, que força o escoamento a passar com altura crítica numa determinada secção transversal do seu colo, que é a zona com menor largura da caleira;
- Um medidor de nível.

Uma caleira *Parshall* é uma variante da caleira *Venturi* com soleira, sendo fácil distingui-las visualmente, uma vez que a primeira tem as paredes e a soleira com concordâncias angulosas, tal como se pode verificar pelas Figuras 2.20 e 2.21. (Henriques et al., 2006)

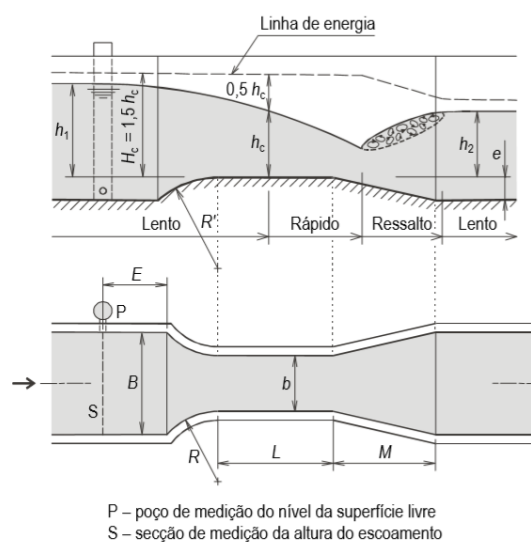


Figura 2.20. Caleira *Venturi* com soleira. Retirado de (Henriques et al., 2006)

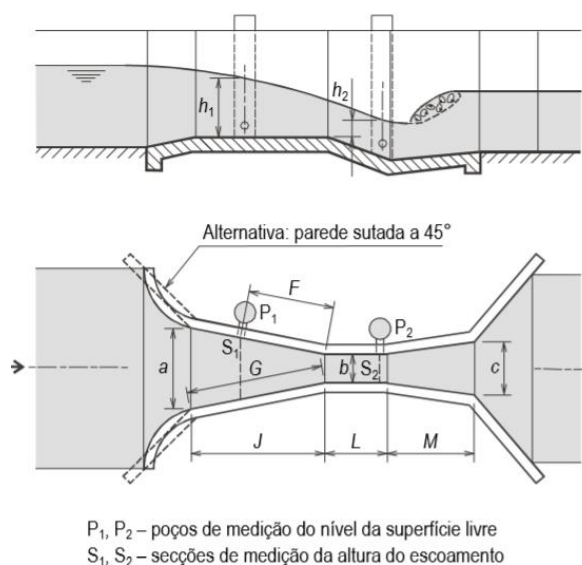


Figura 2.21. Caldeira *Parshall*. Retirado de (Henriques et al., 2006)

2.7.1.2.3. Caudalímetros com Multissensorização

Finalmente, o princípio de funcionamento dos caudalímetros com multissensorização é baseado na transdução de velocidades em combinação com os níveis da superfície livre de escoamentos, como se pode verificar pela Equação (2.20). (Henriques et al., 2006)

$$Q = V_{\text{média}} \times A_{\text{SM}} \quad (2.20)$$

Em que:

Q - Caudal medido (m^3/s);

$V_{\text{média}}$ - Velocidade média do espectro (m/s);

A_{SM} - Área da secção molhada (m^2).

2.7.1.3. Caudalímetros Utilizados nas Águas do Porto, E.M.

Na Águas do Porto, E.M., serão utilizados caudalímetros do tipo ultrassónico: o LT-US, da *Sofrel*, e o PCM, da *NIVUS*. A Figura 2.22 é representativa de um caudalímetro PCM, o qual, durante o estágio na empresa, não foi possível ver em funcionamento, ao contrário do LT-US.



Figura 2.22. Caudalímetro PCM, da NIVUS. Retirado de (NIVUS - Instruction Manual PCM 4, 2011)

O LT-US é um equipamento versátil, que tem a capacidade de medir níveis, caudais e temperaturas de águas residuais e indevidas, assim como efetuar controlo sobre amostradores automáticos, podendo ser instalado em ambientes hostis, como por exemplo câmaras de visita de águas residuais. A autonomia energética da bateria é estimada em 6 anos, com capacidade de data logging até 50 mil registos. A informação pode ser recolhida no local por bluetooth ou, à distância, através de SMS/GSM/GPRS. (Tecnilab, 2019)

O princípio de medição deste tipo de caudais é relativamente simples: o caudalímetro lê a altura da lâmina líquida e, através da conversão desse sinal, fornece o valor do caudal, utilizando, para tal, uma curva com valores parametrizados, baseada na equação de Manning Strickler.

Na Figura 2.23, podem ser consultadas fotografias correspondentes à instalação deste tipo de equipamentos, ocorrida no dia 10 de março de 2020, na zona do Cerco, no Porto.



Figura 2.23. (A) e (B) Instalação de caudalímetro LT-US, (C) Caudalímetro LT-US

2.7.2. Udómetros

Um udómetro, também chamado de sensor de precipitação ou pluviómetro, é um instrumento destinado a medir a quantidade de precipitação, sob a forma líquida, num dado lugar e num determinado período. Geometricamente, assume a forma de um funil, com área de 200 cm² de abertura, que recolhe e encaminha a precipitação para um sistema de báscula constituído por uma haste apoiada no seu centro, formando uma espécie de balanceiro. Na Figura 2.24, apresenta-se uma imagem de um udómetro. (IPMA - Área Educativa - Udómetro, 2020)



Figura 2.24. Udómetro. Retirado de (IPMA - Área Educativa - Udómetro, 2020)

A báscula em operação é fechada quando o volume acumulado de água atinge 0,1 milímetros - o peso desta quantidade faz acionar um mecanismo de fecho, despejando a água - e é então substituída por outra báscula, pronta para receber uma nova quantidade de água. (IPMA - Área Educativa - Udómetro, 2020)

Os pulsos produzidos são registados pelo sistema de aquisição de dados para reportar a quantidade de água acumulada no período pré-estabelecido, que nas redes do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA) é de 10 minutos. (IPMA - Área Educativa - Udómetro, 2020)

Durante a realização desta dissertação, foram consultados os registos de três udómetros. Um situado no Batalhão de Separadores Bombeiros do Porto (rua da Constituição) e outro localizado em Leça da Palmeira, Matosinhos, através da consulta do site (WEATHER UNDERGROUND, 2020).

Para completar o registo de alguns dias em falta, foram também consultados os dados do udómetro do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), através do site (ISEP P.PORTO, 2020).

2.8. Técnicas de Detecção de Infiltrações

2.8.1. Greater Dublin Strategic Drainage Study

Entre 2001 e 2004, foi estudado e desenvolvido um método na República da Irlanda - Grande Iniciativa Estratégica de Dublin para o Estudo dos Sistemas de Drenagem Urbana (em inglês, *Greater Dublin Strategic Drainage Study*) -, que referia estratégias

que permitiriam atingir a sustentabilidade económica e funcional das infraestruturas sanitárias, nomeadamente na área metropolitana de Dublin, mas que podiam ser extrapoladas, com as devidas adaptações, para outras regiões do globo. (R. Cordeiro, 2015)

Atualmente, as dificuldades observadas na determinação e avaliação de caudais de infiltração prendem-se com a falta de qualidade na obtenção de registos, nomeadamente de caudais, o que dificulta a perceção como o fenómeno é processado. (R. Cordeiro, 2015)

Surge, então, no relatório de estratégias para Dublin, algumas técnicas principais que permitem detetar fontes de infiltração: (R. Cordeiro, 2015); (Greater Dublin Drainage, 2005)

- a) Testes com máquinas de fumo;
- b) Inspeções visuais CCTV;
- c) Isolamento de pequenos traços da rede;
- d) Testes com recurso a traçadores.

2.8.1.1. Testes com Máquinas de Fumo

2.8.1.1.1. Objetivos

Os testes de fumo em redes de drenagem públicas e em redes prediais são uma forma de deteção de ligações indevidas ou de ruturas/anomalias, em coletores públicos ou em coletores privados.

Os testes de fumo consistem na injeção de fumo misturado com grandes volumes de ar, na rede de drenagem de águas residuais, através das câmaras de visita. O fumo percorre o caminho com menor resistência e vai aparecer nos locais onde a afluência de águas pluviais é possibilitada.

O fumo vai identificar ruturas em ramais, ligações indevidas (incluindo escoamentos de telhados, drenos de quintais e outros), linhas de coletores abandonados ou com problemas estruturais, tais como fissuras, que permitirão a passagem do fumo até à superfície.

Os testes de fumo (Figura 2.25) são uma técnica de campo que permite a deteção de locais de entrada de águas pluviais e de infiltrações localizadas perto da superfície do solo.

Há que ter em conta que este procedimento não identifica ou quantifica todas as infiltrações ou afluências individualmente. O teste de fumos indica apenas que um problema existe, mas não identifica o defeito específico. Contudo, permite direccionar os trabalhos de inspeção para um determinado local potencialmente com problemas.

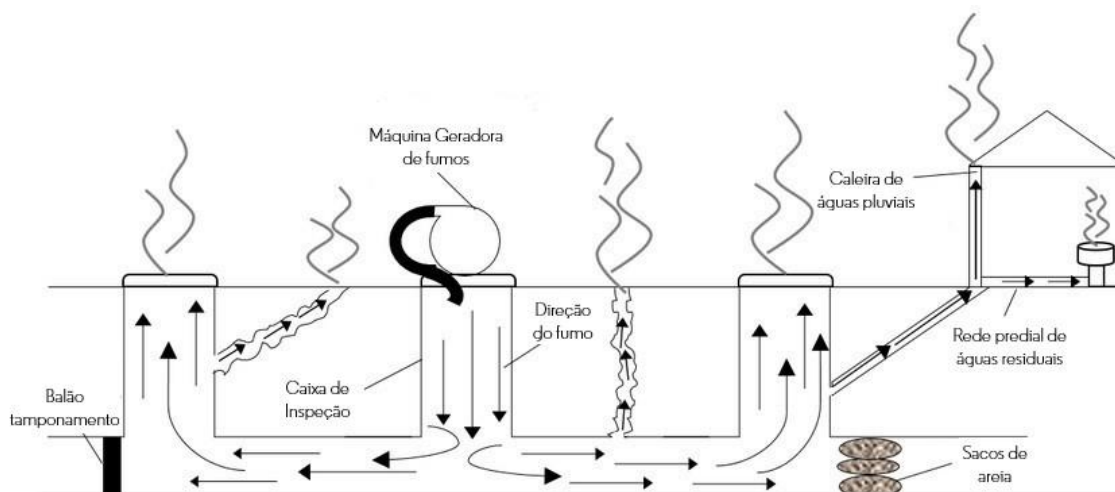


Figura 2.25. Representação esquemática do processo de ensaio de fumos. Adaptado de (Beheshti et al., 2015)

As limitações desta técnica derivam da ocorrência de precipitação ou de ventos fortes, assim como da presença de uma elevada taxa da quota indireta da infiltração. Outra exigência desta estratégia é a obrigatoriedade da realização dos testes durante o período diurno. A deteção de anomalias não possibilita, porém, a avaliação de danos estruturais, nomeadamente interligações ou conexões, enquanto estes se encontram operacionais, o solo envolvente está saturado ou a superfície está congelada ou coberta de neve. (R. Cordeiro, 2015)

2.8.1.1.2. Equipamentos e Materiais

A Figura 2.26 mostra os equipamentos e materiais necessários para a realização de um teste com uma máquina de fumo.



Figura 2.26. Equipamentos e materiais necessários para os ensaios com máquinas de fumo: (A) Máquina geradora de fumo, (B) Sistemas de balonamento de coletores, (C) Mangueira flexível, (D) Gerador de energia com combustível, (E) Equipamentos de sinalização da via e (F) Fluido de fumos para gerador de fumos

2.8.1.1.3. Metodologia de ensaios de fumo

Uma metodologia para a realização dos testes de fumo está exemplificada no fluxograma da Figura 2.27.

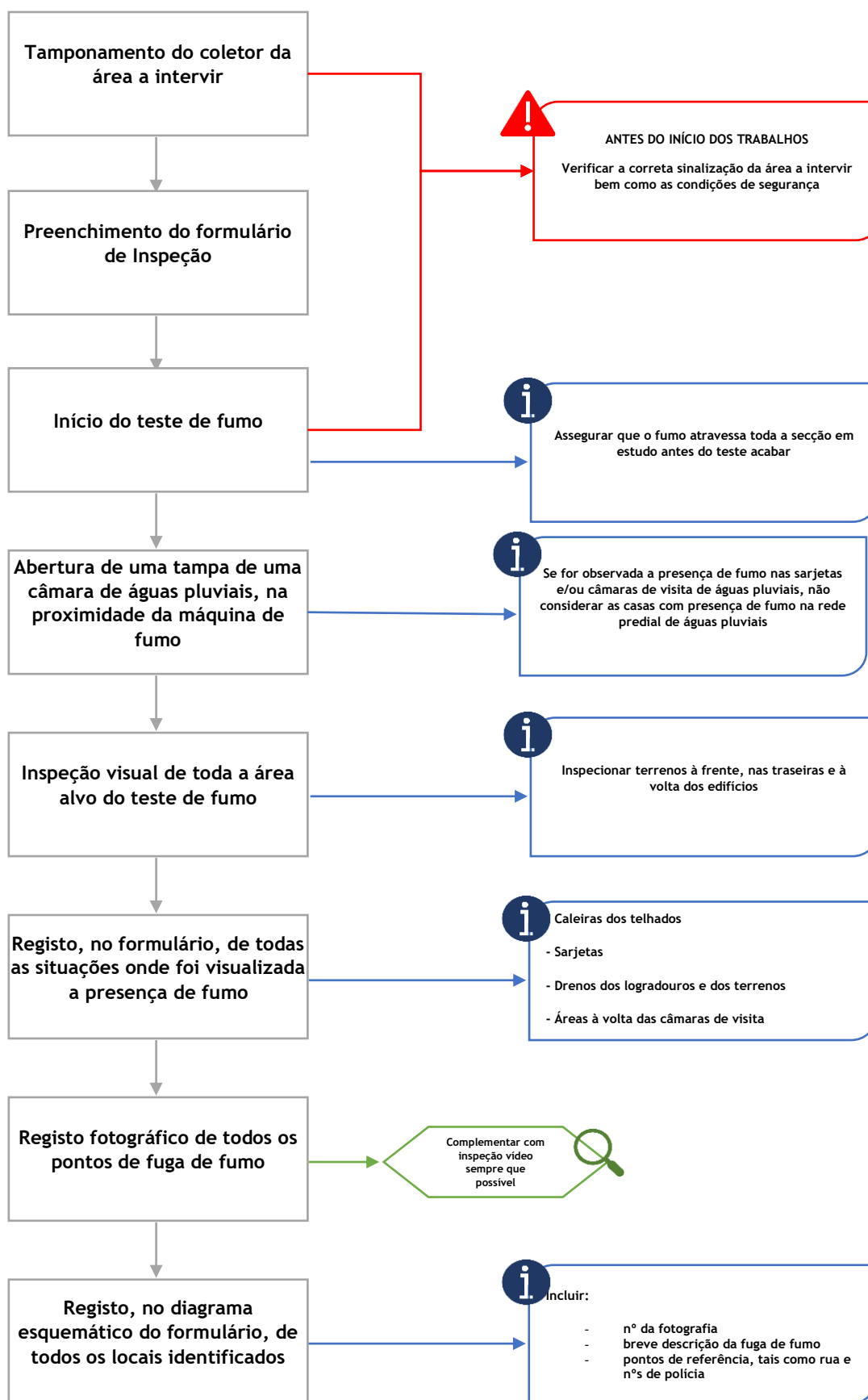


Figura 2.27. Fluxograma de metodologia para a realização dos testes de fumo

2.8.1.1.4. Ambiente, Qualidade e Segurança

Embora o líquido utilizado na produção de fumos seja não tóxico, é importante utilizar o senso comum na sua manipulação.

Os operadores da máquina de fumos devem ter prévio conhecimento da ficha técnica e da ficha de dados de segurança do produto utilizado, estando estes documentos sempre disponíveis para consulta, na viatura de trabalho.

A sinalização da área de intervenção deve seguir o plano de sinalização de via, relativa a trabalhos temporários em via pública, em vigor na entidade gestora.

Aquando do planeamento de ensaios de fumo, é importante informar previamente as entidades responsáveis pela Proteção Civil, nomeadamente os municípios e/ou juntas de freguesia e os Bombeiros.

Deve, igualmente, promover-se a informação aos residentes na área de intervenção, bem como aos proprietários dos estabelecimentos comerciais. Torna-se benéfica a informação do público sobre a pertinência de realização de ensaios de fumo e os respetivos benefícios dos seus resultados para o bem-estar da comunidade e do ambiente.

Antes do início dos trabalhos, a entidade gestora deve fornecer à população das áreas intervencionadas os contactos que têm à disposição caso o fumo entre nas suas casas.

2.8.1.2. Inspeção Visual CCTV

A inspeção visual CCTV (*Close Circuit Television*) é a técnica mais utilizada e que melhores resultados tem apresentado na deteção de possíveis infiltrações, devido à sua elevada precisão e detalhe. (R. Cordeiro, 2015)

Nesta técnica, recorre-se ao uso de uma pequena câmara CCTV, instalada num veículo robotizado, que filma, grava e transmite, em tempo real, a rede de drenagem que se está a intervencionar. (R. Ramos, 2018)

Na Figura 2.28, estão registadas as fotografia de uma inspeção visual CCTV realizada no dia 12 de março de 2020, na zona da Boavista, no Porto, com o intuito de desobstruir parte da rede de drenagem de águas residuais de um prédio residencial, entupida com restos de ramos de árvores. A desobstrução foi conseguida graças à utilização de um triturador ou cortador.

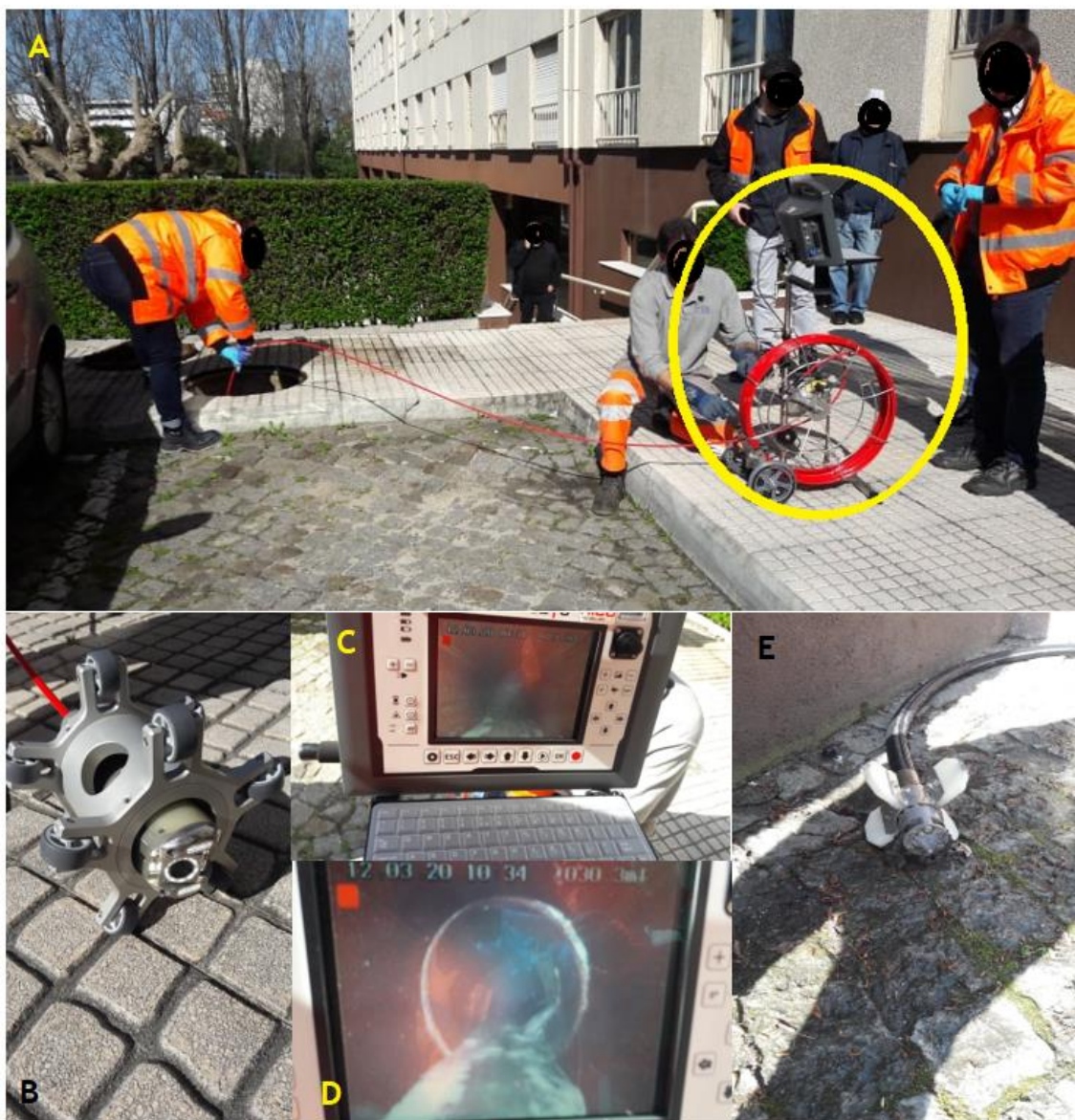


Figura 2.28. Inspeção visual CCTV: (A) Veículo robotizado com cabo extensível e televisor, circulos a amarelo, (B) Câmara CCTV inserida na extremidade do cabo extensível, (C) Imagem gravada pela câmara CCTV e transmitida para o televisor colocado sob o veículo robotizado, (D) Ampliação da imagem transmitida pela câmara CCTV e (E) Triturador ou cortador

Este método apresenta inúmeras vantagens, garantindo, desde logo, a segurança dos operadores face à eventual presença de substâncias tóxicas no local. Por outro lado, permite o registo constante da rede e das suas conexões, permitindo o desenvolvimento rápido de planos de gestão e, consequentemente, da reparação ou reabilitação da zona em causa, com o auxílio do triturador/cortador. (R. Cordeiro, 2015)

2.8.1.3. Isolamento de Pequenos Traços de Rede

Quando a infiltração se encontra numa determinada zona da rede de drenagem, é comum restringir troços dessa zona. De seguida, injeta-se água ou ar, de modo a detetar fontes de infiltração de origem indireta. (R. Cordeiro, 2015)

Uma das principais desvantagens desta técnica é a incapacidade em isolar completamente o troço em questão da restante rede, sendo muito difícil garantir que não haja vazamentos de caudais para os locais isolados, colocando em causa a fiabilidade dos testes e análises realizados. (R. Cordeiro, 2015)

2.8.1.4. Teste com Recurso a Traçadores

Nesta metodologia, aplica-se um traçador não tóxico, em locais estratégicos e representativos dos piores cenários de infiltração de águas pluviais na rede, como por exemplo jardins, tubos de queda ou drenos de fundação. (R. Cordeiro, 2015)

Uma das imposições desta técnica prende-se com a necessidade de realização de um estudo prévio do local, identificando os potenciais locais de infiltração. É precisamente esta necessidade que torna a aplicação deste método mais complexa, particularmente quando os potenciais locais de infiltrações se encontram localizados em propriedade privada. (R. Cordeiro, 2015)

2.8.2. Outras Metodologias de Detecção de Afluências Indevidas

2.8.2.1. Ensaios de estanquidade

Os ensaios de estanquidade apresentam bons resultados no que toca a infiltrações e exfiltrações e são, geralmente, usados em sistemas novos de drenagem, antes da sua entrada em funcionamento. (Brandão, 2015)

Segundo a norma EN 1610, os ensaios em redes gravíticas podem ser executados recorrendo à água - Método “W” - ou a ar - Método “L”. Este último é o mais rigoroso e privilegiado pela norma. No caso de não se conseguir um ensaio com ar aceitável, deve então proceder-se ao ensaio com água, e em casos excecionais, ao ensaio com vácuo. (Politejo, 2005)

2.8.2.2. Técnicas ultrassônicas (SONAR)

Outra técnica de inspeção de redes de saneamento pode ser efetuada utilizando um sonar. Usualmente, esta metodologia é favorável quando a tubagem está inundada ou contém demasiados fluidos que inviabilizam a utilização de outras técnicas, especialmente a inspeção visual CCTV. (Brandão, 2015)

A maior desvantagem do sonar é o seu elevado custo e peso, sendo importante analisar outras possibilidades antes de optar por esta solução. O sonar proporciona a: (Brandão, 2015)

- a) Determinação das condições estruturais;
- b) Eliminação de contingências em projetos de reabilitação;
- c) Determinação da quantidade existente de detritos;
- d) Determinação da melhoria da eficiência do coletor após a limpeza.

O sonar, colocado à superfície, juntamente com um transdutor que percorre a rede, permite a obtenção de imagens da parte interna das tubagens, através de impulsos emitidos e refletidos, em função do tempo e do percurso, tal como se exemplifica na Figura 2.29. (Brandão, 2015)

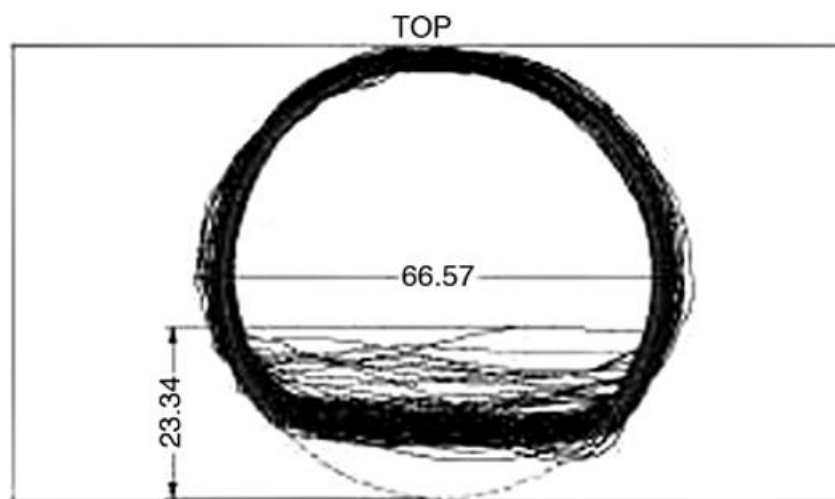


Figura 2.29. Imagem obtida através de um sonar. Retirado de (Moisio et al., 2004)

2.8.2.3. Sewer Scanning and Evaluation Technology

A *Sewer Scanning and Evaluation Technology* (SSET) surge como alternativa à inspeção visual CCTV que, embora continue a ser muito mais utilizada, apresenta limitações do ponto de vista da capacidade técnica do operador em realizar o trabalho, podendo,

em muitos casos, uma má realização conduzir a recomendações incorretas de reabilitação e substituição. (Brandão, 2015)

Como a CCTV, o SSET proporciona uma imagem frontal. A diferença entre ambos reside na capacidade de o último obter imagens de 360 graus do interior da superfície da tubagem. Adicionalmente, é possível obter a inclinação do tubo e identificar potenciais locais de acumulação de sedimentos que possam pôr em causa o bom funcionamento da conduta. Outra vantagem que esta tecnologia apresenta em relação à inspeção visual CCTV é o tempo que despende para realizar uma análise ao local: 2 a 3 minutos, contra os cerca de 15 a 25 minutos da CCTV. (Brandão, 2015)

O princípio de funcionamento consiste na utilização de uma câmara *fisheye* para observar a conduta na direção frontal e em ângulos quase retos com a direção da câmara. A informação recolhida pelo SSET permitirá que o operador visualize a superfície total da conduta de uma extremidade à outra.

2.8.2.4. Laser

A tecnologia *laser* é uma técnica avançada que determina, com rigor, o perfil da superfície de uma tubagem ou de outra estrutura. Esta técnica pode ser desenvolvida recorrendo a dois métodos.

O primeiro consiste na projeção de um laser, em forma de anel, para o interior do tubo ou das suas paredes. À medida que o laser se movimenta, o formato do laser vai sofrendo alterações consoante as irregularidades que vai encontrando pelo caminho. Estas irregularidades são gravadas por uma câmara montada no equipamento para, deste modo, poderem ser processadas e analisadas, através da utilização de algoritmos que permitem determinar as dimensões internas da tubagem. Este método é aplicado, nos dias de hoje, a tubagens com diâmetro inferior a 150 centímetros. (Moisio et al., 2004)

Por outro lado, o segundo método utiliza um laser que origina uma nuvem dentro do tubo e permite mapear a condição e o formato do interior das tubagens. (Moisio et al., 2004)

De um modo geral, esta tecnologia determina a forma estrutural e possíveis irregularidades das tubagens, estimando as quantidades de detritos presentes para, deste modo, calcular a capacidade do tubo no momento. Depois de definidas e

aplicadas eventuais reabilitações ou substituições, é novamente analisada a capacidade do tubo. (Moisio et al., 2004)

2.8.2.5. *Lamping*

O método “*Lamping*” consiste na introdução de uma câmara de filmar numa caixa de visita, em que esta é alinhada pelo centro da caixa e baixada, com auxílio de uma haste, até intercepar um coletor. É uma tecnologia básica que revela grandes massas radiculares, situações extremas de juntas dilatadas e grandes áreas de acumulação de detritos. Porém, está limitada a filmar poucos metros da conduta, não permitindo tirar muitas ilações da situação existente na rede. (Brandão, 2015); (Moisio et al., 2004)

Por outro lado, revela-se um método bastante eficaz na verificação de falhas em câmaras de visita e em tubos até 1,5 metros de distância das caixas de inspeção. (Moisio et al., 2004)

2.8.2.6. Questionários a Residentes

Uma solução bastante simples para a identificação de infiltrações à rede é a da realização de inquéritos a residentes numa determinada área, com ou sem histórico de problemas de infiltrações. Por vezes, a população residente pode ter conhecimento de sítios exatos onde um determinado problema se torna visível (por exemplo, onde normalmente os caudais de infiltração ascendem à superfície), levando, assim, os técnicos à identificação mais célere das origens e causas das afluências indevidas. (Brandão, 2015)

Capítulo 3 | Âmbito e Objetivos Específicos

3.1. Identificação dos Objetivos

A realização desta dissertação pretendeu, principalmente, avaliar e quantificar as afluências indevidas nas bacias associadas a estações elevatórias de águas residuais com recurso a *python*, produzindo mapas de criticidade, identificando-se as zonas mais problemáticas e, por conseguinte, as primeiras em que se deverá intervir, originando um *input* para o plano de controlo de infiltrações e de afluências indevidas do município do Porto.

Numa segunda fase, recorreu-se ao *Machine Learning* com o intuito de criar um código preditivo, baseado no modelo de ARIMA, que fosse capaz de prever caudais de infiltração no futuro.

Outros objetivos, durante o estágio na Águas do Porto, E.M., incluíram:

- a) Visitas a diversas instalações: câmaras de visita, estações elevatórias e estações de tratamento de águas residuais;
- b) Instalação de dois caudalímetros;
- c) Participação numa atividade de demonstração de uma inspeção vídeo, com recurso a veículo robotizado munido de uma câmara de filmar;
- d) Formação sobre os testes com recurso a máquinas de fumo.

3.2. Metodologias Adotadas na Quantificação e Qualificação de Afluências Indevidas

A quantificação das afluências indevidas à rede foi determinada pelo método das séries temporais. O método do triângulo serviu como complemento ao método das séries temporais, na medida em que permitiu qualificar o tipo de afluência indevida, ou seja, se esta foi direta ou indireta. Nos dois pontos seguintes, é feita a apresentação das duas metodologias utilizadas.

3.2.1. Método das Séries Temporais

O método das séries temporais (Figura 3.1) pode ser resumido da seguinte forma:

- *Inputs*: Volumes de águas residuais domésticas (obtidos através da água faturada mensalmente), volumes elevados nas estações elevatórias (através de

tempos de bombagem e capacidades das bombas instaladas) e precipitação. Os registos da pluviosidade podem ser consultados no Anexo E;

- *Outputs:* Volumes e percentagens de afluências indevidas, volumes de águas residuais. Além disso, permite relacionar e perceber os eventos de precipitação com o aumento dos caudais elevados.

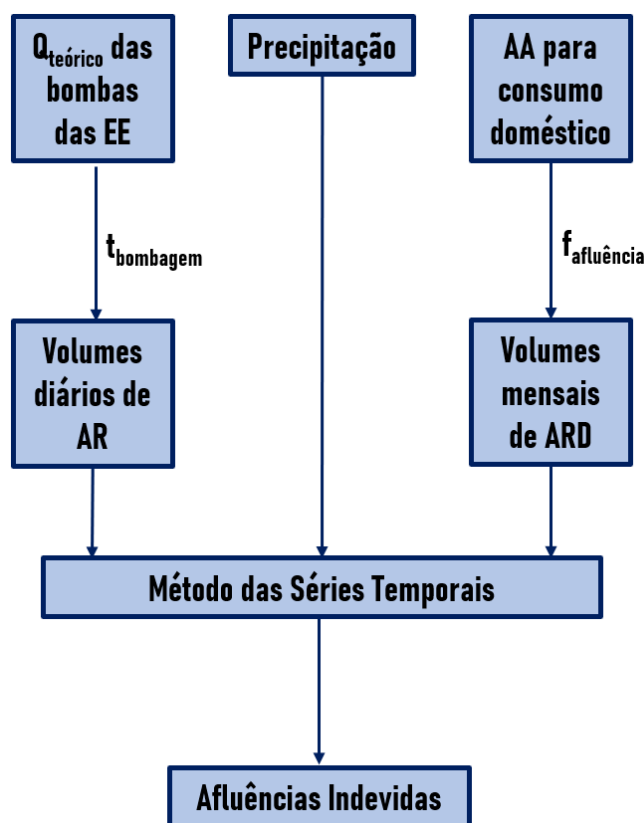


Figura 3.1. Exemplificação esquemática do método das séries temporais

3.2.2. Método do Triângulo

O método do triângulo (Figura 3.2) é muito similar ao do das séries temporais, diferindo, ao nível dos *inputs*, uma vez que considera a água faturada anualmente (enquanto o método das séries temporais usa uma escala mensal para este fator). Pode ser resumido da seguinte forma:

- *Inputs:* Volumes de águas residuais domésticas (através da água faturada anualmente), volumes elevados nas elevatórias (através de tempos de bombagem e capacidades das bombas), dias com influência de precipitação;

- *Outputs:* Volumes e percentagens de afluências indevidas, volumes de águas residuais e tipo de afluência indevida (direta ou indireta).

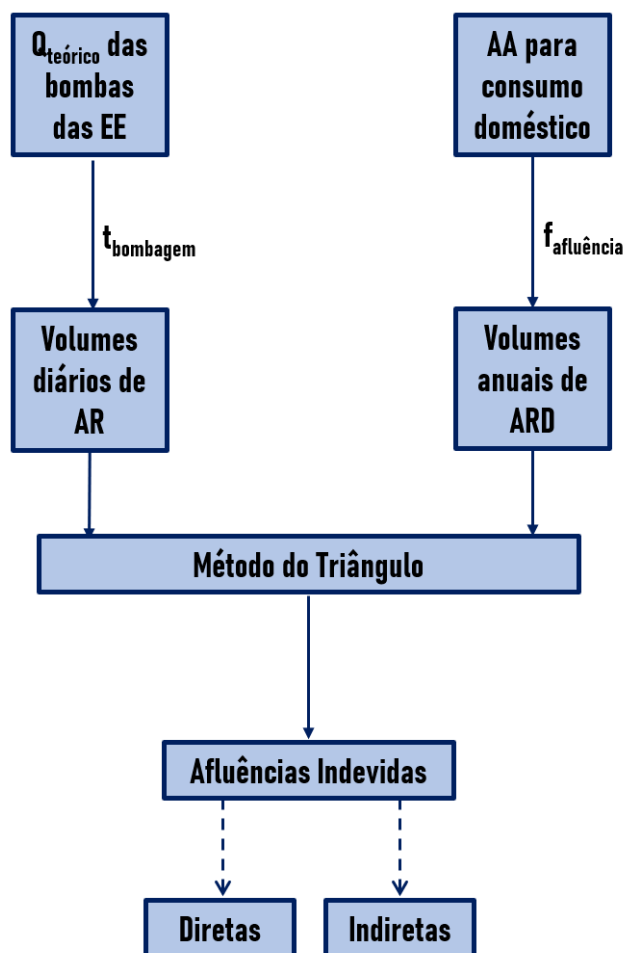


Figura 3.2. Exemplificação esquemática do método do triângulo

3.3. Avaliação Global da Área em Estudo

A cidade do Porto, localizada no Noroeste de Portugal, é a segunda cidade mais importante do País e o quarto município mais populoso de Portugal, com cerca de 240 mil habitantes, à data dos censos de 2011, com uma área de 41,42 km². Neste município, encontram-se importantes infraestruturas que apresentam elevados consumos de água e, por conseguinte, altos volumes de água para tratar, como por exemplo o Hospital de São João - um dos maiores do País - ou o Estádio do Dragão. Na Figura 3.3, apresenta-se um mapa com a localização espacial do município do Porto.

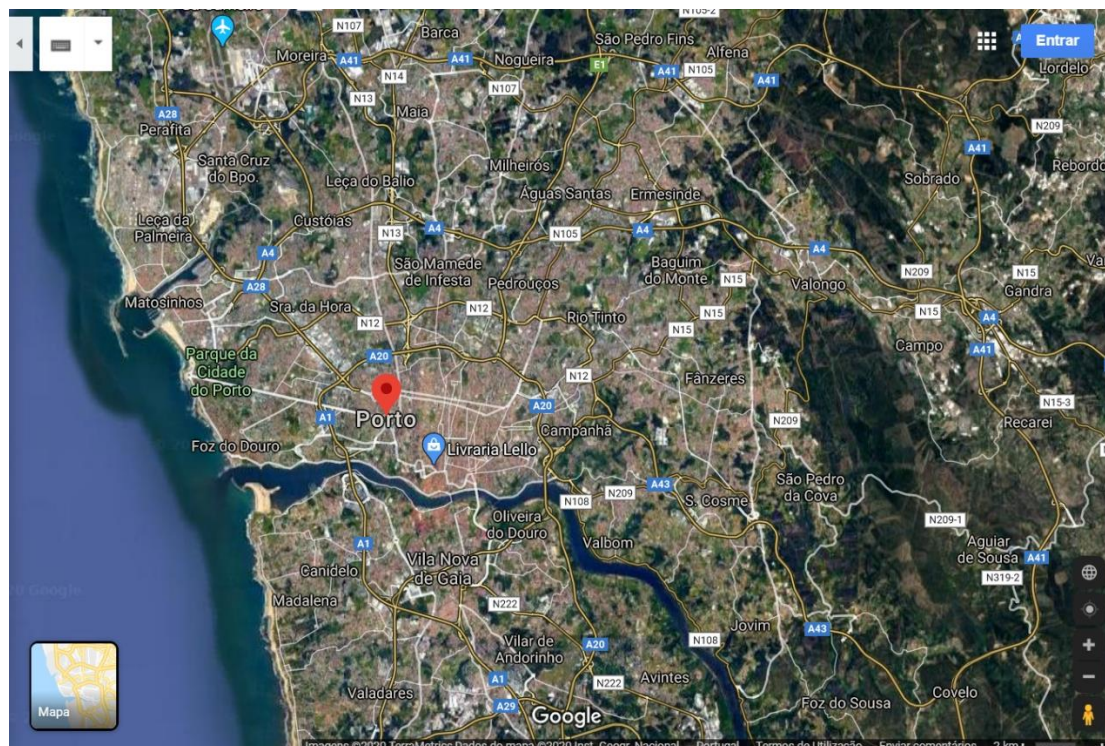


Figura 3.3. Localização do município do Porto. Retirado de (Google Maps, 2020)

Por outro lado, todos os dias, milhares de pessoas atravessam os limites do município para exercer a sua atividade profissional, incrementando, por isso, o consumo de água e consequente necessidade de tratamento dessas mesmas águas.

Outro setor que provoca variações significativas nos consumos e volumes de água para tratamento é o turismo, o qual faz aumentar significativamente o número de residentes absolutos na cidade. Segundo um estudo da *Electronic System for Travel Authorization* (ESTA), em 2019, o Porto surge na 15ª posição no ranking das cidades que apresentam maior *ratio* de turistas internacionais por habitantes locais, com 183 estrangeiros para 100 residentes. (ESTA, 2019)

3.3.1. Fisiografia

A cidade do Porto localiza-se numa área complexa de contacto entre a Zona Centro Ibérica (ZCI) e a Zona de Ossa-Morena (ZOM) e é, essencialmente, constituída por granitos. (Câmara Municipal do Porto, 2018)

O ordenamento do território é, portanto, uma tarefa hercúlea, uma vez que exige o conhecimento das dinâmicas naturais da região, desde as escarpas íngremes do rio Douro ao registo histórico de inundações. A caracterização fisiográfica do município foi baseada num Modelo Digital de Elevação (MDE) e permitiu a criação de cartas

hipsométricas, de declives, de exposições e de morfologias. Nos dois pontos seguintes, é feita a caracterização das duas primeiras vertentes. (Câmara Municipal do Porto, 2018)

3.3.1.1. Hipsometria

A hipsometria é uma técnica de representação gráfica de altitudes, através da aplicação de meios geodésicos e barométricos. (Infopédia, 2020)

Na Figura 3.4, está representada a carta hipsométrica do concelho do Porto, com a localização das estações elevatórias a vermelho (triângulo).

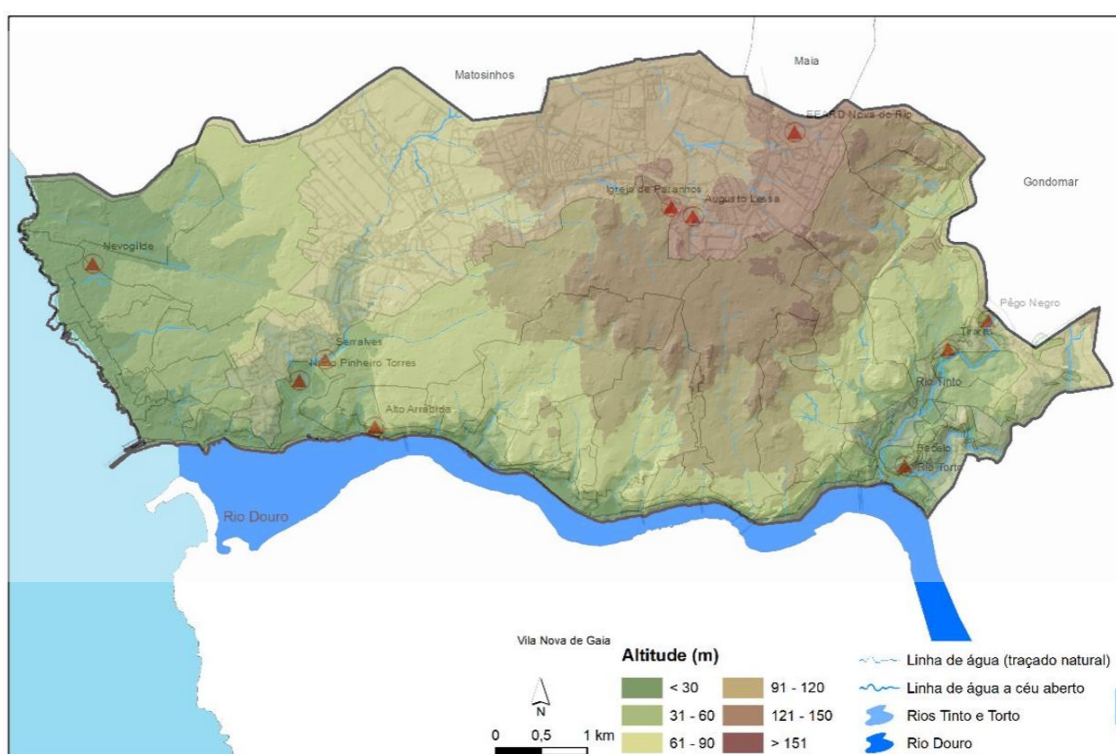


Figura 3.4. Carta hipsométrica da cidade do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)

A análise da figura supramencionada permite concluir que grande parte do município do Porto está situado a altitudes compreendidas entre os 61 e os 90 metros, sendo a cota mais baixa de 0 metros e a mais alta de 159 metros, atingida no Monte Aventino. As áreas com altitude inferior a 90 metros perfazem cerca de 61% da cidade. (Câmara Municipal do Porto, 2018)

Nas Figuras 3.5, 3.6 e 3.7, apresentam-se, respetivamente, os perfis do terreno da Avenida de Fernão de Magalhães, da Avenida da Boavista e da cidade em geral - desde a costa atlântica até ao limite Nordeste do concelho.

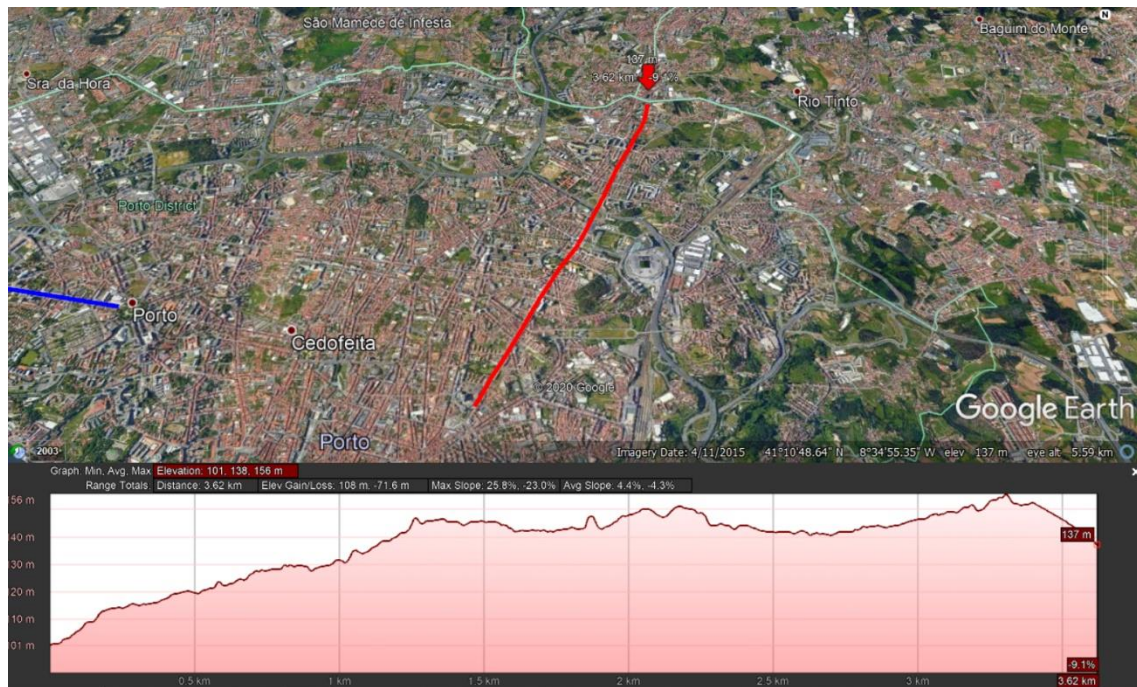


Figura 3.5. Perfil de elevação da Avenida de Fernão de Magalhães, a vermelho



Figura 3.6. Perfil de elevação da Avenida da Boavista, a azul



Figura 3.7. Perfil de elevação geral da cidade do Porto - desde a costa atlântica até ao limite Nordeste do concelho -, a amarelo

3.3.1.2. Declives

Os declives representam a inclinação de um terreno e, sob o ponto de vista do escoamento de água, quanto maior for o declive, maior será a acumulação, nas bases desses locais, de águas e sedimentos.

Na Figura 3.8, encontra-se representada a carta com os declives do município do Porto, com a localização das estações elevatórias a vermelho (triângulo).

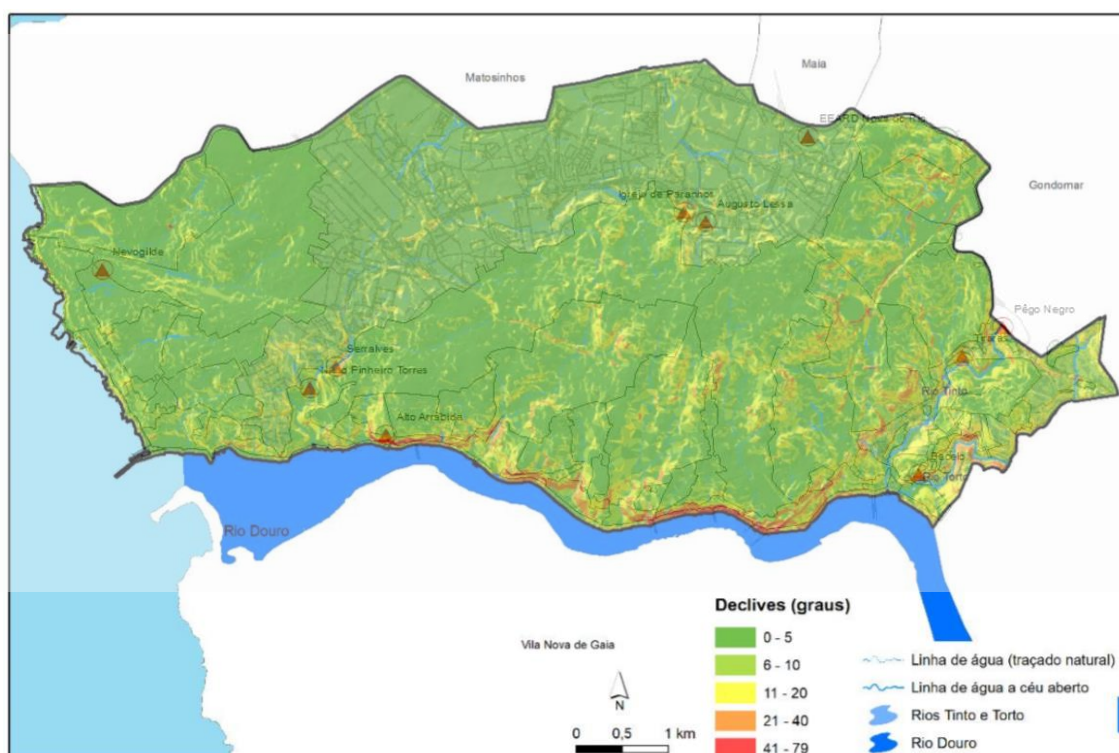


Figura 3.8. Declives, em graus, no concelho do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)

Pela análise da figura anterior, verifica-se que a vasta maioria do território portuense apresenta declives inferiores a 5 graus, sendo os maiores registados próximo do rio Douro (nas suas escarpas). Esta zona ribeirinha está, pois, numa zona de risco elevado no que toca à acumulação de águas e sedimentos arrastados durante eventos pluviométricos.

3.3.2. Geologia e Geomorfologia

Nesta secção, baseada na Carta Geológica do Porto, é apresentada uma panorâmica geral sobre os recursos e condicionantes dos processos que podem condicionar alguns usos e funções do território. Mais informações relativas a estes temas podem ser encontradas na Carta Geológica do Porto. (Câmara Municipal do Porto, 2018)

3.3.2.2. Geomorfologia

A carta geomorfológica (Figura 3.9) permite localizar linhas de talvegue e cumeada, a morfologia do terreno e os alinhamentos de fratura, permitindo observar o comportamento dinâmico da região. A vermelho, encontram-se as localizações das estações elevatórias (triângulo).

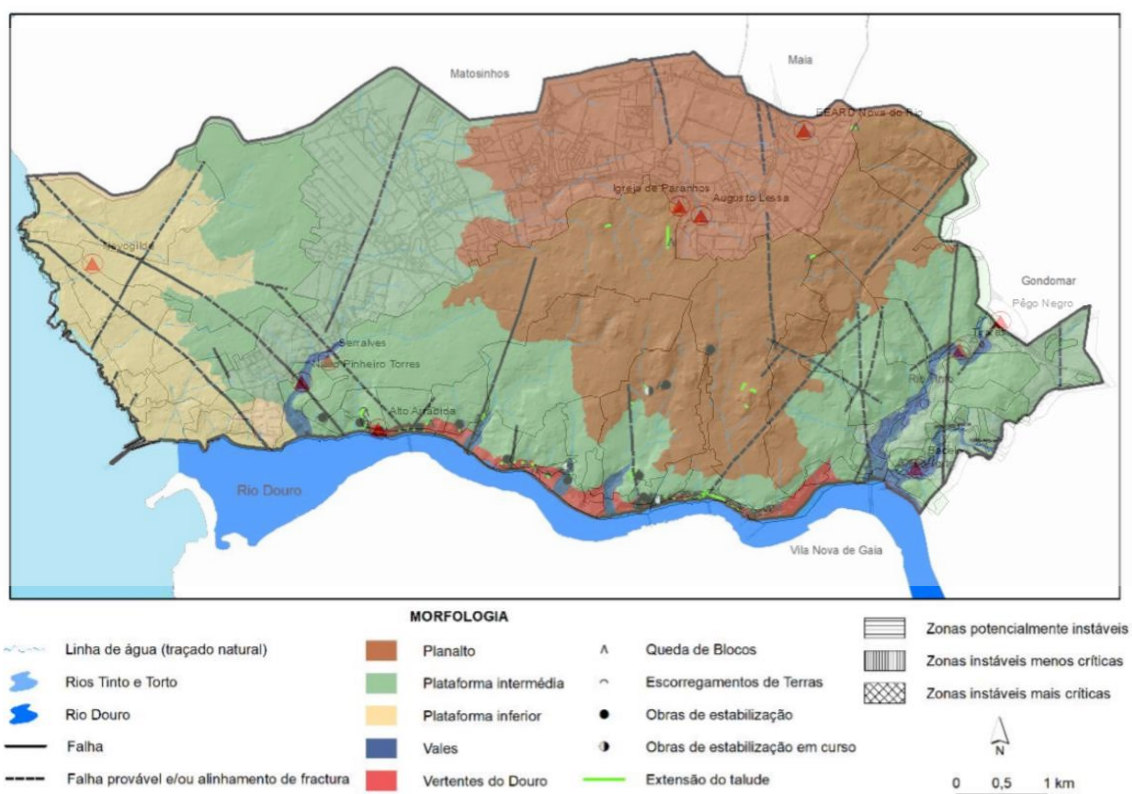


Figura 3.9. Carta geomorfológica do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)

As escarpas são as zonas mais críticas da cidade, podendo ser classificadas em três tipos: (Câmara Municipal do Porto, 2018)

- Zonas instáveis mais críticas: correspondem a zonas onde há uma acentuada presença de fatores desfavoráveis e indícios de instabilização, devendo ser vigiadas e intervencionadas;
- Zonas instáveis menos críticas: correspondem a zonas onde os fatores e os indícios de instabilização são mais favoráveis do que no caso anterior;
- Zonas potencialmente instáveis: correspondem a zonas onde existem fatores desfavoráveis e os sinais de ocorrência de fenómenos de instabilidade visíveis são inexistentes ou pontuais.

3.3.2.3. Potencial de permeabilidade

A carta hidrogeológica da Carta Geotécnica do Porto permite identificar o nível de permeabilidade do solo, tal como demonstrado na Figura 3.10. A vermelho, encontram-se as localizações das estações elevatórias (triângulo).

