



Diana Margarida Rodrigues França

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA DA IMPORTÂNCIA DAS AFLUÊNCIAS INDEVIDAS NOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUA

TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF THE IMPORTANCE OF INFILTRATIONS AND INFLOWS IN WATER
DRAINAGE SYSTEMS

Dissertação de Mestrado em Gestão Sustentável do Ciclo Urbano da Água na área de Especialização em Engenharia de Saúde Pública,
orientada pelo Professor Doutor José Alfeu Almeida de Sá Marques e pelo Professor Doutor Nuno Eduardo da Cruz Simões

Coimbra, 28 de março de 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Universidade do Minho
Escola de Engenharia



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Diana Margarida Rodrigues França

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA DA IMPORTÂNCIA DAS AFLUÊNCIAS INDEVIDAS NOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUA

TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF THE IMPORTANCE OF INFILTRATIONS AND INFLOWS IN WATER DRAINAGE SYSTEMS

Dissertação de Mestrado em Gestão Sustentável do Ciclo Urbano da Água na área de Especialização em Engenharia de Saúde Pública,
orientada pelo Professor Doutor José Alfeu Almeida de Sá Marques e pelo Professor Doutor Nuno Eduardo da Cruz Simões

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 28 de março de 2018

“Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton

Análise técnico-económica da importância das afluências
indevidas nos sistemas de drenagem de águas.

*Aos meus pais, António e Fernanda,
e ao meu irmão, Paulo.*

AGRADECIMENTOS

Torna-se difícil enumerar todas as pessoas que me auxiliaram na realização desta dissertação, no entanto, não podia deixar de fazer um breve agradecimento a algumas pessoas que de alguma forma contribuíram para todo o meu percurso e conclusão desta fase académica tão importante na minha vida.

Aos meus orientadores, Professor José Alfeu Almeida de Sá Marques e Professor Nuno Eduardo da Cruz Simões, pela disponibilidade dada ao longo da elaboração do meu trabalho, e pela partilha de conhecimentos e ideias para que os objetivos da minha dissertação fossem cumpridos.

Ao Eng.º Fernando Castanheira Pinto, da Águas do Norte S. A., pela disponibilidade que sempre teve para comigo.

Aos meus eternos amigos do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, por todos os momentos que foram vividos de forma intensa ao longo destes anos. Um obrigada do tamanho do mundo!

Aos meus colegas do Mestrado, pelo companheirismo e pela partilha de conhecimentos. Por tornarem simples conversas de ocasião em momentos de sabedoria, e por me terem tratado sempre tão bem.

Por fim, aos meus pais, António e Fernanda, pelo apoio incondicional. Por me terem sempre incentivado a nunca desistir, e por depositarem em mim toda a confiança. Por me terem guiado da melhor forma, para que sempre atingisse os meus objetivos pessoais. E por terem sido o meu pilar na realização desta dissertação. Obrigada!

Ao meu irmão, Paulo, por ser a minha fonte de inspiração. Por me fazer acreditar que com trabalho, empenho e esforço os nossos sonhos conseguem ser realizados. Por me fazer também acreditar que com dedicação, somos capazes de conquistar o mundo.

RESUMO

As aflúências indevidas às redes de drenagem são cada vez menos desprezáveis e a sua contribuição representa uma percentagem considerável do volume que é entregue às Estações de Tratamento de Águas Residuais. Esta contribuição assume um papel importante a nível ambiental, social, técnico e estrutural, económico-financeiro e na saúde pública, e assim vai-se ganhando consciência do impacto desta problemática.

O acréscimo das aflúências indevidas é um tema complexo devido às suas diversas causas e