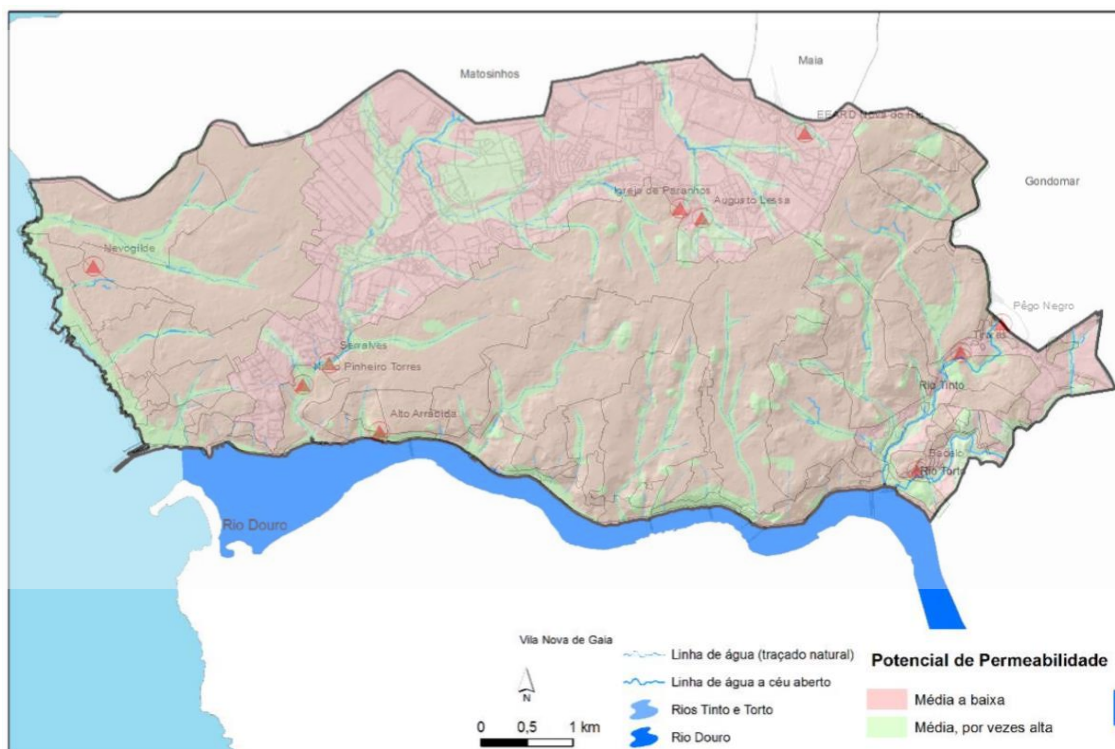


Figura 3.10. Potencial de permeabilidade do município do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)

A visualização da figura anterior permite concluir que a grande maioria do território do concelho do Porto apresenta um potencial de permeabilidade médio a baixo. As partes do concelho mais próximas de corpos de água são as que apresentam um potencial de permeabilidade mais elevado.

3.3.2.4. Condicionantes geotécnicas

O principal objetivo da carta geotécnica (Figura 3.11) prende-se com a identificação de condicionantes estruturais à utilização do território. Nela, estão contidas diversas áreas, das quais se destacam: (Câmara Municipal do Porto, 2018)

- Zonas de solos com fracas características de resistência e deformabilidade, por vezes associados a níveis freáticos elevados;
- Zonas de recarga direta de aquíferos.

Ainda na Figura 3.11, a vermelho, encontram-se as localizações das estações elevatórias (triângulo).

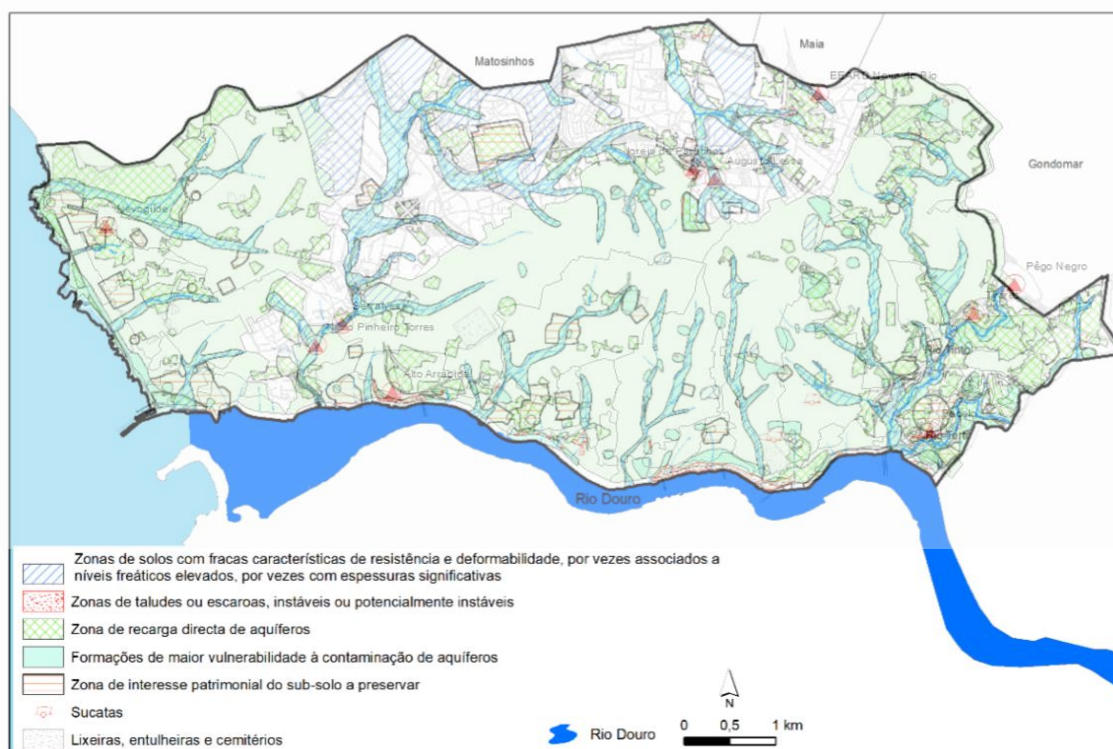


Figura 3.11. Condicionantes geotécnicas da cidade do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)

As zonas de recarga direta de aquíferos são as que apresentam menor escoamento superficial e estão localizadas, maioritariamente, nos limites do concelho (Noroeste e Este, essencialmente).

3.3.3. Hidrografia e Inundações

A hidrografia é uma ciência fundamental para o bom ordenamento do território, nomeadamente ao nível da localização das populações e de infraestruturas. (Câmara Municipal do Porto, 2018)

A urbanização de áreas extensas tem contribuído para a diminuição da capacidade de infiltração dos solos e, consequentemente, o aumento do escoamento direto, promovendo os picos de cheia.

3.3.3.1. Bacias Hidrográficas

As infiltrações indiretas têm como origem a afluência, aos coletores de águas residuais, de águas subterrâneas por efeito da subida do nível freático e pela fraca estanquidade das infraestruturas, como coletores, ramais e caixas de visita.

O caudal de infiltração é função das oscilações do nível freático e da condição infraestrutural das redes de drenagem.

A proximidade/cruzamento com níveis freáticos potencia a ocorrência de potenciais infiltrações.

A Figura 3.12 mostra as bacias da rede hidrográfica da cidade do Porto, assim como a localização das estações elevatórias, a vermelho (triângulo).

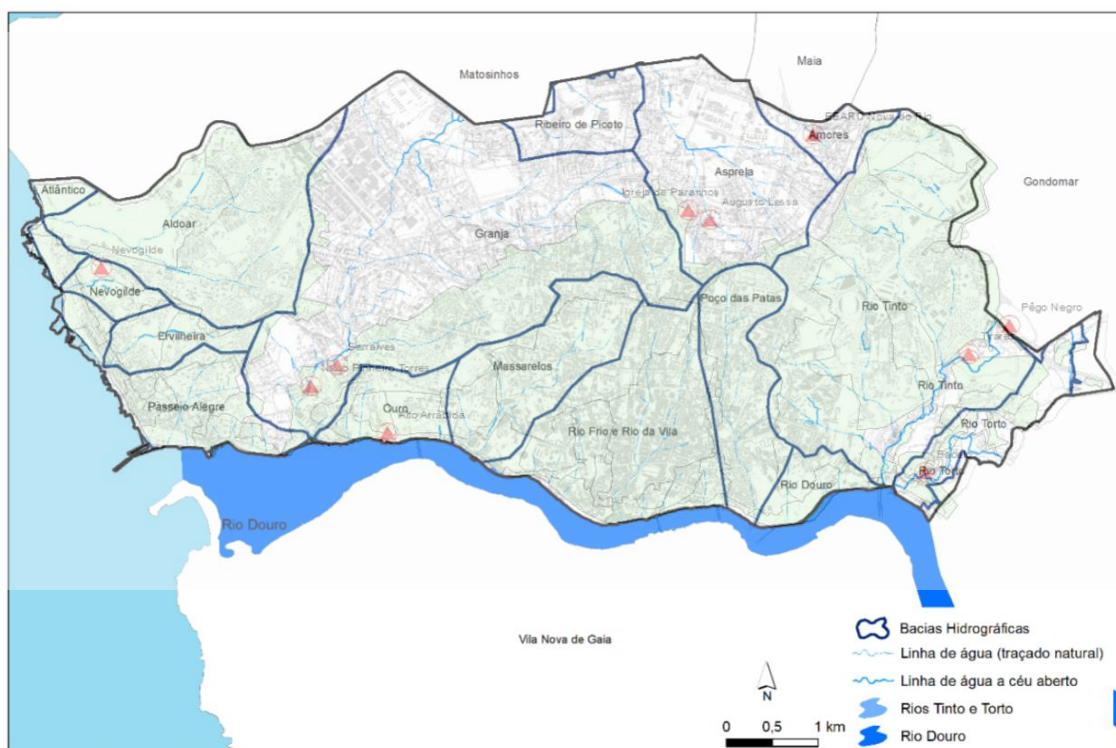


Figura 3.12. Rede hidrográfica da cidade do Porto, Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)

3.3.3.2. Inundações urbanas

Na Figura 3.13, encontra-se o registo histórico de inundações urbanas na cidade do Porto, no período de 1974 a 2014. A análise do histórico dos locais permite, muitas vezes, tirar ilações para futuros problemas que possam surgir. A vermelho, encontram-se as localizações das estações elevatórias (triângulo).

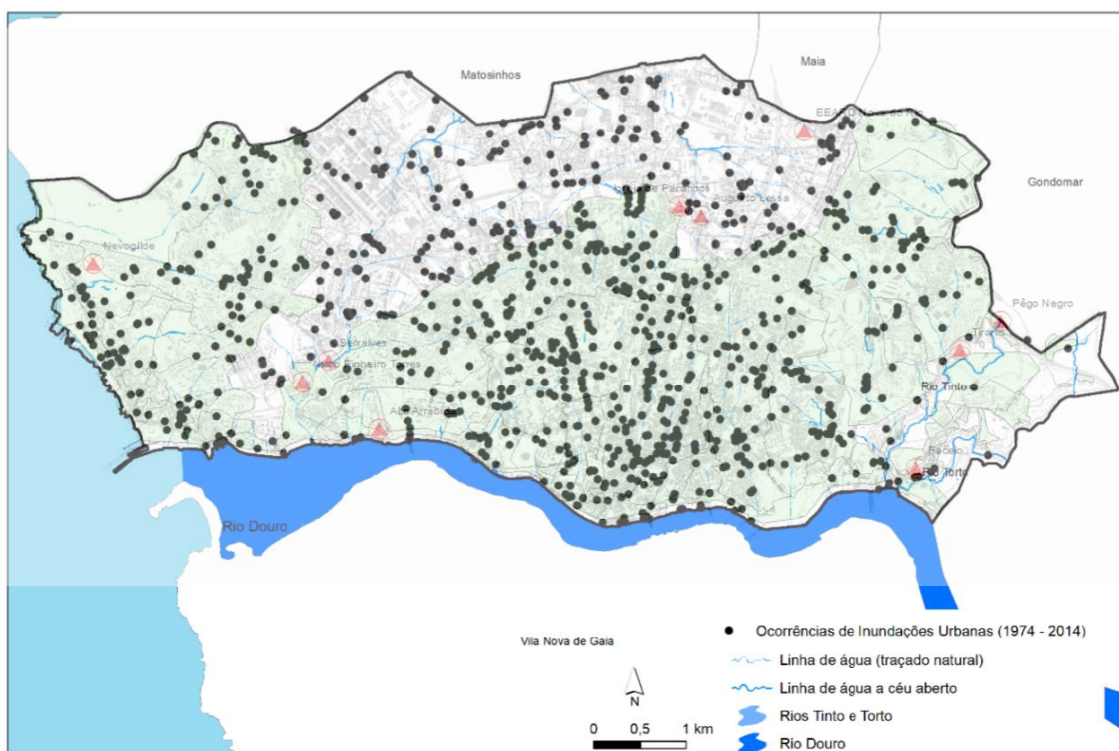


Figura 3.13. Registo de inundações urbanas na cidade do Porto entre 1974 e 2014. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)

3.3.4. Sistema Húmido

Os sistemas húmidos (SH), que privilegiam as infiltrações, integram os seguintes componentes: (Câmara Municipal do Porto, 2018)

- a) Áreas adjacentes às linhas de água a céu aberto, em solos de aluvião;
- b) Áreas sujeitas a inundações, cheias ou galgamentos oceânicos;
- c) Áreas de taludes e escarpas instáveis;
- d) Áreas verdes.

Estes sistemas são de extrema importância no que toca a infiltrações, uma vez que, nestas zonas, o potencial de infiltração é muito elevado, fomentando, deste modo, a redução das afluências diretas. Na Figura 3.14, encontra-se a localização destes sistemas no município do Porto, estando a larga maioria localizada nas áreas verdes e próximo dos corpos de água. (Câmara Municipal do Porto, 2018)

Ainda na Figura 3.14, encontram-se, a vermelho, as localizações das estações elevatórias (triângulo).

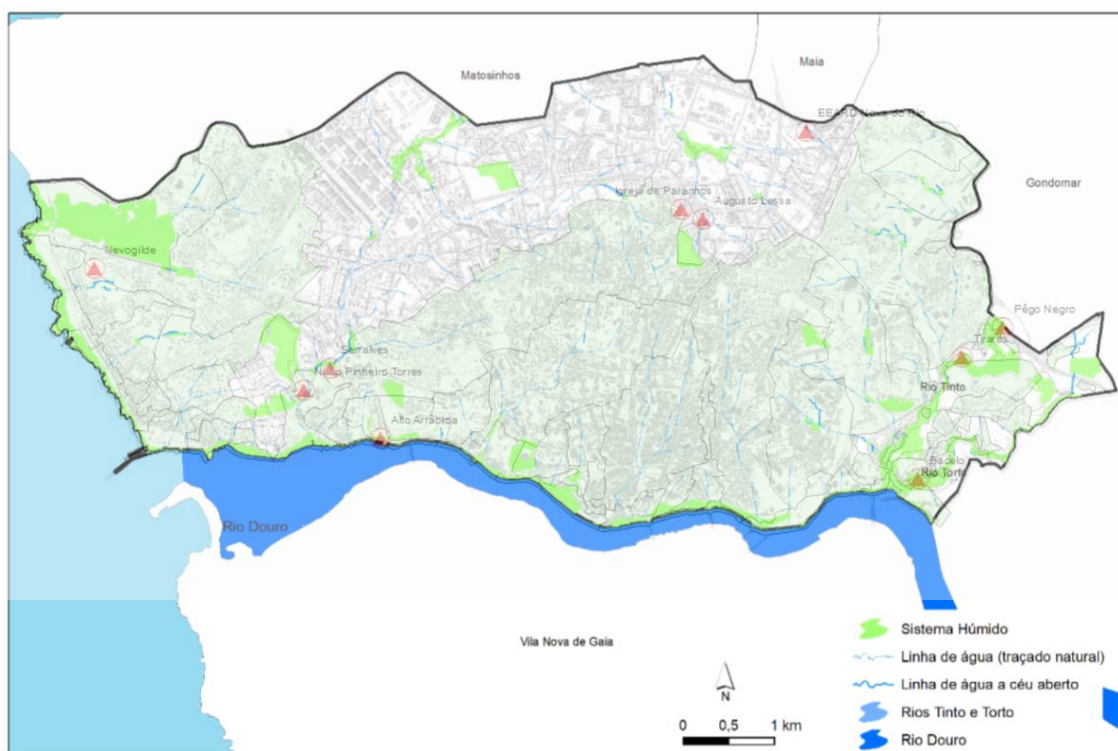


Figura 3.14. Sistema húmido da cidade do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2018)

3.3.5. Ocupação do Solo

A má ocupação do solo, com construções em áreas protegidas e com cada vez mais áreas urbanizadas, interfere na capacidade de infiltração dos solos e, naturalmente, no aumento do escoamento direto nessas zonas, promovendo a ocorrências de fenómenos de cheia. Na Figura 3.15, encontra-se a carta de qualificação do solo do Porto, com as áreas de ocupação do mesmo. A legenda da carta pode ser consultada no Anexo F.

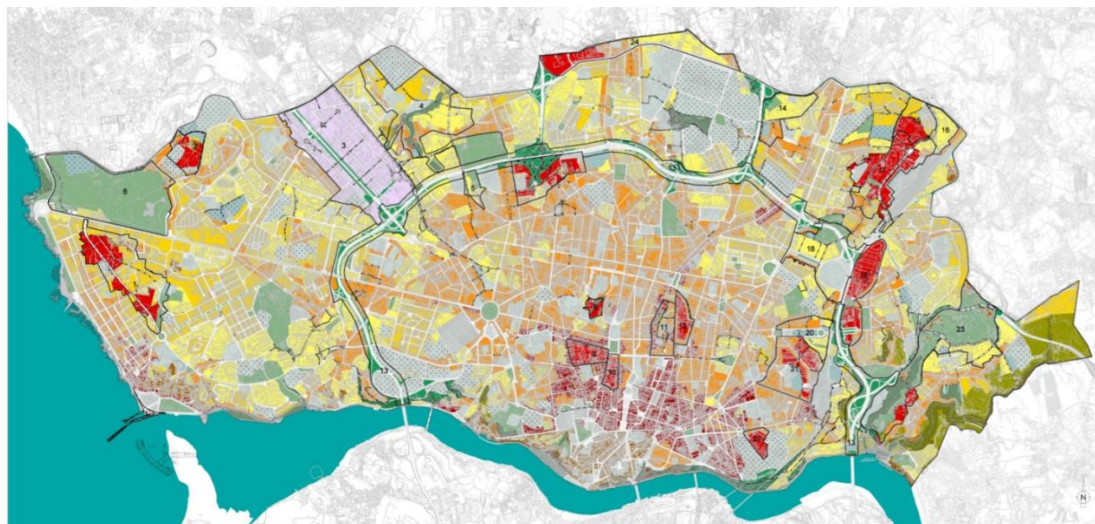


Figura 3.15. Ocupação do solo na cidade do Porto. Retirado de (Câmara Municipal do Porto, 2019)

À data de 2011, a ocupação do solo na cidade distribuía-se de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Tipo de ocupação do solo do município do Porto

Área	Ocupação (%)
Frente urbana contínua	25,8
Equipamentos	17,0
Verdes	16,5
Edificação isolada com prevalência de habitação coletiva	16,3
Habitação do tipo unifamiliar	12,5
Urbanização especial	3,8
Proteção de recursos naturais	3,6
Empresarial	2,3
Histórica	2,1

3.4. Definição dos Limites da Área em Estudo

Na Tabela 3.2, encontra-se a lista de arruamentos pertencentes a cada bacia analisada.

Tabela 3.2. Arruamentos pertencentes a cada bacia em análise

Bacia	Arruamentos	
Alto Arrábida	Rua Alto Arrábida Rua Arrábida	
Augusto Lessa	Travessa Augusto Lessa	
Bacelo	Rua 8 de setembro Rua Azevedo Rua Bacelo Rua Costa Barreto Rua Faia Rua Freixo Rua Granja Travessa Granja Rua Levada Travessa Levada Beco Meiral	Rua Meiral Travessa Meiral Viela Meiral Estrada Nacional 209 Rua Outeiro do Tine Rua Palheta Travessa Palheta Calçada São Pedro Largo São Pedro Rua São Pedro Travessa São Pedro
Igreja Paranhos	Rua Igreja Paranhos Rua Júlio Ramos Rua Via-Sacra	
Nevogilde	Travessa Igreja Nevogilde	
Nova Rio	Estrada Circunvalação Rua Costa Cabral Rua Diamantina Rua Dr. Eduardo Santos Silva Travessa Veloso	
Pêgo Negro	Estrada Circunvalação Rua Pêgo Negro Travessa Pêgo Negro	
Pinheiro Torres	Rua António José Almeida Rua Condominhas Rua Diogo Botelho Bairro Lordelo Bairro Nuno Pinheiro Torres	
Serralves	Rua Mouteira Beco Outeiro Rua Serralves	
Tirares	Rua Tirares	

3.5. Introdução ao *Machine Learning*

Machine Learning (ML) é a área de inteligência artificial que estuda os algoritmos computacionais que permitem aprender informação e detetar padrões relevantes, de forma automática, a partir de dados observados. (Braga, 2017)

De um modo geral, as etapas que se pretendem ver realizadas com um programa de ML são as seguintes:

- 1) Leitura do(s) ficheiro(s) que contêm os dados (por exemplo, *Microsoft Excel*) e carregamento dessas mesmos dados para o ML;
- 2) Treino do modelo escolhido;
- 3) Validação do modelo escolhido;
- 4) Previsão de resultados através do modelo escolhido.

Python é uma linguagem de programação:

- a) De alto nível;
- b) Interpretada, isto é, uma linguagem em que o código fonte é executado por um programa de computador - interpretador -, que em seguida é executado pelo sistema operacional ou processador; (Scott, 2006)
- c) De script, ou seja, uma linguagem que suporta scripts - programas escritos para um sistema de tempo de execução especial que automatiza a execução de tarefas;
- d) Imperativa, isto é, descreve a computação como ações, enunciados ou comandos que mudam as variáveis de um programa;
- e) Orientada a objetos (POO), ou seja, é um modelo de análise, projeto e programação de software baseado na composição e interação entre diversas unidades chamadas de objetos; (Nørmark, 2010)
- f) Funcional, isto é, que trata a computação como uma avaliação de funções matemáticas e que evita variáveis ou dados mutáveis; (Hudak, 1989)
- g) Do tipo dinâmica;
- h) Forte.

A linguagem de programação *python* é vastamente utilizada em projetos de inteligência artificial e de *Machine Learning*, com o auxílio de bibliotecas, como por exemplo (Figura 3.16):

- a) *scikit-learn*;
- b) *pandas*;
- c) *matplotlib*;
- d) *NumPy*;
- e) *pmdarima*.

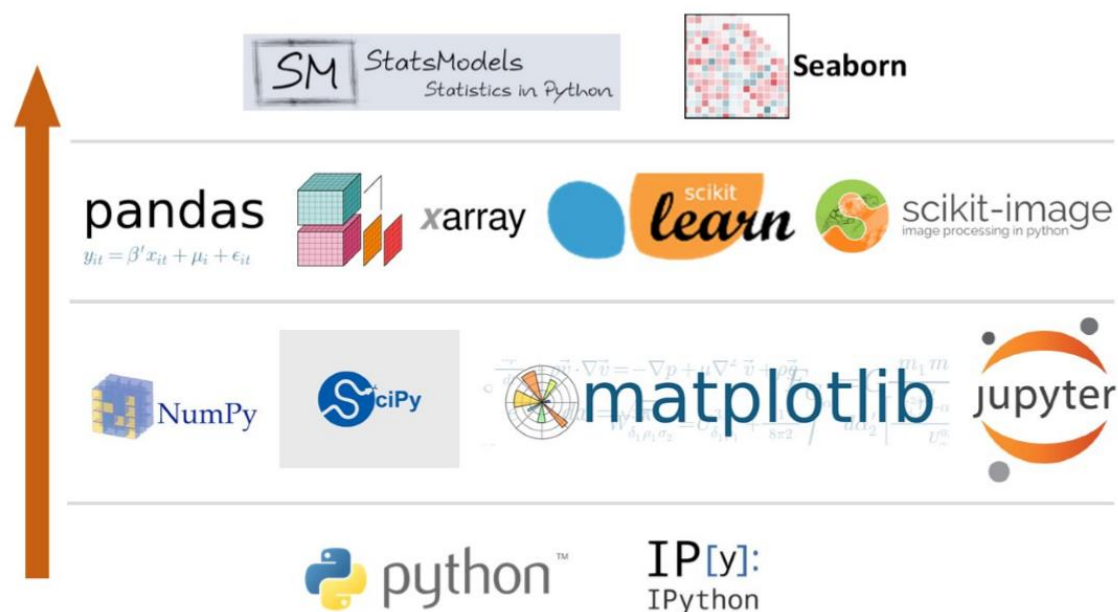


Figura 3.16. Exemplo de bibliotecas disponíveis em *python*. Retirado de (Pires, 2020)

Um dos objetivos desta dissertação é a execução de um programa em *Machine Learning* capaz de prever volumes de afluências indevidas a partir de dados de séries temporais.

Assim sendo, um método bastante popular e perfeitamente adequado a esta situação é o modelo de ARIMA, que significa *AutoRegressive Integrated Moving Average*. Este modelo estatístico analisa e prevê dados de séries temporais. O acrônimo ARIMA descreve os seguintes aspectos: (Brownlee, 2020)

- a) AR: AutoRegressão. Um modelo que usa a relação dependente entre uma observação e algumas observações desfasadas;
- b) I: Integrado. O uso de diferenciação de observações brutas (por exemplo, subtraindo uma observação de uma observação na etapa de tempo anterior) com o objetivo de tornar a série temporal estacionária;
- c) MA: Média Móvel. Um modelo que usa a dependência entre uma observação e um erro residual de um modelo de média móvel aplicado a observações desfasadas.

Existem três tipos de modelos de ARIMA: (Brownlee, 2020)

- a) ARIMA: aquele que não tem em conta a sazonalidade dos dados/observações;
- b) SARIMA: aquele que tem em conta a sazonalidade dos dados/observações. Foi o modelo utilizado neste trabalho;
- c) SARIMAX: aquele que tem em conta a sazonalidade dos dados/observações usando variáveis exógenas.

Esta distinção entre que tipo de modelo ARIMA utilizar pode ser feita usando a função “*auto_arima*” da biblioteca *pmdarima*, que analisa os dados de modo a interpretar a existência de sazonalidade. (Brownlee, 2020)

Capítulo 4 | A Empresa

4.1. Apresentação da Águas do Porto, E.M.

A Águas do Porto, E.M., sediada na Rua do Barão de Nova Sintra, é uma empresa pública que intervém em seis áreas distintas: (Águas do Porto, 2018)

- 1) Abastecimento e distribuição de água, a toda a população, assegurando uma taxa de cobertura de 100%. A água de entrada no sistema (AES) é proveniente da empresa Águas do Douro e Paiva, S.A. (AdDP), que é responsável pela captação de água, no Rio Douro, e pelo seu posterior tratamento e fornecimento em alta aos municípios do Grande Porto;
- 2) Drenagem de Águas Residuais Domésticas, do tipo separativo, fazendo a separação entre os sistemas de águas residuais domésticas e os de águas pluviais. A rede de recolha e drenagem das águas residuais é, maioritariamente, do tipo de escoamento em superfície livre e tem uma extensão de 550 km de coletores;
- 3) Drenagem de Águas Pluviais, cujo sistema tem uma extensão aproximada de 600 km;
- 4) Estações de Tratamento de Águas Residuais de Sobreiras e do Freixo, com capacidade para tratar um total de, aproximadamente, 90 000 m³ diários de águas residuais, o que corresponde a um universo populacional de 370 000 habitantes equivalentes;
- 5) Gestão das praias da cidade, adotando um modelo de gestão integrado do ciclo urbano da água, assente no conceito de vanguarda *Water Sensitive Urban Design* (WSUD). Atualmente, o Porto tem 9 praias com bandeira azul (Homem do Leme, Molhe, Gondarém, Luz, Ingleses, Ourigo, Carneiro, Pastoras e Castelo do Queijo). A praia do Castelo do Queijo apresenta uma classificação “Excelente” relativamente à qualidade da água;
- 6) Ribeiras, definindo, no Projeto Ribeiras do Porto, as três principais linhas de atuação: a despoluição, a desentubação e a reabilitação destes cursos de água, considerando, para tal, as dimensões ecológicas, sociais e económicas da sustentabilidade.

4.2. Caracterização da Rede de Drenagem

A cidade está dividida em dois subsistemas de drenagem: o Ocidental e o Oriental, como se pode verificar pela Figura 4.1. Esta subdivisão advém da necessidade de se distribuir o volume de efluente tratado nas duas ETAR. (A. Ramos et al., 2015)

O subsistema Ocidental está direcionado para a ETAR das Sobreiras, serve as freguesias a poente da cidade e é constituído pelos seguintes elementos: (A. Ramos et al., 2015)

- a) Intercetor Litoral (Orla Atlântica ou Foz);
- b) Intercetores Marginal Douro (um a poente e outro a nascente);
- c) Coletor geral da Zona Norte.

O subsistema Oriental culmina na ETAR do Freixo, serve as freguesias mais a leste da cidade, a par da bacia do Rio Torto em Gondomar, e é constituído pelos seguintes elementos: (A. Ramos et al., 2015)

- a) Intercetor Marginal Douro (um a poente e outro a nascente);
- b) Coletor geral da Zona Leste;
- c) Emissários do Rio Torto;
- d) Emissário de Azevedo de Campanhã.

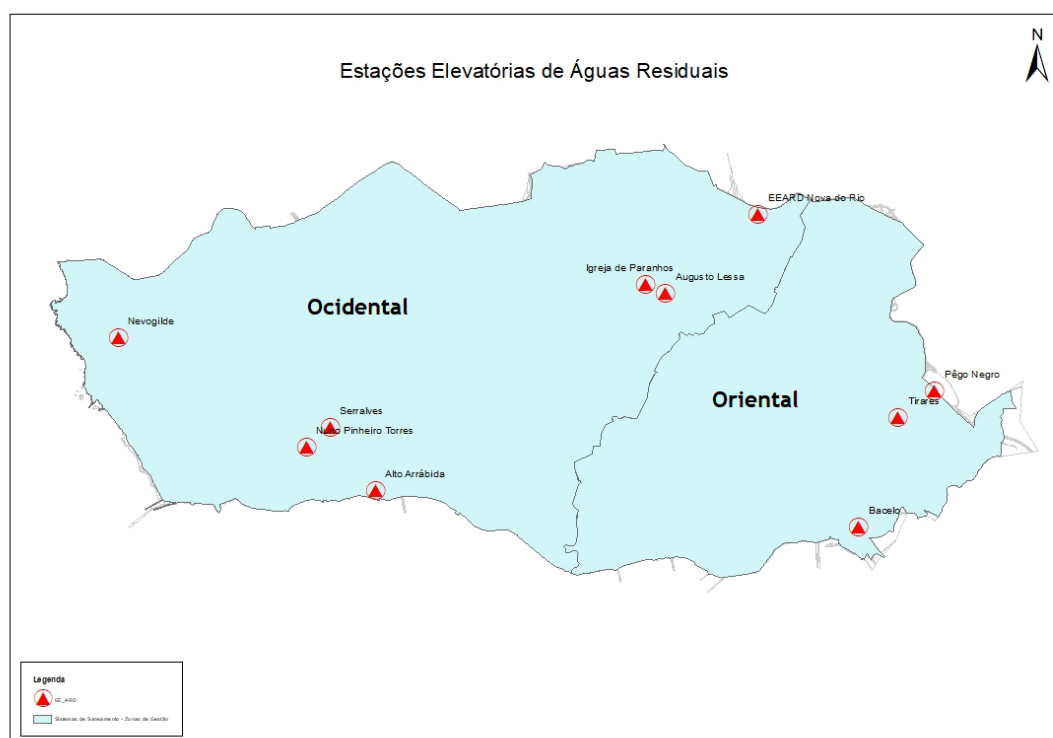


Figura 4.1. Subsistemas Ocidental e Oriental da cidade do Porto

Adicionalmente, o sistema público de drenagem da cidade do Porto está dividido em quatro zonas: Norte, Sul, Leste e Oeste (Figura 4.2). Esta divisão foi baseada nos desníveis topográficos da própria cidade. (A. Ramos et al., 2015)

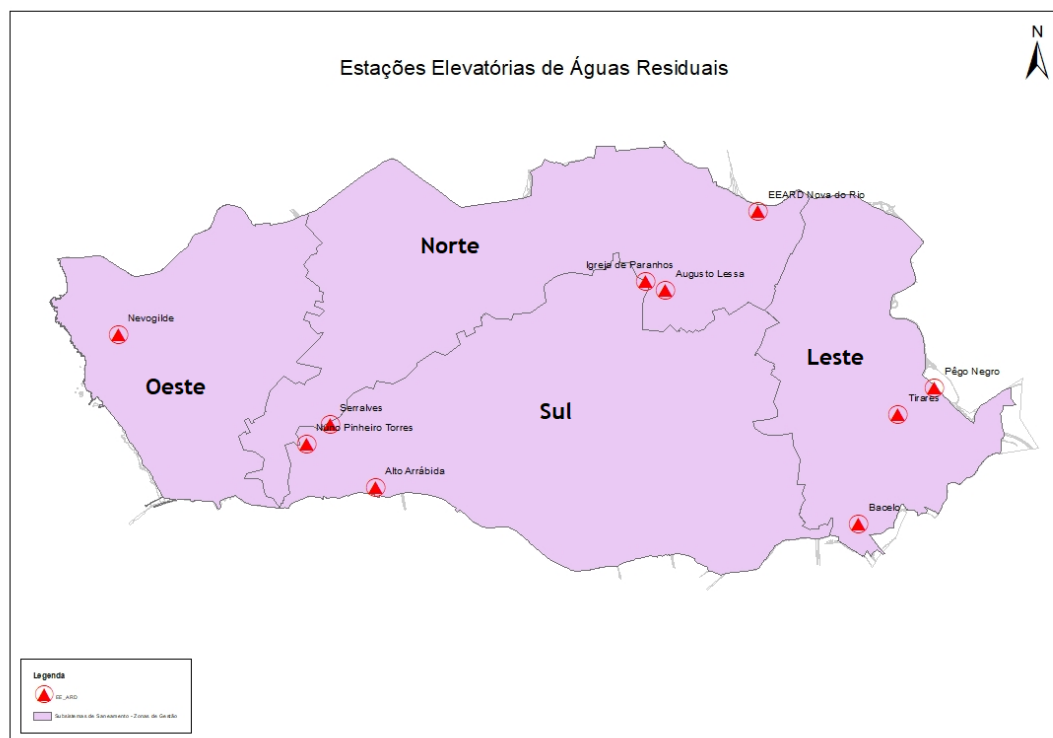


Figura 4.2. Zonas de drenagem da cidade do Porto

A rede drenagem de águas residuais domésticas (ARD) é constituída por um sistema em alta e por um sistema em baixa. (A. Ramos et al., 2015)

4.2.1. Rede em Baixa

A rede de recolha e drenagem das águas residuais é do tipo separativo, sendo independente da rede de águas residuais pluviais. É essencialmente gravítica, exceto em zonas de cotas mais baixas onde não é possível manter uma solução gravítica e, por isso, se recorre à instalação de estações elevatórias e respetivas condutas sob pressão. (A. Ramos et al., 2015)

Tem início na câmara ramal de ligação (CRL) do prédio e é composta por um conjunto de ramais de ligação que encaminham o efluente descarregado para os coletores que constituem a rede pública de saneamento, bem como por elementos que permitem a transição do efluente da rede em baixa para a rede em alta: (A. Ramos et al., 2015)

- a) Ejetores *Shone* (Figura 4.3), que são instalações elevatórias que funcionam a ar comprimido, tendo sido, por isso, prevista a construção de uma rede de ar comprimido com origem nos recintos das ETAR de Sobreiras e Freixo. A rede de ar comprimido é gerida através de um sistema de telemetria (PMAC) que permite monitorizar em tempo real a pressão, paragem, arranque e avarias dos compressores;



Figura 4.3. Ejetor *Shone*, na zona da Foz

- b) Tanques *Shone*, que são infraestruturas que permitem a transição entre um sistema de escoamento em superfície livre e escoamentos em pressão. Estão equipados com um reservatório de chegada e um sifão de ligação à conduta em pressão;
- c) Estações elevatórias, que são infraestruturas que permitem a elevação do caudal de ARD produzido numa bacia ou sub-bacia para uma infraestrutura em baixa ou em alta;

Existem atualmente 10 estações elevatórias de ARD na cidade do Porto, conforme se pode verificar na Tabela 4.1. A maioria das estações elevatórias encontra-se no subsistema Ocidental e na zona de drenagem Norte (Figura 4.4) (A. Ramos et al., 2015)

Tabela 4.1. Subsistemas, zonas de drenagem e áreas das bacias associadas às estações elevatórias consideradas

Bacia	Subsistema	Zona de drenagem	Área da bacia (m ²)	Área da bacia/área do município (%)
Nevogilde	Occidental	Oeste	18 091	0,044%
Serralves		Norte	10 458	0,025%
Pinheiro Torres			65 970	0,16%
Nova Rio			67 852	0,16%
Augusto Lessa			521	0,0013%
Igreja Paranhos			9 676	0,023%
Alto Arrábida		Sul	13 753	0,033%
Bacelo	Oriental	Leste	288 413	0,70%
Tirares			2 700	0,0065%
Pêgo Negro			5 653	0,014%



Figura 4.4. Áreas das bacias associadas a estações elevatórias (a vermelho), relativamente à área do município do Porto

A bacia do Bacelo é, destacadamente, a maior em termos de área, enquanto a de Augusto Lessa é a menor neste mesmo aspeto.

Na Tabela 4.2, está apresentado o número de prédios associados a cada bacia. Estes valores serão importantes para o cálculo do indicador “nº prédios/área da bacia”.

Tabela 4.2. Número de prédios associados a cada bacia

Bacia	Nº prédios
Alto Arrábida	5
Augusto Lessa	9
Bacelo	286
Igreja Paranhos	44
Nevogilde	18
Nova Rio	86
Pêgo Negro	28
Pinheiro Torres	58
Serralves	23
Tirares	6

- d) Câmaras de transição, que permitem a entrada gravítica das ARD de uma bacia de drenagem na rede em alta.

4.2.2. Rede em Alta

A rede em alta é composta por emissários, interceptores e coletores gerais que, juntos, perfazem uma extensão de 38,07 km. Os primeiros são tubagens que transportam as ARD a um destino, não recebendo qualquer contribuição ao longo da sua extensão. (A. Ramos et al., 2015)

Os outros dois são igualmente tubagens que recebem coletores ao longo da sua extensão (coletores que drenam o volume das várias bacias de drenagem), não recebendo ligações prediais diretas. (A. Ramos et al., 2015)

Tudo o que circula na rede em alta é encaminhado para as estações de tratamento de águas residuais.

4.3. Estações de Tratamento de Águas Residuais

Ainda parte integrante da rede em alta, a AdP detém duas ETAR que recebem os efluentes provenientes dos vários interceptores, emissários e coletores gerais. Na Figura 4.5, está mostrada, a verde, a localização das duas ETAR do município do Porto.

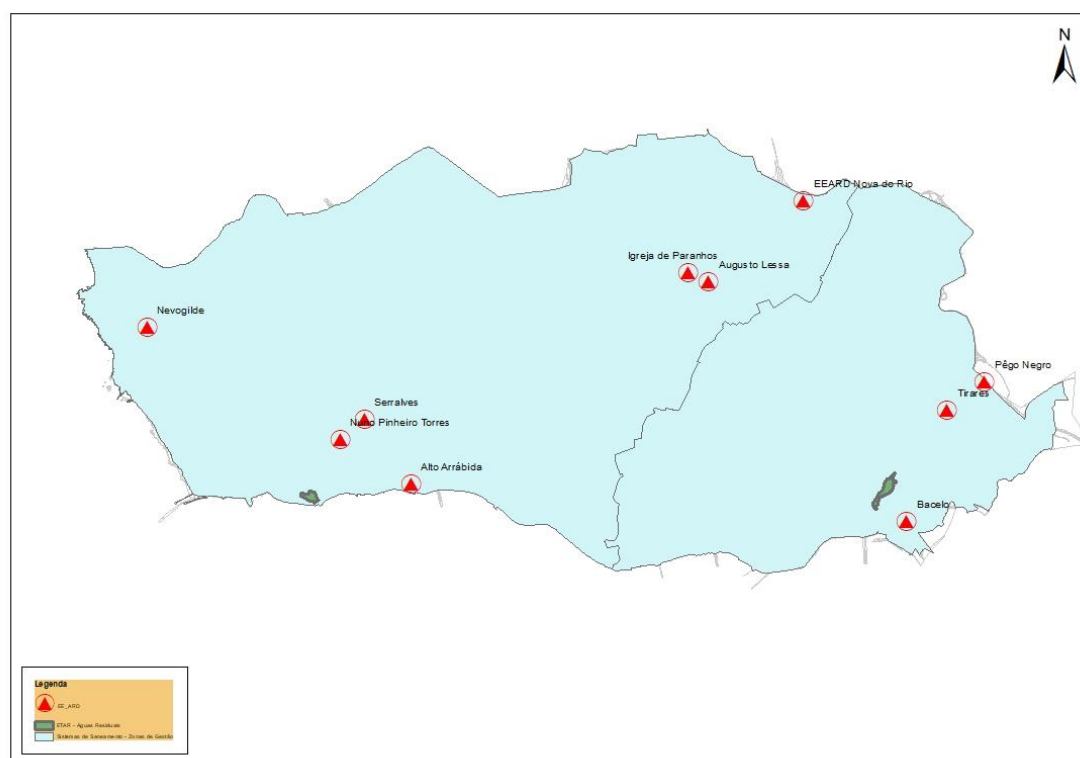


Figura 4.5. Localização das ETAR em cada um dos subsistemas do município

As ETAR do Freixo e de Sobreiras têm, em conjunto, capacidade para tratar, aproximadamente, 90 000 m³/d de ARD, correspondendo a um universo populacional de 370 000 habitantes equivalentes. As águas residuais são submetidas a um tratamento biológico por lamas ativadas em baixa carga, precedido por um tratamento primário a montante e tendo a jusante uma filtração por filtros de areia (apenas na ETAR de Sobreiras) e uma desinfeção bacteriológica por radiação ultravioleta (UV). O efluente final é lançado nos rios Douro e Torto em conformidade com os parâmetros estabelecidos no Títulos de Utilização de Recursos Hídricos (TURH), por forma a cumprir as normas nacionais e europeias de descarga de águas residuais urbanas em meio hídrico. (A. Ramos et al., 2015)

A ETAR do Freixo (Figura 4.6) está em funcionamento desde o mês de setembro de 2000 e tem capacidade para tratar as águas residuais produzidas por um equivalente populacional de 170 000 habitantes, tendo sido dimensionada para tratar um caudal médio diário de 35 900 m³ de efluentes. O efluente tratado é lançado no rio Torto. (A. Ramos et al., 2015)



Figura 4.6. Vista aérea da ETAR do Freixo. Retirado de (Porto., 2017)

A ETAR de Sobreiras (Figura 4.7), situada na parte Ocidental da cidade, está inserida numa área densamente povoada. Deste forma, e com o intuito de minimizar os impactos visuais da região, a ETAR está parcialmente enterrada em vários níveis. Tem capacidade para um equivalente populacional de 200 000 habitantes, tendo sido dimensionada para, no ano de 2040, tratar um caudal médio diário de águas residuais de 54 000 m³. (A. Ramos et al., 2015)



Figura 4.7. Vista aérea da ETAR de Sobreiras. Retirado de (AQUALITRANS, 2019)

Em 2019, foram tratados, na ETAR do Freixo, 9 107 453 m³ de águas residuais, correspondendo a um aumento de 5,97% face ao mesmo período do ano anterior. Relativamente à ETAR de Sobreiras, houve um decréscimo de 1,04% face a 2018, o que correspondeu a um volume de águas residuais tratadas de 11 975 621 m³.

Capítulo 5 | Resultados

5.1. Apresentação e Discussão de Resultados

5.1.1. Método das Séries Temporais

No gráfico da Figura 5.1, apresenta-se, para a bacia de Igreja de Paranhos, os resultados da aplicação método das séries temporais entre janeiro de 2018 e dezembro de 2019, no qual também se incorporou o registo de precipitação em cada um dos dias considerados. No Anexo G, encontram-se os gráficos com a aplicação deste método às restantes bacias.

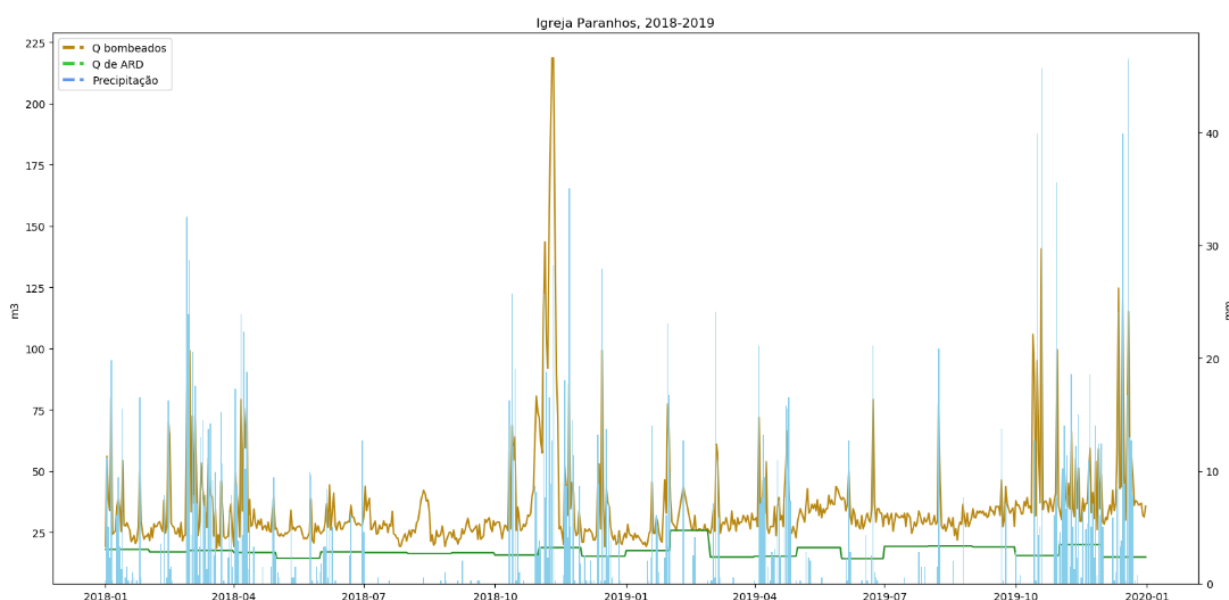


Figura 5.1. Aplicação do método das séries temporais na bacia de Igreja Paranhos (2018-2019)

A análise da figura anterior permite concluir que, normalmente, quando ocorrem picos ao nível de precipitação, também ocorrem valores mais elevados de caudais bombeados (que contêm os caudais de ARD e os de afluências indevidas), significando esta observação a existência de infiltrações de caudais pluviais nas redes de coletores.

Aplicando as Equações (2.4) a (2.7) a todas as bacias em estudo, foi possível obter os registos dos volumes de afluências indevidas e as respetivas percentagens, para os anos de 2018 e de 2019, tal como se apresenta na Tabela 5.1. A discrepância registada nas bacias de Nova Rio e de Tirares - quer ao nível de afluências indevidas e, principalmente, ao nível dos volumes de águas residuais - pode ser explicada com obras de beneficiação da rede de águas residuais domésticas, isto é, obras de substituição de coletores em mau estado.

Tabela 5.1. Percentagens e volumes absolutos de afluentes indevidas nas bacias em análise, nos anos de 2018 e de 2019

Bacia	2018, % AI (m³)	2019, % AI (m³)	Total 2 anos, % AI (m³)
Alto Arrábida	16,37% (108)	8,97% (43)	13,22% (151)
Augusto Lessa	85,17% (3 288)	83,46% (3 095)	84,33% (6 391)
Bacelo	65,67% (57 763)	69,48% (69 873)	67,72% (127 865)
Igreja Paranhos	52,11% (6 601)	50,81% (6 317)	51,45% (12 925)
Nevogilde	64,40% (4 741)	46,73% (2 994)	56,12% (7 736)
Nova Rio	69,03% (20 152)	56,55% (5 088)	66,11% (25 325)
Pêgo Negro	---	75,52% (5 119)	75,52% (5 119)
Pinheiro Torres	52,92% (39 932)	54,55% (43 294)	53,75% (83 341)
Serralves	45,88% (2 438)	27,07% (484)	41,05% (2 924)
Tirares	56,40% (1 716)	56,14% (1 312)	56,28% (3 031)

Na Figura 5.2, o gráfico de barras permite uma melhor visualização da evolução da percentagem de afluentes indevidas neste período de 24 meses.

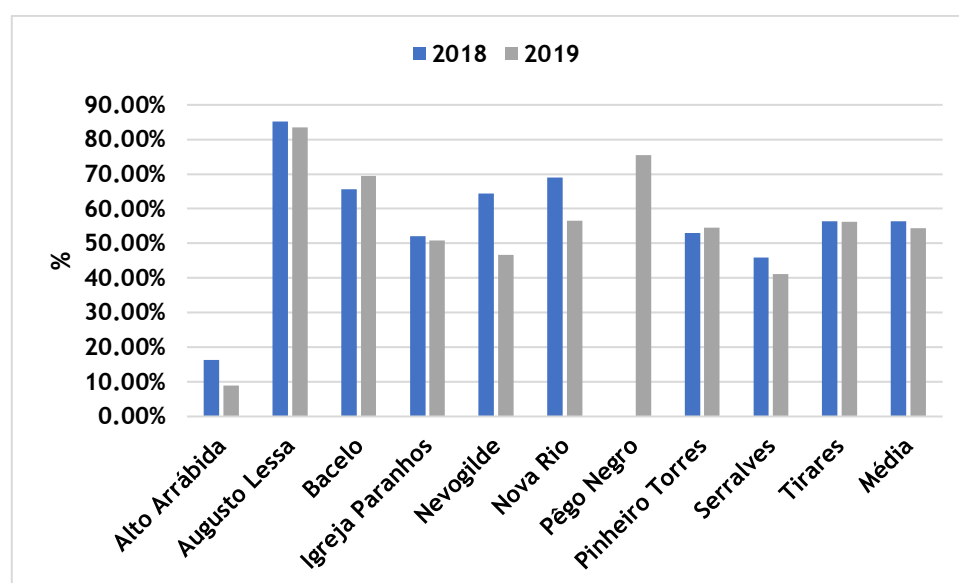


Figura 5.2. Evolução das percentagens de afluentes indevidas nas 10 bacias em análise (2018-2019)

Na Figura 5.3, apresentam-se, por outro lado, os volumes absolutos de afluentes indevidas em cada bacia considerada, desde janeiro de 2018 até dezembro de 2019.

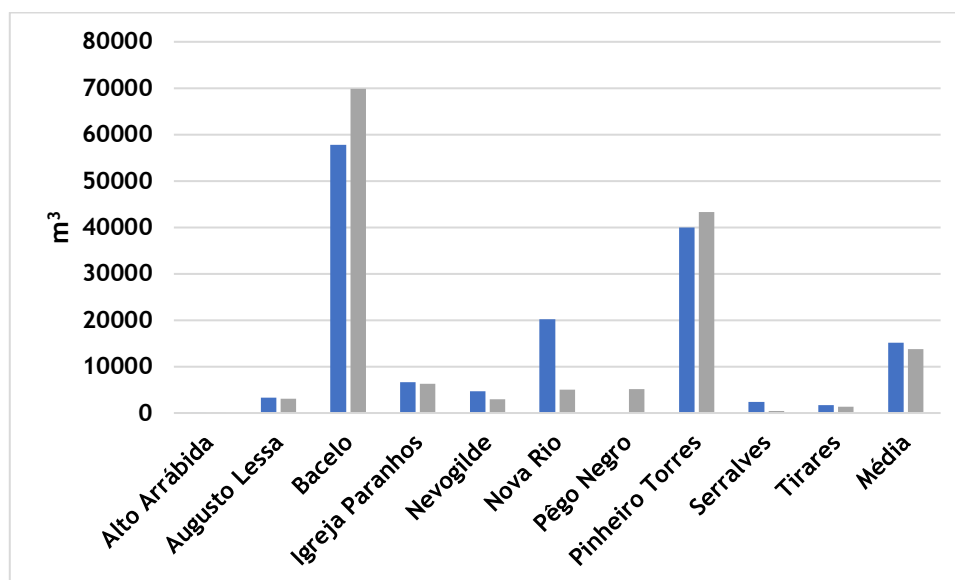


Figura 5.3. Volumes absolutos de afluentes indevidas nas 10 bacias analisadas (2018-2019)

Em termos percentuais, a bacia de Augusto Lessa registou os piores resultados em todos os períodos de análise, registando 85,17% e 83,46% de volumes indevidos em 2018 e 2019, respetivamente. Em contrapartida, a bacia do Alto da Arrábida registou 16,37% e 8,97% para o mesmo intervalo de análise.

Em termos absolutos, seria de esperar que as bacias em que circulam maiores quantidades de águas residuais fossem as que tivessem maiores volumes de afluentes indevidas. Foi precisamente o que se verificou: em 2018, a bacia do Bacelo registou cerca de 57 763 m³ de afluentes indevidas, correspondentes a 65,67% de toda a água circulante. Em 2019, a bacia do Bacelo continuou com a maior quantidade absoluta de afluentes indevidas, com cerca de 69 873 m³ de águas indevidas (aproximadamente 69,48% de toda a água circulante).

Na Tabela 5.2, apresenta-se, para os dois anos em análise, o ranking das percentagens e dos volumes de afluentes indevidas. Importa realçar o caso da bacia de Augusto Lessa que, em termos percentuais, é a que regista maiores afluentes indevidas, verificando-se o oposto quando se trata dos volumes de afluentes indevidas, uma vez que esta bacia tem poucas ligações oficiais à rede - 9.

Tabela 5.2. Ranking das bacias com maiores percentagens e volumes de afluentes indevidas em 2018 e em 2019 (ordem crescente)

Ranking	Ano de 2018		Ano de 2019	
	% de AI	m ³ de AI	% de AI	m ³ de AI
1º	Alto Arrábida	Alto Arrábida	Alto Arrábida	Alto Arrábida
2º	Serralves	Tirares	Serralves	Serralves
3º	Igreja Paranhos	Serralves	Nevogilde	Tirares
4º	Pinheiro Torres	Augusto Lessa	Igreja Paranhos	Nevogilde
5º	Tirares	Nevogilde	Pinheiro Torres	Augusto Lessa
6º	Nevogilde	Igreja Paranhos	Tirares	Nova Rio
7º	Bacelo	Nova Rio	Nova Rio	Pêgo Negro
8º	Nova Rio	Pinheiro Torres	Bacelo	Igreja Paranhos
9º	Augusto Lessa	Bacelo	Pêgo Negro	Pinheiro Torres
10º	---	----	Augusto Lessa	Bacelo

Em termos médios, em 2018 a percentagem de afluentes indevidas nas bacias estudadas fixou-se nos 56,44%, enquanto, em 2019, decresceu para os 54,34%. Paralelamente, os volumes absolutos de afluentes indevidas diminuíram também neste período, passando de 15 193 m³, em 2018, para 13 762 m³, em 2019.

5.1.1.1. Análise das Variáveis que Influenciam as Afluências Indevidas

Existe uma série de variáveis que pode influenciar o aparecimento de caudais parasitas nas redes de drenagem de águas residuais. Entre elas, destacam-se as intervenções realizadas na rede (estado de conservação das infraestruturas), os coletores - nomeadamente a sua extensão, o tempo de vida útil do material e a idade média -, a proximidade aos níveis freáticos (NF) e aos sistemas húmidos (SH), a altitude em relação ao nível médio das águas do mar e a inclinação dos diversos arruamentos de cada bacia, assim como o potencial de permeabilidade do solo ao redor desses arruamentos. Estas variáveis foram selecionadas tendo em conta a natureza dos solos do município e a disponibilidade de facultação de dados por parte da entidade gestora.

5.1.1.1.1. Intervenções na Rede

A análise da lista de intervenções em estações elevatórias permite compartimentá-las em quatro categorias, apresentadas na Tabela 5.3, tendo-se atribuído um valor de 1,00 para a “Manutenção da EE (MEE)”, 0,75 para “Automatismos”, 0,50 para “Falta de

Manutenção da Rede (FMR)” e 0,25 para “Outros”. Em cada categoria, estão elencados todo o tipo de sintomas registados nas estações elevatórias desde 2018.

Tabela 5.3. Lista de sintomas registados nos últimos dois anos e respetiva escala normalizada

	Tipos de sintoma	Valor atribuído
MEE (exceto limpezas de equipamentos)	Bombas: paragem; disparo do disjuntor motor; detritos na aspiração; avaria mecânica; desgaste do impulsor; desgasta da voluta; caudal anormalmente alto; funcionamento anormal; nível alto do poço; mal funcionamento da gradagem Boias: avaria; desativa.	1,00
Automatismos	Avaria do <i>datalogger</i> / PLC Abaixamento da qualidade do sinal Problema na rede do operador Avaria no cabo elétrico Falha na comunicação / telemetria Energia: consumo excessivo; falha Quadro elétrico: ausência de tensão na entrada; avaria	0,75
FMR	Obstrução na chegada do efluente ao poço Rutura de cabo	0,50
Outros	Corrosão localizada	0,25

5.1.1.1.2. Extensão, Vida Útil do Material e Idade Média dos Coletores

A gestão patrimonial de infraestruturas (GPI) é reconhecida como um dos elos mais importantes para se atingir a sustentabilidade económica e ambiental das entidades gestoras de águas. Desta forma, e desde 2009 com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº194/2009 de 20 de agosto (artigo 8º), é requerido às entidades que sirvam, no mínimo 30 000 pessoas, a promoção de estratégias proativas de reabilitação das suas infraestruturas. (M. Almeida & Cardoso, 2010)

Esta reabilitação pode ser realizada segundo duas vias, privilegiando, sempre que possível, a primeira: (M. Almeida & Cardoso, 2010)

- Reabilitação preventiva que consiste na intervenção na infraestrutura antes que o sistema atinja níveis de desempenho indesejáveis, promovendo a sua reparação, substituição ou melhoria, para, deste modo, cumprir as exigências legais necessárias;
- Reabilitação reativa, usada mais comumente por imposição de limites ao uso de recursos por parte da entidade, que consiste na intervenção na

infraestrutura quando o funcionamento do sistema já foi comprometido e interrompido. Esta reabilitação é urgente, exigindo-se uma atuação célere para repor rapidamente os níveis de desempenho do sistema.

Na Tabela 5.4, encontram-se os comprimentos reais de coletores para cada bacia, em metros, assim como os mesmos valores normalizados para inserir no *Machine Learning*. O comprimento normalizado foi determinado dividindo cada comprimento efetivo pelo comprimento efetivo de maior grandeza. Todos os outros valores normalizados noutros secções deste ponto foram determinados da mesma forma.

Tabela 5.4. Comprimentos efetivos e normalizados da rede de coletores de cada bacia

Bacia	Comprimento efetivo (m)	Comprimento normalizado
Alto Arrábida	1 085	0,119
Augusto Lessa	567	0,0622
Bacelo	9 123	1,000
Igreja Paranhos	1 304	0,143
Nevogilde	479	0,0525
Nova Rio	2 560	0,281
Pêgo Negro	936	0,103
Pinheiro Torres	4 824	0,529
Serralves	1 470	0,161
Tirares	279	0,0306

Considerou-se que quanto maior for o comprimento da rede de coletores, maior será o número de caixas de visita e de ramais e, portanto, maior será a área de contacto com possíveis problemas associados a estes equipamentos.

Na Águas do Porto, E.M., utilizam-se cinco tipos de materiais para os coletores: PVC, FFD, Grés, PP e PEAD. Estes dois últimos pertencem à mesma família, tendo o PP uma resistência térmica superior ao PEAD. (Ferreira, 2013)

Na Tabela 5.5, apresentam-se os tempos de vida útil para os materiais supramencionados. (CAETANO, 2020); (FGS Brasil, n.d.); (*Instituto Brasileiro Do PVC*, 2017); (CAETANO, 2020)

Tabela 5.5. Tempo de vida útil, em anos, para os materiais dos coletores

Tempo de vida útil médio para os materiais dos coletores (ordenação decrescente)
Ferro Fundido - 80 anos
Grés - 70 anos
PVC - 60 anos
PEAD e PP - 50 anos

Para normalizar a vida útil dos materiais dos coletores de cada arruamento, utilizou-se a seguinte escala, entre 0 e 1 - onde 0 representa o material com maior tempo de vida útil e 1 o oposto -, tal como se apresenta na Tabela 5.6.

Tabela 5.6. Valor atribuído a cada tipo de material

Material	Valor atribuído
FFD	0,2
Grés	0,4
PVC	0,6
PEAD	0,8
PP	0,8

Na Tabela 5.7, é especificada a constituição dos arruamentos de cada bacia, assim como o valor normalizado para a vida útil dos respetivos materiais.

Tabela 5.7. Vida útil dos materiais dos coletores da rede de drenagem

Bacia	Coletores	
	Constituição	Vida útil normalizada
Alto Arrábida	Grés 56,89% PP 33,81% PEAD 9,29%	0,572
Augusto Lessa	Grés 88,88% PEAD 11,12%	0,444
Bacelo	Grés 50,02% PP 31,80% PEAD 17,26% FFD 0,84% PVC 0,07%	0,595
Igreja Paranhos	Grés 62,00% PP 24,53% PEAD 10,72% PVC 2,75%	0,547
Nevogilde	Grés 64,45% PEAD 35,55%	0,542
Nova Rio	Grés 84,08% PP 13,02% PVC 2,90%	0,458
Pêgo Negro	PP 68,69% PEAD 27,78% FFD 3,53%	0,779
Pinheiro Torres	Grés 90,22% FFD 5,87% PP 3,91%	0,404
Serralves	Grés 59,01% PP 22,24% FFD 10,97% PEAD 7,78%	0,498
Tirares	PEAD 40,01% Grés 33,00% PP 26,99%	0,668

Na Tabela 5.8, estão enumeradas as idades médias, em anos, dos coletores integrantes de cada bacia da cidade do Porto, bem como a idade média normalizada das mesmas, à data de 2018.

Tabela 5.8. Idade média, em anos, e idade média normalizada de cada bacia em estudo

Bacia	Coletores	
	Idade média (anos) ^{*até 2018}	Idade média normalizada
Alto Arrábida	11,5	0,585
Augusto Lessa	8,5	0,432
Bacelo	14,5	0,735
Igreja Paranhos	16,8	0,853
Nevogilde	14,5	0,737
Nova Rio	19,7	1,000
Pêgo Negro	8,0	0,407
Pinheiro Torres	14,2	0,722
Serralves	15,9	0,808
Tirares	12,5	0,636

5.1.1.1.3. Altitude das Bacias

A visualização de mapas da cidade (Figura 3.4) permitiu concluir acerca da localização de todas as estações elevatórias, nomeadamente ao nível das suas cotas. Assim, para esta variável, atribuiu-se uma escala de 0 a 1, em que 1 representa um nível de cota baixo (e, portanto, maior risco de inundação) e 0 nível de cota alto. Na Tabela 5.9, encontra-se sumariada a referida escala.

5.1.1.1.4. Proximidade das Bacias a Níveis Freáticos

Tendo por base a análise de mapas de todos os rios e ribeiras da cidade do Porto - nomeadamente o da Figura 3.12 -, apresenta-se, na Tabela 5.9, um quadro das bacias com os arruamentos mais próximos de níveis freáticos. Quanto mais próximo de um nível freático, maior a probabilidade de inundação durante um evento de precipitação. Deste modo, atribuiu-se uma escala entre 0 e 1, sendo 1 sinónimo de proximidade de nível freático e 0 o oposto.

5.1.1.1.5. Inclinação das Bacias

Os declives representam a inclinação de um terreno e, sob o ponto de vista do escoamento de água, quanto maior for o declive, maior será a acumulação, nas bases desses locais, de águas e sedimentos. A acumulação de sedimentos e de águas acrescenta um risco de inundação no local que poderá fomentar a infiltração de águas parasitas nas redes de drenagem, através de, por exemplo, sumidouros. Tendo por

base o mapa dos declives da Figura 3.8, apresenta-se, na Tabela 5.9, a escala para esta variável, de 0 a 1: 0 representa os arruamentos das bacias que têm um declive mais baixo e 1 o oposto.

5.1.1.1.6. Proximidade das Bacias aos Sistemas Húmidos

Os sistemas húmidos, representados no mapa da Figura 3.14, têm um papel muito importante no que toca à prevenção de infiltrações, uma vez que, nestas zonas, o potencial de infiltração é muito elevado, fomentando, deste modo, a redução das afluências diretas. Tendo por base o mapa da Figura 3.14, apresenta-se, na Tabela 5.9, a escala para esta variável, de 0 a 1: 0 quando os arruamentos das bacias estão mais próximos do sistema húmido e 1 o oposto.

5.1.1.1.8. Resultado Geral

Tendo em conta todas as variáveis supramencionadas, assim como as escalas consideradas para cada uma, apresenta-se, na Tabela 5.9, o quadro com os resultados gerais de cada variável para cada uma das 10 bacias em análise. De realçar que os valores compilados na coluna “Resultado geral” foram obtidos fazendo a média aritmética simples dos valores apresentadas nas restantes colunas.

Tabela 5.9. Quadro com os resultados de cada variável para cada bacia

Bacia	Intervenções	Coletores			Proximidade NF	Altitude	Inclinação	Proximidade SH	Resultado geral
		Extensão	Vida útil	Idade					
AA	0,14	0,12	0,57	0,59	0,90	0,90	1,00	0,40	0,58
AL	0,11	0,062	0,44	0,43	0,30	0,20	0,20	0,80	0,32
B	0,64	1,00	0,60	0,74	0,90	0,90	0,40	0,40	0,70
IP	0,84	0,14	0,55	0,85	0,30	0,20	0,40	1,00	0,54
N	0,49	0,053	0,54	0,74	0,20	0,70	0,20	1,00	0,49
NR	0,56	0,28	0,46	1,00	0,10	0,10	0,20	1,00	0,46
PN	0,42	0,10	0,78	0,41	0,80	0,80	0,40	0,40	0,51
PT	1,00	0,53	0,40	0,72	0,70	0,70	0,60	0,80	0,68
S	0,29	0,16	0,50	0,81	0,70	0,70	0,60	0,60	0,55
T	0,12	0,031	0,67	0,64	0,40	0,60	0,40	0,40	0,41

Em teoria, a bacia do Bacelo é a que apresenta os piores resultados, com uma pontuação de 0,70 em 1,00, seguida da de Pinheiro Torres e da do Alto Arrábida, com

uma classificação de 0,68 e 0,58, respetivamente. Por outro lado, a bacia de Augusto Lessa é a que apresenta os melhores resultados, com uma pontuação de 0,32 em 1,00, seguida da de Tirares e da de Nova Rio, com uma classificação de 0,41 e 0,46, respetivamente.

Na prática, conforme mencionado anteriormente, a bacia de Augusto Lessa é a que apresenta percentagens de afluências indevidas mais altas, seguida da bacia do Pêgo Negro e da do Bacelo. As com melhor desempenho são as bacias do Alto da Arrábida, da Igreja de Paranhos e de Serralves.

Neste caso em particular, a teoria não se reviu na prática. Uma das principais razões, senão a principal, que leva à ocorrência de afluências indevidas são as ligações indevidas efetuadas na rede de drenagem. As ligações indevidas entre os elementos de rede, mesmo em construções recentes, originam infiltrações diretas por escoamento direto aquando e depois de um evento pluviométrico. O facto de a existência de ligações indevidas não estar incluído nas variáveis apresentadas anteriormente poderá explicar a razão para a qual a teoria não justifica a prática.

Particularmente, as bacias de Augusto Lessa e de Pêgo Negro encontram-se em zonas densamente povoadas e de cariz mais suburbano, como pode ser comprovado pela Tabela 5.10 - onde está mostrado que estas duas bacias são as que têm um valor mais elevado para o indicador “nº prédios/área da bacia”. Este indicador foi obtido conjugando os valores presentes nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 5.10. Indicador “nº prédios/área da bacia”

Bacia	Nº prédios/área da bacia
Alto Arrábida	$3,64 \times 10^{-4}$
Augusto Lessa	$1,73 \times 10^{-2}$
Bacelo	$9,92 \times 10^{-4}$
Igreja Paranhos	$4,55 \times 10^{-3}$
Nevogilde	$9,95 \times 10^{-4}$
Nova Rio	$1,27 \times 10^{-3}$
Pêgo Negro	$4,95 \times 10^{-3}$
Pinheiro Torres	$8,79 \times 10^{-4}$
Serralves	$2,20 \times 10^{-3}$
Tirares	$2,22 \times 10^{-3}$

Como se sabe, a maioria das ligações ilícitas registam-se em habitações e edifícios privados. Assim sendo, numa zona densamente habitada e de cariz mais suburbano, é provável existir um maior número de ligações ilegais à rede de saneamento que, por

sua vez, se traduz num aumento de situações de afluências indevidas. Ainda no seguimento deste raciocínio, enquanto o estado da rede em domínio público se encontra sujeito a verificações, controlos e regulações por parte da entidade gestora, o mesmo não acontece na rede de domínio privado, não se tendo, portanto, garantias de utilização de boas práticas na implementação e monitorização dos elementos de rede. Conforme referido, é no domínio privado que é mais provável existir um maior número de ligações ilegais à rede de saneamento que, por sua vez, se traduz num aumento de situações de afluências indevidas. As ligações domésticas ilegais à rede contribuem, em grande parte, para os valores obtidos em termos de afluências indevidas.

A proximidade a estradas com elevado tráfego ou predominância de passagem de veículos pesados favorece o aparecimento de infiltrações na rede, derivado da vibração provocada pelos veículos que sujeita os elementos das rede de drenagem de águas a pressões constantes e elevadas, favorecendo a danificação dos mesmos e, consequentemente, o aparecimento de danos nos materiais. A localização das três bacias mais críticas em termos de afluências indevidas - Augusto Lessa, Bacelo e Pêgo Negro - pode ajudar a perceber a sua situação. A bacia de Augusto Lessa localiza-se perto da Via de Cintura Interna, a mais movimentada estrada do concelho. Por outro lado, a bacia do Bacelo integra também ruas com muito tráfego, como por exemplo a rua do Freixo ou a Estrada Nacional 209. A bacia do Pêgo Negro, por sua vez, está situada junto ao antigo IC29, atualmente autoestrada 43.

5.1.2. Mapas de Criticidade

Nas Figuras 5.4 e 5.5, apresentam-se mapas de criticidade que proporcionam uma melhor perceção espacial das afluências indevidas no município do Porto. Nelas, é possível observar que os resultados de 2019 são ligeiramente melhores, nomeadamente nas bacias de Nevogilde e de Nova Rio. A escala de cores está organizada da seguinte forma:

- 0 - 25%: Azul;
- 26 - 50%: Verde;
- 51 - 60%: Amarelo;
- 61 - 80%: Laranja;
- 81 - 100%: Vermelho.

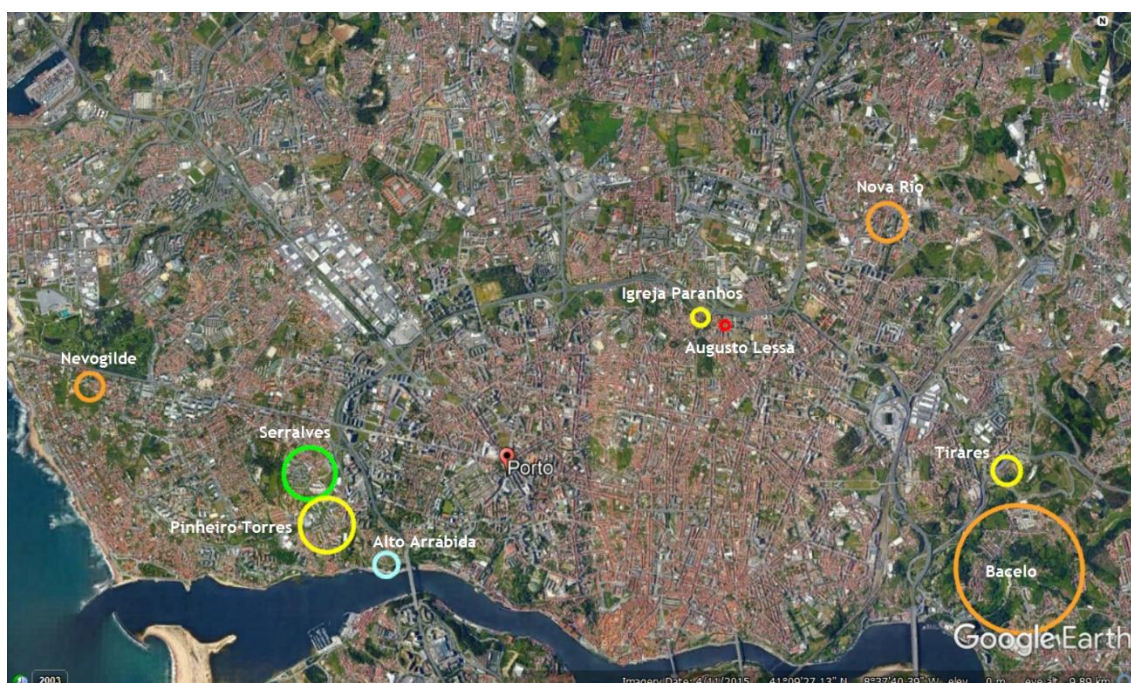


Figura 5.4. Representação espacial das percentagens de afluências indevidas na cidade do Porto (2018)

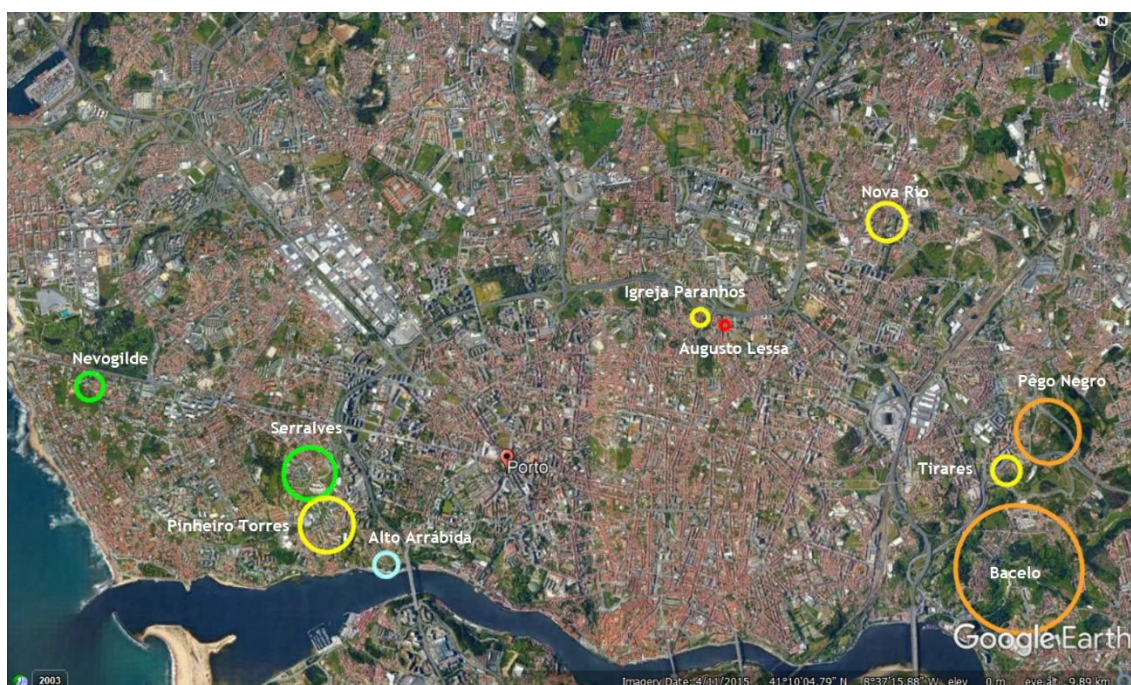


Figura 5.5. Representação espacial das percentagens de afluências indevidas na cidade do Porto (2019)

5.1.3. Método das Séries Temporais vs Método do Triângulo

Uma das limitações do método do triângulo é o facto de utilizar os caudais médios anuais de água residual doméstica. Por outro lado, o método das séries temporais utiliza o caudal médio mensal de águas residuais domésticas, isto é, a água faturada mensalmente (o ideal seria usar o caudal médio diário de água residual doméstica), e, portanto, em vez de uma reta constante como no método do triângulo, tem-se uma variação temporal destes caudais, mais ajustada com a realidade.

Só a situação anterior por si só levaria à contabilização de diferentes volumes de afluentes indevidas e, consequentemente, percentagens. Esta situação leva, por outro lado, à exclusão de alguns valores de caudais bombeados que eram aceitáveis no método do triângulo, mas que no método das séries temporais, uma vez que a análise é mais minuciosa, devido à utilização de caudais de ARD mensais, têm de ser excluídos. Isto resulta numa diferente contabilização de volumes de caudais bombeados e, consequentemente também, no de volumes de caudais de afluentes indevidas e, portanto, também de percentagem de afluentes indevidas. Nas Figuras 5.6 a 5.11, compara-se os resultados obtidos pela aplicação dos dois métodos, ao nível da contabilização de caudais elevados de águas residuais e ao nível dos caudais e percentagens de afluentes indevidas. Conclui-se que as diferenças observadas não são muito significativas, uma vez que ambas as análises são feitas para uma escala anual. Caso as análises fossem realizadas para um período menor - por exemplo, para um mês -, as diferenças seriam relevantes.

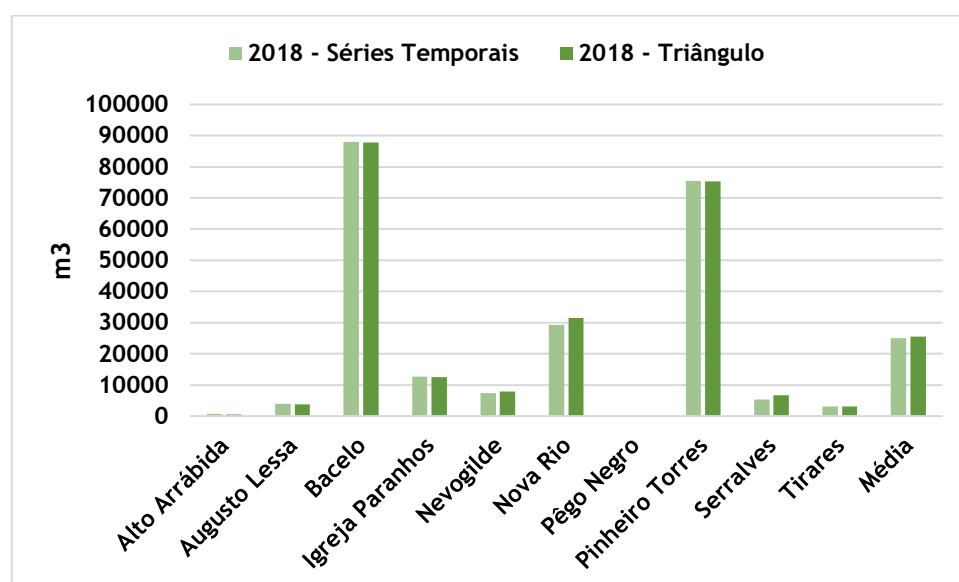


Figura 5.6. Comparação de volumes elevados, obtidos pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2018)

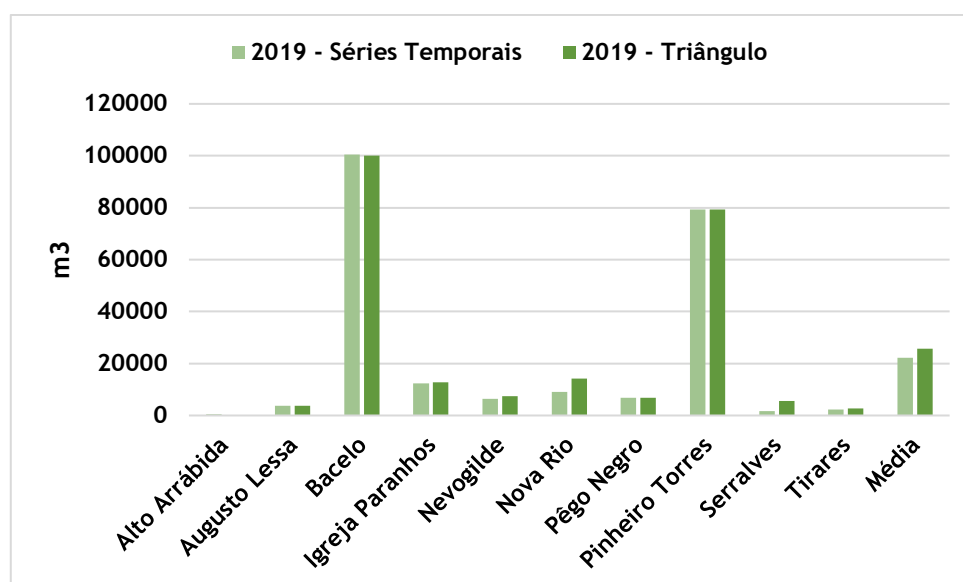


Figura 5.7. Comparação de volumes elevados, obtidos pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2019)

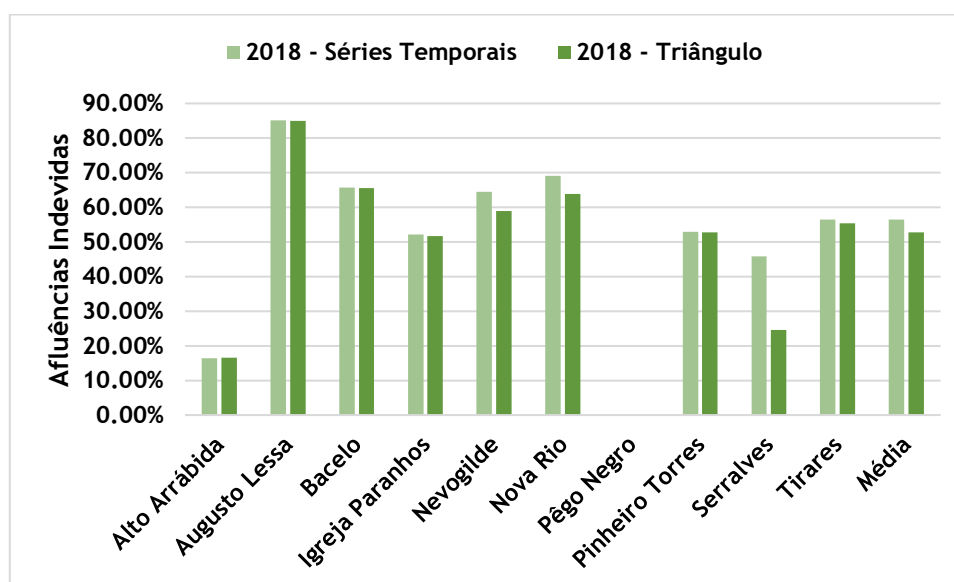


Figura 5.8. Comparação de percentagens de afluências indevidas, obtidas pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2018)

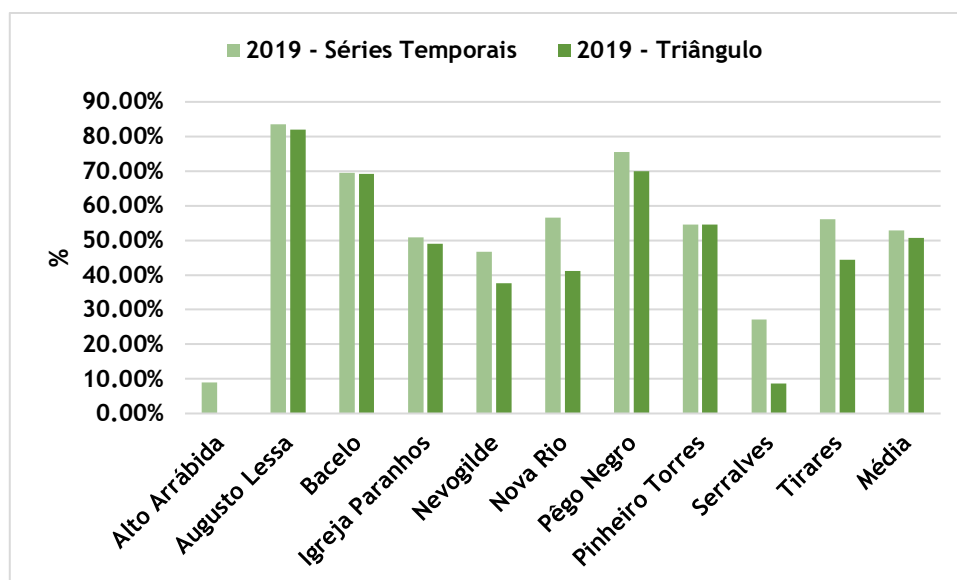


Figura 5.9. Comparação de percentagens de afluências indevidas, obtidas pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2019)

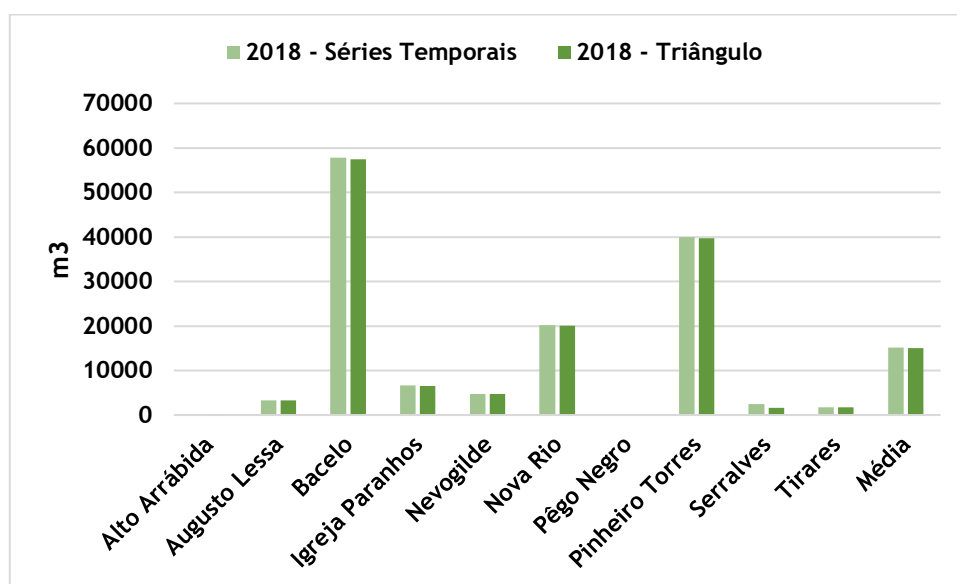


Figura 5.10. Comparação de volumes de afluências indevidas, obtidos pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2018)

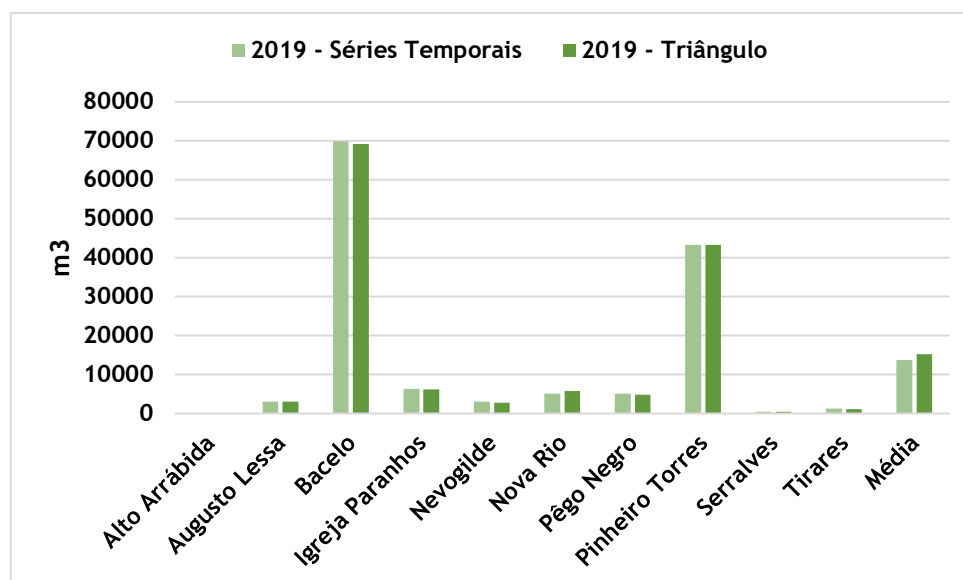


Figura 5.11. Comparação de volumes de afluentes indevidos, obtidos pela aplicação dos métodos das séries temporais e do triângulo (2019)

5.1.4. Afluências Indevidas Diretas e Indiretas

Pese embora as limitações do método do triângulo referidas anteriormente, este serviu como complemento ao método das séries temporais, na medida em que permitiu qualificar o tipo de afluentes indevidos nas bacias. Na Figura 5.12, está exemplificado, para a bacia de Augusto Lessa, o gráfico com a aplicação do método do triângulo. À direita da reta de “Ajuste”, encontram-se os volumes de afluentes indevidos diretos; à esquerda, os de origem indireta. Os gráficos das restantes bacias encontram-se no Anexo H.

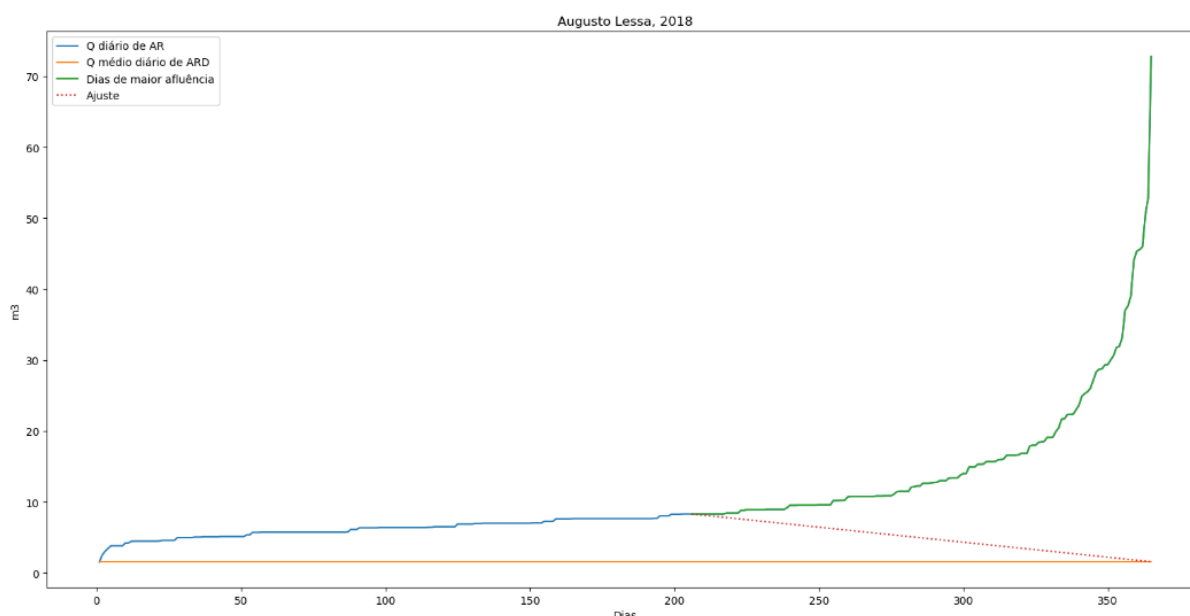


Figura 5.12. Aplicação do método do triângulo na bacia de Augusto Lessa (2018)

Na Tabela 5.11, estão apresentados os volumes e as percentagens de afluências indevidas diretas e indiretas em cada uma das dez bacias analisadas, nos anos de 2018 e de 2019.

Tabela 5.11. Qualificação das afluências indevidas nas 10 bacias analisadas (2018)

Bacia	2018		2019	
	% de AI diretas (m³)	% de AI indiretas (m³)	% de AI diretas (m³)	% de AI indiretas (m³)
Alto Arrábida	99,17% (96)	0,83% (1)	---	---
Augusto Lessa	54,35% (1 780)	45,65% (1 487)	54,79 % (1 655)	45,21 % (1 366)
Bacelo	37,63% (21 639)	62,37% (35 858)	49,24 % (34 088)	50,76 % (35 138)
Igreja Paranhos	61,87% (4 024)	38,13% (2 480)	44,20 % (2 747)	55,80 % (3 469)
Nevogilde	82,97% (3 875)	17,03% (795)	78,90 % (2 203)	21,10 % (589)
Nova Rio	71,17% (14 279)	28,83% (5 785)	98,65 % (5 755)	1,35 % (79)
Pêgo Negro	---	---	82,75 % (3 968)	17,25 % (827)
Pinheiro Torres	46,83% (18 615)	53,17% (21 134)	78,78% (34 060)	21,22% (9 174)
Serralves	91,83% (1 510)	8,17% (134)	100,00% (474)	0,00% (0)
Tirares	49,11% (832)	50,89% (862)	73,14% (849)	26,86% (312)

Nas Figuras 5.13 e 5.14, apresentam-se dois gráficos de barras para uma melhor visualização dos valores representados nas tabelas precedentes.

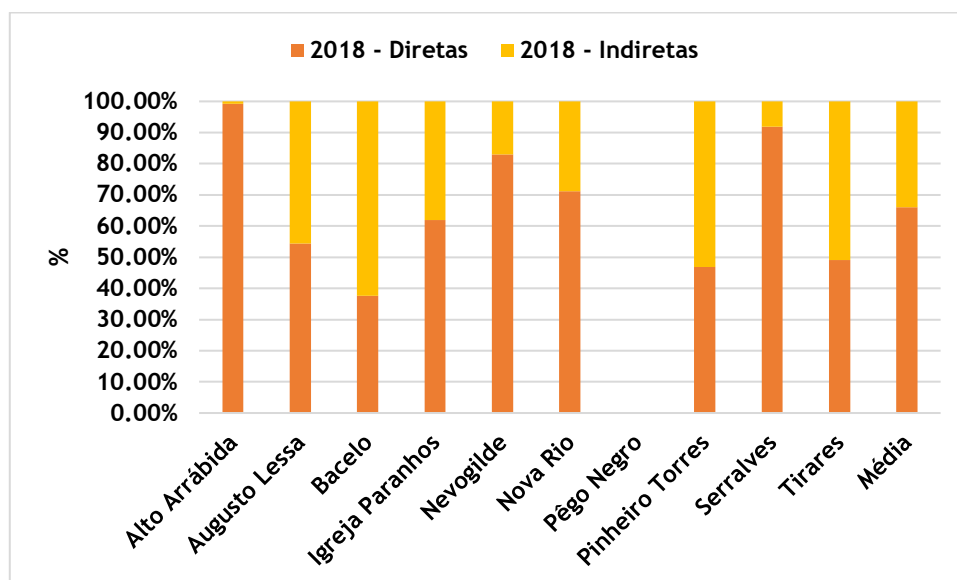


Figura 5.13. Percentagens de afluências indevidas nas bacias analisadas (2018)

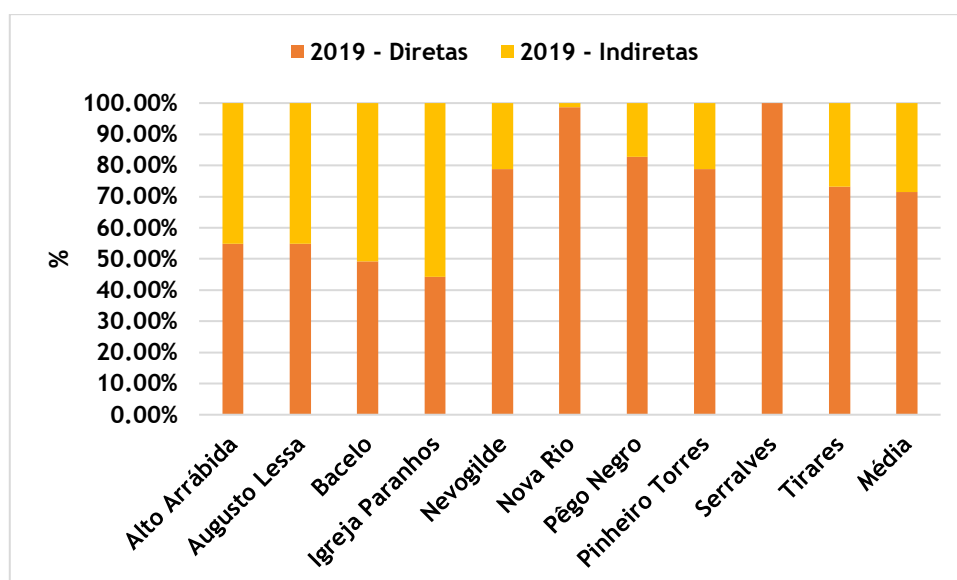


Figura 5.14. Percentagens de afluências indevidas nas bacias analisadas (2019)

Em termos médios, em 2018, cerca de 66,10% das afluências indevidas tiveram origem direta. As bacias que mais contribuíram para esse valor foram a do Alto da Arrábida (cerca de 99,17%), seguida da de Serralves (cerca de 91,83%) e da de Nevogilde (cerca de 82,97%). Do lado oposto, as que apresentaram afluências indevidas maioritariamente de caráter indireto foram as bacias do Bacelo (cerca de 62,37%), seguida da de Pinheiro Torres (cerca de 53,17%) e da de Tirares (cerca de 50,89%).

Em 2019, o valor médio de afluências indevidas de origem direta cresceu para, aproximadamente, 71,52%. As bacias que mais contribuíram para esse número foram a de Serralves (cerca de 100,00%), seguida da de Nova Rio (cerca de 98,65%) e da de Pêgo Negro (cerca de 82,75%). Pelo contrário, as bacias que apresentaram afluências indevidas predominantemente indiretas foram as bacias de Igreja de Paranhos (cerca de 55,80%), seguida da do Bacelo (cerca de 50,76%).

As afluências indevidas diretas são as que decorrem de fenômenos de precipitação. Os anos de 2018 e de 2019 foram especialmente húmidos, registando valores de precipitação na ordem dos 1000 - 1100 milímetros. Estes valores podem justificar a elevada predominância de afluências indevidas do tipo direto. Por outro lado, como se sabe, o aparecimento de infiltrações diretas depende muito do estado da rede, tanto ao nível técnico-estrutural, como ao nível da existência de ligações ilícitas entre os equipamentos da rede.

As afluências indevidas indiretas, embora não resultem diretamente de um evento de pluviosidade, devem-se à subida do nível de água dos lençóis freáticos, que é provocada por estes. As bacias do Bacelo e de Pinheiro Torres são as que apresentam maiores valores para este caso. As duas apresentam a maior extensão de rede, assim como uma elevada densidade de ramais e idade dos coletores mais avançada, que são fatores preponderantes no surgimento deste tipo de infiltração.

Os sistemas húmidos assumem uma importância tremenda no que toca a infiltrações, uma vez que, nestas zonas, os solos apresentam níveis de permeabilidade importantes e, conseqüentemente, um potencial de infiltração muito elevado, fomentando, deste modo, a redução das afluências diretas, por um lado, e o aumento das indiretas, por outro. Na Tabela 5.12, apresenta-se um indicador que permite decifrar a área que um sistema húmido ocupa na área total de uma determinada bacia.

Tabela 5.12. Indicador "área sistema húmido/área da bacia"

Bacia	Área sistema húmido (m ²)	Área sistema húmido/área da bacia (%)
Alto Arrábida	10 060	73
Augusto Lessa	59	11
Bacelo	197 109	68
Igreja Paranhos	---	---
Nevogilde	---	---
Nova Rio	---	---
Pêgo Negro	4 431	78
Pinheiro Torres	4 899	7
Serralves	2 304	22
Tirares	1 996	74

Teoricamente, as bacias que apresentam uma relação "área sistema húmido/área da bacia" mais elevada são aquelas em que as afluências indiretas tendem a ter um papel mais considerável. Tal situação vai, contudo, depender da condição infraestrutural das caixas e/ou dos coletores.

Em 2018, por exemplo, as bacias do Bacelo, Pinheiro Torres e Tirares foram as que registaram afluências indevidas indiretas superiores a 50% (a bacia de Pêgo Negro não foi considerada neste ano). As bacias do Alto Arrábida e de Serralves registaram, quase na totalidade, afluências indevidas de carácter direto. Pela análise da Tabela 5.12, constata-se que nem sempre uma relação "área sistema húmido/área da bacia" superior se reflete numa maior preponderância em afluências indevidas indiretas: este indicador pode justificar os resultados obtidos para as bacias do Bacelo, de Serralves e de Tirares, mas não para as bacias de Pinheiro Torres e Alto Arrábida.

5.1.5. Caudais Afluentes às Estações de Tratamento de Águas Residuais

Nas Figuras 5.15 e 5.16, estão ilustrados os gráficos dos caudais afluentes às ETAR de Sobreiras e do Freixo, respetivamente, medidos a partir de caudais ultrassónicos instalados à entrada. No Anexo I, podem ser consultados os registos dos caudais afluentes às ETAR do Freixo e de Sobreiras.

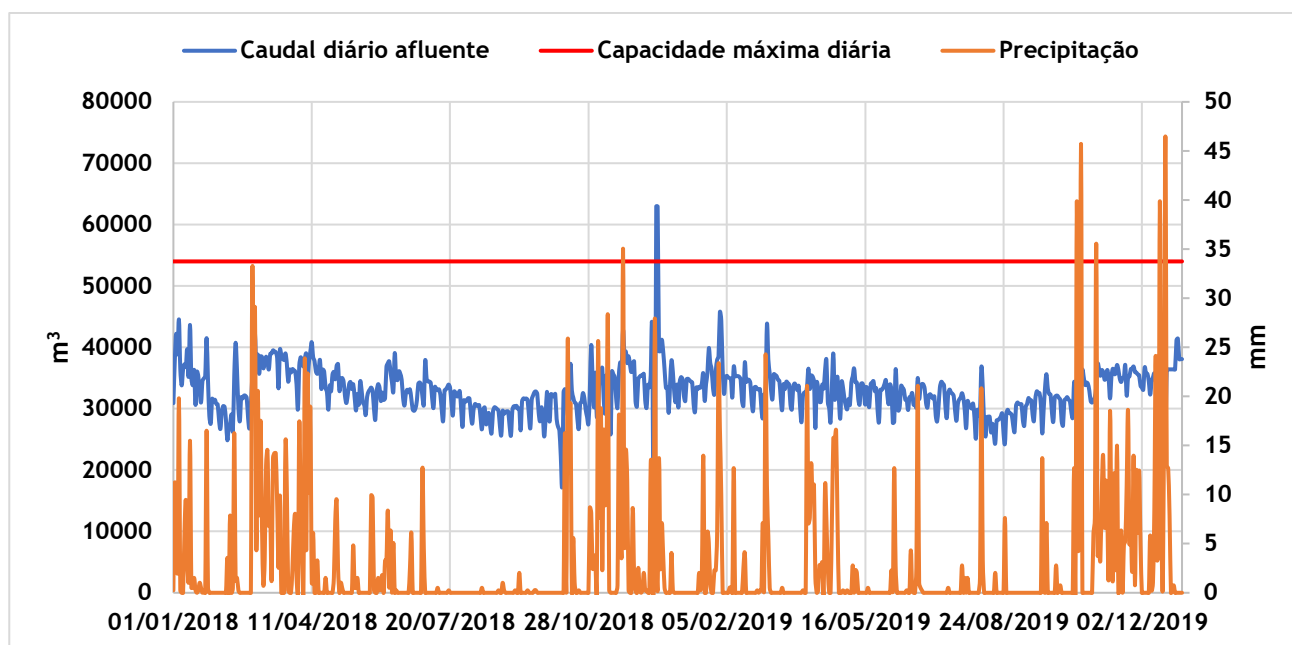


Figura 5.15. Caudais afluente à ETAR de Sobreiras (2018-2019)

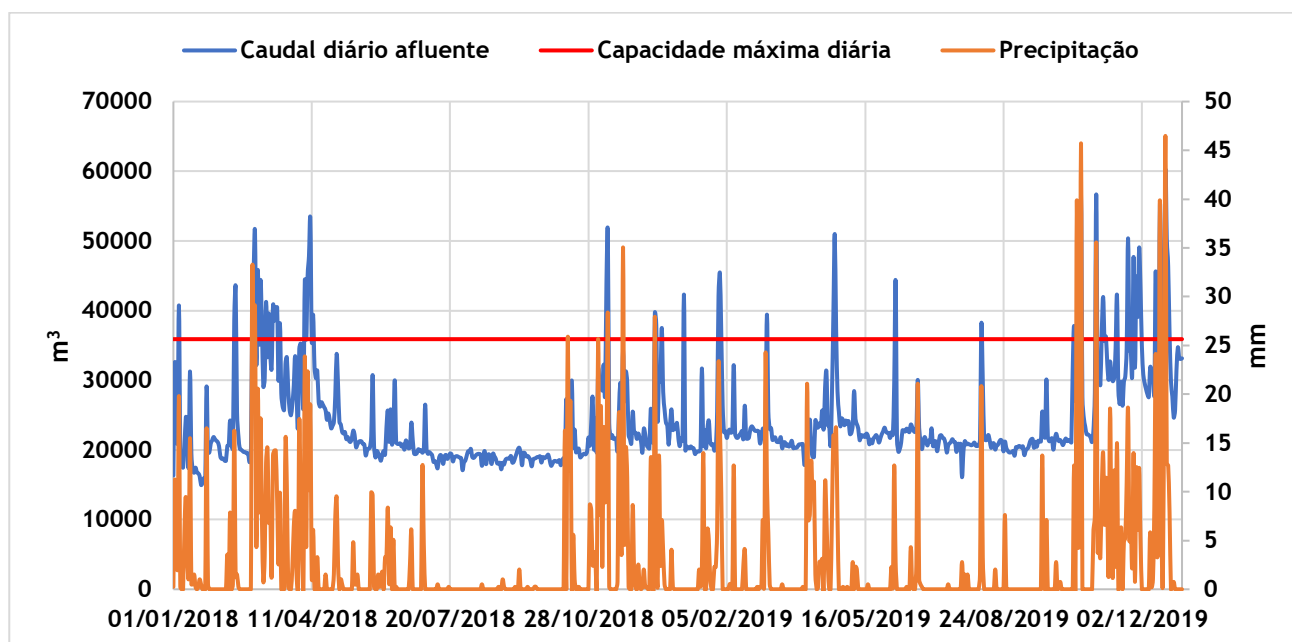


Figura 5.16. Caudais afluente à ETAR do Freixo (2018-2019)

Entre 2018 e 2019, a ETAR de Sobreiras registou dois dias em que o caudal afluente à estação ultrapassou a sua capacidade máxima diária de 54 000 m³: 16 e 17 de dezembro de 2018.

Já a ETAR do Freixo registou 59 dias em que o caudal afluente à estação ultrapassou a sua capacidade máxima diária de 35 900 m³: em 2018, os dias 5 de janeiro, 14, 15, 27 e 28 de fevereiro, 1, 3, 5, 6, 9, 11, 14, 15, 16, 17 e 19 de março, 6, 8, 9, 10 e 12 de abril, 10 e 11 de novembro e 15, 16 e 20 de dezembro; em 2019, os dias 5, 30 e 31 de

janeiro, 1 de fevereiro, 6 de março, 23, 24 e 25 de abril, 7 de junho, 8 de agosto, 14, 19 e 30 de outubro, 3, 4, 6, 14, 22, 26, 28, 29 e 30 de novembro e 1, 12, 15, 16, 19, 20, 21 e 22 de dezembro.

Na ETAR de Sobreiras, o único período com excesso de volumes afluentes foi consecutivo, enquanto na ETAR do Freixo houve 29 dias consecutivos em que a estação registou excesso de volumes de águas residuais. Em ambas as estações, os caudais excedentários foram registados após e durante períodos de intensa precipitação, como foi o caso dos meses de dezembro de 2018 e de 2019.

A ocorrência de fenómenos de intensa precipitação pode provocar a afluência de caudais em excesso na estação de tratamento. Por sua vez, os caudais em excesso provocam o arrastamento e/ou perda de biomassa, potenciando as descargas sem tratamento de águas residuais no meio hídrico recetor. As estações de tratamento de Sobreiras e do Freixo têm *bypasses*, que são utilizados em caso de paragem no funcionamento da estação ou se forem excedidos os caudais máximos previstos para a instalação, evitando o arrastamento e consequente perda da biomassa.

O fenómeno da diluição não é muito crítico no município do Porto, uma vez que os dias consecutivos de precipitação não são muito longos.

5.2. Estratégias Para a Redução das Afluências Indevidas

As principais estratégias de combate às afluências indevidas podem ser:

- a) Ações de sensibilização e consciencialização para a problemática das afluências indevidas junto das populações, demovendo potenciais provocadores de ligações indevidas;
- b) Maior fiscalização das bacias e das suas infraestruturas: inspeções à rede predial e pública;
- c) Correção das ligações ilegais na origem, i.e., na rede privada.

Ainda mais, como sugestão para diminuir as afluências indevidas diretas, recomenda-se a melhoria do planeamento urbano da cidade, associado a *Low Impact Development* (LID) - intervenções que recorrem à natureza para controlar as águas pluviais o mais próximo possível da sua origem (Figura 5.17). Na sua génese, estão princípios como a preservação e a replicação de áreas naturais, minimizando a impermeabilização dos solos devida à pressão urbana das últimas décadas.

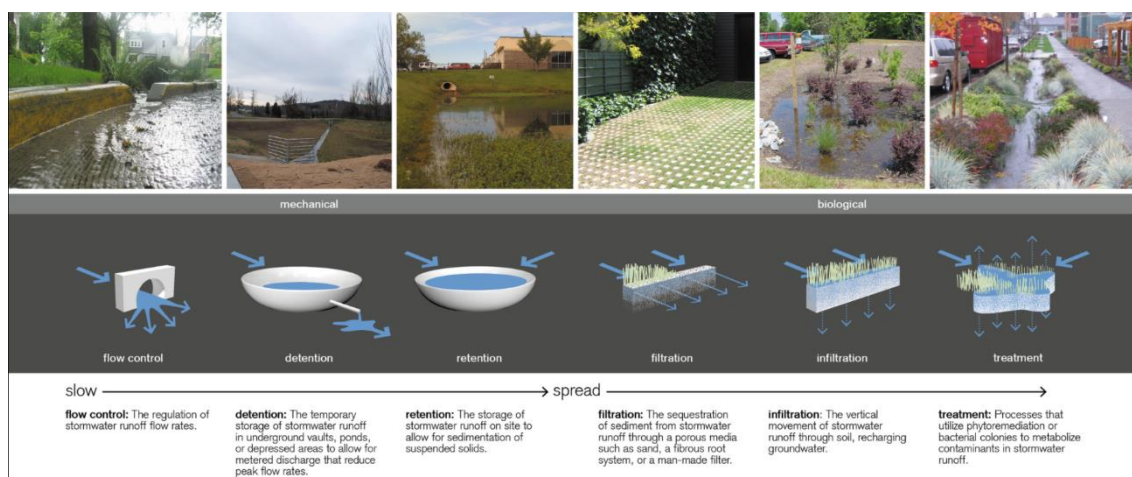


Figura 5.17. Estrutura de *Low Impact Development*. Retirado de (University of Arkansas Community Design Center, n.d.)

Geralmente, as primeiras horas de escoamento de águas pluviais urbanas apresentam um índice de poluição superior ao do esgoto bruto. O LID é uma abordagem de gestão ecológica de águas pluviais modelada de acordo com a natureza, que defende que a água da chuva deve ser tratada localmente, através de uma rede de tratamento com vegetação que mantém a água no local. O principal objetivo deste tipo de intervenção é o de manter o regime hidrológico de um determinado local, usando técnicas de infiltração, de filtração, de armazenamento e de evaporação do escoamento de águas pluviais perto da sua origem. (University of Arkansas Community Design Center, n.d.)

Um estudo realizado em 34 sistemas de esgoto combinados alemães, incluindo esgoto combinado de tanques de transbordamento (CSO: *combined sewer overflow*) e ETAR permitiu concluir que o nível de poluição pode ser consideravelmente melhorado através da redução das infiltrações e dos afluxos, i.e., do escoamento superficial. Esta técnica de controlo do impacto das afluências indevidas, nomeadamente ao nível da poluição, prende-se com a reabilitação dos sistemas já existentes. (Weiß et al., 2002b)

Por forma a melhorar a capacidade de retenção das bacias, o estudo propõe a remoção dos caudais de águas pluviais através da instalação de um sistema separado para recolha deste tipo de água (que não precisa de tratamento) - e que já existe no município do Porto - ou por infiltração. A primeira pode não ser a melhor solução devido, por exemplo, à poluição do escoamento superficial. A segunda hipótese, embora menos popular, mostra ser, em alguns casos, a melhor solução. Uma redução de 1 l/s na afluência de infiltração equivale a 4,7 à de superfície totalmente vedada que é desconectada do esgoto. Em sistemas de esgoto que sofrem com grande fluxo de infiltração, a infiltração de águas pluviais no solo pode ser contraproducente, visto que

aumentará facilmente a taxa de recarga das águas subterrâneas além do seu valor natural. O nível do lençol freático pode subir e o afluxo de caudais pode aumentar, fazendo com que parte da água pluvial infiltrada chegue ao esgoto como afluência indevida. (Weiß et al., 2002b)

5.3. Modelo de ARIMA

Uma série temporal é definida como uma série de dados ordenada cronologicamente. A escala temporal pode ser diária, mensal ou até anual.

A previsão com séries temporais é um processo baseado em modelos estatísticos com o objetivo de prever cenários futuros para uma dada série baseada em observações passadas.

Este processo pode ser usado em diversas situações, tais como:

- a) Prever o número de clientes de um determinado negócio;
- b) Explicar variações sazonais em vendas;
- c) Detetar eventos pouco frequentes e estimar a magnitude do seu impacto;
- d) Estimar o efeito do lançamento de um novo produto no número de unidades vendidas.

Normalmente, as componentes destes processos preditivos incluem:

- a) Tendência: mostra a direção geral dos dados ao longo de um período. A tendência pode ser crescente, decrescente ou horizontal (estacionária);
- b) Sazonalidade: exibe uma tendência que se repete em relação ao tempo, direção e magnitude. Alguns exemplos incluem o aumento no número de passageiros de companhias aéreas durante as férias a cada ano;
- c) Componente cíclica: são as tendências sem repetição definida num determinado período;
- d) Variação irregular: são as flutuações nos dados que se tornam evidentes quando se remove as componentes tendência e variação cíclica. Estas flutuações são imprevisíveis, erráticas e podem ou não ser aleatórias;
- e) Decomposição ETS: é usada para separar os diferentes componentes de uma série temporal. ETS significa erro, tendência e sazonalidade.

O modelo de ARIMA desenvolvido na parte final desta dissertação possibilitou a realização de uma previsão temporal dos volumes de afluências indevidas na rede. Para isso, foram previstos volumes de águas residuais drenados (estimados a partir das horas de funcionamento da rede) e de águas residuais domésticas (obtidos a partir dos consumos de água dos clientes), sendo a diferença entre ambos o volume de afluências indevidas.

Para tal, foram seguidos os seguintes passos:

- 1) Decomposição ETS do conjunto de dados dos caudais de águas residuais:
 - a. Importação das bibliotecas necessárias;
 - b. Leitura dos dados dos caudais de águas residuais;
 - c. Decomposição ETS dos dados.
- 2) Análise paramétrica para o modelo de ARIMA:
 - a. Importação das bibliotecas necessárias;
 - b. Inserção da função *auto_arima* nos dados de caudais de águas residuais.
- 3) Ajuste do modelo de ARIMA aos dados de caudais de águas residuais:
 - a. Divisão dos dados em conjuntos de treino/teste;
 - b. Ajuste de um modelo de ARIMA ao conjunto de dados de teste.
- 4) Previsão do modelo de ARIMA em relação ao conjunto de dados de teste:
 - a. Previsão para 2 meses;
 - b. Representação gráfica das previsões e valores reais obtidos.
- 5) Avaliação do modelo de ARIMA:
 - a. Importação das ferramentas específicas de avaliação;
 - b. Cálculo da raiz quadrada média do erro;
 - c. Cálculo do erro quadrático médio.

Na Figura 5.18 e 5.19, está exemplificado os mapas decorrentes da aplicação deste modelo, para a bacia de Nova Rio e Tirares, respetivamente. Os restantes mapas podem ser consultados no Anexo J.

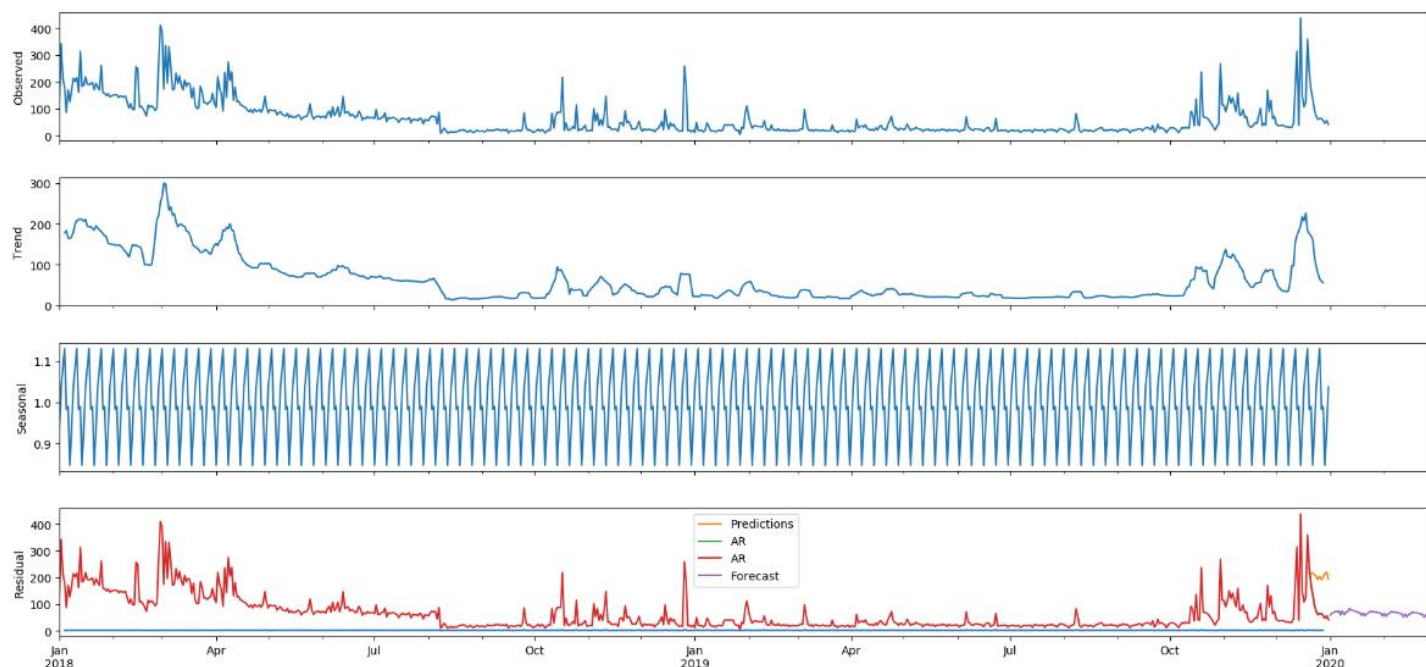


Figura 5.18. Modelo de ARIMA para águas residuais - bacia de Nova Rio

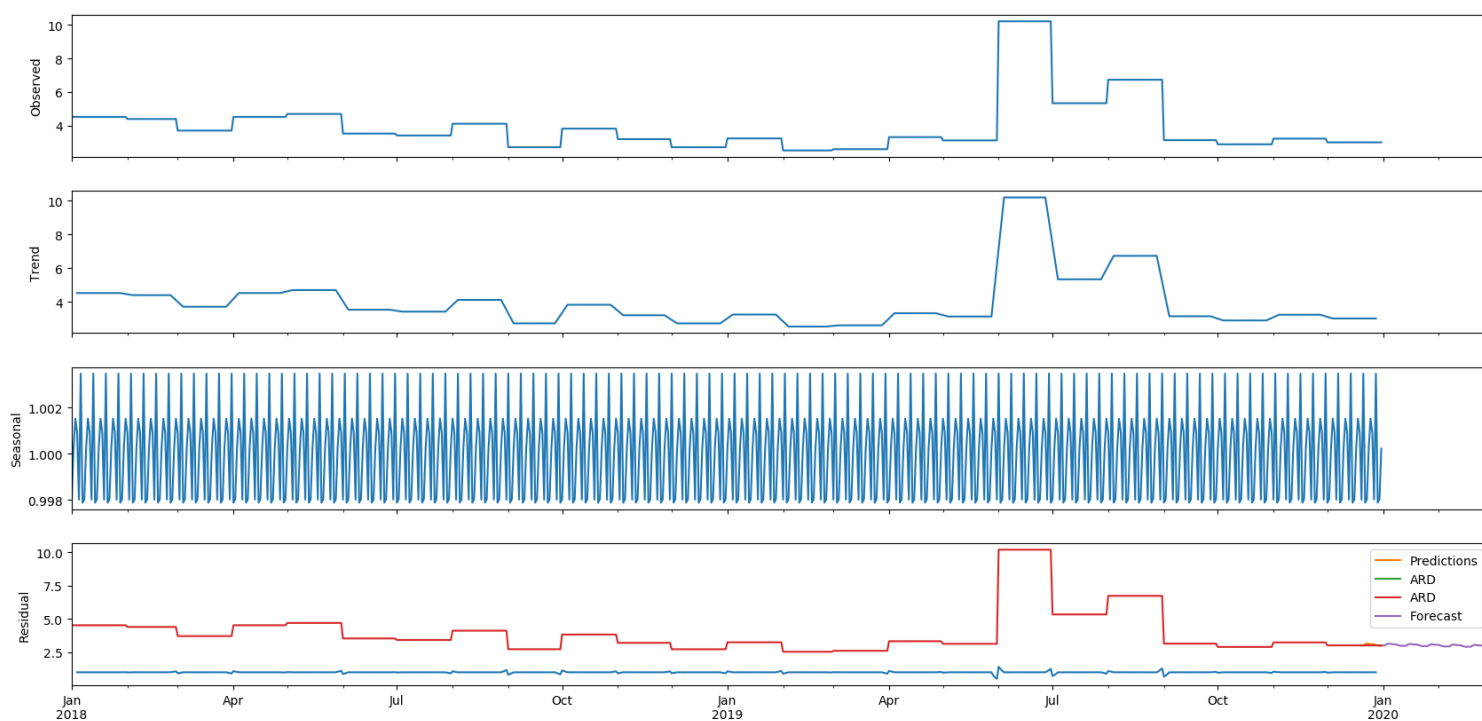


Figura 5.19. Modelo de ARIMA para águas residuais domésticas - bacia de Tirares

Em ambas as figuras, podem ser observados quatro gráficos:

- 1) *Observed* - gráfico com os valores observados ao longo dos 2 anos;
- 2) *Trend* - gráfico com a tendência dos valores ao longo dos 2 anos;

- 3) *Seasonal* - gráfico que mostra a sazonalidade, caso ela exista, dos valores ao longo dos 2 anos;
- 4) *Residual* - gráfico que mostra os valores observados ao longo dos 2 anos, assim como o *forecast* para os 2 meses seguintes à data do último volume inserido.

De realçar que, no último gráfico da Figura 5.19, é feita uma distinção entre *forecast* e *prediction*. Em português, ambos poderiam ser traduzidos para “previsão”. No entanto, em termos anglo-saxónicos o significado é distinto. *Prediction* consiste em estimar os resultados a partir de dados não vistos. *Forecast* é uma subdisciplina de *prediction*, na qual se fazem previsões, para o futuro, com base em dados de séries temporais passadas - daí o nome de modelo autorregressivo. Assim, a única diferença entre ambos os termos é que se considera a dimensão temporal de *forecast*. Além disso, *prediction* nem sempre está relacionado com o futuro.

Na Tabela 5.13, apresentam-se, para a bacia de Nova Rio, os volumes de AR e de ARD previstos pelo *Machine Learning*, assim como as respetivas afluições indevidas - volumes e percentagens. Os volumes de afluições indevidas foram obtidos através da aplicação da Equação (2.6) e as percentagens através da aplicação da Equação (2.7).

Tabela 5.13. Resultados obtidos pela aplicação do modelo de ARIMA à bacia de Nova Rio

Data	Volume de AR (m ³)	Volume de ARD (m ³)	Volume de AI (m ³)	% de AI
01/01/2020	68,36	31,84	36,52	53,42
02/01/2020	71,47	31,84	39,63	55,45
03/01/2020	74,17	31,84	42,33	57,07
...	...	...	...	...
26/02/2020	55,94	31,26	24,68	44,12
27/02/2020	62,15	31,26	30,89	49,70
28/02/2020	68,36	31,26	37,10	54,27

Este modelo de ARIMA pode e deve ser reforçado com mais dados observados para, desta forma, apresentar *outputs* melhorados, otimizados e mais realistas. O facto de se ter inserido “apenas” dois anos de observações tem influência na precisão, na exatidão e no rigor dos resultados obtidos.

Capítulo 6 | Conclusões

A realização desta dissertação permitiu expandir os conhecimentos na área de gestão e funcionamento de uma entidade gestora de águas, particularmente, ao nível da temática de afluências indevidas à rede de drenagem de águas residuais, que assume especial interesse quando a rede é do tipo separativo. Nestas, as afluências indevidas podem ter as mais diversas origens - ambientais, estruturais, económicas e/ou antropogénicas -, impactando e comprometendo o desempenho e a sustentabilidade das entidades gestoras. Neste trabalho, utilizaram-se dois métodos de quantificação de afluências indevidas: o método das séries temporais e o método do triângulo, permitindo, ainda, este último a qualificação das afluências indevidas em diretas e indiretas, consoante a sua origem.

Ao nível das tecnologias de campo que podem auxiliar na deteção de afluências indevidas, destacam-se a inspeção visual CCTV e os ensaios com máquinas de fumo. O primeiro é a técnica amplamente mais utilizada e que melhor precisão e detalhe apresenta. Os ensaios com máquinas de fumo, embora não identifiquem ou quantifiquem todas as infiltrações individualmente, permitem direccionar os trabalhos de inspeção para um determinado local potencialmente com problemas.

Na prática, o trabalho realizado ao longo destes meses permitiu identificar, de entre as bacias analisadas, quais as mais críticas em termos de afluências indevidas, tanto em termos relativos como absolutos. A bacia de Augusto Lessa foi, nos anos de 2018 e de 2019, a que maior percentagem de afluências indevidas registou. Por outro lado, a bacia do Bacelo, muito por causa da elevada densidade habitacional e populacional, foi a que registou maiores valores absolutos de águas indevidas na rede.

Por último, os resultados obtidos neste trabalho permitirão ajudar a identificar as bacias prioritárias de intervenção, a integrarem o plano de controlo de afluências indevidas do município do Porto. A instalação, por parte da entidade gestora, de caudalímetros ultrassónicos que registam, em tempo real, caudais de águas residuais circulantes nos troços de rede que abrange é uma boa forma de minimizar possíveis erros associados às estimativas que até então tinham de ser feitas para se determinarem os volumes de caudais que efetivamente circulam na rede.

O sucesso da aplicação deste plano tornará a entidade gestora mais sustentável, diminuindo o seu impacto no ambiente e nas populações envolventes. Permitirá, também, à entidade poupar em custos de operação e de exploração - nomeadamente em termos energéticos -, assim como de investimento, a longo prazo, nas infraestruturas, decorrentes dos menores volumes circulantes na rede e, consequentemente, do menor desgaste a que esta está sujeita.

Capítulo 7 | Avaliação do Trabalho Realizado e Recomendações

7.1. Avaliação do Trabalho Realizado

A realização desta dissertação pretendeu, principalmente, avaliar e quantificar as afluências indevidas nas bacias associadas a estações elevatórias de águas residuais com recurso a *python*, produzindo mapas de criticidade, identificando-se as zonas mais problemáticas e, por conseguinte, as primeiras em que se deverá intervir, originando um *input* para o plano de controlo de afluências indevidas. (100% realizado).

Numa segunda fase, recorreu-se ao *Machine Learning* com o intuito de criar um código preditivo, baseado no modelo de ARIMA, que fosse capaz de prever caudais de infiltração no futuro (100% realizado).

Outros objetivos, durante o estágio na empresa, incluíram:

- a) Visitas a diversas instalações: câmaras de visita, estações elevatórias e estações de tratamento de águas residuais (66% realizado);
- b) Instalação de dois caudalímetros (100% realizado);
- c) Participação numa atividade de demonstração de uma inspeção vídeo, com recurso a veículo robotizado munido de uma câmara de filmar (100% realizado);
- d) Formação sobre os testes com recurso a máquinas de fumo (0% realizado).

Durante o segundo mês de estágio na Águas do Porto, E.M., as restrições impostas pelo decreto do estado de emergência em Portugal, devido à pandemia provocada pela COVID-19, impossibilitaram o cumprimento de alguns objetivos inicialmente previstos, nomeadamente ao nível de visitas às duas estações de tratamento de águas residuais e da participação na formação sobre ensaios com máquinas de fumo. Os restantes objetivos já tinham sido cumpridos ou foram concretizados a partir de casa.

7.2. Limitações e Trabalho Futuro

A principal limitação encontrada nestes últimos meses prendeu-se com as consequências advindas da crise pandémica provocada pelo novo coronavírus que motivou, a nível nacional, o acionamento do estado de emergência. Durante esse período de confinamento, as deslocações para a Águas do Porto, E.M. foram suspensas, passando, assim como a maioria dos trabalhadores da empresa, a desempenhar as minhas funções em regime de teletrabalho. Deste modo, algumas atividades previstas tiveram de ser canceladas, como por exemplo, a formação sobre os ensaios com

máquinas de fumo ou visitas a determinadas instalações da empresa, nomeadamente as duas estações de tratamento de águas residuais.

Do ponto de vista prático, uma das principais limitações foi a não utilização de dados de telemetria dos contadores, que permitem a obtenção de volumes de águas faturadas em tempo real. Embora a cobertura da rede com contadores de telemetria no concelho do Porto seja bastante elevada (cerca de 37%) quando comparada com a maior parte dos municípios portugueses, não foi possível utilizar estes dados, uma vez que, das bacias em estudo, não havia nenhuma com 100% de clientes com este tipo de contadores. Desta forma, utilizaram-se volumes mensais de águas faturadas que tiveram maior impacto no modelo de previsão de afluências indevidas. Ao nível do método das séries temporais, o impacto foi quase insignificante, uma vez que a análise das percentagens e volumes de afluências indevidas foi feita numa escala anual e não diária ou horária.

Outra limitação importante prendeu-se com o facto de os caudais bombeados em cada estação elevatória terem sido estimados e não medidos por caudalímetros instalados nos locais e que depois enviam, remotamente e em tempo real, os valores que estão a registar.

Por outro lado, para o ano de 2018, não foi possível obter os tempos de bombagem da estação elevatória do Pêgo Negro e, por isso, não se determinaram as afluências indevidas, nem se procedeu à comparação da sua evolução com o ano seguinte, para o qual já estavam disponíveis dados de tempo de bombagem.

Relativamente ao trabalho desenvolvido em *python*, não foi possível realizar um modelo que incorporasse as variáveis apresentadas no ponto 5.1.1.1. Consequentemente, não foi possível extrapolar estes resultados para a restante rede do município do Porto.

Por último, não foi possível determinar os custos associados aos volumes excedentários de cada bacia, nomeadamente em termos de tratamento, de transporte e de manutenção do sistema como um todo.

7.3. Apreciação Final

O trabalho desenvolvido enquadrou-se num tema atual e essencial para atingir a meta da sustentabilidade económica e ambiental. Este trabalho permitiu quantificar os volumes de águas pluviais que se incorporam indevidamente nas redes de drenagem

de águas residuais e que, desta forma, são encaminhados para tratamento quando tal não era necessário. A quantificação efetuada, aliada aos mapas de criticidade construídos, permitirá, num futuro próximo, a integração dessa informação no plano de controlo de afluências Indevidas do município do Porto.

7.4. Recomendações

No que diz respeito à uma otimização dos resultados produzidos, a utilização de dados de telemetria, para os volumes de águas faturados, e a medição de caudal de águas residuais com recurso a caudalímetros devem ser, sempre que possível, estratégias a utilizar quando se realiza trabalhos deste género.

Relativamente ao modelo de previsão de afluências indevidas, a incorporação de variáveis influentes na ocorrência destas afluências, tais como a pluviosidade, a idade, o comprimento e o tempo de vida útil dos coletores, a proximidade das bacias a níveis freáticos ou o tipo e a ocupação do solo, deve ser pensada de forma cuidada e aplicada sempre que possível. Assim, encontra-se no ponto 5.1.1.1. a análise destes fatores para o caso do município do Porto, que poderá ser aplicada em trabalhos futuros.

Referências Bibliográficas

- Águas do Porto. (2018). *Áreas de intervenção*. <https://www.aguasdoporto.pt/areas-de-intervencao/areas-de-intervencao->
- Almeida, M., & Cardoso, M. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de águas residuais e pluviais*. 337.
- Almeida, M. do C., Brôco, N., Cardoso, M. A., Machado, B., Mamouros, L., & Pinto, A. F. (2012). Minimização de afluências indevidas em sistemas municipais de drenagem de águas residuais domésticas - Aplicação à área de concessão da Águas do Noroeste. *15º ENaSB - Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15.
- Amorim, H., Valente-Neves, M., & Matos, J. (2007). Afluências Indevidas Aos Sistemas De Drenagem De Águas Residuais. *2ªs Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*, 10.
https://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_2as/20_HAmorim.pdf
- AQUALITRANS. (2019). *CELEBRAÇÃO DA 2ª SESSÃO DE FORMAÇÃO TÉCNICA DO PROJECTO AQUALITRANS EM QUE PARTICIPARAM 23 BENEFICIÁRIOS DIRECTOS DO PROJECTO*. <https://blogs.xunta.gal/aqualitrans/pt/2019/11/14/celebracion-da-2o-sesion-de-capacitacion-tecnica-do-proxecto-aqualitrans-na-que-participaron-23-beneficiarios-directos-do-proxecto/>
- Barros, L. (2015). *Contribuição para o apoio à decisão na reabilitação de sistemas de saneamento*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Beheshti, M., Sægrov, S., & Ugarelli, R. (2015). Infiltration / Inflow Assessment and Detection in Urban Sewer System. *Vann, 01*, 24-34.
<https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/01/Beheshti.pdf>
- Belhadj, N., Joannis, C., & Raimbault, G. (1995). MODELLING OF RAINFALL INDUCED INFILTRATION INTO SEPARATE SEWERAGE. *Pergamon*, 32, 8.
- Bombas Grundfos Portugal S.A. (2020).
<https://pt.grundfos.com/servico/encyclopedia-search/corrosion.html>
- Bonito, J. (2014). *Infiltrações na Rede de Drenagem de Águas Residuais - Caso de Estudo da Bacia de Drenagem de Lanheses*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Braga, D. (2017). *Deteção de Doenças Neurodegenerativas Através da Voz*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

- Brandão, D. T. (2015). *Gestão de Afluências Indevidas em Redes de Águas Residuais Urbanas*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Brombach, H., Weiss, G., & Lucas, S. (2002). Temporal Variation of Infiltration Inflow in Combined Sewer Systems. *Ninth International Conference on Urban Drainage*.
- Brownlee, J. (2020). *How to Create an ARIMA Model for Time Series Forecasting in Python*. Machine Learning Mastery. <https://machinelearningmastery.com/>
- CAETANO. (2020). *As Vantagens do Ferro Fundido*. <https://caetano.com.br/as-vantagens-do-ferro-fundido>
- Câmara Municipal do Porto. (2018). *Suporte Biofísico e Ambiente Caracterização Biofísica Relatório de Caracterização e Diagnóstico*. https://doi.org/https://doi.org/10.14195/978-989-26-1237-9_10
- Câmara Municipal do Porto. (2019). *Carta de Qualificação do solo*. http://www.cm-porto.pt/assets/misc/documentos/Avisos/2019/monte pedral/carta de Qualificação do Solo_MARÇO 2019_redizida.pdf
- Cardoso, M. A. (2008). Avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana. In *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. Laboratório Nacional de Engenharia Civil*.
- Coelho, I. (2013). *VARIABILIDADE DE AFLUÊNCIAS ÀS REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS Causas e Efeitos Versus Sustentabilidade Económica Um*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Estimation of undue inflows in sewers systems : The case Study of Ribeira de Santa Catarina in Entroncamento.
- Cordeiro, R. (2015). *Análise da ocorrência de afluências indevidas a sistemas de drenagem de águas residuais*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- David, M., & Barroso, V. (2017). *Afluências Indevidas em Sistemas de Drenagem Urbana - Aspetos Gerais e Metodológicos -*.
- Decreto-Lei nº 152/97. (1997). Diários da República - Portaria 152/97, de 7 de março. In *Diário da República - 1 Série-A: Vol. Nº 139* (pp. 2959-2966). <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/365343/details/maximized>
- Decreto-Lei nº 194/2009. (2009). Diários da República - Portaria 194/2009, de 20 de

- agosto. In *Diário da República - 1ª Série: Vol. Nº 161* (pp. 5418-5435).
<https://dre.pt/pesquisa/-/search/488144/details/maximized>
- Decreto-Lei nº 195/2009. (2009). Diários da República - Portaria 195/2009, de 20 de agosto. *Diário Da República - 1ª Série, Nº 161*, 5435-5469.
<https://dre.pt/pesquisa/-/search/488136/details/maximized>
- Decreto-Lei nº 207/94. (1994). Diários da República - Portaria 207/94, de 11 de abril. In *Diário da República - 1ª Série-A: Vol. Nº 181* (pp. 4491-4495).
<https://dre.pt/pesquisa/-/search/223064/details/maximized>
- Decreto-Lei nº 23/95. (1995). Regulamento Geral de Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR). In *Diário da República - 1ª Série-B: Vol. N.º 194* (pp. 5284-5319).
<https://dre.pt/pesquisa/-/search/488136/details/maximized>
- Decreto-Lei nº 236/98. (1998). Diários da República - Portaria 236/98, de 1 de agosto. In *Diário da República - 1ª Série-A: Vol. Nº 176* (pp. 3676-3722).
<https://dre.pt/pesquisa/-/search/430457/details/maximized>
- Decreto-Lei nº 294/94. (1994). Diários da República - Portaria 294/94, de 16 de novembro. In *Diário da República - 1ª Série-A: Vol. Nº 265* (pp. 6850-6856).
https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/534587/details/normal?p_p_auth=hrBZr3dS
- Decreto-Lei nº 348/98. (1998). Diários da República - Portaria 348/98, de 9 de novembro. In *Diário da República - 1ª Série-A: Vol. Nº 259* (pp. 5982-5983).
<https://doi.org/10.2307/2977040>
- Decreto-Lei nº 56/99. (1999). Diários da República - Portaria 56/99, de 26 de fevereiro. In *Diário da República - 1ª Série-A: Vol. Nº 48* (pp. 1067-1074).
<https://dre.pt/pesquisa/-/search/165240/details/maximized>
- Duarte, B. (2014). *IMPORTÂNCIA DE COMPONENTES EM SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS E PLUVIAIS*. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias.
- ESTA. (2019). *Local:Tourist*. <https://www.official-esta.com/information/reports/cities-with-most-tourists>
- Ferreira, M. I. (2013). *SISTEMAS PREDIAIS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS Estudo comparativo entre o Regulamento Geral e a Norma Europeia 12056-2*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- FGS Brasil. (n.d.). *A tubulação de polietileno - PEAD: características e dúvidas na hora da compra*. <http://www.tubopead.com.br/2010/12/tubulacao-de-polietileno-pead/>
- Franz, T. (2007). *Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results*. Technische Universität Dresden.
- Google Maps. (2020). *Cidade do Porto*.
<https://www.google.com/maps/place/Porto/@41.1738928,-8.6616939,10078m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd2465abc4e153c1:0xa648d95640b114bc!8m2!3d41.1579438!4d-8.6291053>
- Greater Dublin Drainage. (2005). *Greater Dublin Strategic Drainage Study - Final Strategy Report*. <https://doi.org/GDSDS/NEO2057/035C>
- Henriques, J., Palma, J., & Ribeiro, Á. (2006). Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas. In *Série Guias Técnicos nº 9*.
- Hudak, P. (1989). Conception, evolution, and application of functional programming languages. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 21(3), 359-411.
<https://doi.org/10.1145/72551.72554>
- Infopédia. (2020). *Hipsometria*. <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/hipsometria>
- Instituto Brasileiro do PVC. (2017). <https://pvc.org.br/>
- IPMA - Área Educativa - Udómetro. (2020).
<https://www.ipma.pt/pt/educativa/observar.tempo/index.jsp?page=ema.udom.xml>
- ISEP P.PORTO. (2020). <https://meteo.isep.ipp.pt/gauges>
- Kaczor, G. (2011). *THE EFFECT OF HEAVY PRECIPITATION ON THE INFILTRATION AND INFLOW INTO SMALL SEWAGE TREATMENT PLANTS IN 2010*. 9.
- Kracht, O. (2007). *Tracer-based hydrograph separation methods for sewer systems*. ETH Zürich.
- Moisio, S., FitzGerald, S. W., Almeida, A. V., Baddaker, J., Badgley, D., Belz, S. E., Blocksidge, H., Brown, D. R., Carter, M., Cerda, L., Chang, C.-C., Colwell, N. T.,

- Courtney, M., Craven, A., Daltorio, D. T., Graham, J., Habibian, A., Hannan, P. M., Harold, E. M., ... Wilmut, C. G. (2004). *Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation - Manuals and Reports on Engineering Practice* (3ª). WEF PRESS.
- Mortinho, A. (2011). *Avaliação de Caudais de Infiltração em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- NIVUS - Instruction Manual PCM 4. (2011). *Instruction Manual for portable Flow Measurement Device PCM 4* (p. 116).
- Nørmark, K. (2010). *Object-oriented Programming in C# for C and Java programmers* (Issue February). Universidade de Aalborg.
- Paixão, J. (2016). *Afluências indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Pires, N. (2020). INTRODUÇÃO A MACHINE LEARNING COM PYTHON. *Formação OERN*, 6.
- Politejo. (2005). *NOTA TÉCNICA: ENSAIOS DE ESTANQUIDADE SISTEMAS GRAVÍTICOS*.
- Porto. (2017). *Problema na ETAR do Freixo com consequências limitadas até domingo*. <http://www.porto.pt/noticias/problema-na-etar-do-freixo-com-consequencias-limitadas-ate-domingo>
- Ramos, A., Matos, C., Ferraz, E., Pinto, R., & Cunha, R. (2015). *Plano Estratégico de Gestão Integrada do Ciclo Urbano da Água no Município do Porto*.
- Ramos, R. (2018). *DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES DE REDUÇÃO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM REDES DE SANEAMENTO*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Recomendação IRAR nº 04/2007. (2007). *FACTURAÇÃO DE SERVIÇOS EM “ALTA” DE SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS EM SISTEMAS COM CONTRIBUIÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS*.
- Schilperoort, R. P. S. (2004). *Natural water isotopes for the quantification of infiltration and inflow in sewer systems*. Universidade de Tecnologia de Delft.
- Scott, M. L. (2006). *Programming Language Pragmatics*. San Francisco: Morgan Kaufmann/Academic Press.
- Tecnilab. (2019). *SOFREL LT-US* (p. 2).
<https://aguas.tecnilab.pt/media/118/File/documentacao/sofrel-lt-us.pdf>

University of Arkansas Community Design Center. (n.d.). *Low Impact Development*.
<http://uacdc.uark.edu/models/low-impact-development>

WEATHER UNDERGROUND. (2020). <https://www.wunderground.com/>

Weiß, G., Brombach, H., & Haller, B. (2002a). Infiltration and inflow in combined sewer systems: long-term analysis. *IWA Publishing*, 45, 11-19.

Weiß, G., Brombach, H., & Haller, B. (2002b). Infiltration and inflow in combined sewer systems: Long-term analysis. *Water Science and Technology*, 45(7), 11-19.
<https://doi.org/10.2166/wst.2002.0112>

Zhang, M., Liu, Y., Cheng, X., Zhu, D. Z., Shi, H., & Yuan, Z. (2018). Quantifying rainfall-derived inflow and infiltration in sanitary sewer systems based on conductivity monitoring. *Journal of Hydrology*, 558, 174-183.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.002>

Anexos

Anexo A | Caudais Bombeados pelas Estações Elevatórias

Nas Tabelas A.1 a A.18, estão representados os caudais elevados em cada estação elevatória desde janeiro de 2018 até dezembro de 2019. De referir que os valores a negrito representam caudais médios que foram utilizados quando não havia registo do tempo de bombagem ou quando este era anómalo.

Tabela A.1. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória do Alto Arrábida (2018)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0,28	1,61	3,64	0,40	1,35	1,21	1,35	1,75	0,94	1,48	1,21	1,65
2	1,88	1,35	1,62	2,97	1,47	1,08	1,35	1,48	1,48	0,94	1,34	1,50
3	1,34	1,08	3,11	2,29	1,49	1,21	1,07	1,76	1,63	1,63	1,08	1,19
4	1,35	1,21	1,62	1,48	1,08	0,81	1,35	0,81	1,35	1,75	2,96	1,24
5	4,58	0,94	3,11	1,76	1,49	2,02	1,49	1,08	1,08	1,22	1,49	1,08
6	1,76	1,62	2,15	3,77	1,21	1,21	1,34	1,21	1,34	0,94	2,43	1,29
7	1,08	1,62	1,34	1,35	1,36	2,16	1,22	0,95	0,68	1,35	0,81	1,21
8	1,34	1,75	0,95	4,32	0,94	1,34	1,47	0,81	1,76	1,08	2,29	1,21
9	1,22	1,49	1,76	2,96	1,35	3,51	1,49	1,08	0,94	1,21	1,22	1,13
10	1,48	1,48	1,49	2,97	1,08	3,23	1,35	1,35	0,81	1,35	2,96	0,94
11	1,35	2,29	1,88	1,08	1,49	1,49	1,08	0,94	1,62	2,69	4,31	1,29
12	1,07	1,36	1,62	1,89	1,08	1,76	1,21	1,21	1,35	1,21	1,35	1,62
13	2,44	1,21	2,56	1,48	1,34	1,76	1,21	1,08	1,48	3,77	0,81	2,86
14	1,21	1,76	1,76	1,49	3,37	1,48	1,34	0,95	1,62	2,57	1,48	1,05
15	1,88	2,16	1,62	1,21	1,08	1,21	0,95	1,08	1,35	2,56	1,21	3,91
16	1,21	1,34	1,21	1,34	1,07	1,08	1,08	1,21	1,62	1,35	1,21	1,92
17	2,02	1,89	2,56	1,34	1,22	1,35	1,22	1,08	0,94	1,48	1,35	1,10
18	1,60	1,62	1,08	1,22	0,95	1,08	0,95	1,34	1,62	1,21	1,08	1,73
19	1,60	1,48	1,76	0,53	1,48	0,67	1,60	0,94	4,18	0,81	2,02	1,72
20	4,18	1,48	1,48	1,35	1,08	1,08	7,15	1,22	2,15	1,34	1,35	5,26
21	5,93	1,62	1,48	0,81	3,24	1,63	4,32	1,35	0,95	1,21	1,32	1,54
22	2,96	1,62	1,35	0,95	1,21	1,62	5,65	1,88	1,35	1,35	4,77	1,76
23	1,21	0,95	1,75	1,21	1,34	1,75	3,37	1,76	1,49	1,35	1,76	1,21
24	0,95	1,21	1,49	1,08	1,08	1,21	0,94	1,21	0,40	1,35	2,67	1,32
25	2,70	1,62	1,34	1,88	1,62	1,88	1,49	1,62	1,49	1,34	2,45	1,59
26	1,08	1,62	1,08	1,48	1,08	1,63	1,35	1,08	1,21	1,08	1,43	1,62
27	0,95	4,45	1,35	0,82	0,68	0,94	1,35	1,62	1,62	1,08	1,35	1,26
28	1,48	5,39	0,95	1,75	1,08	1,88	1,07	1,75	1,08	1,48	1,08	1,62
29	1,34		1,88	2,02	1,21	1,49	1,08	1,35	1,21	1,88	1,48	1,21
30	1,49		1,88	1,49	0,95	1,21	1,08	1,48	1,35	1,89	1,21	1,03
31	1,08		1,62		1,21		0,82	1,49		1,62		1,21

Tabela A.2. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Augusto Lessa (2018)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	4,44	7,01	72,75	8,31	8,96	8,27	8,27	19,11	7,62	4,59	7,66	7,28
2	23,62	4,48	15,32	45,95	7,01	7,66	10,22	8,96	4,48	3,45	10,72	8,42
3	15,35	7,66	45,34	18,49	8,31	8,31	6,39	5,71	5,13	6,51	5,74	7,28
4	11,45	7,66	19,11	13,40	8,31	10,19	6,39	5,13	5,05	5,74	31,78	6,13
5	44,03	6,36	50,43	8,31	8,31	9,61	7,01	5,13	4,48	3,83	15,70	7,66
6	10,87	6,43	22,97	28,72	9,57	8,92	7,66	5,71	5,13	6,51	28,33	8,42
7	7,01	5,74	10,78	14,01	6,97	13,40	5,74	5,74	5,09	5,74	12,64	7,66
8	7,66	7,01	10,78	33,20	10,87	7,66	5,74	5,74	4,48	4,21	19,91	8,04
9	9,57	7,01	21,67	25,54	10,78	8,92	5,74	5,09	5,74	4,59	14,93	8,42
10	11,49	7,01	37,03	37,64	10,78	18,53	12,14	6,39	5,09	5,74	27,19	5,74
11	7,66	11,49	15,93	11,49	13,40	13,36	4,48	6,39	10,78	18,00	45,57	6,51
12	10,78	7,70	12,79	17,88	7,66	20,45	9,53	6,36	10,78	6,51	12,64	15,70
13	10,78	6,36	12,10	10,84	8,27	6,39	30,02	4,48	5,74	26,04	10,78	14,93
14	9,57	24,89	30,63	8,96	7,05	7,62	29,33	7,66	6,89	13,02	16,08	8,81
15	8,31	22,32	28,76	12,71	11,49	7,05	5,74	7,01	5,36	13,02	16,85	39,06
16	8,96	10,87	22,32	10,26	10,22	7,66	6,39	5,78	4,21	5,74	15,32	18,38
17	7,62	9,57	21,71	7,62	8,31	8,31	5,74	5,74	6,13	7,66	5,74	11,10
18	5,74	8,31	10,84	8,96	7,01	7,01	4,48	5,74	5,74	5,74	6,89	16,85
19	7,66	6,36	22,36	9,57	8,31	6,36	2,53	5,09	1,53	5,74	16,85	13,78
20	7,66	7,66	6,97	7,01	7,62	6,43	5,74	7,05	4,59	6,51	15,70	14,93
21	6,39	7,01	9,61	14,01	6,39	7,66	5,09	5,05	4,59	4,98	8,04	13,02
22	7,01	5,13	8,27	7,70	8,31	9,53	3,83	4,52	6,89	5,74	25,27	8,04
23	7,66	8,92	31,93	6,39	8,31	9,61	5,13	7,01	5,74	5,36	12,25	7,66
24	6,39	8,92	16,58	9,53	6,97	7,01	5,13	4,48	4,98	3,06	18,00	8,04
25	19,15	6,39	8,31	9,61	15,97	5,74	3,83	3,83	6,13	4,98	15,70	6,89
26	8,92	7,66	8,92	7,62	8,31	6,36	5,71	5,05	3,83	4,98	7,66	8,81
27	6,39	29,37	9,57	9,61	6,36	7,66	5,13	6,39	4,98	5,74	6,89	7,66
28	7,66	52,96	8,92	16,58	8,96	5,74	6,39	5,09	4,59	7,28	6,51	8,42
29	7,66		12,75	16,58	7,66	7,01	16,58	4,48	4,98	6,89	12,64	7,28
30	6,39		16,62	10,19	6,39	7,05	10,84	6,39	6,51	12,25	9,19	6,51
31	7,01		9,57		7,66		8,96	5,13		5,74		8,42

Tabela A.3. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória do Bacelo (2018)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	241,84	241,84	241,84	241,84	252,32	232,84	307,06	179,89	209,96	181,69	204,67	165,81
2	241,84	241,84	241,84	241,84	250,62	247,13	435,81	185,29	210,07	204,67	257,61	151,84
3	241,84	241,84	241,84	241,84	222,35	268,20	174,71	185,29	180,00	201,28	178,31	135,85
4	241,84	241,84	241,84	241,84	217,06	299,96	257,61	174,81	194,08	185,29	704,01	169,52
5	241,84	241,84	241,84	241,84	222,35	301,76	173,01	178,20	187,09	202,87	437,72	158,82
6	241,84	241,84	241,84	241,84	215,26	315,85	169,41	181,69	217,06	208,27	368,79	158,82
7	241,84	241,84	241,84	241,84	202,87	254,22	188,89	169,41	202,87	220,66	211,76	141,14
8	241,84	241,84	241,84	241,84	201,18	180,00	183,39	165,92	188,79	215,15	393,56	164,12
9	241,84	241,84	241,84	241,84	192,49	220,55	167,72	165,92	173,01	229,55	277,09	171,21
10	241,84	241,84	241,84	241,84	211,66	315,85	190,59	192,39	206,47	174,71	767,65	155,22
11	241,84	241,84	241,84	241,84	275,29	255,92	171,11	194,08	236,44	425,22	931,76	153,53
12	241,84	241,84	241,84	241,84	296,47	197,68	173,01	204,67	197,68	171,21	194,08	266,51
13	241,84	241,84	241,84	241,84	298,27	206,47	176,51	197,58	185,29	197,58	165,92	315,85
14	241,84	241,84	241,84	241,84	307,06	195,78	190,59	190,69	162,32	241,84	157,02	141,25
15	241,84	241,84	241,84	241,84	314,15	183,60	201,18	169,31	180,00	120,07	155,22	599,93
16	241,84	241,84	241,84	190,59	317,54	222,35	197,58	180,00	183,60	220,55	192,39	601,73
17	241,84	241,84	241,84	292,98	363,60	229,34	215,36	183,60	208,16	284,19	206,47	160,62
18	241,84	241,84	241,84	289,38	289,38	236,54	197,58	204,67	204,67	199,38	185,29	368,79
19	241,84	241,84	241,84	275,29	291,18	257,61	204,78	192,39	151,84	197,68	462,39	388,27
20	241,84	241,84	241,84	273,60	263,01	185,29	204,67	197,68	153,53	192,28	456,99	517,13
21	241,84	241,84	241,84	278,79	238,13	199,38	208,27	178,20	158,82	202,87	236,54	247,02
22	241,84	241,84	241,84	278,79	227,75	310,66	209,96	225,95	174,71	197,68	315,85	465,88
23	241,84	241,84	241,84	268,31	222,35	239,93	194,08	218,75	176,40	176,51	243,53	398,86
24	241,84	241,84	241,84	264,60	270,00	224,15	188,79	241,84	160,73	157,02	372,39	397,06
25	241,84	241,84	241,84	292,98	487,06	197,68	202,98	317,65	158,72	151,84	381,18	395,26
26	241,84	241,84	241,84	284,08	241,73	194,19	185,29	35,26	155,33	164,12	194,08	432,32
27	241,84	241,84	241,84	259,52	232,94	201,07	188,89	218,75	423,53	165,92	173,01	404,05
28	241,84	241,84	241,84	349,31	220,66	187,09	217,06	162,42	545,29	158,72	183,49	321,25
29	241,84		241,84	397,06	220,45	204,78	186,99	178,20	171,21	217,16	518,82	347,61
30	241,84		241,84	353,01	215,36	220,55	178,31	197,68	180,00	308,75	206,47	319,45
31	241,84		241,84		220,66		187,09	183,49		181,80		319,34

Tabela A.4. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória da Igreja Paranhos (2018)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	19,22	21,67	99,18	19,12	26,68	24,41	31,24	23,77	22,86	27,78	71,76	20,95
2	56,01	26,87	33,33	49,54	24,04	25,32	43,80	25,77	25,96	28,96	62,38	20,95
3	38,61	22,77	72,40	40,80	23,41	25,68	33,79	23,04	22,04	29,14	57,37	26,41
4	33,79	28,41	36,88	34,61	24,41	29,32	36,61	26,05	22,59	29,14	115,66	25,50
5	80,05	27,14	70,67	23,04	23,59	36,70	38,89	25,77	20,13	26,14	143,44	25,50
6	24,13	27,50	40,62	79,23	23,50	27,05	26,05	24,77	22,22	22,40	102,91	26,41
7	24,95	28,78	23,68	33,70	24,68	44,35	26,32	28,69	22,49	25,96	91,98	25,50
8	25,59	29,32	29,60	75,86	24,32	25,96	28,23	29,78	26,41	27,96	156,64	24,59
9	35,79	27,05	53,37	59,47	25,04	33,42	29,60	33,06	24,32	27,32	189,43	21,86
10	38,70	25,32	43,71	74,95	25,59	40,98	24,13	37,79	25,77	25,68	218,57	21,86
11	35,24	38,07	38,25	25,04	34,06	27,87	24,68	39,89	28,50	58,28	218,57	23,68
12	25,32	24,68	33,15	38,34	26,23	25,77	27,96	42,07	30,78	26,41	151,18	42,80
13	54,37	27,59	26,96	27,41	27,05	28,69	26,41	40,80	27,32	68,58	90,16	52,82
14	27,87	70,12	55,37	28,14	25,68	29,42	26,59	37,70	25,96	54,37	72,86	26,41
15	27,59	64,66	42,80	34,42	27,05	26,32	29,69	38,16	25,04	64,02	26,41	99,27
16	28,96	28,78	39,80	28,87	27,32	26,23	27,78	33,24	26,05	25,77	27,32	35,52
17	27,23	27,50	39,16	26,68	27,50	27,59	28,41	21,31	26,77	35,24	24,59	19,12
18	25,86	27,05	23,50	29,96	26,59	29,05	24,86	23,95	27,69	30,05	20,04	42,80
19	21,13	24,50	34,42	28,05	24,32	28,78	28,23	19,76	22,13	25,68	51,91	37,34
20	22,22	24,32	18,58	30,42	22,31	29,42	27,50	20,49	28,23	26,23	42,80	35,52
21	23,68	26,68	23,95	25,96	22,77	29,23	33,51	25,77	22,13	28,23	31,87	27,32
22	20,40	23,04	19,31	27,23	22,31	36,06	24,32	23,31	22,77	27,32	85,61	23,68
23	21,67	29,05	45,81	27,78	23,50	31,33	23,95	23,31	23,59	28,69	34,61	21,86
24	27,05	21,49	34,88	25,68	24,86	31,05	22,77	24,32	30,24	32,06	45,54	23,68
25	49,72	23,50	23,22	29,14	38,61	28,96	22,49	27,50	28,96	31,51	40,98	20,04
26	29,32	23,95	22,49	25,50	21,67	27,87	19,31	24,04	30,14	32,69	26,41	20,95
27	24,77	84,70	23,04	25,04	20,67	28,69	19,22	19,22	30,96	39,89	23,68	25,50
28	22,13	87,61	23,41	34,42	28,60	28,41	21,58	21,77	26,87	42,17	24,59	20,95
29	23,41		32,79	39,34	25,14	27,78	23,13	23,41	25,23	63,48	33,70	20,04
30	23,31		36,61	26,23	27,59	27,87	24,41	25,04	29,78	80,60	27,32	22,77
31	24,50		25,50		25,23		21,40	24,95		73,95		24,59

Tabela A.5. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Nevogilde (2018)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	19,31	10,28	97,57	17,89	18,07	6,62	10,69	12,87	9,18	18,45	16,00	13,34
2	32,37	11,64	33,79	52,80	16,94	10,22	38,24	11,17	10,60	21,77	16,84	10,41
3	28,79	10,73	70,88	56,69	22,43	12,02	27,91	7,48	7,57	14,19	14,96	10,41
4	25,95	9,37	50,54	66,63	15,14	10,51	21,48	5,49	10,70	22,81	48,17	15,52
5	84,04	10,11	117,35	29,81	12,87	15,90	8,71	5,39	9,65	24,42	30,57	11,74
6	21,07	9,09	66,25	99,56	19,78	14,86	10,03	5,68	8,23	34,55	33,50	5,68
7	14,76	9,09	33,59	58,76	19,59	23,18	5,30	4,26	11,36	35,39	30,57	7,29
8	15,84	8,18	33,88	84,70	14,00	10,22	7,38	10,31	9,36	28,11	35,68	5,11
9	26,23	6,42	85,65	119,34	16,18	8,23	7,57	7,10	7,19	19,97	25,74	6,06
10	38,16	11,02	21,88	133,06	16,00	25,64	5,40	7,76	10,50	11,74	52,43	10,50
11	56,21	24,98	82,62	100,89	19,31	11,92	8,14	7,29	10,89	25,55	79,02	6,90
12	20,90	13,57	69,46	21,88	24,32	11,27	4,83	6,63	10,98	4,73	21,58	11,65
13	56,44	8,29	55,08	21,88	12,40	7,19	13,16	4,73	12,30	22,05	10,98	42,21
14	34,86	33,45	79,50	21,88	10,89	6,72	13,24	8,14	11,17	38,04	10,60	17,60
15	18,34	49,23	65,97	21,88	13,91	10,41	13,35	8,42	13,82	42,21	12,50	55,84
16	18,74	34,52	57,82	60,56	11,83	8,99	12,11	9,94	20,16	15,81	9,46	61,23
17	21,58	15,96	76,08	54,42	12,02	11,36	6,05	6,43	25,55	14,76	13,34	18,93
18	15,39	12,95	48,65	42,30	9,09	9,46	6,81	7,95	15,71	11,45	10,89	24,98
19	11,47	7,04	67,66	34,26	13,82	8,32	10,13	3,03	18,18	12,40	25,46	25,46
20	13,23	7,50	36,15	26,98	13,06	11,27	6,72	3,50	16,84	10,89	32,08	30,19
21	15,44	7,89	28,01	28,10	6,52	13,53	8,04	2,84	24,33	6,81	13,34	17,13
22	13,46	3,12	28,77	24,61	8,81	18,65	4,16	3,69	20,53	12,39	62,84	15,14
23	10,22	8,42	46,00	19,02	12,96	10,98	7,86	3,41	34,07	6,63	39,27	14,39
24	11,53	6,44	50,81	21,20	16,09	6,43	7,38	5,77	10,89	16,75	51,68	15,99
25	56,21	11,64	46,19	23,18	34,83	8,61	9,65	5,01	8,99	12,59	50,72	14,10
26	23,28	11,16	21,58	21,58	15,52	9,47	5,59	7,76	11,17	10,79	28,11	14,00
27	15,33	52,72	18,64	18,83	10,69	11,54	9,75	6,34	10,98	13,16	13,53	13,63
28	17,15	100,32	22,53	20,82	10,41	8,14	10,50	7,67	7,38	12,40	11,36	14,01
29	14,48		23,85	46,37	7,29	12,59	10,03	10,22	9,85	15,71	21,77	12,59
30	9,43		28,30	31,80	12,11	27,54	12,21	5,02	10,88	42,50	15,71	13,63
31	10,73		22,42		8,24		10,40	4,83		20,06		13,06

Tabela A.6. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Nova Rio (2018)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	124,07	150,94	389,39	104,71	84,95	71,12	63,22	55,32	17,78	13,83	17,78	25,68
2	341,98	151,53	173,66	219,29	96,80	71,12	96,80	67,17	13,83	17,78	19,76	15,80
3	213,76	151,73	334,67	175,83	92,85	65,20	61,24	73,10	15,80	23,71	17,78	25,68
4	179,19	141,85	195,39	156,07	92,85	82,98	61,24	71,12	21,73	15,80	100,76	21,73
5	86,65	147,58	331,51	90,88	94,83	90,88	67,17	71,12	17,78	21,73	53,34	21,73
6	169,90	145,80	254,26	235,10	77,05	69,15	69,15	43,46	19,76	19,76	82,98	23,71
7	126,24	143,43	170,30	142,24	84,95	106,68	84,95	86,65	17,78	9,88	37,54	19,76
8	167,73	147,18	173,46	274,61	88,90	75,07	51,37	7,90	21,73	15,80	59,27	21,73
9	213,17	122,49	232,13	205,46	79,02	84,95	67,17	17,78	21,73	21,73	37,54	13,83
10	201,91	102,14	194,60	237,07	75,07	106,68	63,22	27,66	23,71	19,76	77,05	23,71
11	215,93	118,93	222,26	130,39	73,10	71,12	67,17	19,76	19,76	82,98	146,20	25,68
12	161,60	97,99	188,67	179,78	82,98	92,85	67,17	9,88	19,76	27,66	31,61	37,54
13	313,73	96,61	169,90	126,44	67,17	146,20	63,22	11,85	21,73	71,12	33,59	51,37
14	183,34	256,63	207,44	128,41	75,07	82,98	59,27	15,80	17,78	86,65	23,71	21,73
15	187,88	248,53	183,73	114,59	67,17	86,93	49,39	11,85	23,71	86,65	23,71	96,80
16	218,90	106,88	195,59	112,61	69,15	88,90	59,27	13,83	9,88	86,65	23,71	45,44
17	192,23	109,45	191,63	106,68	69,15	73,10	65,20	13,83	17,78	217,32	23,71	23,71
18	189,86	100,36	140,27	104,71	77,05	79,02	61,24	15,80	17,78	19,76	15,80	47,41
19	192,62	88,51	177,80	94,83	73,10	75,07	61,24	19,76	15,80	47,41	47,41	35,56
20	197,76	72,11	114,59	88,90	59,27	67,17	61,24	19,76	15,80	21,73	47,41	41,49
21	171,29	113,99	100,76	96,80	67,17	71,12	67,17	21,73	19,76	19,76	35,56	27,66
22	194,60	106,09	102,73	84,95	71,12	90,88	47,41	19,76	19,76	25,68	92,85	21,73
23	180,57	111,82	183,73	98,78	71,12	81,00	61,24	13,83	15,80	33,59	47,41	15,80
24	169,70	104,71	162,00	90,88	82,98	57,29	59,27	13,83	25,68	25,68	53,34	17,78
25	261,18	93,05	122,49	90,88	118,54	67,17	59,27	19,76	84,95	114,59	41,49	15,80
26	159,43	102,14	122,49	96,80	77,05	63,22	55,32	13,83	31,61	17,78	23,71	258,80
27	157,65	264,93	116,56	86,93	61,24	71,12	65,20	11,85	19,76	23,71	25,68	189,66
28	148,76	409,94	124,46	102,73	69,15	65,20	61,24	15,80	21,73	21,73	23,71	17,78
29	156,07		128,41	146,20	71,12	67,17	43,46	19,76	17,78	29,63	35,56	19,76
30	144,42		158,05	104,71	73,10	67,17	59,27	15,80	11,85	37,54	53,34	13,83
31	148,57		122,49		67,17		57,29	15,80		15,80		19,76

Tabela A.7. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Pinheiro Torres (2018)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	135,36	152,64	377,28	158,40	169,92	164,16	152,64	161,28	152,64	198,72	218,88	195,84
2	244,80	144,00	192,96	239,04	175,68	172,80	175,68	164,16	152,64	187,20	216,00	192,96
3	138,24	149,76	354,24	250,56	175,68	169,92	169,92	167,04	155,52	181,44	207,36	190,08
4	158,40	155,52	233,28	247,68	181,44	175,68	169,92	155,52	167,04	201,60	380,16	190,08
5	509,76	149,76	342,72	178,56	184,32	192,96	161,28	152,64	169,92	204,48	270,72	195,84
6	169,92	138,24	244,80	564,48	190,08	167,04	184,32	152,64	178,56	175,68	391,68	190,08
7	158,40	144,00	204,48	221,76	181,44	227,52	184,32	158,40	155,52	106,56	262,08	187,20
8	146,88	144,00	190,08	417,60	172,80	169,92	184,32	201,60	169,92	227,52	429,12	190,08
9	164,16	146,88	293,76	313,92	181,44	184,32	167,04	279,36	144,00	224,64	256,32	198,72
10	204,48	155,52	302,40	417,60	181,44	187,20	158,40	270,72	164,16	230,40	527,04	192,96
11	195,84	221,76	308,16	201,60	207,36	172,80	161,28	282,24	175,68	426,24	207,25	187,20
12	138,24	155,52	241,92	302,40	181,44	175,68	152,64	267,84	178,56	227,52	256,32	313,92
13	210,24	144,00	207,36	216,00	178,56	169,92	161,28	253,44	178,56	210,24	230,40	328,32
14	161,28	325,44	331,20	227,52	164,16	181,44	152,64	204,48	164,16	616,32	239,04	187,20
15	144,00	267,84	385,92	218,88	178,56	164,16	149,76	155,52	172,80	383,04	216,00	544,32
16	149,76	169,92	331,20	216,00	175,68	175,68	149,76	158,40	167,04	181,44	218,88	360,00
17	149,76	181,44	290,88	204,48	169,92	175,68	167,04	158,40	167,04	276,48	230,40	201,60
18	152,64	190,08	187,20	213,12	172,80	175,68	164,16	158,40	169,92	210,24	224,64	342,72
19	146,88	178,56	259,20	201,60	169,92	172,80	175,68	155,52	201,60	184,32	319,68	316,80
20	152,64	181,44	198,72	201,60	172,80	172,80	175,68	161,28	190,08	190,08	293,76	348,48
21	149,76	129,60	192,96	195,84	169,92	164,16	167,04	161,28	198,72	167,04	233,28	241,92
22	146,88	149,76	192,96	201,60	169,92	210,24	175,68	158,40	175,68	169,92	622,08	227,52
23	155,52	146,88	250,56	204,48	172,80	198,72	158,40	146,88	181,44	178,56	296,64	218,88
24	146,88	167,04	187,20	187,20	192,96	178,56	164,16	158,40	207,36	207,36	403,20	224,64
25	322,56	158,40	178,56	198,72	253,44	172,80	158,40	164,16	181,44	204,48	400,32	201,60
26	146,88	146,88	175,68	184,32	172,80	175,68	149,76	161,28	187,20	207,36	241,92	216,00
27	164,16	420,48	167,04	178,56	164,16	167,04	155,52	146,88	195,84	210,24	236,16	216,00
28	161,28	380,16	184,32	230,40	164,16	244,80	146,88	146,88	190,08	227,52	216,00	207,36
29	152,64		218,88	204,48	167,04	169,92	167,04	155,52	178,56	253,44	325,44	210,24
30	146,88		244,80	169,92	161,28	146,88	155,52	155,52	175,68	290,88	198,72	201,60
31	149,76		164,16		169,92		161,28	155,52		239,04		227,52

Tabela A.8. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Serralves (2018)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	18,39	18,39	60,75	13,96	14,85	13,96	29,27	18,44	16,20	17,55	14,39	16,63
2	18,39	18,39	20,71	37,80	13,04	14,85	22,49	16,23	13,50	18,87	13,96	16,20
3	17,98	0,89	55,32	27,46	12,15	8,53	15,74	13,04	12,58	13,50	14,42	15,77
4	19,79	0,89	27,03	23,84	14,85	17,12	17,58	17,09	14,42	12,61	72,44	21,14
5	10,80	0,92	51,73	14,85	13,50	16,66	12,58	12,61	14,39	11,72	22,49	17,09
6	1,81	18,39	27,46	51,30	10,37	17,09	18,01	19,36	13,50	10,34	38,26	12,15
7	1,81	4,48	15,74	19,79	12,58	23,84	17,09	13,04	15,77	12,58	18,44	13,96
8	1,35	9,91	15,74	44,12	15,74	13,96	13,04	16,66	23,38	11,72	34,21	14,85
9	2,24	17,12	31,97	38,69	16,23	18,44	13,96	12,58	11,26	12,61	20,25	10,80
10	1,35	23,41	39,15	39,58	13,04	22,06	18,44	12,61	20,25	13,93	38,26	15,74
11	0,89	27,89	28,35	20,28	26,54	14,42	17,12	15,77	12,58	31,05	74,25	14,85
12	2,73	14,85	23,41	28,78	14,42	10,31	17,52	11,66	15,31	13,07	10,80	36,02
13	0,89	14,39	20,22	11,26	18,41	14,88	15,31	12,64	14,85	49,03	11,69	42,74
14	18,39	39,61	33,75	17,98	14,88	13,93	21,63	13,93	14,42	32,40	14,85	13,96
15	18,39	33,29	23,44	19,36	13,93	16,23	14,85	17,09	14,82	36,45	14,42	75,14
16	18,39	17,98	32,37	13,53	19,36	12,58	13,93	13,96	11,72	13,04	11,69	29,70
17	18,39	20,28	36,02	17,55	15,28	12,15	13,07	12,58	11,26	22,06	15,74	14,39
18	0,89	13,50	23,38	15,74	11,29	16,63	20,22	14,85	12,58	16,63	8,99	32,86
19	18,39	19,33	39,15	16,20	18,41	10,37	14,88	16,23	15,31	16,66	19,36	28,35
20	18,39	17,12	16,20	14,82	12,64	16,20	17,06	16,63	19,79	13,50	21,60	27,00
21	18,39	15,28	14,42	14,42	11,69	12,15	18,47	15,31	11,26	12,15	17,09	15,31
22	18,39	19,36	15,28	16,20	16,20	24,76	14,39	18,90	17,55	12,61	59,40	11,23
23	0,46	16,20	33,32	15,74	17,09	18,90	14,85	14,39	15,74	11,69	21,60	11,26
24	18,39	17,09	21,60	13,96	19,36	14,39	18,01	13,04	15,77	18,01	40,50	12,15
25	3,16	19,36	16,20	15,31	29,70	14,42	16,20	13,53	15,31	11,69	36,91	8,10
26	0,89	20,71	15,74	15,74	15,74	13,93	16,66	13,04	15,28	12,15	13,04	14,39
27	18,39	64,34	13,50	16,20	13,07	15,74	17,55	17,55	13,50	14,39	14,42	16,66
28	18,39	59,40	17,55	23,38	11,69	20,71	20,25	15,31	13,96	9,94	17,55	14,42
29	0,89		21,60	20,71	12,58	13,96	13,50	12,12	14,39	22,49	24,76	14,85
30	18,39		22,03	18,47	14,42	38,23	15,74	16,23	13,07	27,00	14,39	15,28
31	18,39		18,01		13,93		18,44	14,39		20,68		11,69

Tabela A.9. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Tirares (2018)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	8,45	8,45	8,45	8,45	8,45	4,95	8,53	5,72	6,44	13,48	15,65	4,99
2	8,45	8,45	8,45	8,45	8,45	5,72	9,94	7,08	6,36	10,71	14,20	4,99
3	8,45	8,45	8,45	8,45	8,45	4,27	15,65	6,40	3,54	5,63	9,26	2,09
4	8,45	8,45	8,45	8,45	2,13	4,99	6,40	5,72	4,99	6,44	44,74	3,54
5	8,45	8,45	8,45	8,45	7,12	4,99	5,72	6,40	3,54	15,61	33,44	2,90
6	8,45	8,45	8,45	8,45	6,40	5,67	5,63	4,22	8,45	12,80	18,47	5,67
7	8,45	8,45	8,45	8,45	4,95	7,12	5,72	6,44	8,45	16,34	10,66	5,67
8	8,45	8,45	8,45	8,45	6,40	3,54	6,40	4,99	15,65	12,80	13,52	4,99
9	8,45	8,45	8,45	8,45	6,44	5,67	5,67	6,36	15,61	9,98	6,40	4,95
10	8,45	8,45	8,45	8,45	5,67	9,98	7,12	5,67	13,52	14,20	21,33	6,40
11	8,45	8,45	8,45	8,45	4,95	5,67	7,85	7,12	14,20	15,65	32,67	2,86
12	8,45	8,45	8,45	8,45	4,31	6,40	7,08	7,12	10,66	10,66	5,72	4,99
13	8,45	8,45	8,45	8,45	7,08	5,67	7,08	5,67	9,94	31,26	4,99	11,39
14	8,45	8,45	8,45	8,45	3,58	6,40	6,44	7,12	13,52	24,91	5,67	3,54
15	8,45	8,45	8,45	8,45	3,54	7,12	7,08	5,67	12,07	27,68	5,67	17,74
16	8,45	8,45	8,45	8,45	6,36	6,36	7,85	4,27	14,93	12,80	4,99	15,65
17	8,45	8,45	8,45	8,45	3,58	5,72	4,99	5,67	8,57	14,97	3,54	6,40
18	8,45	8,45	8,45	8,45	3,58	4,95	4,95	5,72	11,39	14,93	5,72	10,66
19	8,45	8,45	8,45	8,45	4,95	6,44	6,40	4,99	13,48	10,66	5,67	5,67
20	8,45	8,45	8,45	8,45	3,54	5,67	4,95	4,99	10,66	14,93	6,40	19,24
21	8,45	8,45	8,45	8,45	4,99	4,99	5,72	6,40	9,26	15,61	4,99	8,45
22	8,45	8,45	8,45	8,45	3,54	5,67	6,40	7,08	15,61	14,20	7,81	16,34
23	8,45	8,45	8,45	8,45	4,27	5,72	7,12	6,40	9,94	14,97	6,40	11,35
24	8,45	8,45	8,45	6,40	4,27	8,49	6,36	6,40	10,71	11,35	7,12	13,52
25	8,45	8,45	8,45	7,08	12,80	6,44	5,72	5,72	14,20	12,11	10,66	6,40
26	8,45	8,45	8,45	2,13	6,40	6,40	5,67	5,63	12,07	8,45	7,81	5,67
27	8,45	8,45	8,45	8,45	7,81	4,95	4,99	7,85	12,80	8,45	3,54	5,72
28	8,45	8,45	8,45	8,45	4,99	4,99	5,72	2,86	9,98	17,74	2,86	3,54
29	8,45		8,45	8,45	4,27	5,67	5,67	6,40	14,89	14,97	7,81	6,40
30	8,45		8,45	8,45	3,54	6,40	5,67	5,67	10,71	19,88	7,12	6,40
31	8,45		8,45		5,72		5,67	5,67		12,80		4,95

Tabela A.10. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Augusto Lessa (2019)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	8,42	16,08	6,51	7,28	8,81	8,42	5,74	3,83	4,98	6,51	16,47	18,38
2	5,74	9,57	7,66	6,51	6,89	8,04	6,51	5,74	3,45	4,21	10,34	10,34
3	6,89	6,51	10,34	4,59	6,89	6,13	7,28	3,45	3,45	2,68	20,29	8,81
4	6,89	8,42	4,21	17,61	9,19	8,04	4,21	4,59	4,59	4,59	22,59	7,28
5	6,51	7,28	41,35	11,10	7,66	8,42	6,13	5,74	3,45	5,74	11,87	8,04
6	6,89	6,13	19,15	13,40	8,81	23,74	5,74	4,59	3,45	4,21	17,23	10,72
7	6,51	7,28	12,25	19,91	9,96	8,42	5,36	5,36	3,83	4,59	16,85	6,51
8	6,51	6,89	9,57	13,40	8,81	4,98	6,13	23,74	4,59	3,06	9,19	11,49
9	6,89	6,51	11,49	13,02	12,25	7,28	5,74	9,57	2,30	3,83	34,84	6,13
10	6,89	16,85	7,28	9,57	8,04	6,89	4,59	4,21	3,45	4,59	12,25	8,42
11	6,51	8,42	9,19	8,42	7,66	6,51	5,74	4,98	3,06	4,98	9,96	13,40
12	8,42	6,51	8,04	8,81	8,42	4,98	6,51	4,59	3,06	10,30	18,38	39,06
13	7,66	8,42	5,36	9,19	5,74	6,89	4,21	1,15	3,83	10,30	12,25	16,08
14	4,98	8,81	7,66	6,89	8,04	6,89	7,28	2,68	4,21	21,44	17,61	13,78
15	6,13	6,51	7,28	9,57	6,13	7,28	4,21	6,13	3,83	5,36	9,19	69,69
16	7,28	8,42	9,57	7,66	8,42	7,66	3,83	3,06	4,59	39,06	6,89	30,63
17	11,49	8,04	7,28	12,25	6,89	7,66	6,51	4,59	4,21	14,17	12,25	12,64
18	10,30	10,34	5,36	10,72	6,13	5,36	5,36	4,59	3,06	9,96	10,72	23,74
19	10,30	8,04	7,66	9,57	7,66	6,13	6,13	3,83	6,51	146,27	22,97	145,51
20	6,13	4,98	10,30	7,66	7,66	6,13	5,36	3,83	4,59	10,34	12,25	44,42
21	7,66	8,42	10,30	6,51	8,81	3,83	5,36	3,06	11,10	6,89	18,38	31,40
22	7,28	7,66	6,13	12,25	4,59	6,89	5,74	5,36	5,74	5,74	32,16	35,99
23	8,81	7,28	6,89	19,15	10,30	29,48	3,83	3,06	5,36	5,74	13,40	11,87
24	8,04	8,04	6,89	26,42	10,30	7,66	5,36	4,21	8,42	5,74	17,23	9,96
25	5,74	7,66	7,66	29,48	7,28	6,51	6,89	6,13	4,98	4,98	8,81	8,42
26	10,34	5,74	4,98	11,49	6,13	5,36	3,83	5,74	4,98	8,04	40,21	9,19
27	2,68	7,66	5,74	16,85	7,28	4,98	7,66	4,59	3,06	5,36	10,34	7,66
28	13,02	6,51	7,66	8,42	6,89	5,74	6,51	4,59	6,51	6,51	25,27	9,57
29	10,34		4,98	7,28	7,28	8,04	6,13	5,74	6,13	11,49	15,32	11,49
30	33,70		9,19	8,42	6,89	9,19	4,59	4,59	4,21	80,41	28,34	8,81
31	32,16		6,51		5,74		4,59	5,36		11,49		13,02

Tabela A.11. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória do Bacelo (2019)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	294,67	379,48	160,52	278,79	217,06	229,45	220,55	266,51	194,08	195,88	264,71	494,15
2	227,65	224,05	180,00	248,82	252,32	224,15	206,47	261,21	176,51	188,79	261,11	262,91
3	160,62	174,71	238,24	232,94	238,24	231,14	217,06	245,22	195,88	176,51	390,07	252,42
4	148,24	164,12	173,01	409,45	243,53	225,85	213,56	224,15	183,49	183,49	467,58	241,73
5	157,02	153,53	522,32	377,68	199,38	190,59	204,67	208,27	215,26	197,68	291,18	236,44
6	158,82	165,92	672,25	381,18	180,00	397,06	236,44	208,16	211,76	202,98	370,59	215,36
7	142,94	137,65	250,62	513,53	213,56	257,72	224,15	250,62	188,89	199,38	291,18	236,44
8	146,44	157,02	187,09	381,18	252,32	231,14	194,08	548,79	199,38	188,79	232,94	266,51
9	144,74	164,12	217,06	547,09	195,88	201,18	210,07	404,15	178,20	197,68	460,59	192,28
10	155,33	351,21	201,18	257,61	199,48	187,09	222,35	277,09	169,41	199,38	261,21	188,89
11	149,93	150,04	169,41	218,86	194,08	188,79	308,75	236,44	195,88	187,09	204,67	312,35
12	164,12	162,32	180,00	213,46	190,59	199,38	268,31	176,51	183,60	202,98	361,80	1319,93
13	164,12	220,55	174,71	231,25	187,09	192,39	247,02	174,71	185,29	640,59	303,56	395,36
14	151,84	225,95	186,99	234,64	222,35	209,96	243,53	194,08	202,87	564,67	397,06	382,87
15	142,94	204,67	174,71	333,53	280,59	234,74	238,24	231,14	194,19	181,80	224,05	1514,12
16	155,22	206,47	187,09	250,62	202,87	218,86	245,33	208,27	183,49	748,16	195,88	998,89
17	153,53	209,96	172,91	315,95	213,56	188,79	250,52	187,09	180,00	495,95	261,21	427,02
18	158,82	252,42	173,01	384,67	227,65	247,02	227,65	172,91	180,00	215,26	192,39	622,91
19	354,71	197,58	171,21	252,32	218,86	218,86	220,66	211,76	194,08	1311,14	227,65	1614,71
20	150,04	183,60	84,60	245,33	185,29	204,67	220,55	197,68	174,71	238,24	255,81	1858,24
21	148,24	162,32	276,53	211,76	183,49	194,19	218,86	208,16	337,13	190,59	289,48	1657,06
22	187,09	165,92	276,53	344,12	192,39	224,05	217,06	199,48	195,88	197,68	610,52	700,52
23	224,05	190,59	276,53	386,47	185,29	705,92	238,24	183,49	181,69	199,38	287,68	481,76
24	171,21	194,08	276,53	704,12	180,00	240,04	282,28	194,08	259,41	183,60	351,21	487,06
25	157,02	171,21	276,53	471,18	190,59	201,18	270,00	224,15	178,31	188,79	248,82	444,71
26	183,60	157,02	276,53	270,00	202,87	204,67	238,24	176,51	188,79	208,27	395,26	425,33
27	33,46	158,82	276,53	245,33	195,88	240,04	264,71	183,49	181,80	197,58	248,82	421,73
28	294,78	165,92	165,92	250,52	190,59	232,94	300,07	183,49	202,87	192,39	513,53	405,95
29	241,73		259,41	199,48	194,19	236,44	305,26	176,51	197,68	273,49	365,29	381,18
30	767,65		287,68	201,18	208,16	229,45	292,98	181,80	180,00	1180,59	559,38	354,71
31	668,86		257,61		211,76		261,11	190,59		231,25		382,87

Tabela A.12. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória da Igreja Paranhos (2019)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	22,77	38,25	24,59	30,05	29,14	38,25	31,87	32,79	34,61	37,95	33,27	29,14
2	28,23	29,14	27,32	30,96	31,87	39,16	30,96	28,23	30,96	35,97	30,17	28,32
3	24,59	23,68	34,61	27,32	34,61	38,25	32,79	28,23	30,96	36,12	50,73	31,05
4	23,68	27,32	25,50	71,95	32,79	33,70	28,23	29,14	33,70	34,62	49,79	30,05
5	23,68	24,59	61,02	34,61	30,96	36,43	30,96	31,87	32,79	32,48	39,77	33,88
6	21,86	21,86	57,37	22,77	29,14	50,09	32,79	28,23	33,70	32,63	35,30	36,06
7	24,59	22,77	33,70	46,45	36,43	31,87	25,50	29,14	32,79	37,49	44,96	32,33
8	22,77	21,86	24,59	32,79	42,80	28,23	29,14	77,41	33,70	35,66	34,58	42,07
9	23,68	22,77	28,23	53,73	32,79	34,61	32,79	44,62	31,87	39,17	66,08	33,79
10	22,77	43,71	29,14	26,41	33,70	32,79	31,87	27,32	32,79	34,91	34,61	36,70
11	21,86	21,86	28,23	24,59	36,43	27,32	30,96	26,41	30,96	35,82	31,42	58,01
12	20,95	21,86	30,96	27,32	34,61	30,05	30,96	28,23	31,87	32,94	55,04	124,68
13	20,04	23,68	28,23	27,32	36,43	27,32	31,87	25,50	35,52	105,80	34,66	42,89
14	20,95	22,77	25,50	27,32	33,70	26,41	30,96	27,32	33,70	87,88	51,27	43,80
15	19,12	22,77	26,41	35,52	38,25	31,87	32,79	30,96	33,70	31,72	29,45	119,94
16	20,95	24,59	33,70	23,68	31,87	26,41	27,32	29,14	31,87	95,17	29,63	48,90
17	24,59	26,41	28,23	35,52	36,43	28,23	32,79	27,32	35,52	58,14	38,86	29,96
18	25,50	31,87	30,05	39,16	30,96	30,96	31,87	30,96	35,52	37,03	33,63	63,75
19	45,54	24,59	25,50	30,05	34,61	32,79	30,96	23,68	35,52	140,70	36,79	115,11
20	24,59	25,50	30,96	31,87	32,79	30,05	24,59	26,41	31,87	34,31	36,70	49,82
21	24,59	26,41	28,23	27,32	34,61	29,14	26,41	21,86	46,45	37,34	47,36	55,64
22	30,96	23,68	29,14	43,71	34,61	34,61	29,14	27,32	27,32	37,79	59,38	49,18
23	29,14	20,95	29,14	52,82	40,07	79,23	27,32	29,14	30,05	36,57	32,97	35,97
24	24,59	24,59	31,87	66,48	36,43	37,34	29,14	28,23	43,71	33,24	41,16	37,89
25	21,86	28,23	30,96	44,62	38,25	29,14	33,70	36,43	36,43	38,86	30,60	37,43
26	20,95	24,59	29,14	26,41	36,43	34,61	31,87	30,96	34,61	35,82	53,91	36,15
27	3,64	26,41	31,87	24,59	36,43	34,61	29,14	27,32	32,79	33,54	26,05	36,43
28	46,45	23,68	29,14	27,32	43,71	32,79	28,23	32,79	10,93	38,26	58,92	36,88
29	32,79		26,41	25,50	42,80	32,79	30,96	27,32	34,97	40,83	34,61	31,97
30	77,41		32,79	22,77	40,98	27,32	29,14	29,14	27,47	99,58	48,81	31,24
31	63,75		30,05		39,16		30,05	30,96		35,82		35,70

Tabela A.13. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Nevogilde (2019)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	13,06	37,57	15,90	12,59	14,39	21,02	11,83	10,70	10,50	15,52	26,02	52,24
2	9,09	24,98	15,52	17,60	14,29	19,68	12,02	13,82	14,67	14,96	18,46	33,98
3	6,91	18,17	18,83	16,09	15,43	15,90	40,32	14,38	12,21	9,84	21,38	30,09
4	13,06	14,00	15,14	25,75	15,43	17,60	42,97	14,01	13,06	13,15	34,07	26,97
5	11,26	5,87	46,18	29,62	16,37	14,58	13,72	12,21	8,99	12,31	24,60	30,10
6	12,30	13,25	92,08	33,41	15,33	30,19	12,58	13,82	12,68	12,30	29,62	33,59
7	8,80	16,75	28,30	42,68	11,36	25,84	14,29	14,67	13,91	13,43	23,47	38,04
8	7,48	14,96	24,42	30,09	19,21	17,32	13,82	27,35	14,76	12,97	23,94	41,55
9	12,49	13,82	19,87	30,66	16,09	16,09	12,40	23,66	13,34	14,76	47,32	32,37
10	11,45	29,53	17,51	18,17	21,20	14,10	14,00	15,43	11,36	13,82	23,37	34,54
11	10,03	18,64	17,41	14,95	23,75	12,68	11,17	15,42	11,07	13,54	23,56	54,89
12	14,95	21,11	13,72	18,64	21,11	16,94	12,30	14,76	12,97	13,05	18,83	91,05
13	16,09	18,36	15,14	16,76	14,76	13,91	10,69	14,01	12,59	50,92	25,75	62,18
14	15,80	15,90	16,09	20,44	16,56	16,00	9,84	11,45	14,38	55,18	39,84	53,75
15	12,88	19,58	16,93	16,29	17,98	13,53	10,03	14,01	11,74	16,00	14,10	20,50
16	16,27	18,08	16,00	16,18	17,51	14,67	15,05	14,19	13,43	44,95	20,07	20,50
17	12,02	17,60	17,13	18,55	19,69	10,78	15,33	12,49	10,03	35,58	24,98	20,50
18	14,86	24,98	16,66	23,47	20,82	12,96	8,43	9,18	13,63	16,56	19,49	20,50
19	30,66	13,53	16,84	13,34	16,09	10,60	12,68	14,10	12,87	110,16	21,48	20,50
20	18,26	10,98	17,79	10,98	16,28	13,34	13,53	13,34	13,63	23,66	27,54	20,50
21	17,03	15,71	15,62	10,89	16,75	12,59	13,91	14,01	21,48	15,71	45,05	20,50
22	16,47	13,34	14,48	17,13	19,02	12,78	14,38	11,92	14,85	14,29	64,16	83,95
23	22,90	15,52	17,70	33,88	16,09	44,76	9,56	11,45	10,60	15,34	37,95	63,88
24	21,96	16,66	17,22	41,45	14,49	16,00	13,34	11,36	17,23	15,42	31,99	55,27
25	14,29	14,01	15,62	26,98	18,55	13,82	14,57	11,64	12,40	14,20	29,81	45,14
26	15,24	13,91	16,47	17,89	14,38	12,69	11,74	12,30	11,36	15,71	57,92	41,74
27	2,46	15,34	15,33	16,37	14,20	9,27	18,17	14,58	12,49	17,32	31,42	37,19
28	27,82	15,61	13,16	13,16	17,89	15,14	12,21	14,58	13,15	18,36	43,82	34,73
29	21,30		19,31	16,18	10,41	12,68	16,85	11,35	11,83	21,38	37,57	29,53
30	41,26		18,07	15,42	18,36	13,25	14,19	7,77	12,68	93,41	53,56	26,69
31	47,79		16,85		19,40		10,60	11,35		23,56		25,27

Tabela A.14. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Nova Rio (2019)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	11,85	69,74	18,18	18,77	21,93	20,74	18,18	22,72	13,24	27,86	112,81	42,87
2	49,39	43,07	20,55	16,00	26,47	13,63	18,97	18,18	21,34	29,44	88,90	36,94
3	19,76	27,26	25,29	14,62	42,48	18,97	19,95	16,60	19,76	28,45	112,61	36,15
4	17,78	36,35	23,90	60,85	29,83	20,15	16,99	10,87	25,68	25,29	148,76	37,54
5	19,76	36,55	97,00	28,84	18,97	22,32	17,78	19,16	22,52	18,18	120,31	37,93
6	13,83	33,98	55,32	33,59	24,89	69,54	19,36	20,74	22,72	11,06	140,86	33,98
7	19,76	33,78	24,30	36,75	23,90	32,80	12,64	24,10	20,35	21,73	111,82	32,60
8	47,41	33,59	18,18	31,61	30,62	27,46	15,61	81,59	10,87	30,42	89,30	32,60
9	35,56	32,40	22,32	40,30	26,67	21,34	19,16	54,72	18,77	26,28	158,64	30,62
10	19,76	55,32	15,41	26,47	23,71	19,76	19,36	18,77	18,77	31,21	76,65	30,82
11	15,80	26,47	21,14	23,11	23,51	25,68	17,39	13,24	20,94	28,05	75,86	46,23
12	17,78	20,74	21,53	20,74	14,82	25,49	20,35	18,97	22,32	27,66	96,21	188,67
13	13,83	20,55	18,37	23,31	21,73	23,90	18,77	21,14	25,68	90,48	67,37	314,91
14	18,43	39,36	18,18	18,77	21,53	22,13	12,64	19,76	25,68	81,79	70,53	39,36
15	20,09	21,34	19,76	28,65	25,09	21,14	22,72	16,00	17,19	36,15	40,50	437,99
16	17,76	21,93	20,94	21,14	18,57	15,01	20,94	20,15	25,49	135,33	32,40	147,58
17	19,78	18,57	16,60	33,59	21,14	25,29	19,95	17,78	27,86	41,88	32,40	107,47
18	39,36	26,67	18,57	37,54	21,34	28,65	18,37	14,22	29,44	38,52	39,71	123,67
19	39,36	18,57	16,79	25,88	15,21	28,05	20,55	19,16	27,07	236,48	48,20	359,36
20	39,36	18,97	17,58	22,92	20,74	14,82	20,35	23,51	22,13	71,52	45,04	238,65
21	39,36	21,93	39,36	21,53	20,15	18,77	12,45	24,89	37,34	67,57	74,88	170,89
22	39,36	17,78	17,39	41,29	19,56	23,51	20,35	29,44	13,24	66,58	101,55	136,51
23	39,36	21,73	18,37	54,92	24,89	65,00	20,94	28,84	20,74	61,05	36,94	95,03
24	24,10	15,21	11,46	71,71	20,55	16,99	20,55	17,39	42,08	51,56	45,83	71,12
25	19,36	19,36	17,58	38,33	22,13	17,58	23,71	21,34	25,49	42,28	38,33	60,26
26	20,15	17,19	17,39	29,04	15,21	20,15	19,16	19,56	29,63	30,03	169,51	64,60
27	3,95	20,15	18,97	27,46	22,92	17,98	19,76	19,76	26,28	20,94	88,90	63,22
28	31,02	17,19	14,82	19,56	19,95	20,55	13,04	22,52	21,73	36,15	130,79	55,71
29	26,28		16,79	27,46	18,57	19,36	20,74	21,34	10,87	42,08	63,61	46,03
30	85,74		20,35	25,88	21,14	13,24	26,28	18,97	20,74	268,09	71,91	55,71
31	111,23		12,84		20,15		24,70	19,36		113,99		41,69

Tabela A.15. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória do Pêgo Negro (2019)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	7,99	41,90	7,44	7,44	9,17	6,89	9,17	8,62	6,93	10,34	17,82	33,87
2	9,24	12,06	8,03	7,48	6,34	7,44	6,34	6,89	7,44	8,62	13,78	14,92
3	6,89	11,51	14,96	7,44	9,17	6,89	9,72	8,65	8,03	6,34	34,46	12,65
4	9,17	10,34	9,20	28,19	8,06	8,06	8,65	8,58	9,20	6,89	38,49	13,78
5	12,06	8,62	56,82	18,37	7,44	7,44	7,44	6,34	7,48	8,03	30,98	11,51
6	9,20	9,75	37,35	18,92	8,06	30,43	9,20	9,17	8,03	7,44	22,98	10,89
7	7,44	8,62	14,92	40,80	8,62	10,92	9,75	8,65	8,62	6,89	13,23	8,06
8	6,34	9,20	11,51	20,09	16,64	6,34	8,62	39,63	9,17	7,48	12,06	14,34
9	42,49	7,48	12,03	41,94	10,34	6,31	9,20	16,06	8,06	8,62	42,49	11,51
10	66,06	37,32	9,79	9,79	8,61	6,31	7,44	7,44	6,89	8,62	16,06	8,58
11	6,86	18,37	8,06	8,03	7,44	4,58	9,79	10,92	7,44	8,03	9,79	22,98
12	8,06	12,65	9,17	8,03	8,65	6,93	9,79	7,48	9,24	8,06	31,60	105,10
13	6,34	9,79	6,31	7,44	6,86	4,58	8,58	6,89	9,75	57,44	20,09	39,63
14	6,31	9,17	8,06	9,79	8,06	8,62	6,34	8,62	8,03	57,44	28,74	24,12
15	7,48	8,06	6,31	13,78	6,89	6,31	8,03	7,44	6,89	7,44	9,17	151,04
16	7,44	7,44	9,20	8,03	6,31	6,89	8,61	8,06	6,31	97,04	13,23	87,32
17	7,44	9,20	8,62	16,68	6,89	6,89	9,20	8,03	7,48	18,99	17,23	56,86
18	7,48	16,09	9,17	21,81	8,06	9,20	10,92	8,06	6,89	10,89	11,48	78,12
19	41,94	5,72	8,06	9,20	6,31	8,06	12,03	8,03	5,17	262,48	16,64	319,89
20	9,75	7,44	6,89	7,44	4,62	8,03	12,65	10,89	8,03	28,71	14,96	205,04
21	7,48	10,37	8,58	9,20	6,89	6,89	9,75	8,06	20,12	12,10	26,98	122,88
22	14,92	9,17	7,48	20,12	7,44	7,44	10,34	6,34	7,48	7,99	47,66	112,58
23	16,09	9,75	6,93	19,22	8,03	61,48	8,65	8,03	6,89	8,65	16,06	89,60
24	9,20	9,20	6,89	80,40	19,22	8,03	10,89	8,61	14,89	8,03	27,60	81,57
25	6,86	8,65	7,44	32,19	9,75	11,51	10,34	9,17	12,10	6,89	12,03	79,84
26	11,51	8,58	8,62	14,89	8,03	6,89	9,17	10,34	8,03	12,06	67,23	69,47
27	2,27	7,48	7,48	10,92	8,62	6,86	8,65	6,31	8,03	10,34	12,06	63,75
28	15,54	5,75	6,31	12,06	7,48	8,03	8,58	62,06	6,93	8,62	44,21	57,44
29	18,37		7,48	7,48	8,03	6,89	11,51	19,22	8,03	20,68	25,29	52,83
30	102,24		8,03	7,48	6,31	7,51	19,22	8,62	9,17	129,81	45,94	37,91
31	78,67		9,20		8,06		130,95	6,89		16,06		36,18

Tabela A.16. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Pinheiro Torres (2019)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	201,60	334,08	195,84	328,32	161,28	164,16	178,56	144,00	155,52	144,00	218,02	218,02
2	210,24	227,52	198,72	290,88	175,68	135,36	172,80	144,00	146,88	155,52	616,32	218,02
3	207,36	213,12	253,44	264,96	161,28	146,88	164,16	155,52	155,52	144,00	218,02	218,02
4	198,72	204,48	198,72	383,04	167,04	2,88	164,16	144,00	146,88	144,00	218,02	218,02
5	198,72	195,84	400,32	181,44	164,16	103,68	158,40	152,64	141,12	155,52	218,02	218,02
6	198,72	195,84	492,48	184,32	161,28	305,28	175,68	146,88	152,64	149,76	218,02	627,84
7	195,84	204,48	311,04	391,68	158,40	158,40	164,16	144,00	149,76	152,64	218,02	576,00
8	184,32	195,84	227,52	169,92	155,52	146,88	164,16	336,96	144,00	184,32	622,08	573,12
9	187,20	204,48	216,00	253,44	158,40	141,12	164,16	239,04	149,76	244,80	619,20	622,08
10	187,20	380,16	216,00	155,52	152,64	146,88	167,04	152,64	149,76	241,92	564,48	581,76
11	187,20	218,88	224,64	158,40	169,92	144,00	164,16	141,12	155,52	149,76	535,68	218,02
12	187,20	221,76	221,76	146,88	167,04	149,76	187,20	149,76	155,52	155,52	218,02	218,02
13	198,72	207,36	218,88	141,12	172,80	149,76	164,16	161,28	152,64	218,02	218,02	218,02
14	184,32	213,12	204,48	152,64	167,04	144,00	169,92	141,12	164,16	218,02	218,02	218,02
15	190,08	210,24	213,12	164,16	164,16	155,52	155,52	144,00	149,76	351,36	504,00	218,02
16	192,96	213,12	204,48	146,88	155,52	161,28	158,40	138,24	169,92	218,02	420,48	218,02
17	204,48	213,12	207,36	233,28	152,64	164,16	155,52	144,00	167,04	218,02	504,00	218,02
18	210,24	227,52	213,12	192,96	155,52	184,32	172,80	141,12	149,76	653,76	504,00	218,02
19	440,64	210,24	213,12	158,40	161,28	152,64	141,12	152,64	144,00	218,02	573,12	218,02
20	216,00	207,36	207,36	141,12	146,88	172,80	155,52	149,76	144,00	529,92	218,02	218,02
21	207,36	210,24	221,76	135,36	141,12	155,52	155,52	138,24	256,32	529,92	218,02	218,02
22	250,56	207,36	213,12	221,76	149,76	164,16	152,64	158,40	144,00	388,80	218,02	218,02
23	224,64	213,12	221,76	325,44	152,64	483,84	149,76	152,64	138,24	423,36	218,02	218,02
24	216,00	213,12	213,12	492,48	152,64	169,92	141,12	146,88	144,00	365,76	218,02	218,02
25	204,48	221,76	218,88	233,28	152,64	175,68	152,64	216,00	144,00	360,00	218,02	218,02
26	224,64	216,00	259,20	155,52	155,52	152,64	146,88	152,64	158,40	293,76	218,02	218,02
27	31,68	210,24	311,04	152,64	169,92	164,16	149,76	149,76	175,68	256,32	218,02	218,02
28	383,04	195,84	302,40	161,28	155,52	158,40	146,88	146,88	146,88	443,52	218,02	218,02
29	236,16		308,16	146,88	164,16	172,80	152,64	144,00	141,12	532,80	218,02	218,02
30	616,32		302,40	152,64	169,92	178,56	152,64	138,24	152,64	218,02	218,02	218,02
31	440,64		288,00		164,16		155,52	144,00		656,64		218,02

Tabela A.17. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Serralves (2019)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	27,89	30,56	15,23	21,17	16,20	13,53	8,99	7,61	7,18	10,80	11,26	12,12
2	10,80	16,23	15,23	17,98	16,63	10,80	9,02	8,56	10,37	11,23	8,96	26,11
3	15,28	13,93	15,23	18,90	16,20	8,99	10,80	4,97	9,91	11,29	16,69	14,39
4	13,53	12,61	15,23	15,23	18,01	13,96	5,86	7,18	9,88	8,53	27,00	8,99
5	18,01	18,90	15,23	15,23	13,50	12,15	11,69	7,21	10,80	8,56	13,50	14,85
6	12,58	14,85	12,58	25,19	16,20	18,90	6,75	7,64	6,32	8,99	26,08	12,18
7	13,50	6,75	24,76	45,44	18,47	8,99	6,32	11,26	9,42	6,29	17,55	8,99
8	14,39	14,42	16,66	16,66	22,95	10,80	7,18	24,30	6,32	9,91	13,50	16,20
9	14,39	15,71	18,90	26,08	14,85	9,45	9,02	10,34	10,34	8,10	47,25	13,96
10	16,20	38,26	13,96	18,90	18,44	9,45	8,53	7,21	9,48	11,26	14,39	8,99
11	10,37	15,31	23,38	19,36	18,44	11,69	9,02	4,94	9,88	15,74	8,56	18,44
12	33,32	13,50	22,52	19,79	17,58	13,96	7,18	6,32	9,02	11,69	17,55	34,64
13	31,48	19,33	22,03	19,36	17,09	9,45	8,10	7,64	9,42	35,56	15,28	13,07
14	16,66	24,33	18,01	14,39	21,14	8,53	6,75	6,29	11,72	20,25	22,09	14,39
15	12,15	12,15	15,28	17,55	17,12	12,18	8,56	6,29	5,83	9,45	12,58	70,66
16	13,93	17,09	22,06	10,80	17,98	6,72	5,83	6,32	9,91	37,80	10,34	25,19
17	13,07	20,71	13,50	29,73	16,20	10,37	8,56	5,40	10,34	11,72	13,96	9,02
18	14,39	18,87	18,44	26,54	18,01	13,50	9,45	4,94	9,45	8,07	13,50	25,65
19	30,13	19,39	17,58	13,93	14,39	9,91	7,64	6,32	9,48	91,34	13,50	89,53
20	16,69	15,28	21,14	13,96	13,96	8,99	7,64	8,10	10,34	9,02	13,50	20,71
21	15,74	14,85	20,25	10,80	21,57	8,10	5,89	8,56	13,96	11,23	25,65	19,33
22	20,25	1,35	17,09	23,38	10,80	10,37	8,53	7,18	6,26	10,37	43,66	17,12
23	18,44	15,23	24,30	31,05	9,48	39,15	10,34	9,45	7,21	12,15	17,52	10,37
24	17,55	15,23	16,66	58,54	8,56	11,66	7,67	7,18	14,85	11,26	27,49	12,58
25	11,23	15,23	15,77	31,48	13,01	6,78	10,80	7,67	6,78	9,88	18,44	9,45
26	18,47	15,23	19,33	11,69	9,91	8,99	4,94	8,10	11,69	14,42	35,10	7,21
27	2,24	15,23	14,42	16,66	7,21	8,99	8,99	11,26	8,53	7,18	9,45	8,56
28	25,65	15,23	20,68	10,80	12,61	9,91	5,86	12,15	10,83	18,01	21,57	8,96
29	21,17		18,44	14,85	8,53	9,45	6,75	11,23	5,83	17,98	14,85	6,75
30	58,05		20,71	17,55	9,91	8,99	6,75	7,67	9,45	73,82	23,44	9,94
31	46,36		22,03		9,88		6,32	7,64		11,29		12,15

Tabela A.18. Caudais bombeados, em m³, pela estação elevatória de Tirares (2019)

Dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	2,86	9,21	3,54	5,72	4,26	7,08	2,81	4,99	4,95	5,72	7,80	9,26
2	6,40	7,12	4,27	4,95	4,95	6,40	2,86	4,22	2,86	4,26	6,40	4,95
3	4,99	4,27	7,12	4,99	5,72	5,67	5,67	3,58	5,72	3,54	13,48	5,67
4	4,95	3,54	6,35	14,20	6,40	6,40	7,12	4,95	4,95	5,72	12,79	7,17
5	7,12	4,31	19,92	11,39	3,54	6,40	7,21	4,31	4,26	5,67	9,98	2,81
6	4,95	6,35	14,25	9,94	5,72	7,85	7,21	4,27	4,27	4,27	9,26	5,72
7	4,27	6,44	7,80	21,33	4,99	7,80	7,21	2,09	4,27	4,26	7,80	2,81
8	4,27	4,27	3,58	9,26	6,35	4,99	7,21	13,52	4,99	4,99	5,67	6,40
9	4,26	3,54	4,27	17,02	6,40	8,53	7,21	11,34	4,95	4,27	11,39	4,27
10	3,58	12,07	6,35	6,40	4,99	11,34	1,41	5,72	4,27	3,54	7,80	7,85
11	3,54	4,26	4,27	7,17	4,95	6,40	11,39	4,26	4,31	2,86	4,99	7,80
12	6,40	7,12	5,72	9,89	5,72	12,80	18,47	4,27	3,54	4,99	11,39	27,72
13	7,12	4,99	8,53	4,31	4,26	15,65	9,98	4,99	3,54	34,80	7,08	12,07
14	3,54	4,26	4,99	5,67	4,99	9,94	14,16	5,67	5,67	32,67	12,84	7,08
15	11,39	4,22	4,27	9,26	4,26	3,58	11,39	4,95	4,99	6,44	7,80	35,57
16	16,33	4,99	5,67	4,95	4,99	4,95	12,11	6,44	4,27	25,59	4,99	20,64
17	4,99	4,27	5,67	5,72	4,95	2,86	14,93	4,27	4,95	15,65	8,53	7,08
18	2,81	4,99	6,40	11,34	3,54	4,26	11,39	5,67	2,90	4,95	3,54	9,94
19	12,11	6,40	2,81	4,99	4,26	3,54	14,20	4,95	4,26	29,86	7,08	34,12
20	4,95	4,27	4,31	4,99	4,26	3,58	3,54	3,58	6,35	4,99	6,44	22,05
21	5,72	12,79	4,26	6,35	3,54	4,99	4,99	4,95	4,99	4,26	7,08	18,47
22	5,67	7,21	4,27	8,57	4,26	4,95	5,67	4,99	6,40	4,99	15,65	9,26
23	6,40	4,26	4,26	22,73	5,72	34,12	4,99	3,58	3,54	6,35	4,99	6,40
24	4,99	4,95	4,22	7,21	2,86	8,53	4,95	4,95	5,72	4,27	8,49	5,67
25	2,81	3,58	6,44	16,33	4,99	2,81	4,99	4,99	15,61	4,99	5,72	4,99
26	5,72	6,40	7,80	9,94	4,95	5,72	4,26	4,99	2,18	7,12	12,79	4,99
27	0,73	5,72	4,26	2,86	3,54	4,26	5,72	5,67	4,26	6,40	6,40	4,99
28	8,49	5,67	4,27	5,72	4,99	19,19	4,95	4,27	3,54	6,40	13,48	6,40
29	5,72		2,13	5,67	5,72	12,80	4,27	3,58	5,67	9,94	6,40	5,63
30	20,60		2,86	5,67	7,08	4,99	5,72	6,35	2,81	29,13	15,65	5,03
31	19,19		5,67		5,72		5,67	5,72		7,85		6,35

Anexo B | Tempos de Bombagem de Cada Estação Elevatória

Nas Tabelas B.1 e B.2, estão apresentados os tempos de bombagem de cada estação elevatória nos anos de 2018 e de 2019, respetivamente. De referir que alguns tempos de bombagem não estão aqui incluídos, nomeadamente quando eram valores anómalos ou quando não eram registados.

Tabela B.1. Tempos de bombagem, em horas, nas 10 estações elevatórias (2018)

Bacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Alto Arrábida	6,53	6,08	6,73	6,27	5,15	5,68	6,45	4,93	5,20	5,88	6,61	6,22
Augusto Lessa	7,82	8,05	18,62	11,67	6,50	6,93	6,68	5,00	3,81	5,90	11,71	8,51
Bacelo	---	---	---	41,07	75,57	65,98	59,77	55,27	57,97	57,75	91,93	86,27
Igreja Paranhos	105,70	103,45	128,08	117,93	87,22	97,68	92,99	94,27	84,98	128,00	253,68	99,50
Nevogilde	135,77	88,95	275,72	227,92	80,15	63,72	58,62	36,30	70,27	105,50	147,70	96,63
Nova Rio	287,71	202,84	287,78	203,90	122,00	120,90	98,00	38,90	32,40	52,30	68,50	63,70
Pêgo Negro	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Pinheiro Torres	190,10	180,40	265,10	248,90	191,80	186,70	176,30	192,00	182,20	250,00	297,30	258,60
Serralves	2,52	18,80	30,78	24,33	17,67	18,20	19,55	17,07	16,43	20,45	27,78	22,77
Tirares	---	---	---	0,37	3,45	4,15	4,83	4,30	7,25	10,08	7,85	5,27

Tabela B.2. Tempos de bombagem, em horas, nas 10 estações elevatórias (2019)

Bacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Alto Arrábida	4,80	4,23	4,26	4,24	3,98	3,70	3,57	3,70	3,65	5,35	4,66	5,88
Augusto Lessa	6,96	5,98	6,89	9,23	5,77	6,36	4,52	4,25	3,63	11,70	13,42	17,30
Bacelo	61,95	51,48	51,45	90,60	60,92	67,88	70,92	65,98	55,63	94,07	92,42	171,67
Igreja Paranhos	94,30	79,10	105,70	114,30	121,20	112,70	102,90	104,80	104,72	162,97	135,11	159,74
Nevogilde	90,92	85,90	112,23	111,93	92,13	86,42	80,40	74,90	68,67	136,90	165,75	186,45
Nova Rio	35,44	37,78	34,21	46,60	35,35	36,95	29,95	36,18	34,72	93,04	128,12	160,83
Pêgo Negro	16,52	9,57	10,05	14,67	7,00	8,67	11,62	9,83	7,45	25,45	21,48	59,03
Pinheiro Torres	250,60	214,80	267,30	222,80	172,10	173,80	172,00	170,50	161,30	271,10	189,70	183,50
Serralves	22,37	13,87	18,17	22,32	17,22	12,77	9,10	9,52	10,40	20,12	21,27	21,50
Tirares	4,85	3,62	4,23	6,03	3,58	5,68	4,63	3,80	3,40	7,05	6,18	7,48

Anexo C | Capacidade de Bombagem das Estações Elevatórias

Na Tabela C.1, encontram-se as capacidades teóricas da bombagem das estações elevatórias de cada bacia analisada. Alguns caudais foram obtidos tendo em conta a capacidade do projeto, enquanto outros foram obtidos através de estimativas *in situ*.

Tabela C.1. Capacidades teóricas de bombagem por estação elevatória

Bacia	Caudal teórico (m ³ /h)
Alto Arrábida	8,09
Augusto Lessa	38,29
Bacelo	105,88
Igreja Paranhos	9,11
Nevogilde	5,68
Nova Rio	19,76
Pêgo Negro	34,46
Pinheiro Torres	28,80
Serralves	27,00
Tirares	42,65

Anexo D | Águas Faturadas e Residuais Domésticas

Nas Tabelas D.1 e D.2, encontram-se os volumes de água faturados em cada bacia, nos anos de 2018 e de 2019, respetivamente.

Tabela D.1. Abastecimento de água para consumo, em m³, por bacia (2018)

Bacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
Alto Arrábida	53	51	53	42	69	58	55	60	57	53	47	43	641
Augusto Lessa	50	63	38	62	33	60	53	31	103	54	60	34	641
Bacelo	2783	2435	2153	2798	2935	2713	2966	3556	2329	3554	2914	2613	33749
Igreja Paranhos	621	529	605	558	496	567	576	562	555	541	625	525	6760
Nevogilde	279	316	266	327	278	265	244	260	275	489	319	546	3864
Nova Rio	1356	1135	1175	1298	1090	1208	1166	1413	1135	1176	1371	1132	14655
Pêgo Negro	136	148	129	170	169	149	171	210	116	258	151	118	1925
Pinheiro Torres	3326	3111	2874	3288	3373	3355	2994	3669	3424	3260	3510	3405	39589
Serralves	356	218	338	318	296	339	467	449	1369	659	792	591	6192
Tirares	156	137	128	151	162	118	118	142	91	132	107	94	1536

Tabela D.2. Abastecimento de água para consumo, em m³, por bacia (2019)

Bacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
Alto Arrábida	48	53	40	45	53	52	28	69	54	46	57	45	590
Augusto Lessa	51	47	45	45	54	35	186	74	55	63	24	61	740
Bacelo	2771	2692	2588	2720	2931	2869	2921	3571	2916	2775	2939	2579	34272
Igreja Paranhos	603	803	513	508	646	475	663	668	634	533	666	513	7225
Nevogilde	393	622	522	341	423	484	343	595	407	461	354	387	5332
Nova Rio	1207	1224	1079	1068	1204	1144	1483	1134	1080	1242	1302	1086	14253
Pêgo Negro	151	138	130	160	163	471	178	213	196	168	170	162	2300
Pinheiro Torres	3518	3355	3145	3182	3500	3442	3330	3520	3238	3241	3602	3117	40190
Serralves	777	883	829	771	868	724	924	988	597	731	1176	809	10077
Tirares	112	79	90	111	108	340	184	232	105	100	108	104	1673

Nas Tabelas D.3 e D.4, estão os volumes de águas residuais domésticas de cada bacia, depois de aplicado o fator de 0,9 aos volumes de água faturados, para os anos de 2018 e de 2019, respetivamente.

Tabela D.3. Volume de águas residuais domésticas, em m³, por bacia (2018)

Bacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
Alto Arrábida	48	46	48	38	62	52	50	54	51	48	42	39	577
Augusto Lessa	45	57	34	56	30	54	48	28	93	49	54	31	577
Bacelo	2505	2192	1938	2518	2642	2442	2669	3200	2096	3199	2623	2352	30374
Igreja Paranhos	559	476	545	502	446	510	518	506	500	487	563	473	6084
Nevogilde	251	284	239	294	250	239	220	234	248	440	287	491	3478
Nova Rio	1220	1022	1058	1168	981	1087	1049	1272	1022	1058	1234	1019	13190
Pêgo Negro	122	133	116	153	152	134	154	189	104	232	136	106	1733
Pinheiro Torres	2993	2800	2587	2959	3036	3020	2695	3302	3082	2934	3159	3065	35630
Serralves	320	196	304	286	266	305	420	404	1232	593	713	532	5573
Tirares	140	123	115	136	146	106	106	128	82	119	96	85	1382

Tabela D.4. Volume de águas residuais domésticas, em m³, por bacia (2019)

Bacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
Alto Arrábida	43	48	36	41	48	47	25	62	49	41	51	41	531
Augusto Lessa	46	42	41	41	49	32	167	67	50	57	22	55	666
Bacelo	2494	2423	2329	2448	2638	2582	2629	3214	2624	2498	2645	2321	30845
Igreja Paranhos	543	723	462	457	581	428	597	601	571	480	599	462	6503
Nevogilde	354	560	470	307	381	436	309	536	366	415	319	348	4799
Nova Rio	1086	1102	971	961	1084	1030	1335	1021	972	1118	1172	977	12828
Pêgo Negro	136	124	117	144	147	424	160	192	176	151	153	146	2070
Pinheiro Torres	3166	3020	2831	2864	3150	3098	2997	3168	2914	2917	3242	2805	36171
Serralves	699	795	746	694	781	652	832	889	537	658	1058	728	9069
Tirares	101	71	81	100	97	306	166	209	95	90	97	94	1506

Anexo E | Registos de Pluviosidade

Nas Tabelas E.1 e E.2, apresentam-se os volumes, medidos em milímetros, registados pelas estações meteorológicas do Batalhão de Sapadores Bombeiros do Porto, do ISEP e de Leça da Palmeira (Sardoal).

Tabela E.1. Registo da pluviosidade, em milímetros, na cidade do Porto (2018)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0,25	0,00	28,70	0,00	0,00	1,78	4,57	0,00	0,00	0,00	3,81	0,25
2	11,18	0,00	4,32	17,27	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	0,00
3	5,08	0,00	20,57	8,64	0,51	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54
4	2,29	0,00	7,87	3,81	0,00	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	25,65	0,25
5	19,81	0,00	17,53	0,00	0,00	8,38	0,00	0,00	0,25	0,00	7,62	0,00
6	0,25	0,00	7,11	23,88	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	18,80	0,25
7	0,00	0,00	0,76	4,32	0,00	6,35	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	2,03
8	0,00	0,00	3,30	22,35	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03	0,00	16,51	0,25
9	6,10	3,56	12,95	10,16	0,00	5,08	0,00	0,00	0,00	0,00	8,89	0,25
10	9,40	0,00	14,48	18,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70	0,00
11	3,30	7,87	6,86	1,27	4,83	0,25	0,51	0,00	0,00	16,26	28,19	0,00
12	1,27	0,00	7,87	6,10	0,51	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,25	13,21
13	15,49	0,51	1,27	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	25,65	0,00	8,89
14	0,51	16,26	13,72	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	0,25	12,19	0,00	0,25
15	0,51	1,27	14,22	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,05	0,00	27,94
16	1,52	1,52	14,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	4,06
17	0,25	0,25	9,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,59	0,00	0,25
18	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	0,76	13,72
19	0,25	0,00	9,91	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	18,03	2,54
20	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	8,64	7,11
21	0,51	0,00	0,00	1,52	0,00	2,54	0,00	0,00	0,00	0,25	4,06	3,81
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,10	0,00	0,00	0,00	0,00	35,05	0,51
23	0,25	0,00	15,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00
24	0,00	0,00	10,67	0,00	9,91	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	14,48	0,00
25	16,51	0,00	0,25	0,00	9,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,43	0,00
26	0,51	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00
27	0,00	32,51	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	4,06
28	0,00	23,88	2,29	7,37	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,25
29	0,00		6,35	9,40	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	8,64	8,64	0,00
30	0,00		7,87	2,54	0,25	12,70	0,00	0,00	0,00	8,13	1,78	0,00
31	0,00		1,52		1,02		0,00	0,00		2,54		0,00
Média	3,11	3,13	7,79	4,74	1,02	1,68	0,17	0,07	0,10	3,21	7,87	2,98
Total	96,26	87,63	241,53	142,25	31,50	50,29	5,33	2,03	3,03	99,57	236,21	92,42
%	8,8	8,1	22,2	13,1	2,9	4,6	0,5	0,2	0,3	9,2	21,7	8,5

Tabela E.2. Registo da pluviosidade, em milímetros, na cidade do Porto (2018)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0,00	9,91	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79	4,57	5,08
2	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	0,00
3	0,00	0,00	7,11	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	10,16	0,00
4	0,00	0,00	0,51	21,08	0,00	2,29	0,00	0,00	0,00	0,76	13,97	0,00
5	0,00	0,00	24,13	7,11	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60	0,00
6	0,00	0,00	10,92	7,62	0,00	12,70	0,00	0,00	0,00	0,00	11,43	0,00
7	0,00	0,51	5,84	13,21	2,79	2,79	0,00	1,52	0,00	0,00	7,87	0,00
8	0,00	0,51	0,51	9,40	0,00	0,00	0,00	20,83	0,00	0,00	1,52	5,84
9	0,00	0,00	0,00	10,92	2,29	0,00	0,00	3,30	0,00	0,00	18,54	0,25
10	0,00	12,70	0,00	1,52	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	1,02
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	8,38
12	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,19	24,13
13	0,00	0,00	0,00	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	3,30
14	0,00	0,00	0,00	2,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70	14,99	3,81
15	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00	0,25	0,51	0,00	0,00	0,25	0,00	39,88
16	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,88	0,51	8,89
17	0,25	2,54	0,51	10,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	6,35	0,25
18	2,29	4,06	0,00	7,37	0,51	4,32	0,00	2,03	0,00	5,08	0,00	16,76
19	13,97	0,00	0,00	2,54	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	45,72	4,83	46,48
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,33	12,95
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,72	0,00	10,92	12,70
22	6,10	0,00	0,00	7,62	0,00	2,54	0,00	0,00	0,25	0,00	18,54	7,87
23	5,08	0,00	0,00	15,75	0,00	21,08	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00
24	1,02	0,00	0,00	15,49	0,00	1,02	0,00	0,00	7,11	0,00	7,11	0,25
25	0,00	0,00	0,00	16,51	0,00	0,51	2,79	7,62	0,00	0,00	2,29	0,76
26	0,00	0,00	0,00	7,37	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	13,97	0,00
27	2,29	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
28	2,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,10	12,45	0,00
29	6,10		0,00	0,00	0,00	0,00	1,52	0,00	0,00	7,62	6,10	0,00
30	23,11		0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,56	12,45	0,00
31	16,76		0,00		0,00		0,00	0,00		3,81		0,00
Média	2,62	1,09	1,61	5,44	0,25	1,61	0,20	1,14	0,70	5,32	7,35	6,41
Total	81,29	30,48	50,03	163,31	7,87	48,25	6,34	35,30	21,08	164,84	220,47	198,60
%	7,9	3,0	4,9	15,9	0,8	4,7	0,6	3,4	2,1	16,0	21,4	19,3

Anexo F | Legenda da Carta de Ocupação do Solo do Porto

Na Figura F.1, encontra-se a legenda da carta de ocupação do solo da cidade do Porto (Figura 3.15).



Figura F.1. Legenda da carta de ocupação do solo da cidade do Porto

Anexo G | Gráficos Obtidos pela Aplicação do Método das Séries Temporais

Nas Figuras G.1 a G.9, estão apresentados os gráficos obtidos pela aplicação do método das séries temporais, a cada uma das 10 bacias analisadas, nos anos de 2018 e de 2019.

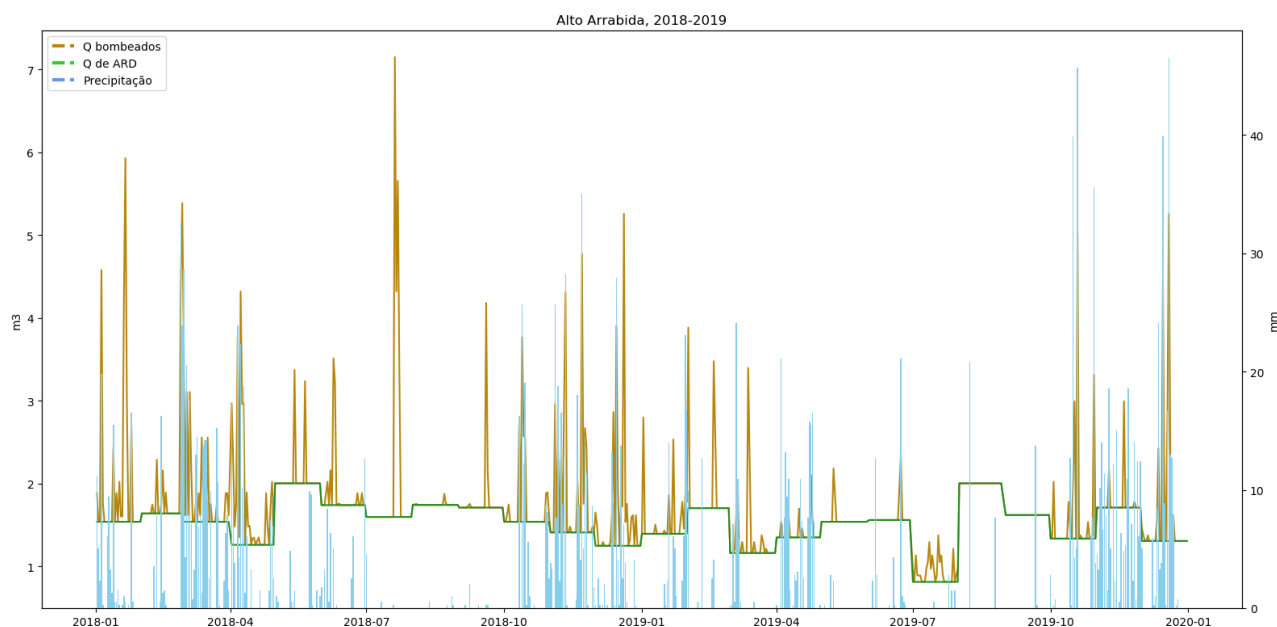


Figura G.1. Aplicação do método das séries temporais à bacia do Alto Arrábida

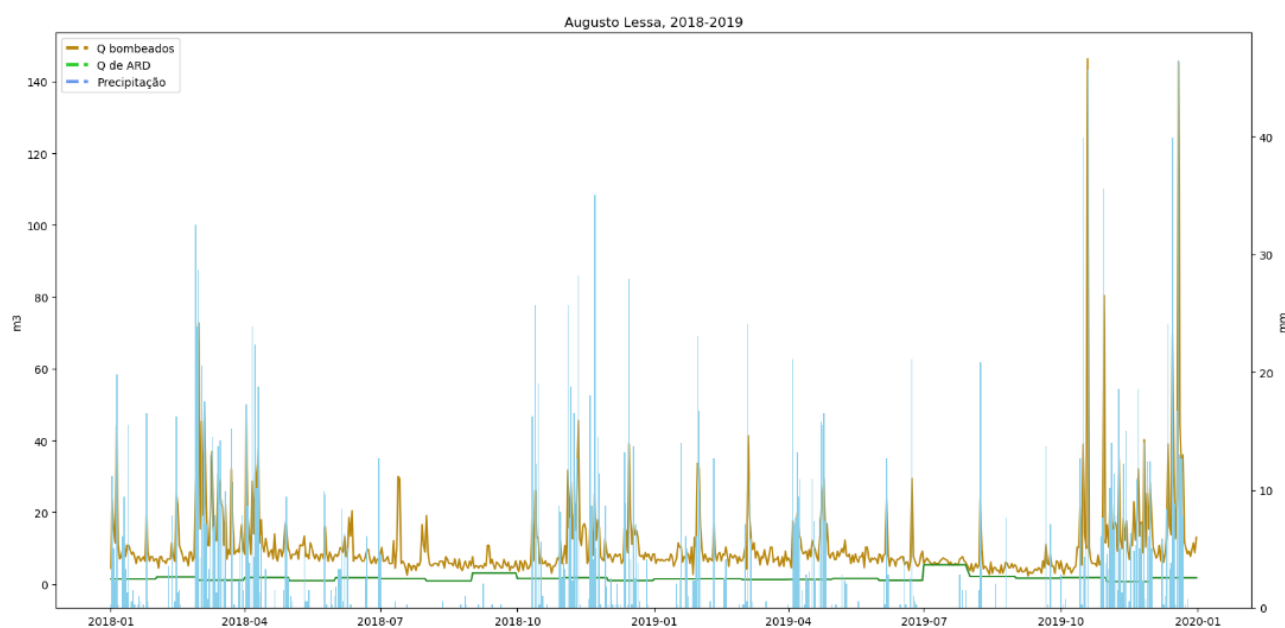


Figura G.2. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Augusto Lessa

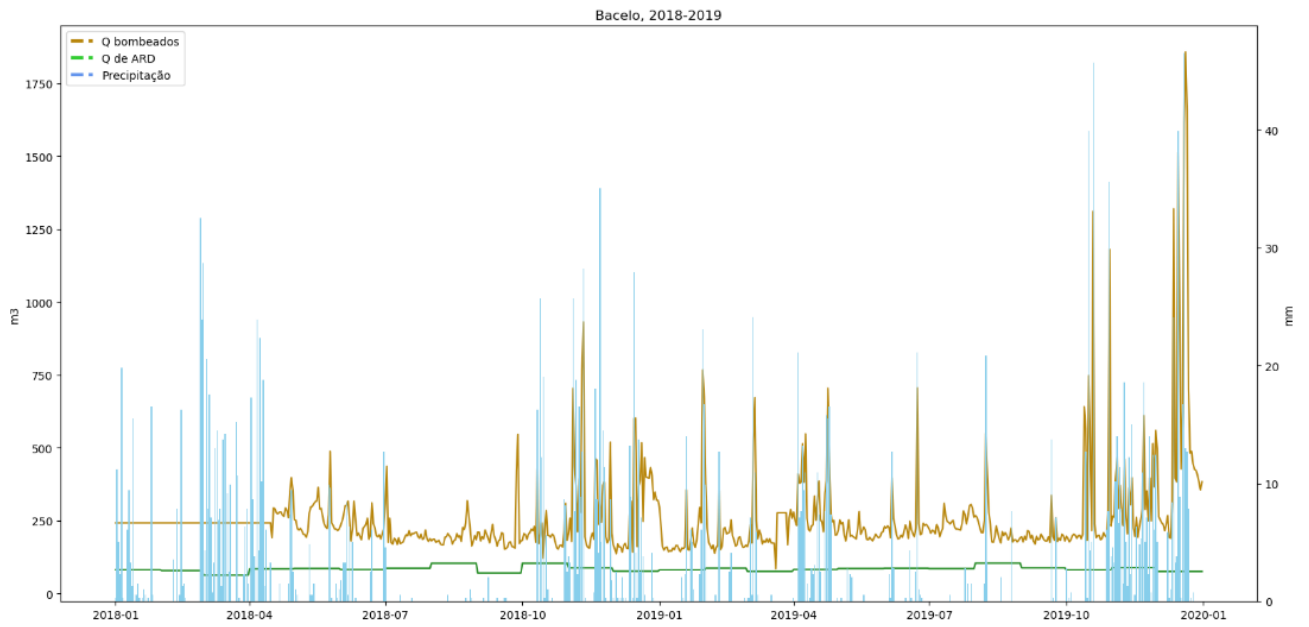


Figura G.3. Aplicação do método das séries temporais à bacia do Bacelo

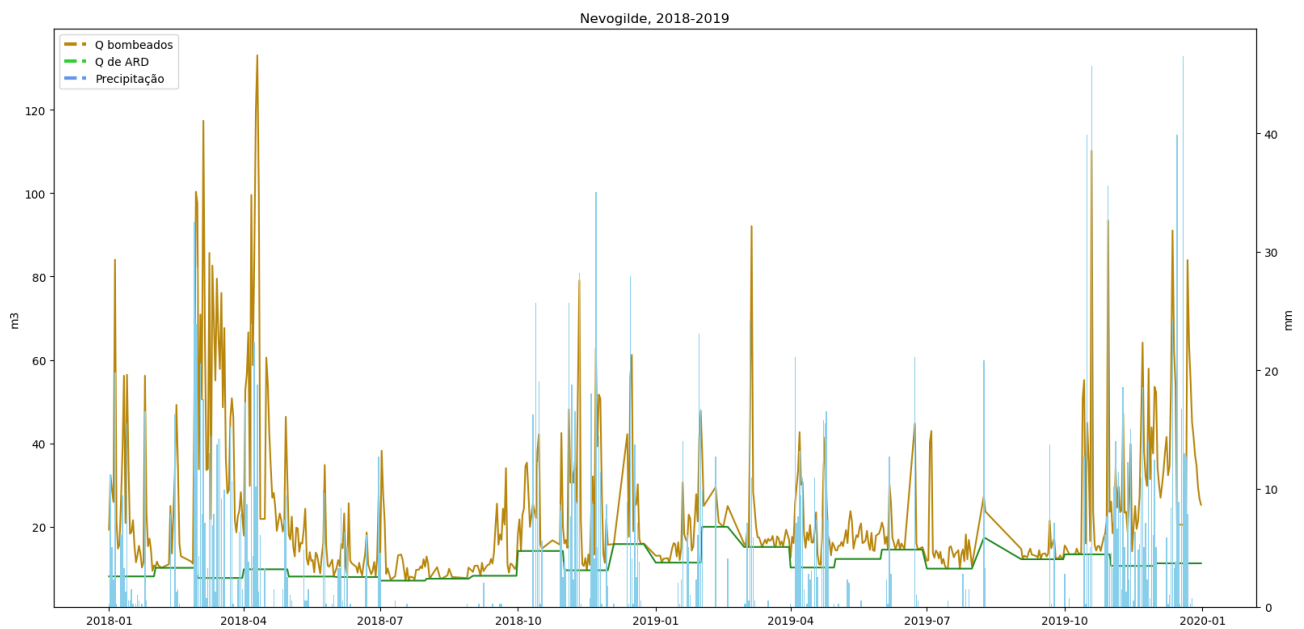


Figura G.4. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Nevogilde

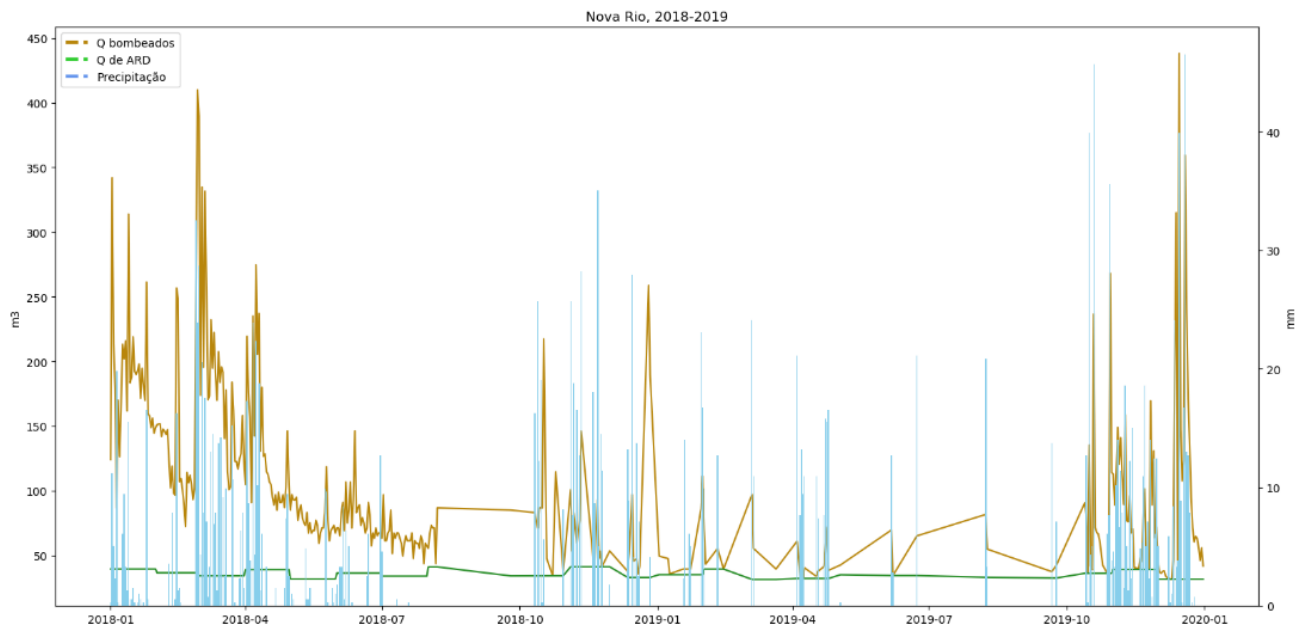


Figura G.5. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Nova Rio

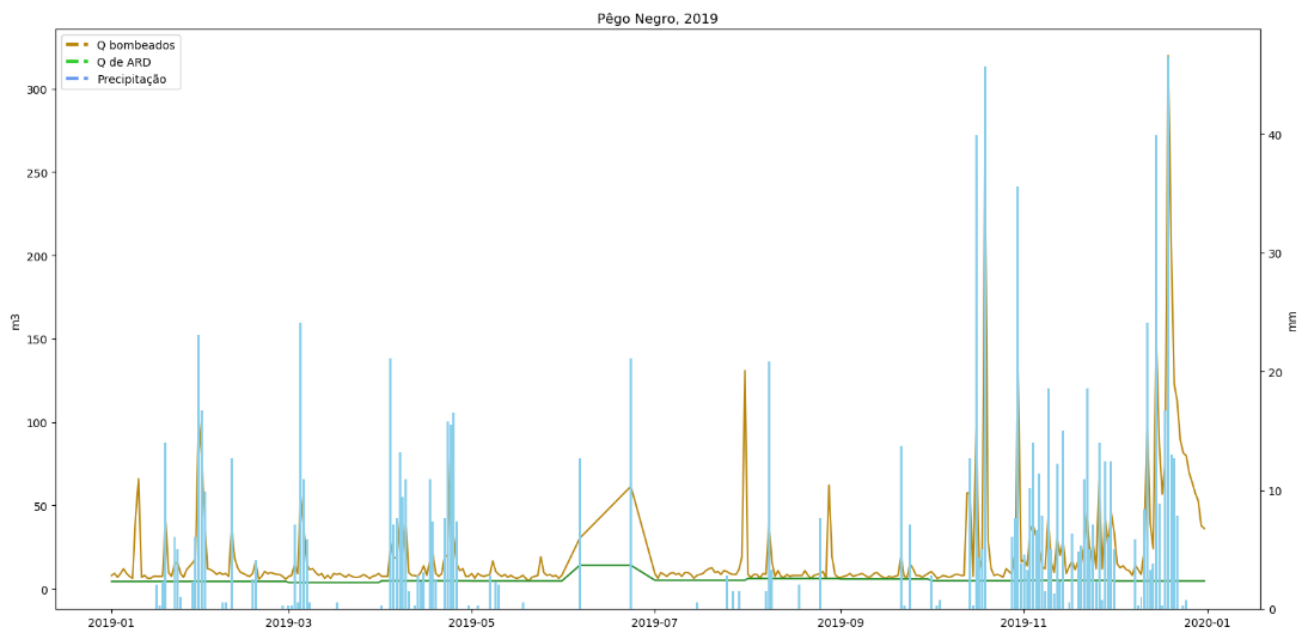


Figura G.6. Aplicação do método das séries temporais à bacia do Pêgo Negro

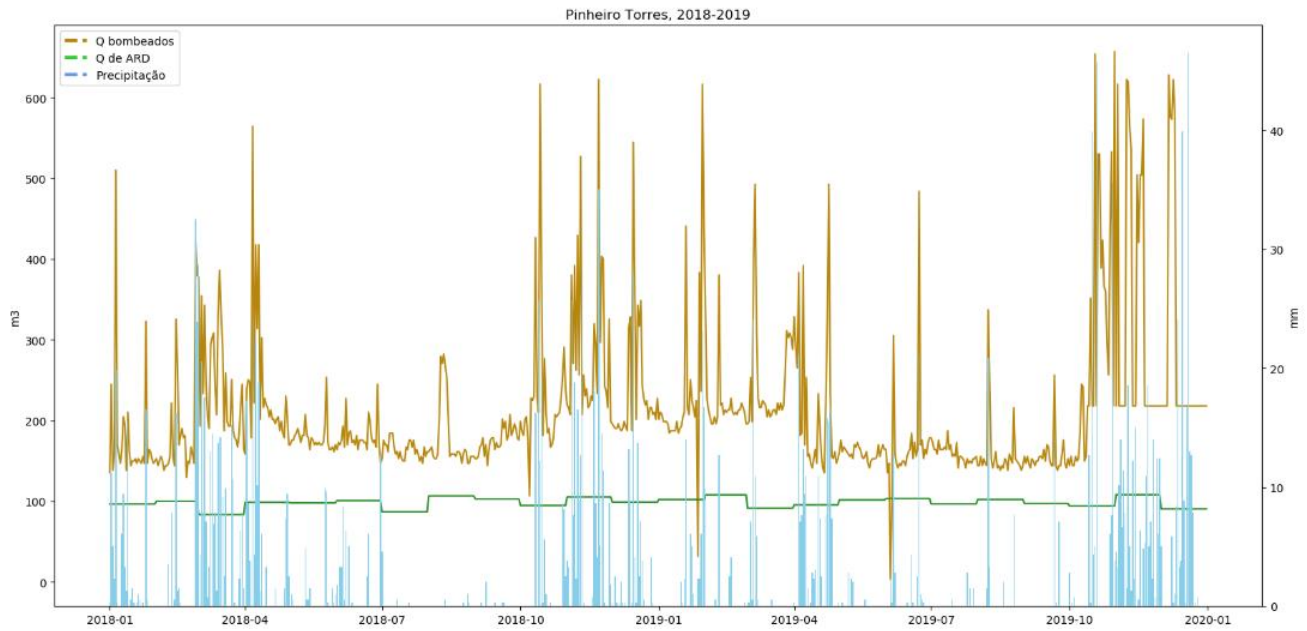


Figura G.7. Aplicação do método das séries temporais à bacia do Pinheiro Torres

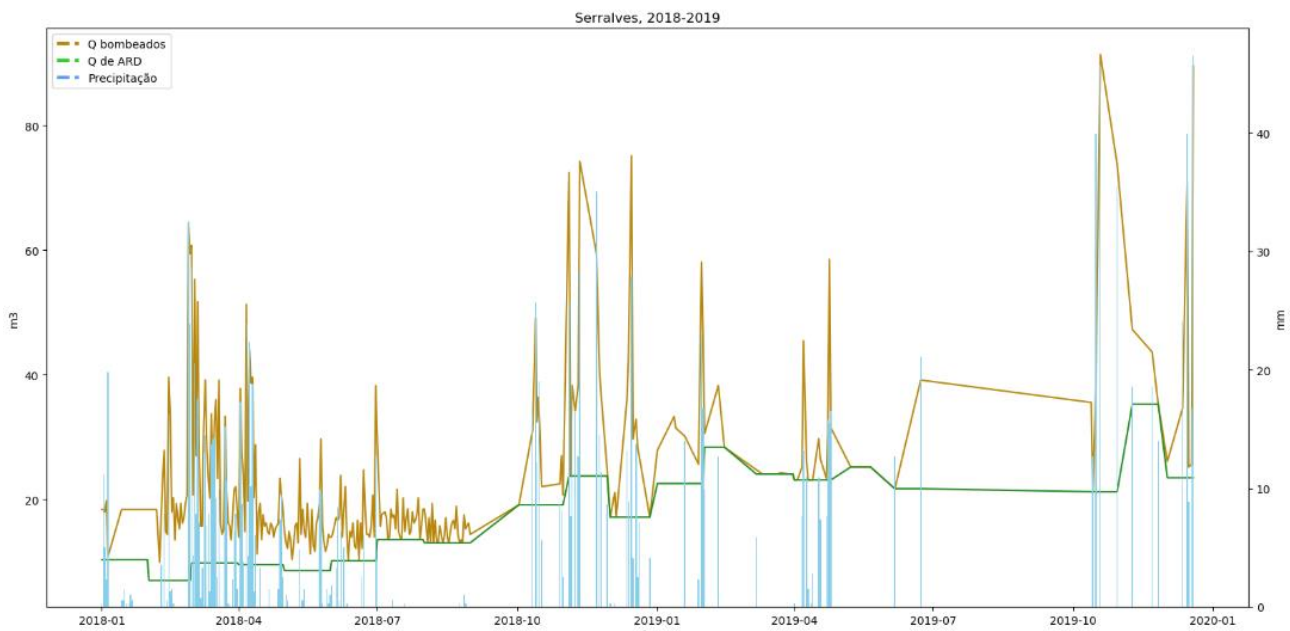


Figura G.8. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Serralves

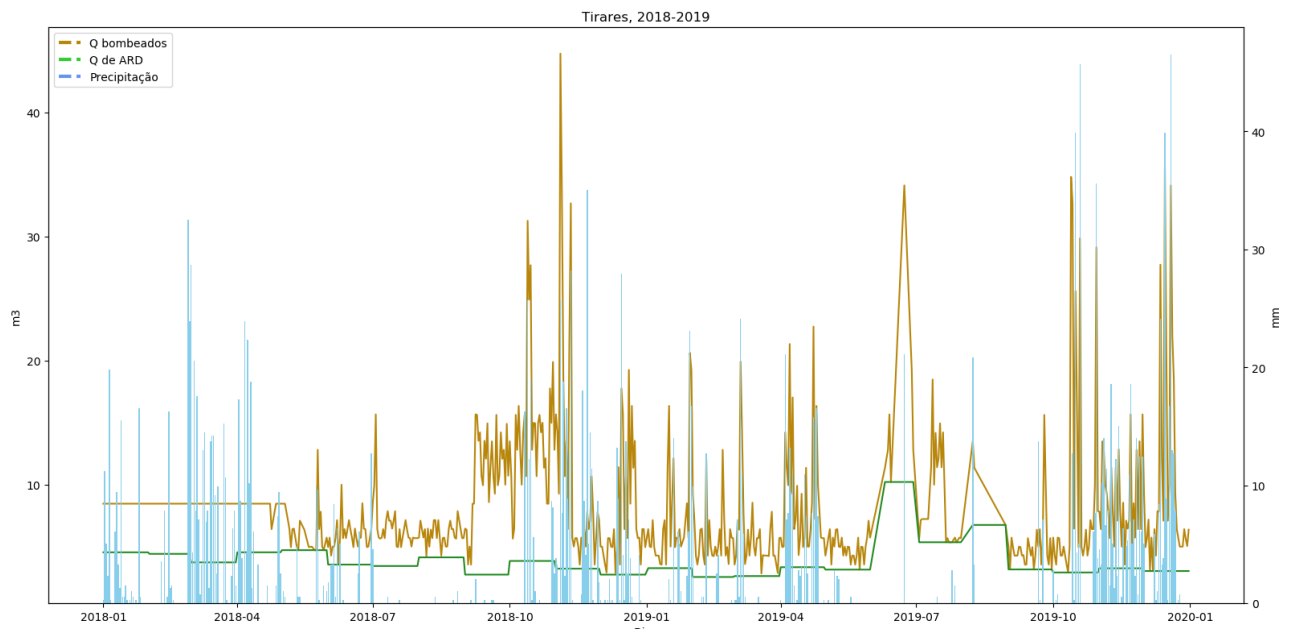


Figura G.9. Aplicação do método das séries temporais à bacia de Tirares

Anexo H | Gráficos Obtidos pela Aplicação do Método do Triângulo

Nas Figuras H.1 a H.17, estão representados os gráficos obtidos pela aplicação do método do triângulo, no período de 2018 e de 2019. À direita da reta de “ajuste”, encontram-se as afluências indevidas do tipo direto, enquanto à esquerda estão as do tipo indireto.

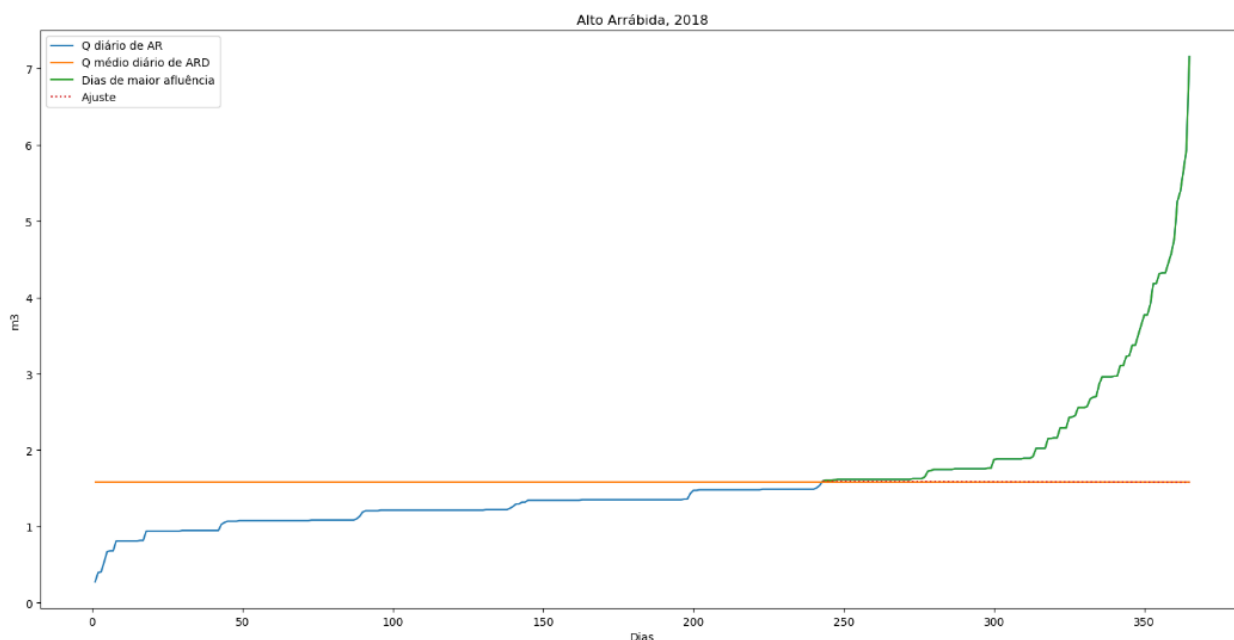


Figura H.1. Aplicação do método do triângulo à bacia do Alto Arrábida (2018)

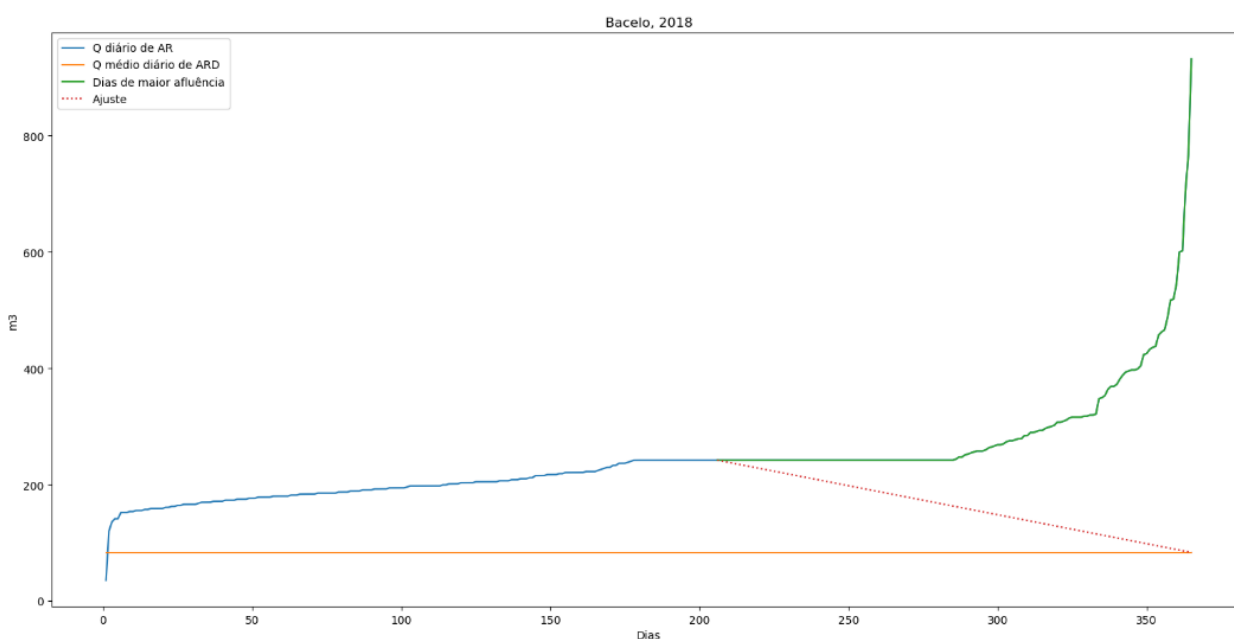


Figura H.2. Aplicação do método do triângulo à bacia do Bacelo (2018)

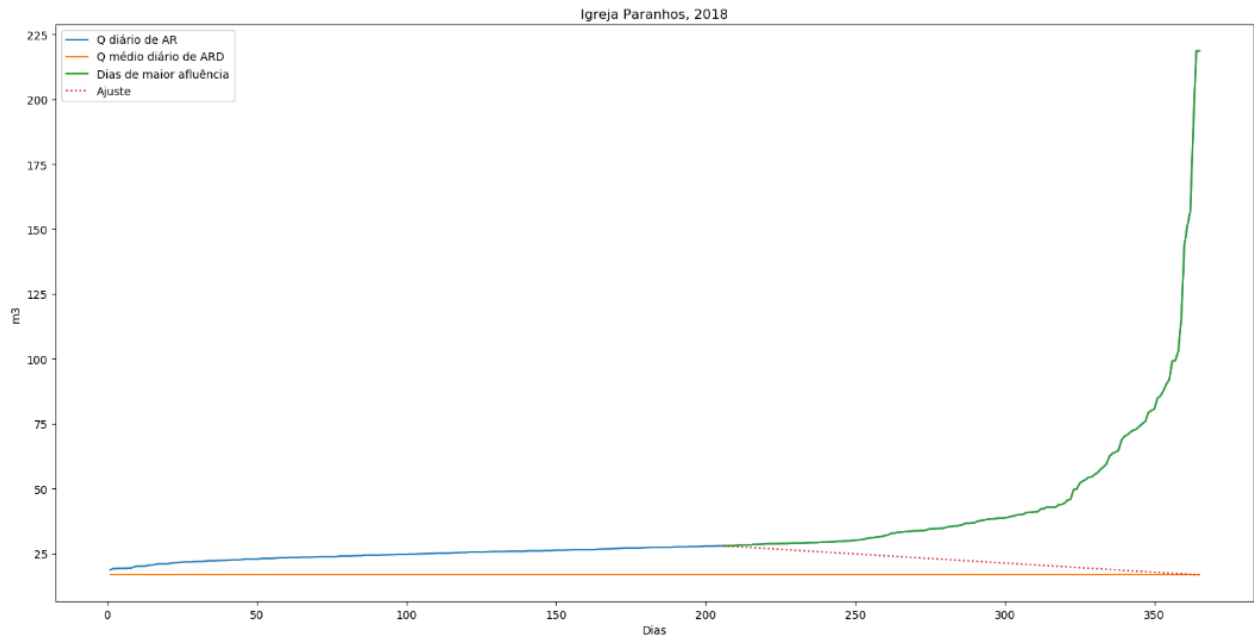


Figura H.3. Aplicação do método do triângulo à bacia da Igreja Paranhos (2018)

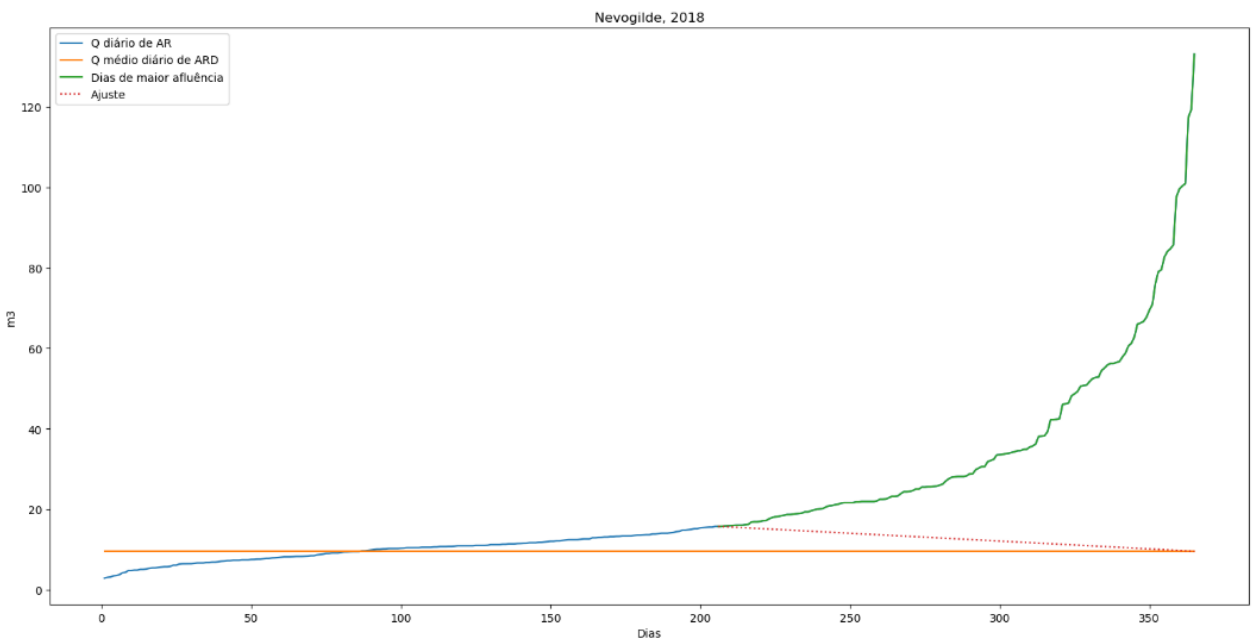


Figura H.4. Aplicação do método do triângulo à bacia de Nevogilde (2018)

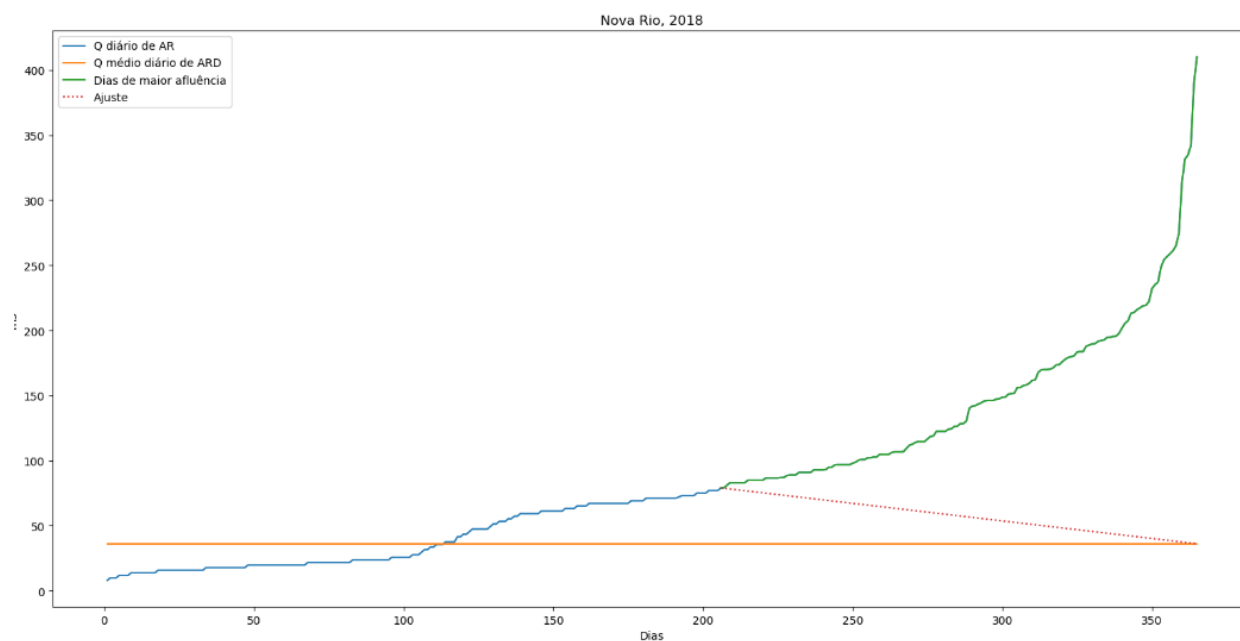


Figura H.5. Aplicação do método do triângulo à bacia de Nova Rio (2018)

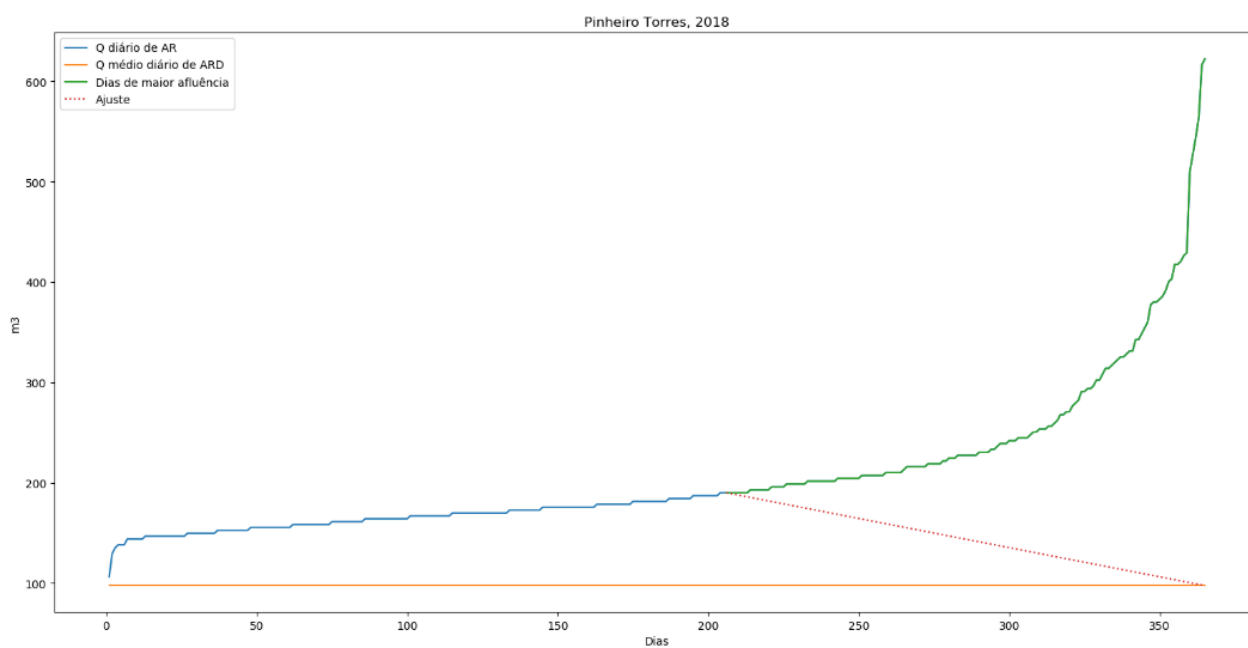


Figura H.6. Aplicação do método do triângulo à bacia do Pinheiro Torres (2018)

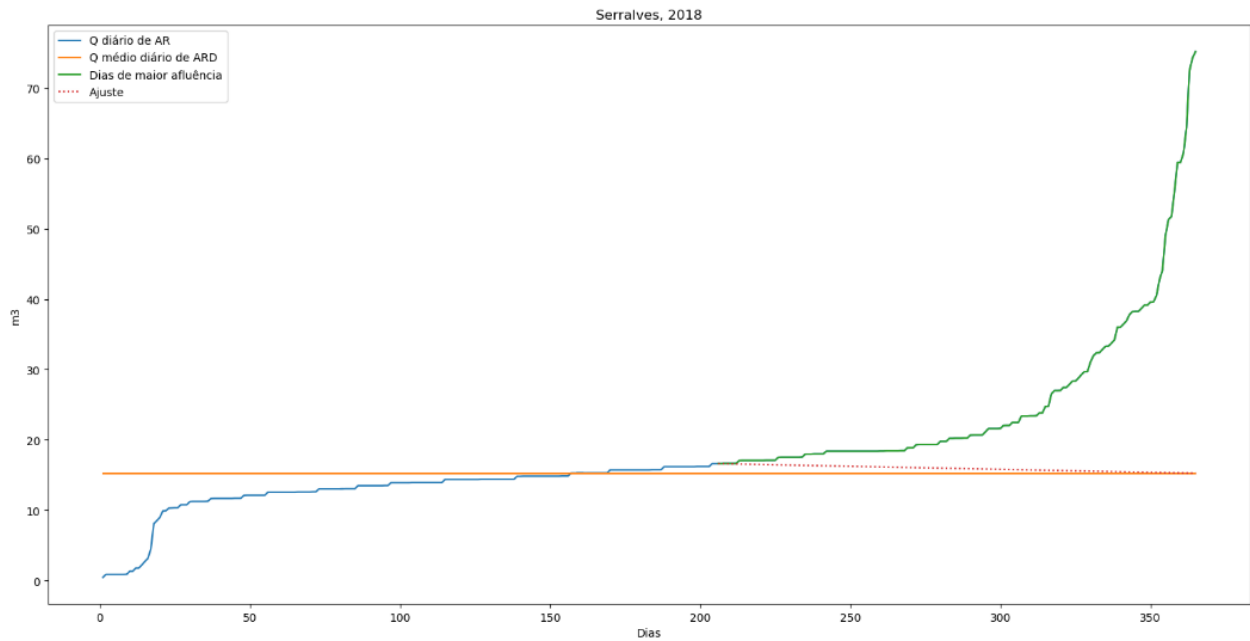


Figura H.7. Aplicação do método do triângulo à bacia de Serralves (2018)

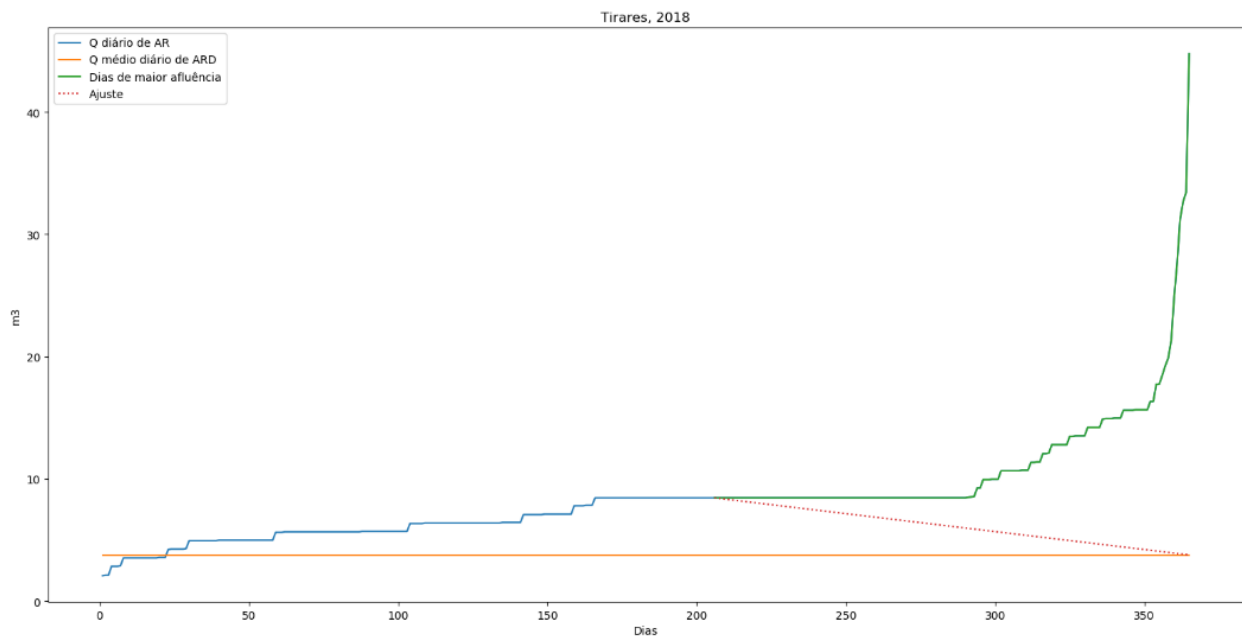


Figura H.8. Aplicação do método do triângulo à bacia do Tirares (2018)

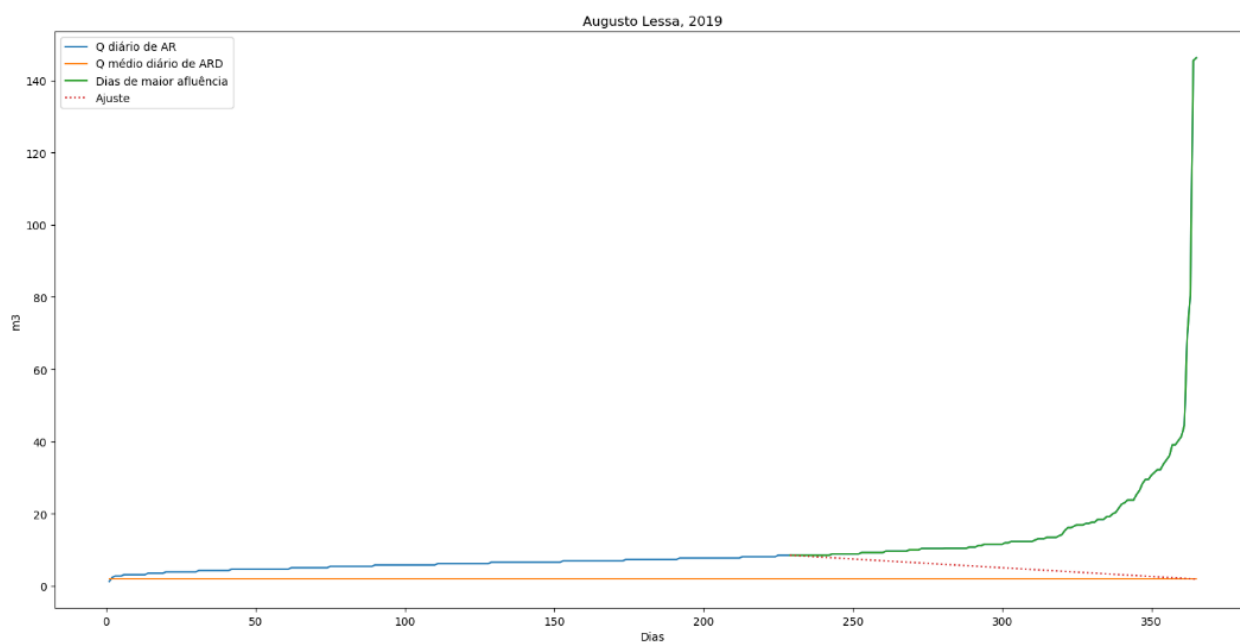


Figura H.9. Aplicação do método do triângulo à bacia de Augusto Lessa (2019)

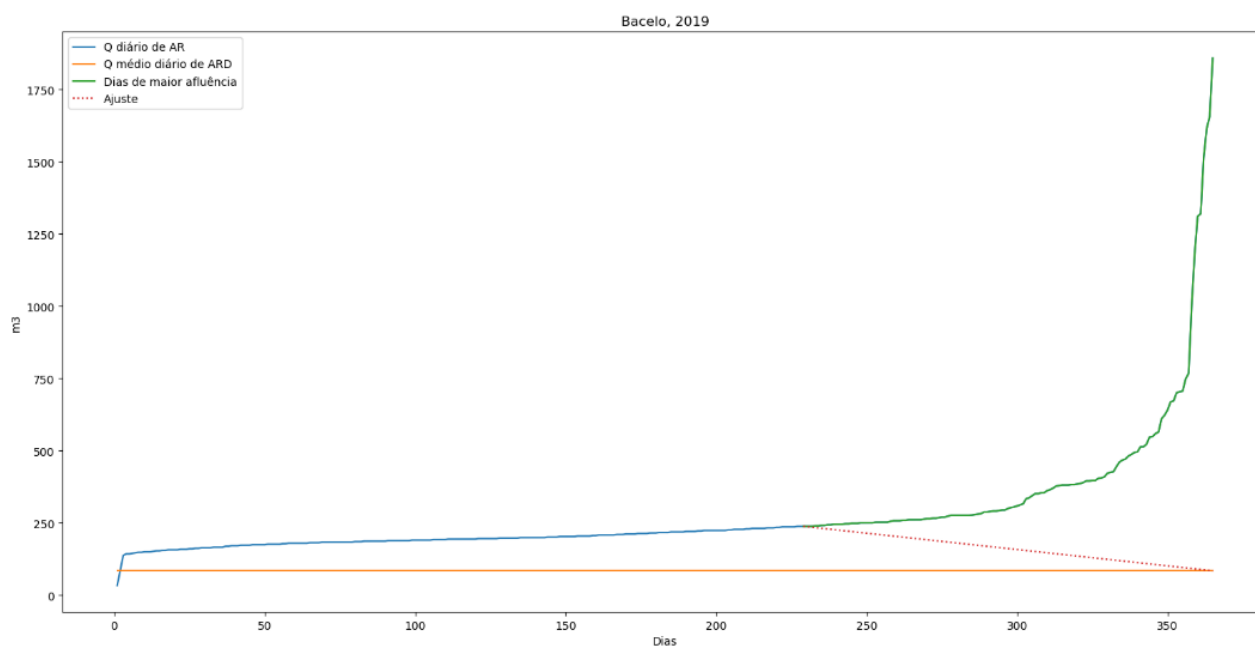


Figura H.10. Aplicação do método do triângulo à bacia do Bacelo (2019)

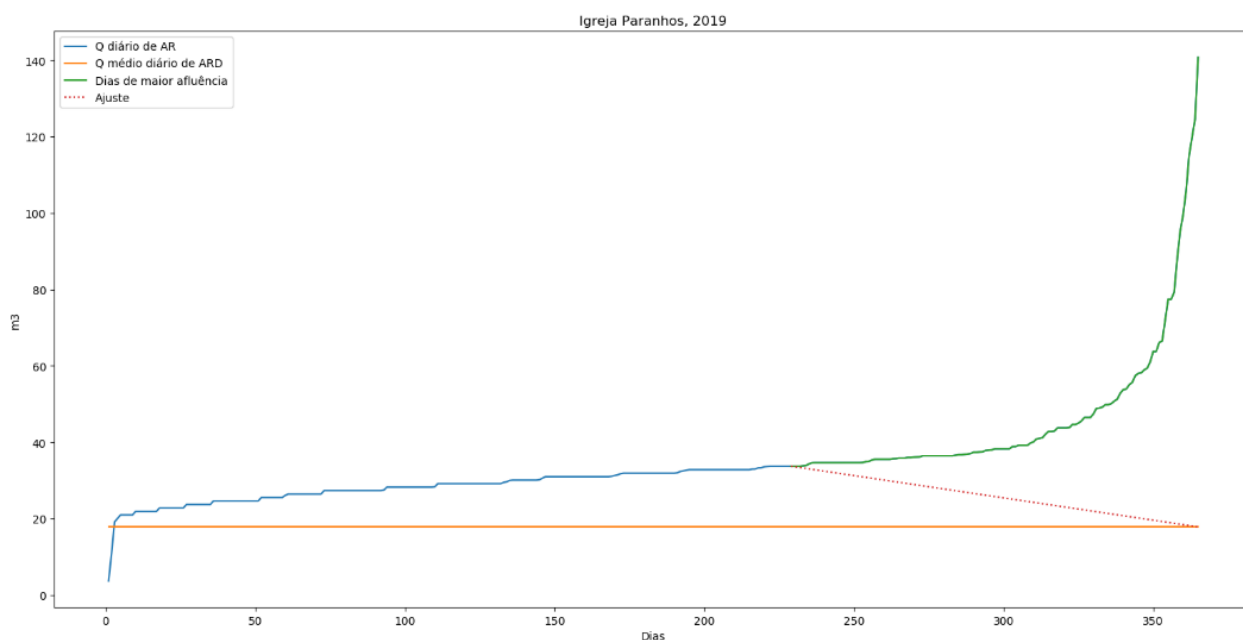


Figura H.11. Aplicação do método do triângulo à bacia da Igreja Paranhos (2019)

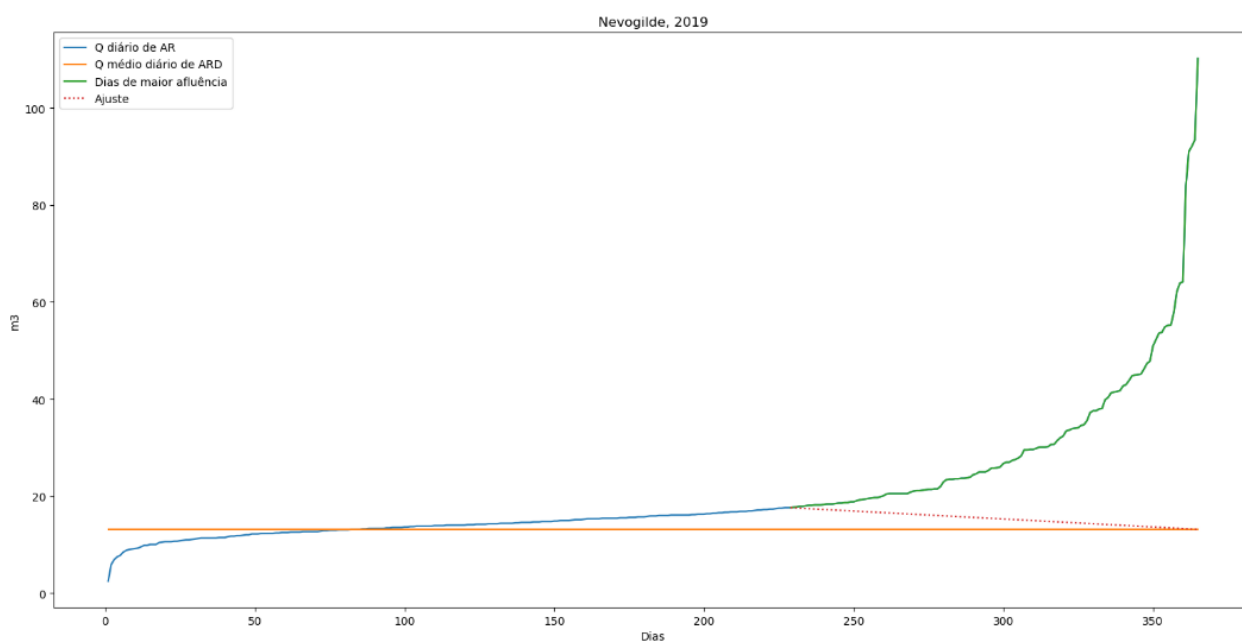


Figura H.12. Aplicação do método do triângulo à bacia de Nevogilde (2019)

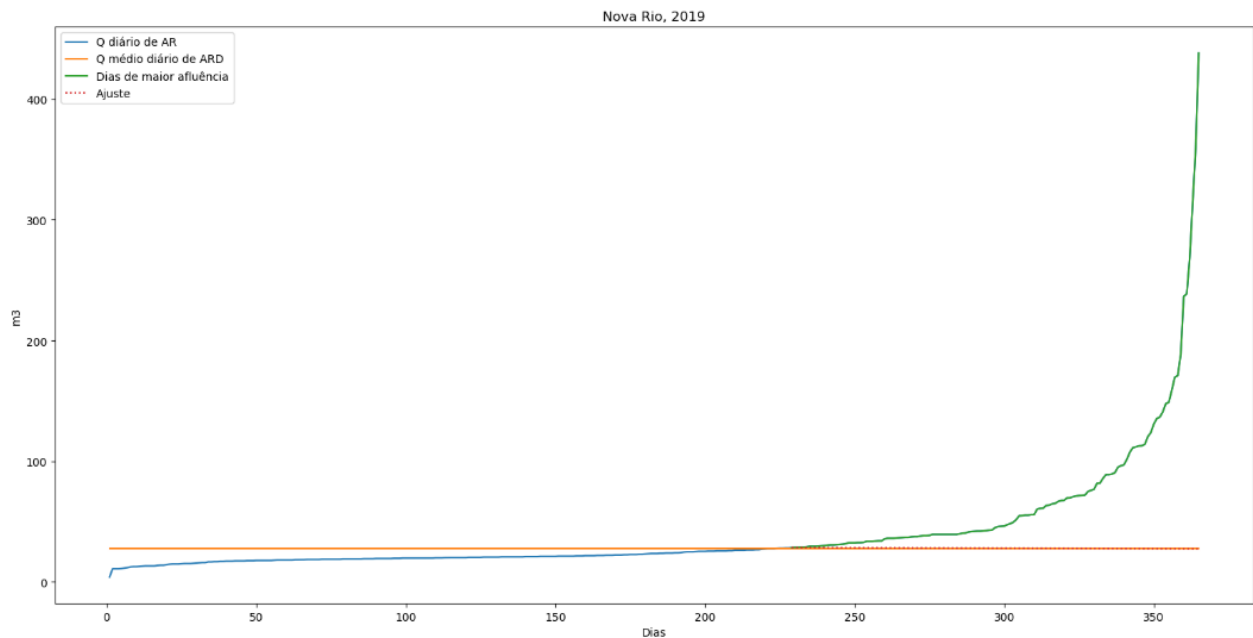


Figura H.13. Aplicação do método do triângulo à bacia de Nova Rio (2019)

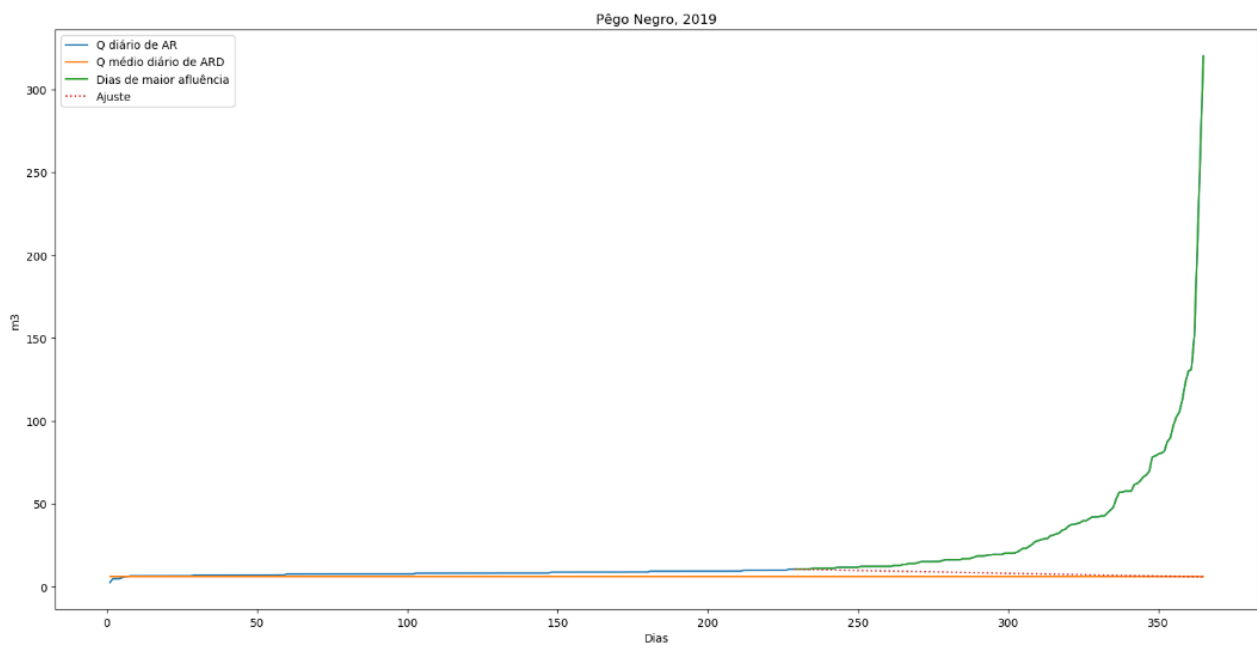


Figura H.14. Aplicação do método do triângulo à bacia do Pêgo Negro (2019)

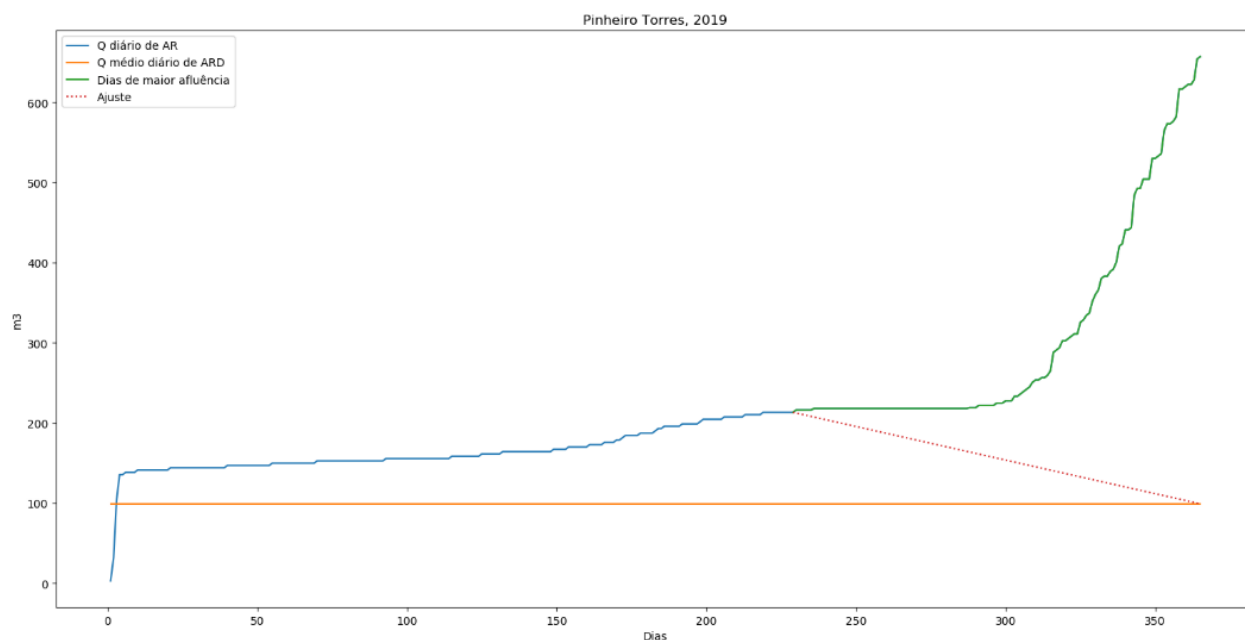


Figura H.15. Aplicação do método do triângulo à bacia do Pinheiro Torres (2019)

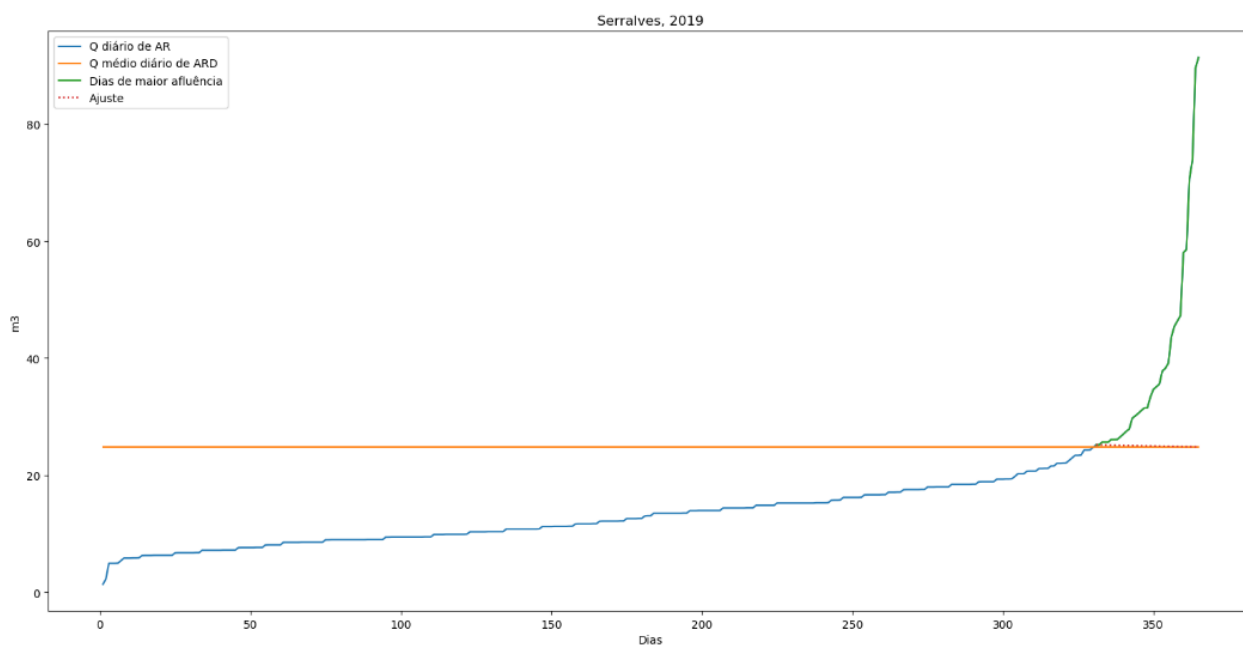


Figura H.16. Aplicação do método do triângulo à bacia de Serralves (2019)

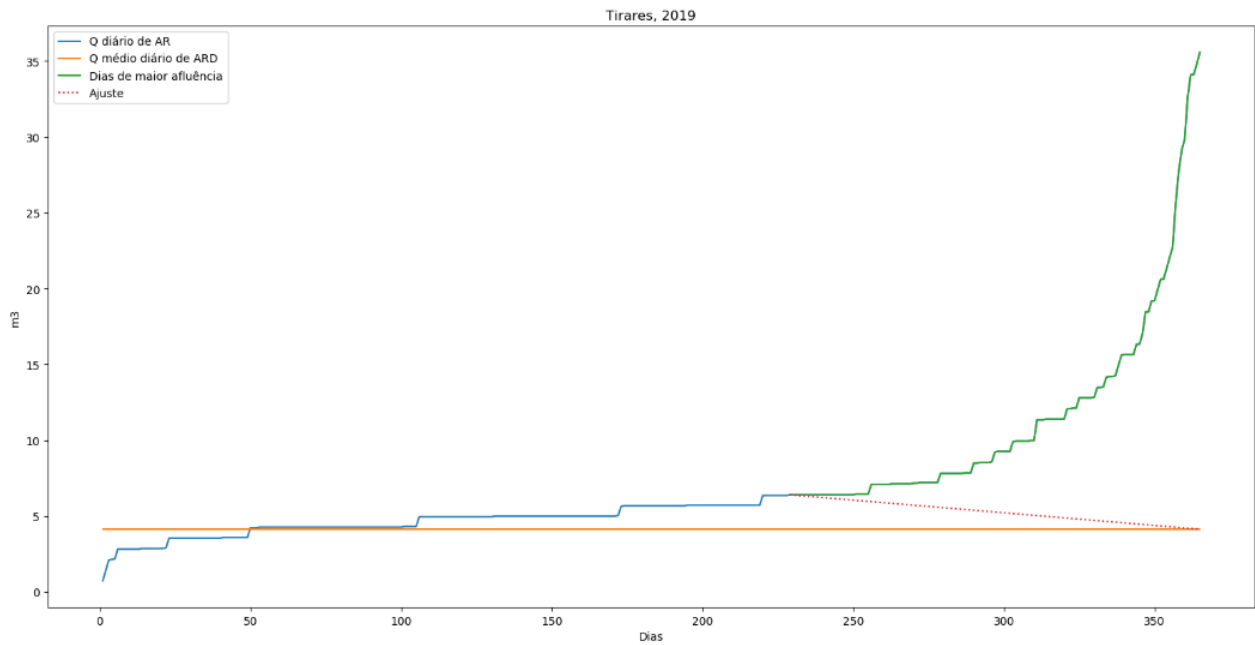


Figura H.17. Aplicação do método do triângulo à bacia de Tirares (2019)

Anexo I | Caudais Afluentes às ETAR

Na Tabela I.1, encontram-se os caudais afluentes às ETAR de Sobreiras e do Freixo.

Tabela I.1. Caudais afluentes às ETAR de Sobreiras e do Freixo, em m³

Data	Sobreiras	Freixo	Data	Sobreiras	Freixo	Data	Sobreiras	Freixo
01/01/2018	30900	16325	09/02/2018	24840	20586	20/03/2018	38740	28090
02/01/2018	37770	32494	10/02/2018	27160	20685	21/03/2018	38170	26197
03/01/2018	42210	23967	11/02/2018	27600	24235	22/03/2018	37980	25742
04/01/2018	38840	21191	12/02/2018	29030	20711	23/03/2018	39020	32317
05/01/2018	44560	40744	13/02/2018	26410	20153	24/03/2018	37360	33297
06/01/2018	36440	19982	14/02/2018	35420	38693	25/03/2018	34380	28629
07/01/2018	33790	17817	15/02/2018	40750	43369	26/03/2018	36350	25788
08/01/2018	36400	17497	16/02/2018	36080	25451	27/03/2018	35890	24985
09/01/2018	37240	20410	17/02/2018	30120	21997	28/03/2018	36450	26663
10/01/2018	36810	24717	18/02/2018	27950	20178	29/03/2018	36280	29195
11/01/2018	39710	23623	19/02/2018	31850	20031	30/03/2018	36060	33467
12/01/2018	35250	17553	20/02/2018	31650	19851	31/03/2018	33960	28408
13/01/2018	43650	31263	21/02/2018	32130	19684	01/04/2018	29890	23177
14/01/2018	34980	19514	22/02/2018	32110	19686	02/04/2018	37050	34497
15/01/2018	33810	16990	23/02/2018	31760	19496	03/04/2018	38380	35254
16/01/2018	36270	16725	24/02/2018	28470	19487	04/04/2018	37550	30727
17/01/2018	30610	17465	25/02/2018	26810	18231	05/04/2018	36890	26378
18/01/2018	35980	16791	26/02/2018	30700	18693	06/04/2018	38150	44340
19/01/2018	35320	16638	27/02/2018	35270	39925	07/04/2018	38930	35816
20/01/2018	32750	16234	28/02/2018	41650	45680	08/04/2018	34660	44913
21/01/2018	31030	14986	01/03/2018	42190	51222	09/04/2018	37660	47811
22/01/2018	34490	15268	02/03/2018	36260	32164	10/04/2018	39320	53113
23/01/2018	34930	15958	03/03/2018	38840	45852	11/04/2018	40840	35648
24/01/2018	35320	15487	04/03/2018	35670	35087	12/04/2018	38420	39414
25/01/2018	41500	29121	05/03/2018	38510	44408	13/04/2018	37770	31892
26/01/2018	34590	19591	06/03/2018	38440	37601	14/04/2018	36090	30286
27/01/2018	28810	19627	07/03/2018	36590	29090	15/04/2018	35670	31336
28/01/2018	27550	20922	08/03/2018	37520	30195	16/04/2018	36300	26896
29/01/2018	31590	21352	09/03/2018	38480	41253	17/04/2018	37890	26206
30/01/2018	31090	21852	10/03/2018	37550	33297	18/04/2018	33190	26845
31/01/2018	31470	21574	11/03/2018	36400	39583	19/04/2018	36330	26515
01/02/2018	30780	21319	12/03/2018	38920	33835	20/04/2018	36010	26116
02/02/2018	30690	21139	13/03/2018	38990	31732	21/04/2018	33430	25693
03/02/2018	28090	20534	14/03/2018	39510	40699	22/04/2018	32660	24313
04/02/2018	26710	19008	15/03/2018	39300	38556	23/04/2018	29830	25237
05/02/2018	29580	18714	16/03/2018	39220	40444	24/04/2018	33750	24246

06/02/2018	30420	18781	17/03/2018	38280	40468	25/04/2018	32850	23109
07/02/2018	30290	18466	18/03/2018	33310	29907	26/04/2018	35570	23448
08/02/2018	28150	18448	19/03/2018	39650	38205	27/04/2018	36000	24009

28/04/2018	34800	27706	13/06/2018	36080	20872	29/07/2018	27040	17081
29/04/2018	37000	33797	14/06/2018	35690	20924	30/07/2018	31360	18211
30/04/2018	37260	29394	15/06/2018	34720	20481	31/07/2018	31130	18467
01/05/2018	32900	24044	16/06/2018	31790	20768	01/08/2018	31330	19156
02/05/2018	34780	23658	17/06/2018	30510	20047	02/08/2018	31710	19803
03/05/2018	35010	22575	18/06/2018	32410	21341	03/08/2018	31640	19702
04/05/2018	34440	22360	19/06/2018	33090	20847	04/08/2018	29110	20147
05/05/2018	32130	22559	20/06/2018	32670	20220	05/08/2018	27560	18998
06/05/2018	30910	21551	21/06/2018	33140	20358	06/08/2018	29930	18848
07/05/2018	32170	21863	22/06/2018	31590	23930	07/08/2018	30750	19062
08/05/2018	33980	21309	23/06/2018	29870	21420	08/08/2018	30530	19305
09/05/2018	34350	21154	24/06/2018	29650	19483	09/08/2018	30430	19418
10/05/2018	33190	21708	25/06/2018	30080	19396	10/08/2018	30580	19430
11/05/2018	33980	22781	26/06/2018	31350	19549	11/08/2018	28580	19330
12/05/2018	31830	22126	27/06/2018	34040	20102	12/08/2018	26640	17715
13/05/2018	29700	20406	28/06/2018	34280	19859	13/08/2018	29860	19039
14/05/2018	32400	20771	29/06/2018	33880	19970	14/08/2018	30190	19820
15/05/2018	30650	21151	30/06/2018	31970	19595	15/08/2018	27450	17949
16/05/2018	34440	21265	01/07/2018	30640	19950	16/08/2018	28990	19227
17/05/2018	33090	21209	02/07/2018	37850	26506	17/08/2018	29270	19382
18/05/2018	30980	20849	03/07/2018	34920	19984	18/08/2018	27130	19078
19/05/2018	30600	20773	04/07/2018	34440	19435	19/08/2018	26010	17974
20/05/2018	28960	19205	05/07/2018	34420	19691	20/08/2018	29550	19447
21/05/2018	31900	19886	06/07/2018	34200	19457	21/08/2018	30210	19094
22/05/2018	32750	20185	07/07/2018	31760	19268	22/08/2018	30140	18739
23/05/2018	33110	20308	08/07/2018	30120	18284	23/08/2018	29920	18085
24/05/2018	33440	21977	09/07/2018	33540	18411	24/08/2018	29650	18048
25/05/2018	32880	30749	10/07/2018	33210	17921	25/08/2018	27160	18143
26/05/2018	29900	20654	11/07/2018	33000	17375	26/08/2018	25670	17213
27/05/2018	28240	18926	12/07/2018	33140	18837	27/08/2018	29640	18146
28/05/2018	32890	19835	13/07/2018	32190	19284	28/08/2018	29190	17892
29/05/2018	34000	19562	14/07/2018	29640	19016	29/08/2018	29450	18572
30/05/2018	33440	18996	15/07/2018	28030	17988	30/08/2018	29580	18750
31/05/2018	31230	18449	16/07/2018	32960	19069	31/08/2018	29510	18758
01/06/2018	32640	19317	17/07/2018	33140	19282	01/09/2018	27190	18758
02/06/2018	31420	19847	18/07/2018	33550	18706	02/09/2018	25630	19124
03/06/2018	31720	19325	19/07/2018	33930	19091	03/09/2018	29770	18184
04/06/2018	36810	23183	20/07/2018	33380	19493	04/09/2018	30400	18310
05/06/2018	37400	25619	21/07/2018	30850	19384	05/09/2018	30200	18887

06/06/2018	37700	21146	22/07/2018	28910	18351	06/09/2018	30470	19483
07/06/2018	35870	25829	23/07/2018	32800	18879	07/09/2018	29970	20085
08/06/2018	34250	20790	24/07/2018	32510	19061	08/09/2018	30000	20303
09/06/2018	32800	22620	25/07/2018	31990	19108	09/09/2018	26460	19520
10/06/2018	39080	29998	26/07/2018	32210	19007	10/09/2018	31180	17795
11/06/2018	34840	21126	27/07/2018	32820	18897	11/09/2018	31670	19559
12/06/2018	34650	20868	28/07/2018	29880	18800	12/09/2018	31560	19549

13/09/2018	31660	19067	29/10/2018	32990	20633	14/12/2018	14085	21425
14/09/2018	31410	19144	30/10/2018	40390	23879	15/12/2018	14085	39571
15/09/2018	28780	18922	31/10/2018	34960	27580	16/12/2018	62955	37982
16/09/2018	26830	18496	01/11/2018	30210	20024	17/12/2018	62955	24188
17/09/2018	31460	17641	02/11/2018	35890	24595	18/12/2018	39390	30857
18/09/2018	32160	18636	03/11/2018	28740	19765	19/12/2018	39370	29891
19/09/2018	32690	18754	04/11/2018	30010	31571	20/12/2018	41250	37512
20/09/2018	32800	18835	05/11/2018	35670	29720	21/12/2018	39350	28321
21/09/2018	32390	18983	06/11/2018	35790	29227	22/12/2018	36440	25834
22/09/2018	29380	18986	07/11/2018	36620	28601	23/12/2018	33380	23931
23/09/2018	27950	19076	08/11/2018	31660	32238	24/12/2018	33440	23472
24/09/2018	30220	18182	09/11/2018	29300	27928	25/12/2018	29310	20754
25/09/2018	28840	18962	10/11/2018	35500	43989	26/12/2018	34090	23622
26/09/2018	25460	18805	11/11/2018	31640	51142	27/12/2018	37870	25829
27/09/2018	28360	18913	12/11/2018	32640	23844	28/12/2018	35980	22899
28/09/2018	32750	19141	13/11/2018	25790	21755	29/12/2018	32690	23496
29/09/2018	29010	19301	14/11/2018	36080	22150	30/12/2018	31060	22971
30/09/2018	27980	18512	15/11/2018	35590	21607	31/12/2018	33940	23865
01/10/2018	32360	17724	16/11/2018	35100	21659	01/01/2019	30190	21664
02/10/2018	32190	18025	17/11/2018	31680	21596	02/01/2019	34420	20534
03/10/2018	32000	18370	18/11/2018	30220	19855	03/01/2019	35150	21711
04/10/2018	32380	18419	19/11/2018	35640	25236	04/01/2019	34770	21342
05/10/2018	28310	18328	20/11/2018	37560	29625	05/01/2019	32060	42303
06/10/2018	27080	18303	21/11/2018	36620	25837	06/01/2019	31290	19950
07/10/2018	26400	18528	22/11/2018	42850	34233	07/01/2019	34790	20479
08/10/2018	22240	17798	23/11/2018	39010	26991	08/01/2019	34870	20284
09/10/2018	17500	18481	24/11/2018	39330	31253	09/01/2019	34630	20251
10/10/2018	32690	18826	25/11/2018	37410	29699	10/01/2019	34420	20503
11/10/2018	33190	18915	26/11/2018	38540	22179	11/01/2019	34250	20248
12/10/2018	32000	27306	27/11/2018	37160	21568	12/01/2019	30750	20230
13/10/2018	29000	19613	28/11/2018	35960	20923	13/01/2019	29460	19412
14/10/2018	28820	24592	29/11/2018	37390	25506	14/01/2019	33450	19761
15/10/2018	37230	29638	30/11/2018	37700	22488	15/01/2019	33210	19774
16/10/2018	32960	29926	01/12/2018	31250	22488	16/01/2019	33570	19783

17/10/2018	31840	20499	02/12/2018	30330	21576	17/01/2019	33430	19968
18/10/2018	31010	22927	03/12/2018	34810	22361	18/01/2019	34170	31696
19/10/2018	30800	19670	04/12/2018	35210	21748	19/01/2019	35740	20724
20/10/2018	28330	19881	05/12/2018	35410	21214	20/01/2019	31270	22853
21/10/2018	26720	20170	06/12/2018	35360	19615	21/01/2019	34040	20216
22/10/2018	30820	18946	07/12/2018	35660	23000	22/01/2019	35820	23072
23/10/2018	31090	19091	08/12/2018	31420	22240	23/01/2019	39870	24204
24/10/2018	32540	19333	09/12/2018	30130	20765	24/01/2019	37510	21120
25/10/2018	31750	19466	10/12/2018	33880	20371	25/01/2019	36420	20688
26/10/2018	29800	19371	11/12/2018	33480	20215	26/01/2019	33430	20805
27/10/2018	28680	19743	12/12/2018	35440	25863	27/01/2019	32320	19888
28/10/2018	27550	21788	13/12/2018	43410	25537	28/01/2019	36100	20118

29/01/2019	37960	25519	16/03/2019	31630	21830	01/05/2019	31640	23541
30/01/2019	38600	42100	17/03/2019	29790	20241	02/05/2019	30470	24226
31/01/2019	45730	45421	18/03/2019	33960	21016	03/05/2019	29920	23755
01/02/2019	44380	36710	19/03/2019	33200	21098	04/05/2019	31580	24108
02/02/2019	36410	26390	20/03/2019	34390	20582	05/05/2019	30640	22279
03/02/2019	32390	22548	21/03/2019	34170	20802	06/05/2019	34260	22429
04/02/2019	35030	22705	22/03/2019	33930	20475	07/05/2019	35250	23572
05/02/2019	35360	21715	23/03/2019	30630	20830	08/05/2019	36570	28455
06/02/2019	35090	22502	24/03/2019	29890	21305	09/05/2019	34300	24435
07/02/2019	34990	22922	25/03/2019	33650	20264	10/05/2019	34240	23683
08/02/2019	34800	22458	26/03/2019	34110	20341	11/05/2019	31600	23056
09/02/2019	31820	22640	27/03/2019	33720	20289	12/05/2019	30690	21396
10/02/2019	36830	32176	28/03/2019	33010	20413	13/05/2019	34030	22123
11/02/2019	35320	22344	29/03/2019	33690	20767	14/05/2019	34140	21914
12/02/2019	35310	21768	30/03/2019	30160	20789	15/05/2019	33380	22087
13/02/2019	35310	21760	31/03/2019	27820	20850	16/05/2019	30660	21860
14/02/2019	35190	22116	01/04/2019	32040	20805	17/05/2019	33540	22354
15/02/2019	34740	22389	02/04/2019	32640	17875	18/05/2019	31180	21990
16/02/2019	31280	22677	03/04/2019	32470	18000	19/05/2019	30340	20800
17/02/2019	30500	21622	04/04/2019	33660	20698	20/05/2019	34020	21486
18/02/2019	37510	26355	05/04/2019	36530	21052	21/05/2019	34240	20942
19/02/2019	34400	21673	06/04/2019	33200	24369	22/05/2019	34480	21625
20/02/2019	34680	21604	07/04/2019	35400	20221	23/05/2019	32840	21886
21/02/2019	34700	21780	08/04/2019	35250	18989	24/05/2019	33310	22137
22/02/2019	34200	22983	09/04/2019	34430	18989	25/05/2019	29660	21691
23/02/2019	31080	23383	10/04/2019	26840	24197	26/05/2019	27830	21052
24/02/2019	29630	23157	11/04/2019	34280	23237	27/05/2019	33050	21679
25/02/2019	33450	22808	12/04/2019	33390	23230	28/05/2019	33080	22264
26/02/2019	33550	22725	13/04/2019	31120	23845	29/05/2019	33410	22669

27/02/2019	33200	22755	14/04/2019	31120	23456	30/05/2019	34050	23208
28/02/2019	33140	22632	15/04/2019	33910	25679	31/05/2019	34620	22669
01/03/2019	33170	20929	16/04/2019	33290	22972	01/06/2019	32260	22441
02/03/2019	29980	21787	17/04/2019	36230	28845	02/06/2019	30760	22410
03/03/2019	28470	23074	18/04/2019	37890	31237	03/06/2019	33950	21713
04/03/2019	32350	22490	19/04/2019	31120	23534	04/06/2019	33050	22553
05/03/2019	32270	24561	20/04/2019	30050	23482	05/06/2019	27680	22154
06/03/2019	43750	39425	21/04/2019	27800	20640	06/06/2019	27890	29744
07/03/2019	38050	25511	22/04/2019	34050	28048	07/06/2019	36370	44311
08/03/2019	35750	22997	23/04/2019	38970	39213	08/06/2019	32030	21421
09/03/2019	32920	23134	24/04/2019	31530	50998	09/06/2019	29690	19766
10/03/2019	31570	21446	25/04/2019	34670	37396	10/06/2019	30390	20131
11/03/2019	35620	21640	26/04/2019	35160	28420	11/06/2019	33730	21047
12/03/2019	35470	21798	27/04/2019	31530	25467	12/06/2019	33410	22809
13/03/2019	35310	21192	28/04/2019	28420	23395	13/06/2019	33060	22769
14/03/2019	34700	21127	29/04/2019	34380	24503	14/06/2019	31450	22653
15/03/2019	34500	21179	30/04/2019	33410	24272	15/06/2019	31470	23062

16/06/2019	29780	22774	01/08/2019	30040	20670	16/09/2019	31630	21177
17/06/2019	31850	22574	02/08/2019	30820	20855	17/09/2019	32810	20446
18/06/2019	31900	23637	03/08/2019	28540	21050	18/09/2019	32530	21287
19/06/2019	32540	23268	04/08/2019	25090	20585	19/09/2019	32530	21264
20/06/2019	30630	22745	05/08/2019	29750	20680	20/09/2019	30600	21220
21/06/2019	31390	22564	06/08/2019	28890	20607	21/09/2019	25960	25499
22/06/2019	30250	22845	07/08/2019	29480	21468	22/09/2019	29820	22898
23/06/2019	35010	30053	08/08/2019	36800	38064	23/09/2019	33420	21863
24/06/2019	31590	23163	09/08/2019	33380	29967	24/09/2019	35630	30118
25/06/2019	33400	21359	10/08/2019	27610	21604	25/09/2019	33290	21983
26/06/2019	34000	20105	11/08/2019	25450	21403	26/09/2019	32390	21259
27/06/2019	33960	21150	12/08/2019	28610	21466	27/09/2019	32270	21427
28/06/2019	33270	21855	13/08/2019	28680	22155	28/09/2019	29320	21657
29/06/2019	30910	21335	14/08/2019	28670	21386	29/09/2019	27890	20038
30/06/2019	30170	20638	15/08/2019	26110	20302	30/09/2019	31820	21392
01/07/2019	32120	21357	16/08/2019	27550	20904	01/10/2019	32100	22325
02/07/2019	32360	21192	17/08/2019	25820	20931	02/10/2019	32110	21701
03/07/2019	32000	23112	18/08/2019	24320	20043	03/10/2019	31760	21256
04/07/2019	31660	20581	19/08/2019	28060	20598	04/10/2019	31430	21425
05/07/2019	31990	21209	20/08/2019	28140	20750	05/10/2019	27940	21059
06/07/2019	28870	21212	21/08/2019	28380	21210	06/10/2019	27260	20690
07/07/2019	27910	19805	22/08/2019	28720	21451	07/10/2019	31380	21225
08/07/2019	30300	20871	23/08/2019	29210	21220	08/10/2019	31550	21643
09/07/2019	33460	22017	24/08/2019	25970	19791	09/10/2019	31890	21265

10/07/2019	34370	22111	25/08/2019	24290	21211	10/10/2019	31470	21433
11/07/2019	34130	21736	26/08/2019	29180	20290	11/10/2019	31190	21310
12/07/2019	33770	21622	27/08/2019	29830	19899	12/10/2019	29430	21086
13/07/2019	30310	20903	28/08/2019	29290	19652	13/10/2019	28540	31571
14/07/2019	28500	19612	29/08/2019	29240	19643	14/10/2019	34290	37702
15/07/2019	32400	20647	30/08/2019	28940	19694	15/10/2019	32510	27171
16/07/2019	33120	20942	31/08/2019	27220	19831	16/10/2019	31370	30063
17/07/2019	32660	21148	01/09/2019	26270	19172	17/10/2019	34940	26961
18/07/2019	32450	21544	02/09/2019	30430	20392	18/10/2019	35020	24122
19/07/2019	32050	21179	03/09/2019	31000	20353	19/10/2019	33360	56578
20/07/2019	29650	21097	04/09/2019	30810	20570	20/10/2019	36360	27590
21/07/2019	28040	19707	05/09/2019	30710	20502	21/10/2019	35060	24636
22/07/2019	30790	20866	06/09/2019	30700	20341	22/10/2019	33860	23395
23/07/2019	31510	20816	07/09/2019	28090	20501	23/10/2019	34270	22286
24/07/2019	31820	20856	08/09/2019	27220	19261	24/10/2019	34040	22211
25/07/2019	32530	16077	09/09/2019	30270	19875	25/10/2019	32970	22067
26/07/2019	31690	19747	10/09/2019	30750	20146	26/10/2019	31230	21737
27/07/2019	29670	21238	11/09/2019	31730	20380	27/10/2019	30990	21149
28/07/2019	26820	20796	12/09/2019	31320	21116	28/10/2019	31350	22873
29/07/2019	31220	20913	13/09/2019	31350	21509	29/10/2019	31910	28249
30/07/2019	30650	20814	14/09/2019	29070	21568	30/10/2019	33600	56677
31/07/2019	30350	20732	15/09/2019	28030	20297	31/10/2019	37300	29759

01/11/2019	36500	32231	17/12/2019	40480	27798
02/11/2019	35360	29381	18/12/2019	38950	34724
03/11/2019	36290	36886	19/12/2019	26790	59894
04/11/2019	35980	41960	20/12/2019	36405	50316
05/11/2019	34730	35682	21/12/2019	36405	46375
06/11/2019	34980	36293	22/12/2019	36405	36752
07/11/2019	36320	32291	23/12/2019	36405	29896
08/11/2019	34780	30052	24/12/2019	36405	27679
09/11/2019	31660	32705	25/12/2019	36405	24647
10/11/2019	35200	30797	26/12/2019	36405	25705
11/11/2019	36520	29851	27/12/2019	41143	31447
12/11/2019	35640	30413	28/12/2019	41420	34716
13/11/2019	35710	34606	29/12/2019	38081	33161
14/11/2019	37110	42208	30/12/2019	38081	33059
15/11/2019	36360	28550	31/12/2019	38081	33143
16/11/2019	34920	26569			
17/11/2019	34340	29798			
18/11/2019	35000	26337			
19/11/2019	35060	29780	---	---	---

20/11/2019	37090	30551	---	---	---
21/11/2019	32120	34578	---	---	---
22/11/2019	35090	50372	---	---	---
23/11/2019	35240	34330	---	---	---
24/11/2019	36460	34148	---	---	---
25/11/2019	36460	30673	---	---	---
26/11/2019	36880	47705	---	---	---
27/11/2019	35980	31796	---	---	---
28/11/2019	35900	44771	---	---	---
29/11/2019	35580	39077	---	---	---
30/11/2019	35440	48986	---	---	---
01/12/2019	33740	43167	---	---	---
02/12/2019	33440	34898	---	---	---
03/12/2019	33090	30852	---	---	---
04/12/2019	36710	29594	---	---	---
05/12/2019	35675	28738	---	---	---
06/12/2019	35675	27993	---	---	---
07/12/2019	34390	27604	---	---	---
08/12/2019	32290	31867	---	---	---
09/12/2019	34340	31062	---	---	---
10/12/2019	35100	30966	---	---	---
11/12/2019	35770	28019	---	---	---
12/12/2019	34570	45635	---	---	---
13/12/2019	35970	26742	---	---	---
14/12/2019	36780	24835	---	---	---
15/12/2019	25650	54984			
16/12/2019	31230	41658			

Anexo J | Gráficos Obtidos pela Aplicação do Modelo de ARIMA

Nas Figuras J.1 a J.9, apresentam-se os gráficos obtidos pela aplicação do modelo de ARIMA, com a previsão de caudais de águas residuais, para as bacias analisadas.

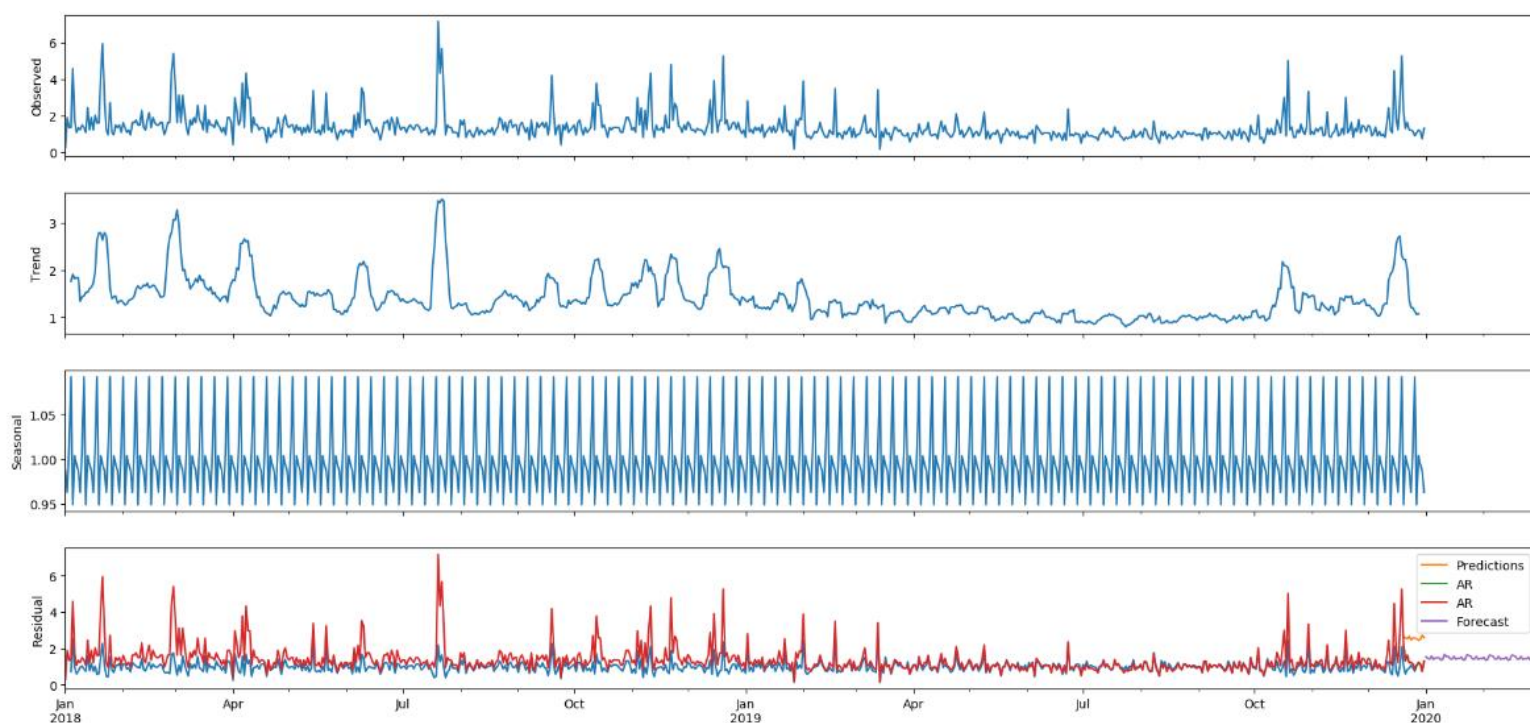


Figura J.1. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia do Alto Arrábida, aplicando o modelo de ARIMA

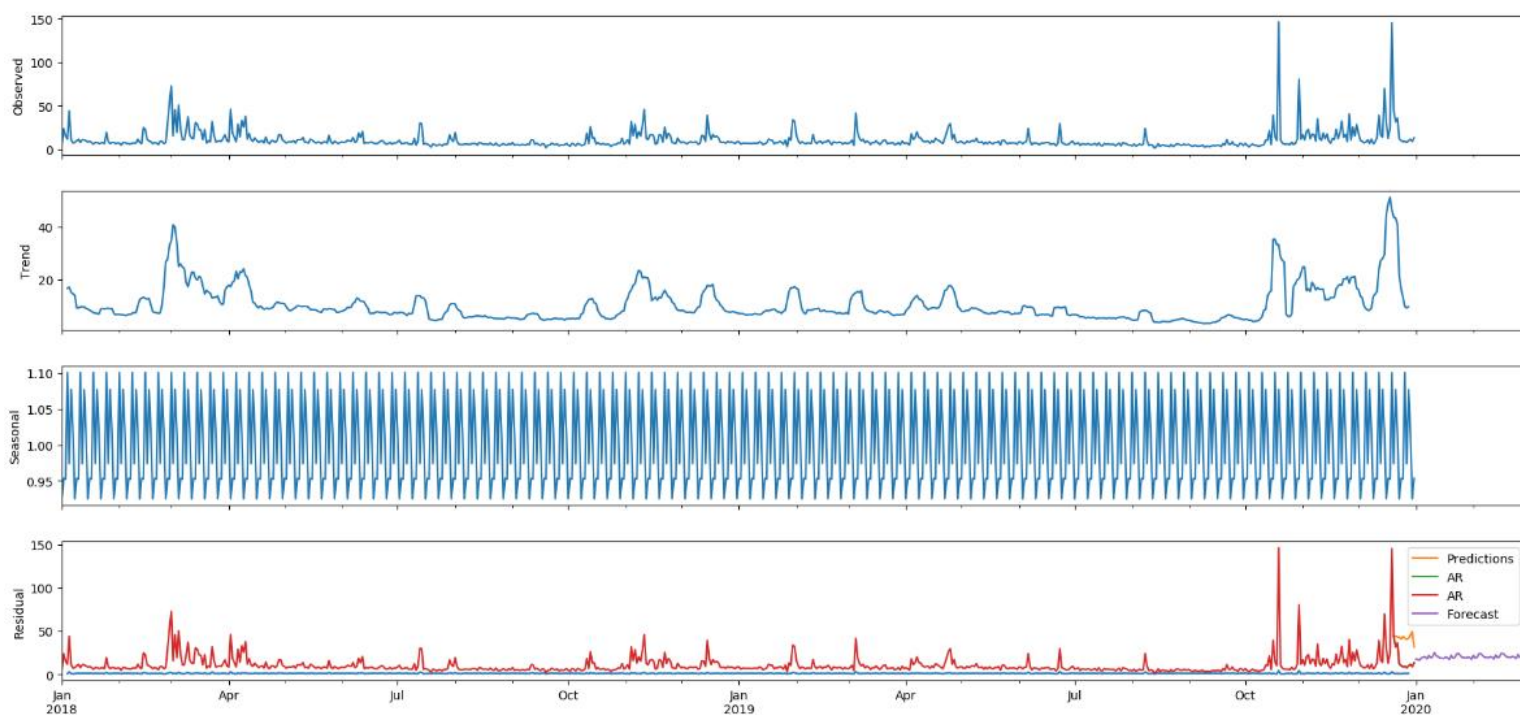


Figura J.2. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia de Augusto Lessa, aplicando o modelo de ARIMA

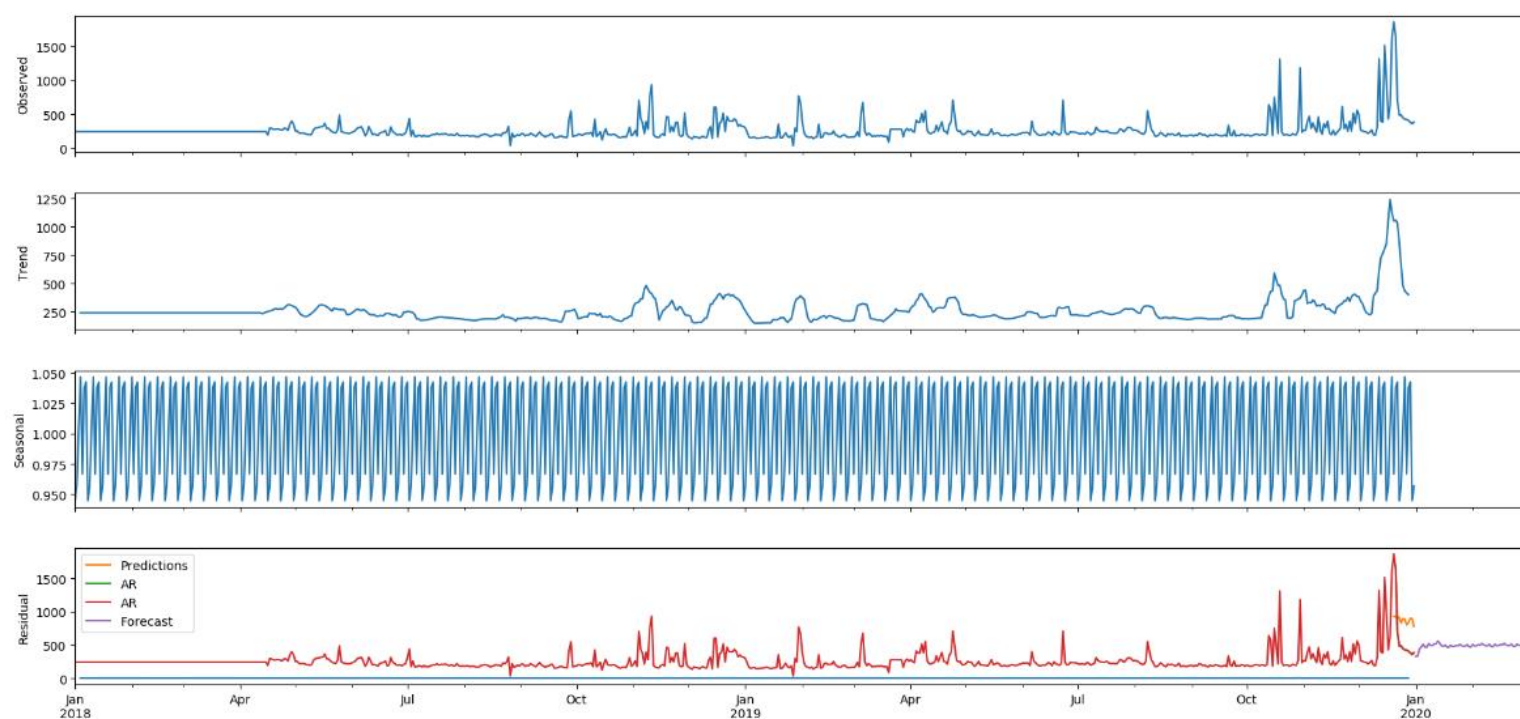


Figura J.3. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia do Bacelo, aplicando o modelo de ARIMA

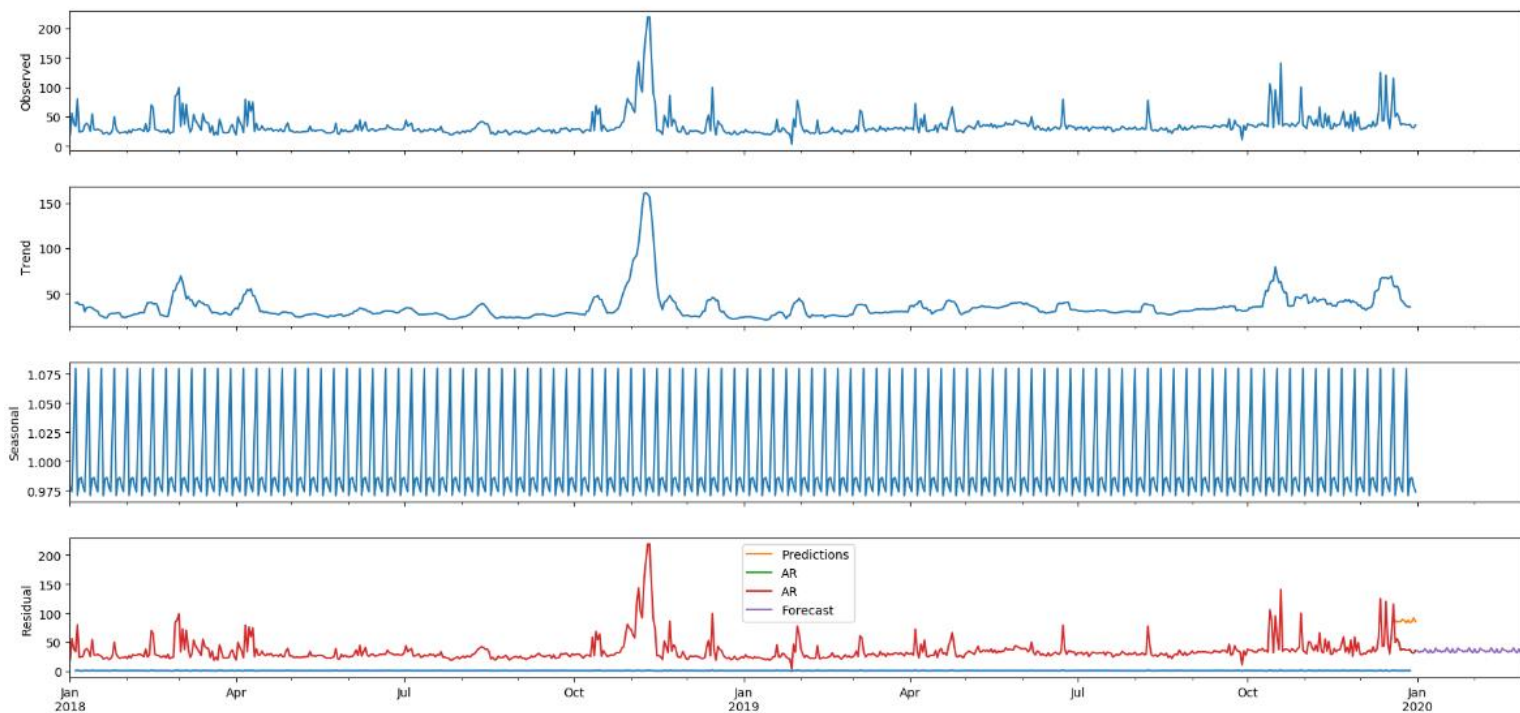


Figura J.4. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia da Igreja Paranhos, aplicando o modelo de ARIMA

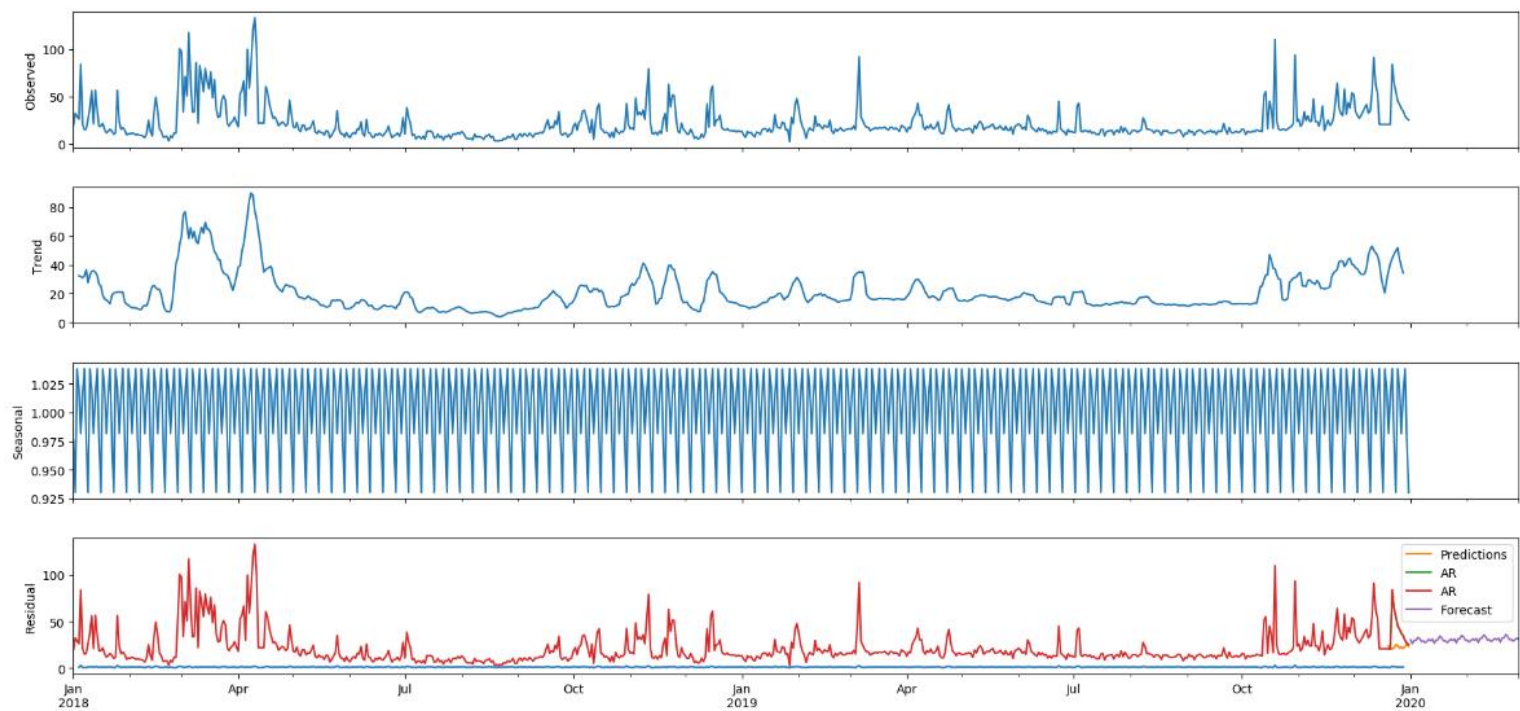


Figura J.5. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia de Nevogilde, aplicando o modelo de ARIMA

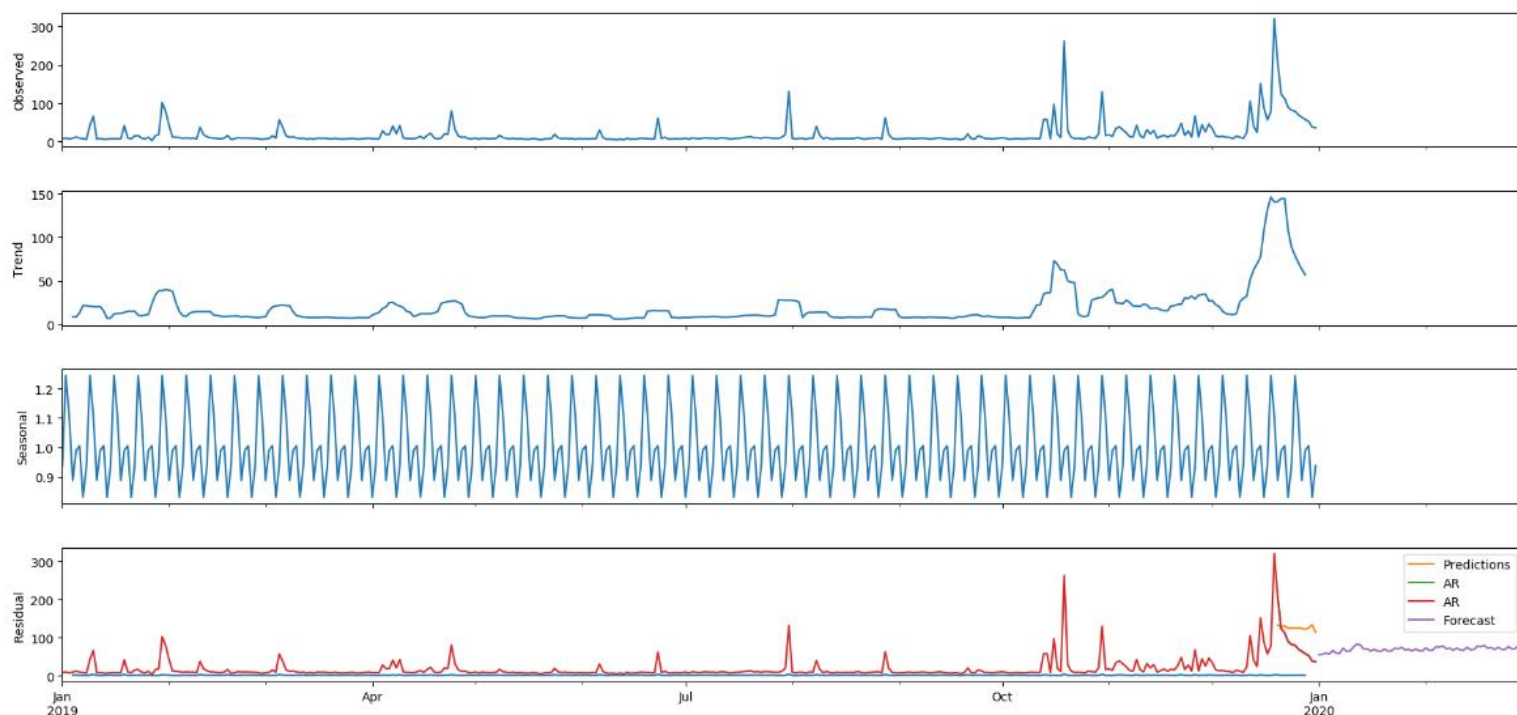


Figura J.6. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia do Pêgo Negro, aplicando o modelo de ARIMA

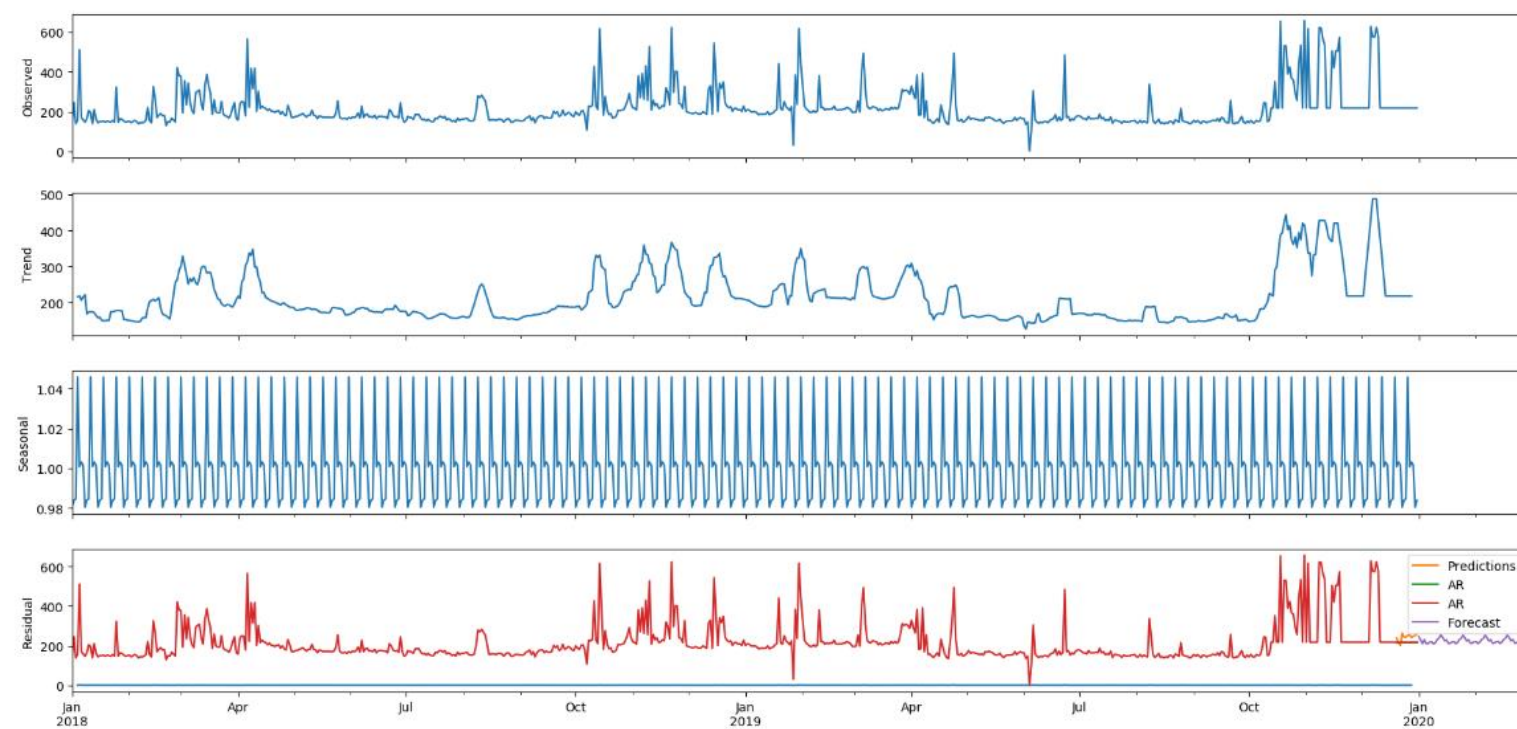


Figura J.7. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia do Pinheiro Torres, aplicando o modelo de ARIMA

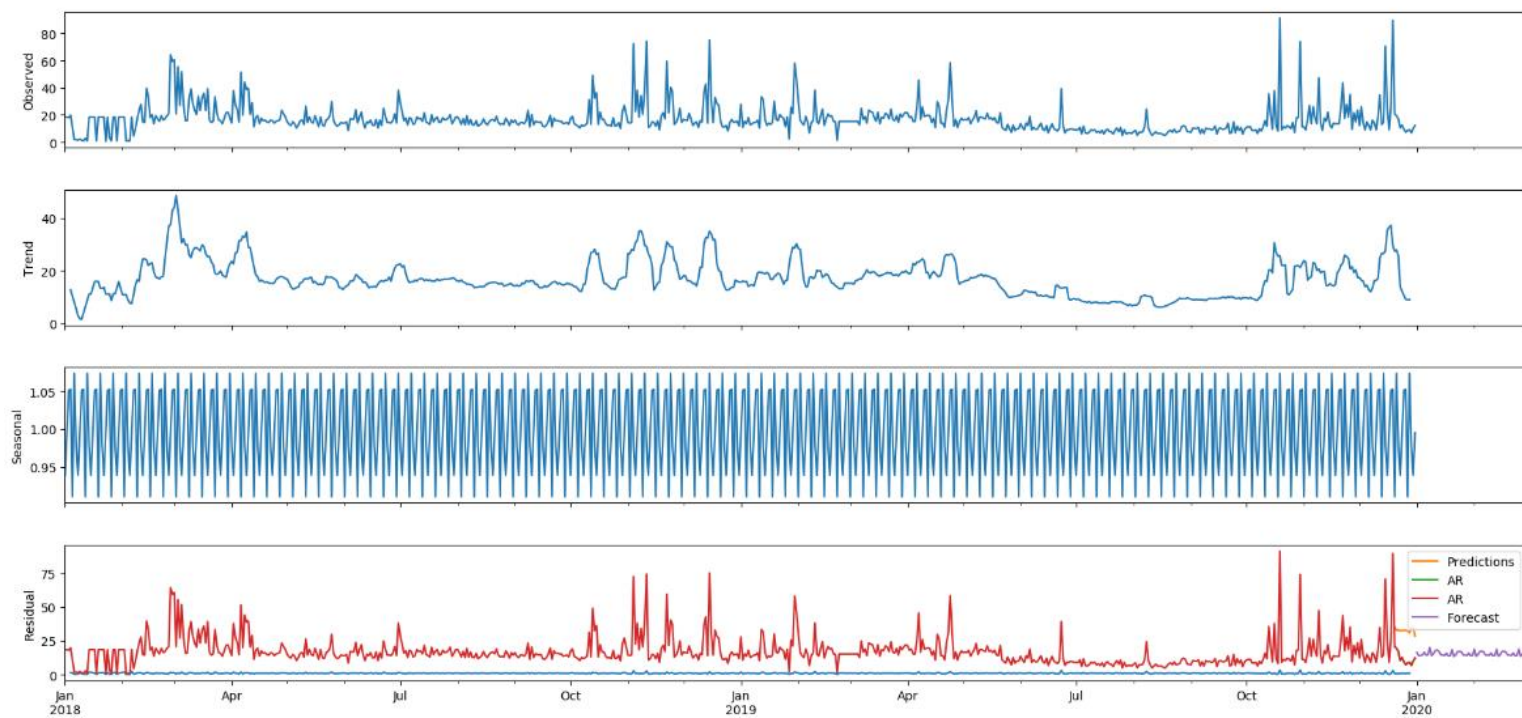


Figura J.8. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia de Serralves, aplicando o modelo de ARIMA

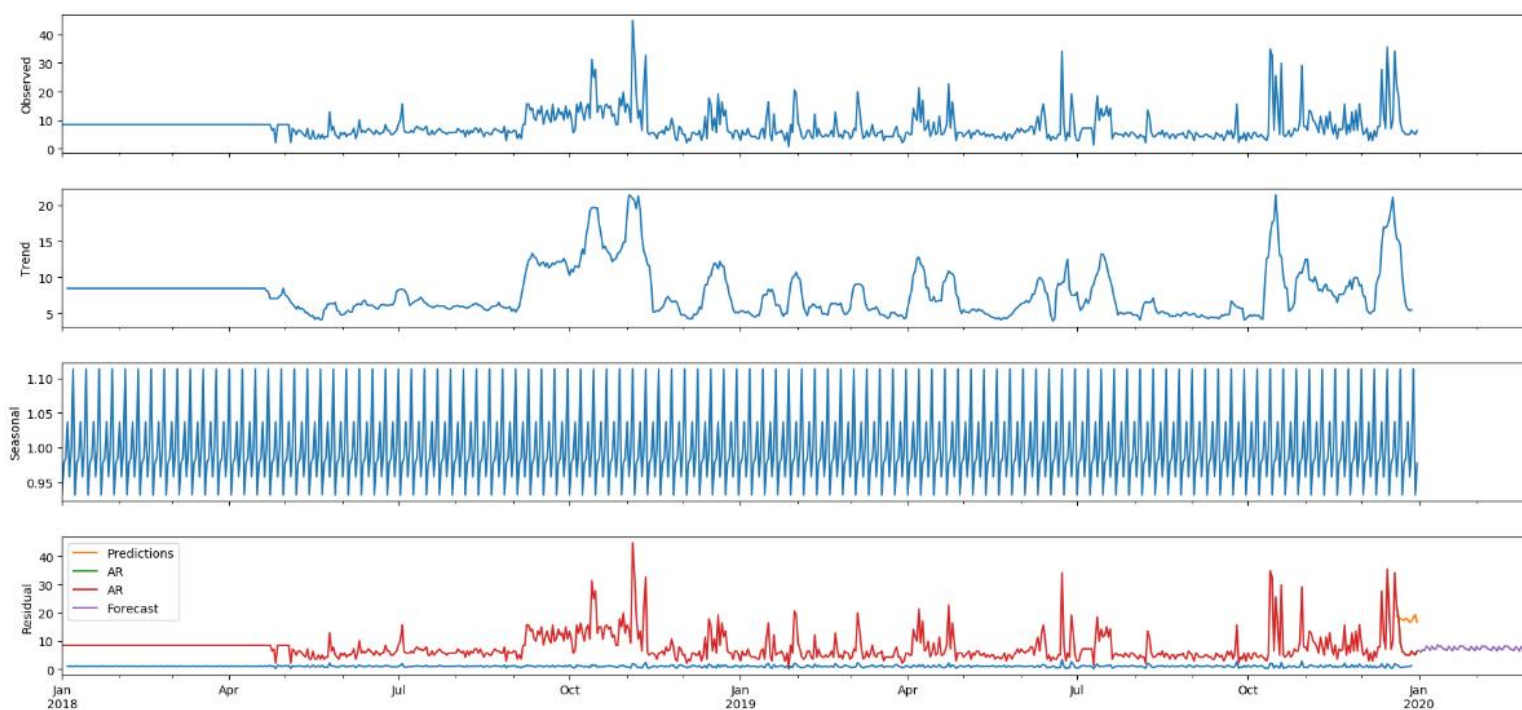


Figura J.9. Previsão dos caudais de águas residuais na bacia de Tirares, aplicando o modelo de ARIMA

Nas Figuras J.10 a J.17, apresentam-se os gráficos obtidos pela aplicação do modelo de ARIMA, com a previsão de caudais de águas residuais domésticas, para as bacias analisadas.

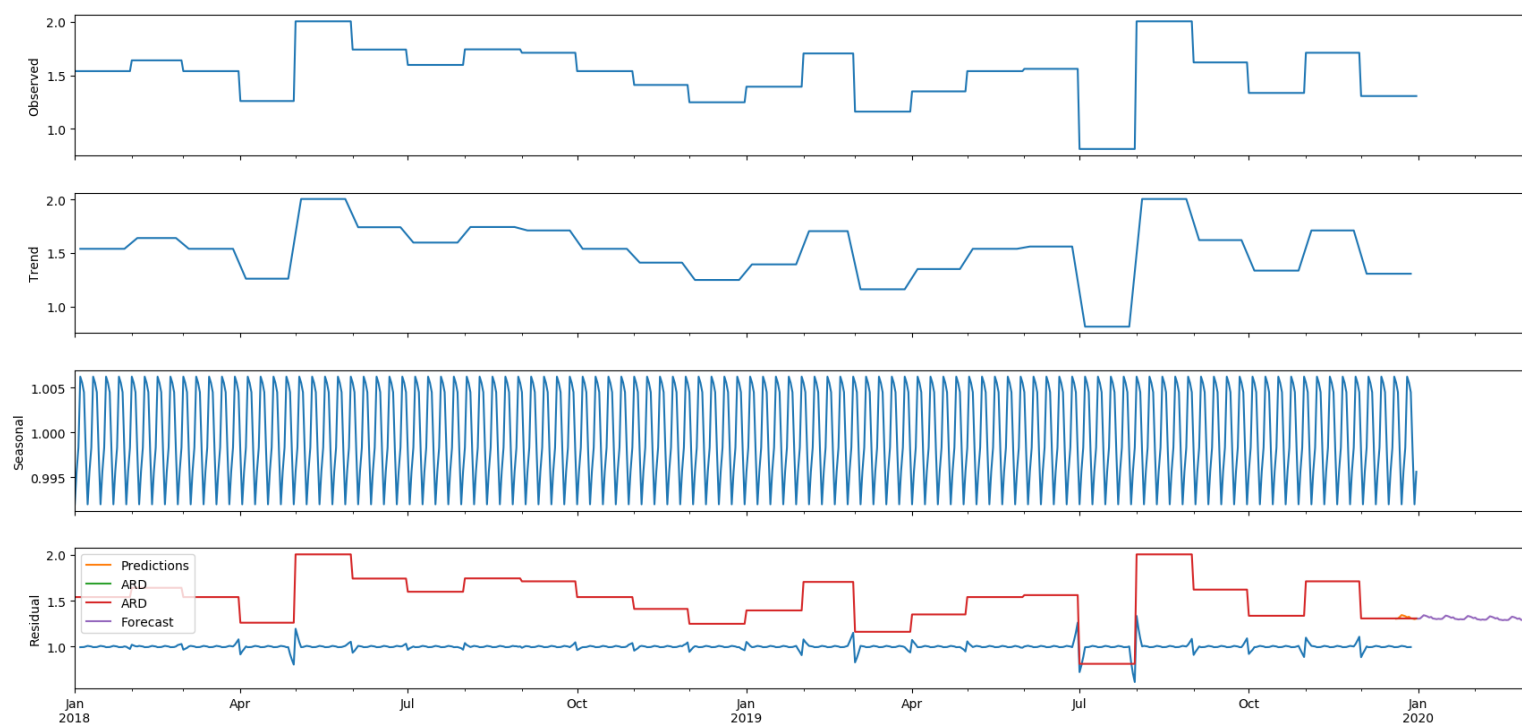


Figura J.10. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia do Alto Arrábida, aplicando o modelo de ARIMA

Afluências Indevidas em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais

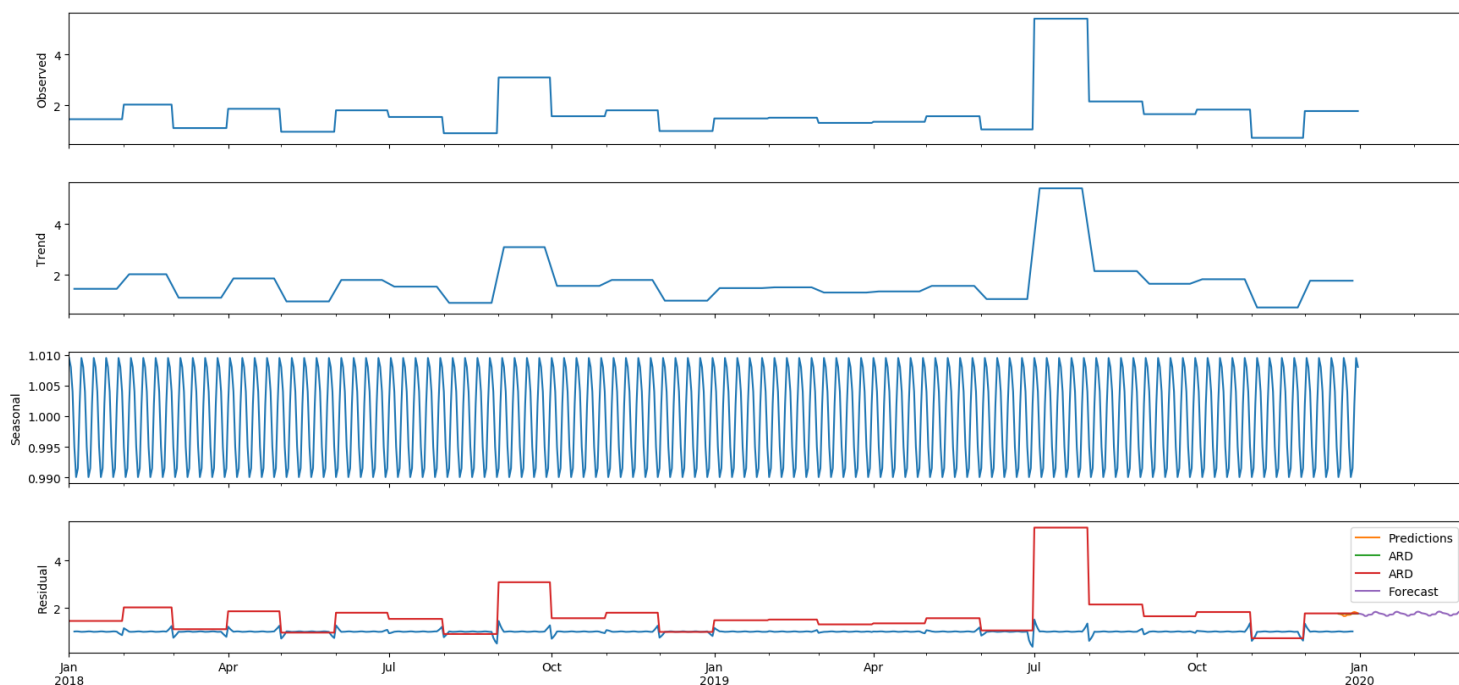


Figura J.11. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia de Augusto Lessa, aplicando o modelo de ARIMA

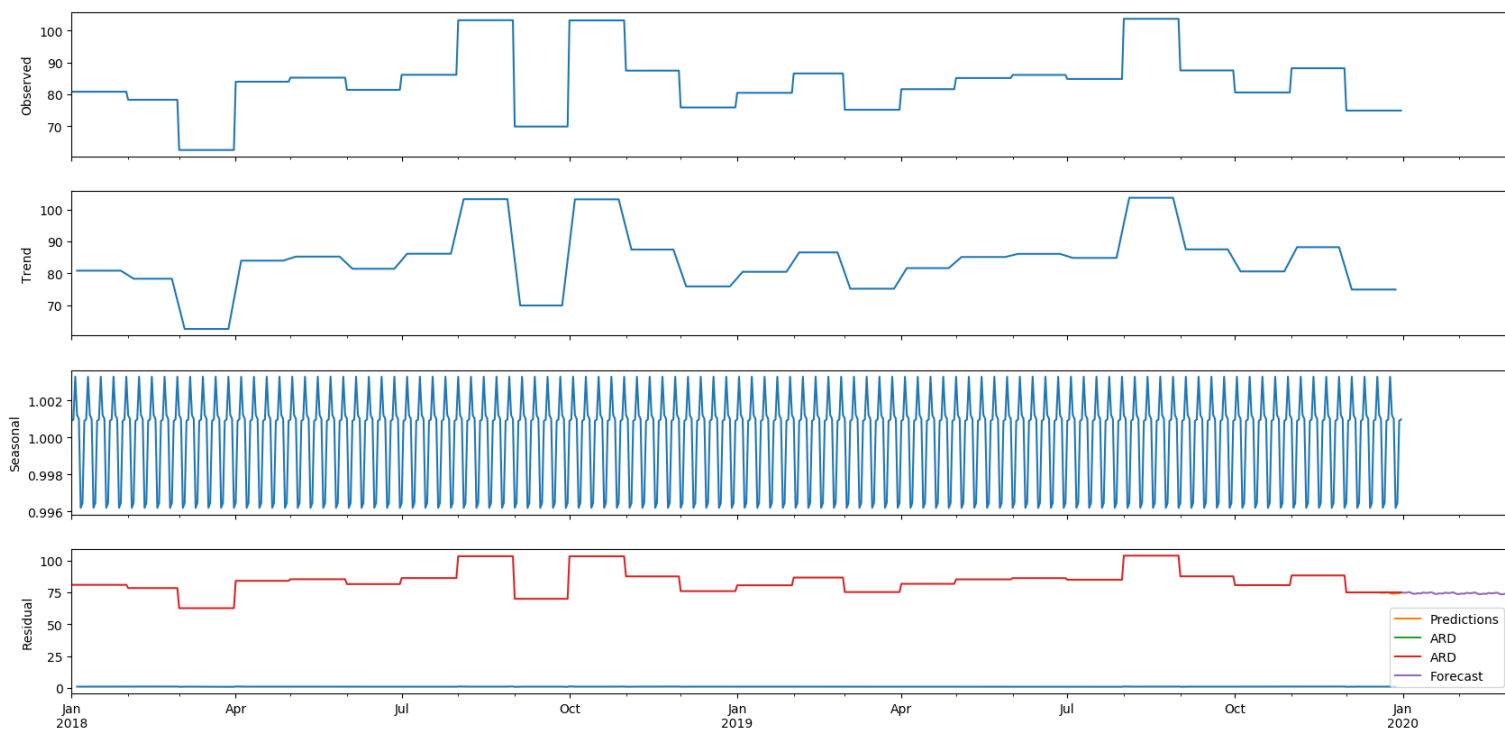


Figura J.12. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia do Bacelo, aplicando o modelo de ARIMA

Afluências Indevidas em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais

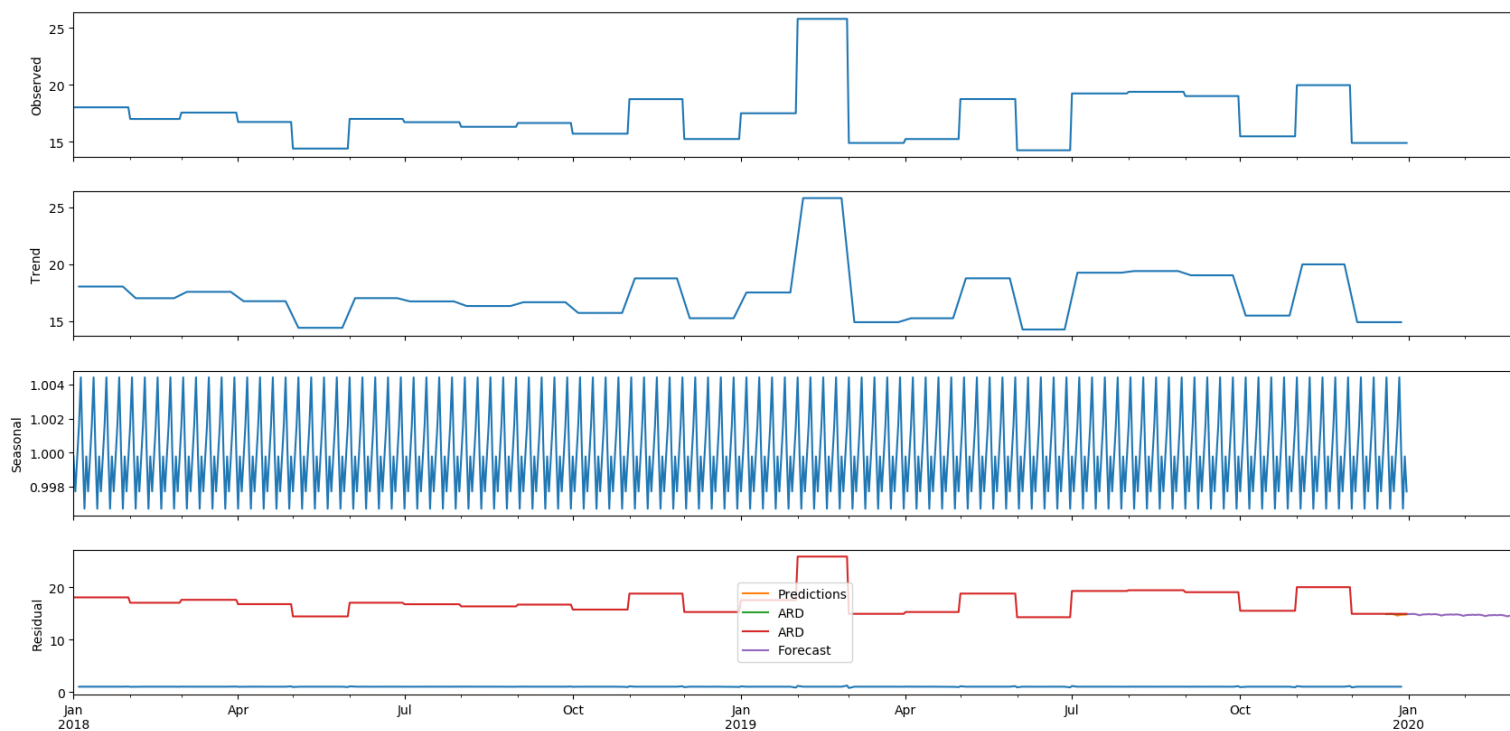


Figura J.13. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia da Igreja Paranhos, aplicando o modelo de ARIMA

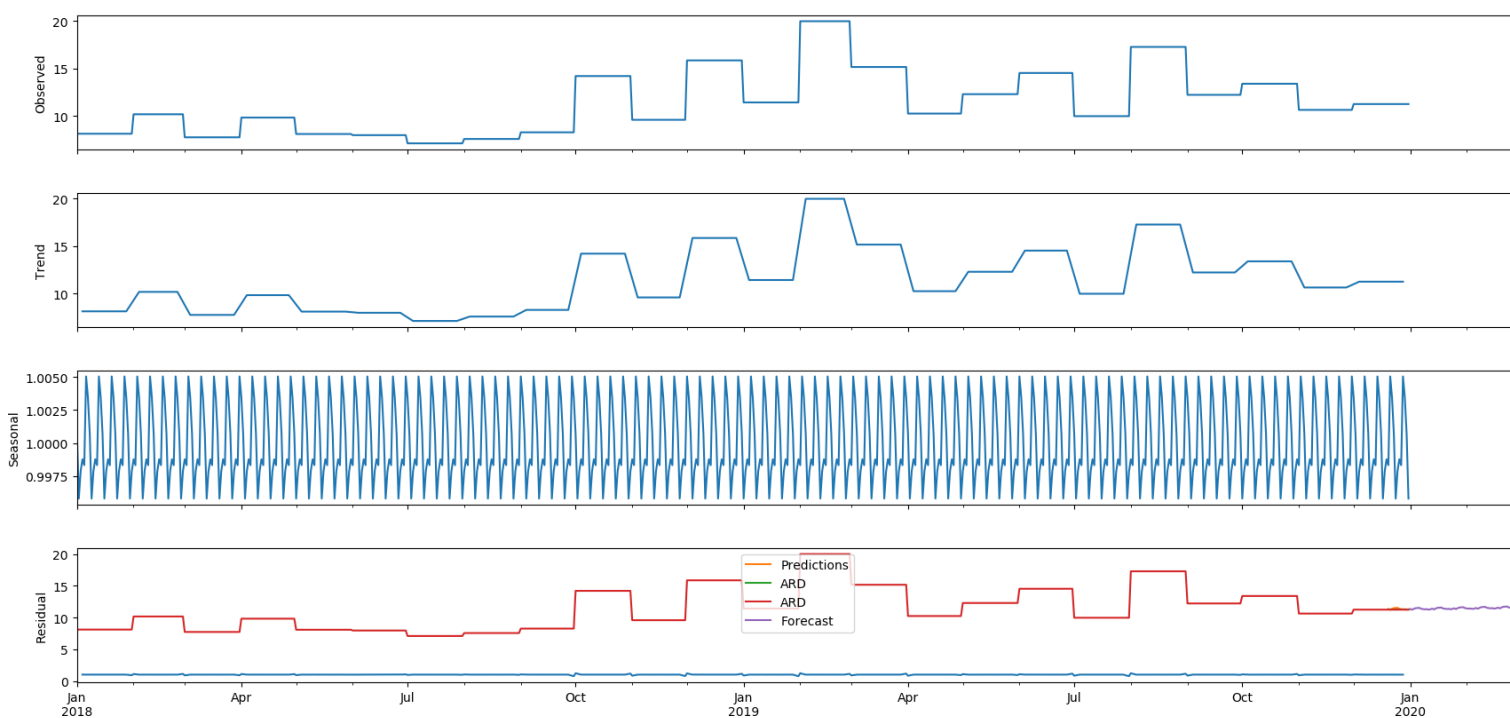


Figura J.14. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia de Nevogilde, aplicando o modelo de ARIMA

Afluências Indevidas em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais

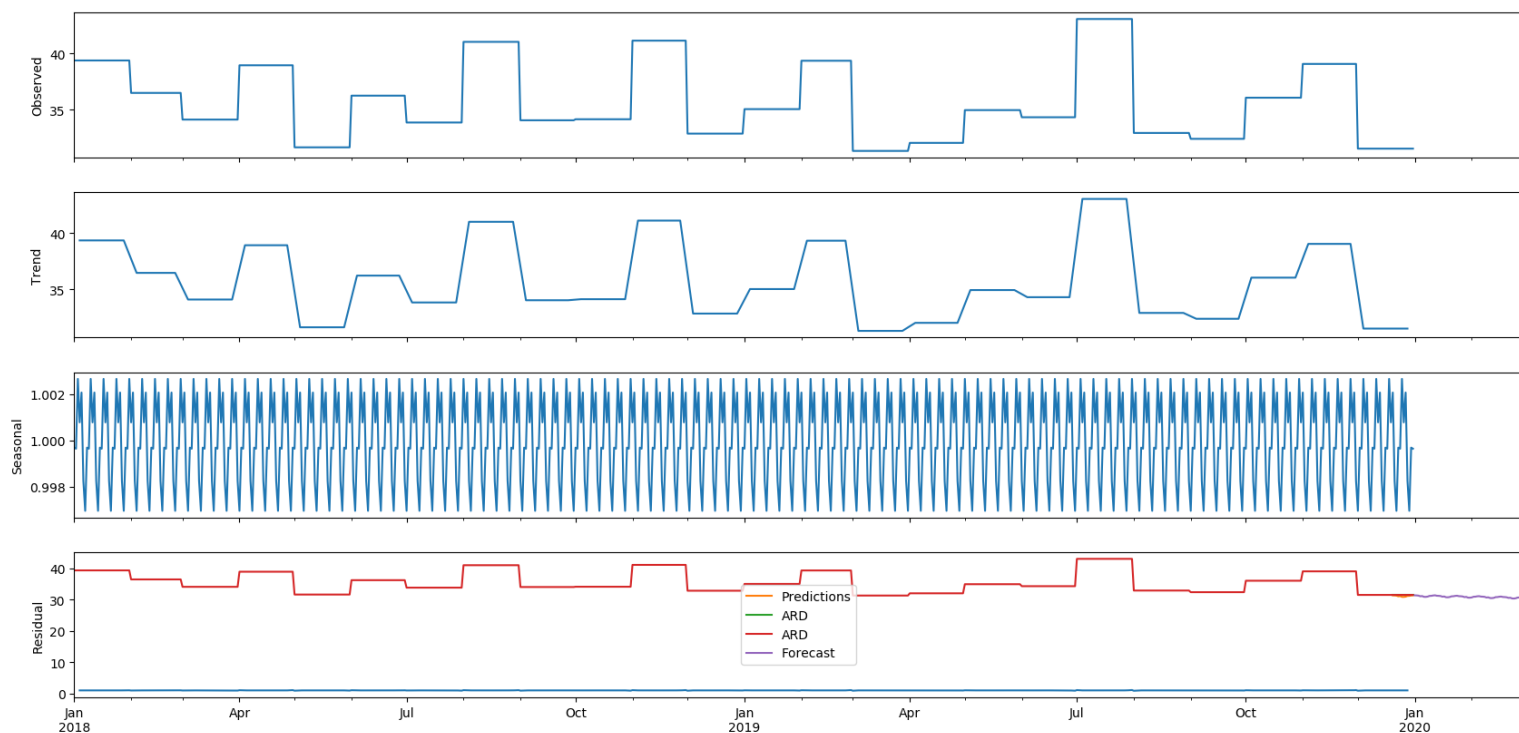


Figura J.15. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia de Nova Rio, aplicando o modelo de ARIMA

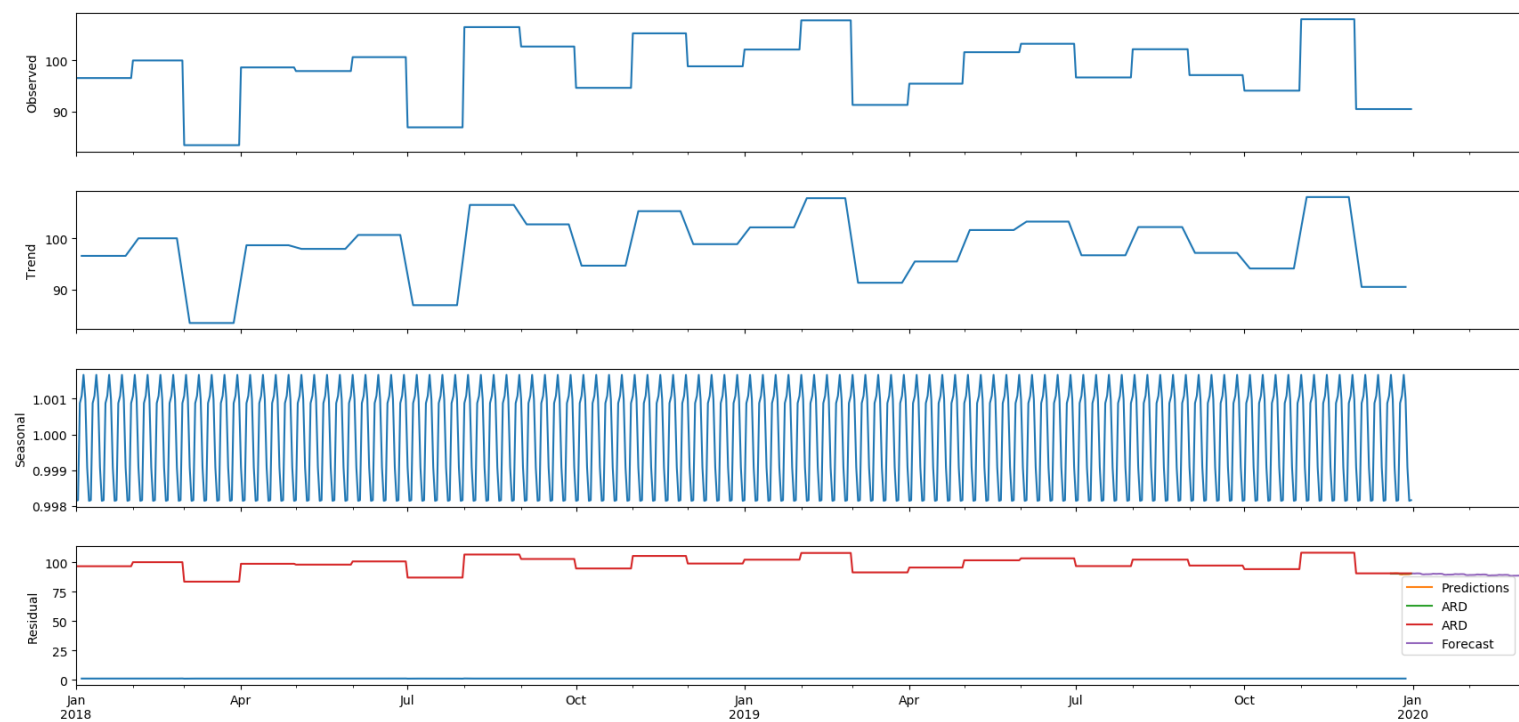


Figura J.16. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia do Pinheiro Torres, aplicando o modelo de ARIMA

Afluências Indevidas em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais

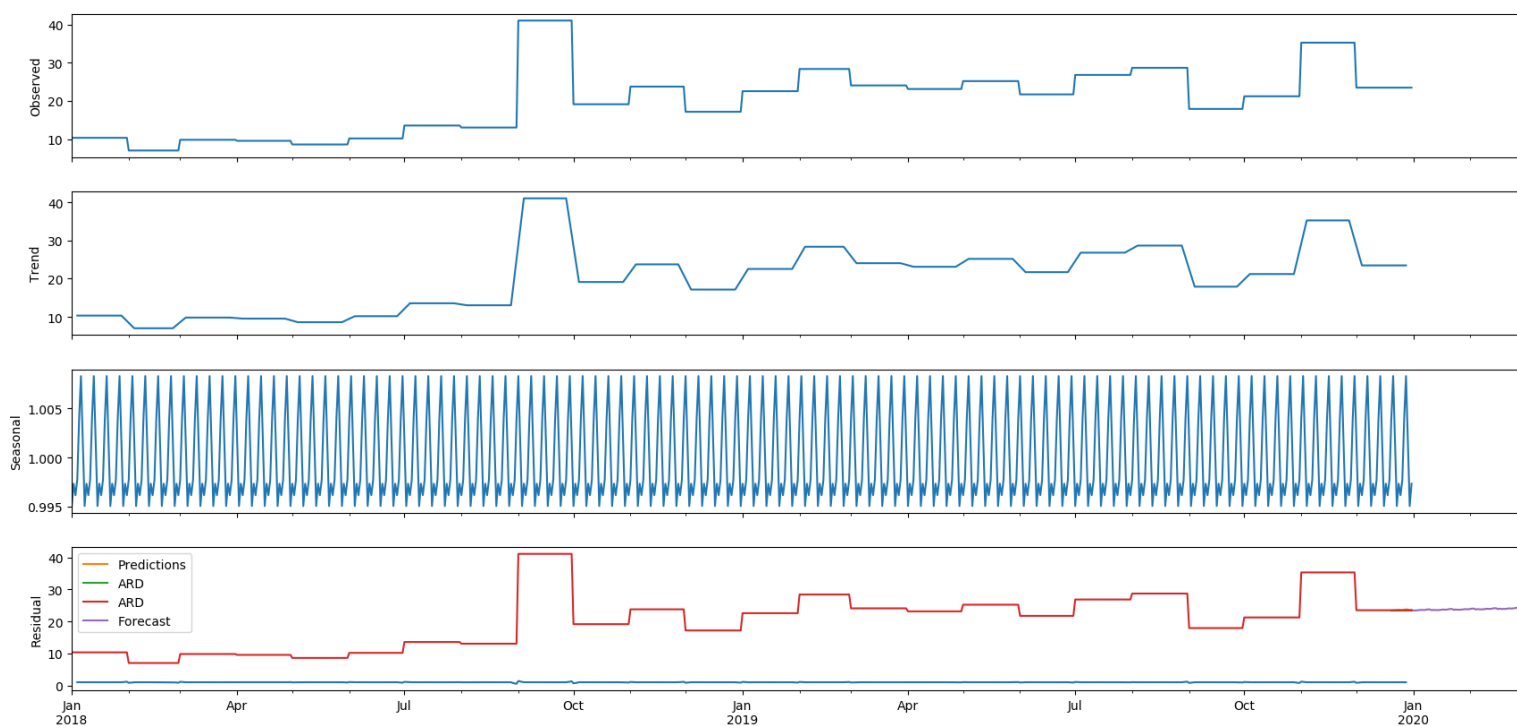


Figura J.17. Previsão dos caudais de águas residuais domésticas na bacia de Serralves, aplicando o modelo de ARIMA

Nas Figuras J.18 e J.19, apresentam-se os gráficos obtidos pela aplicação do modelo de ARIMA, com a previsão de caudais afluentes para as ETAR de Sobreiras e do Freixo.

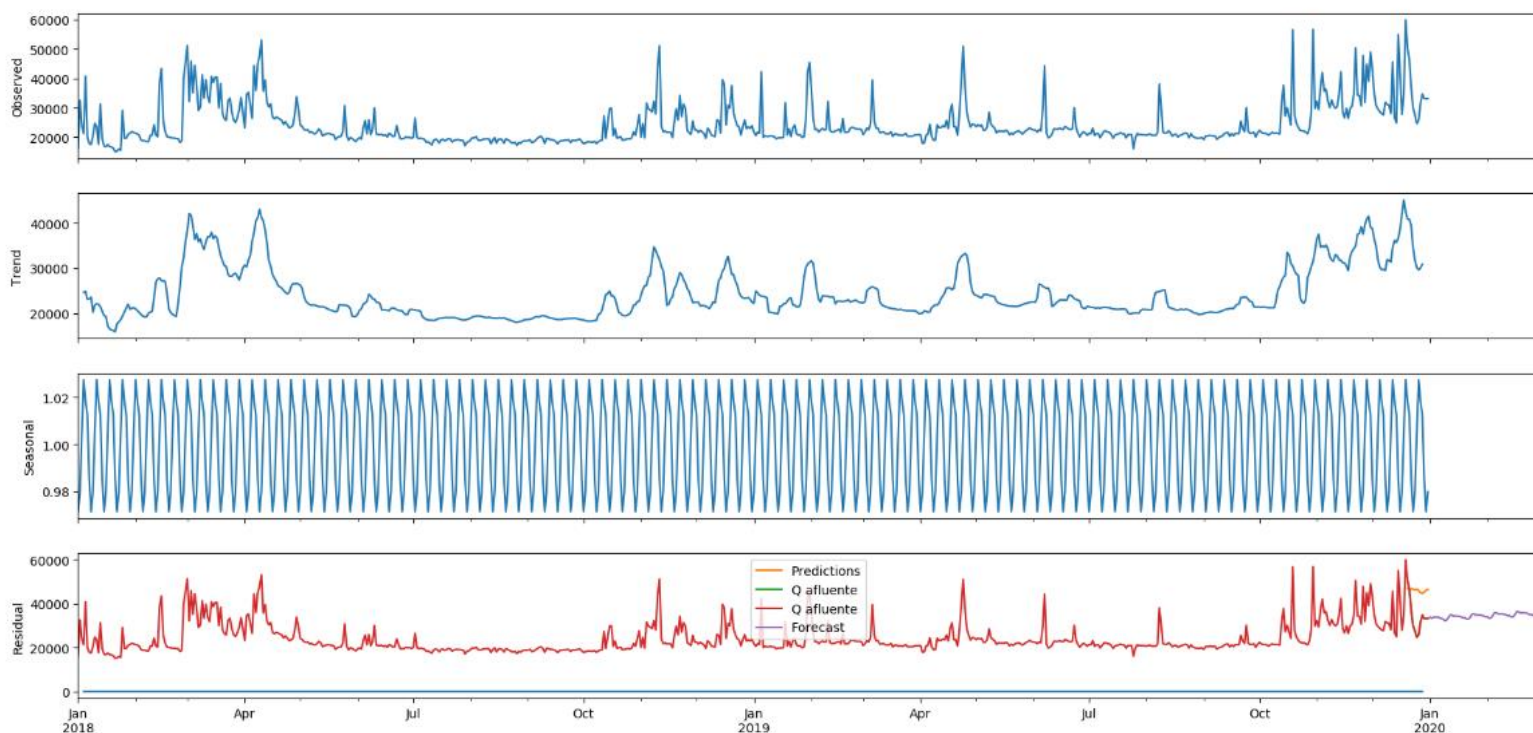


Figura J.18. Previsão dos caudais afluentes à ETAR de Sobreiras, aplicando o modelo de ARIMA

Afluências Indevidas em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais

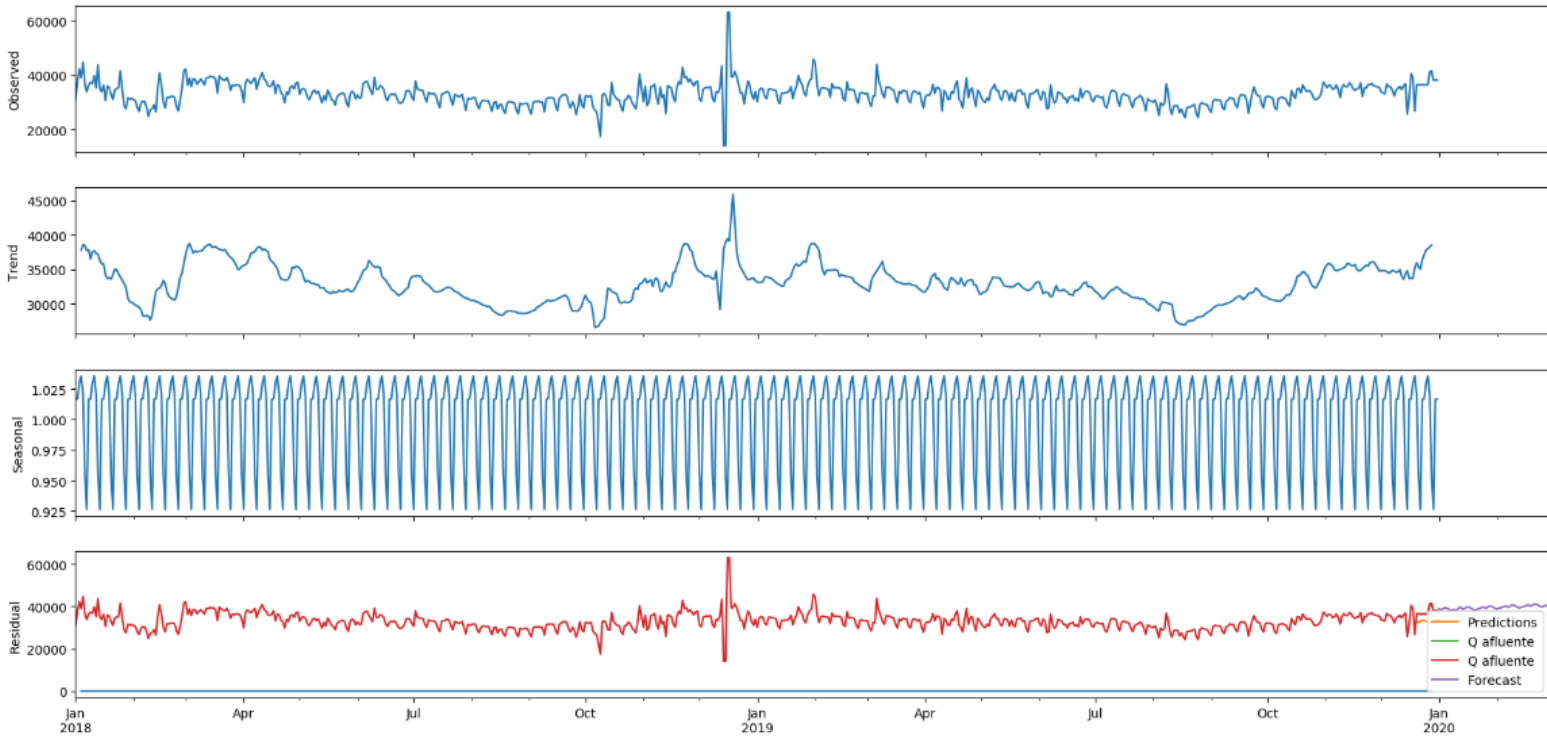


Figura J.19. Previsão dos caudais afluentes à ETAR do Freixo, aplicando o modelo de ARIMA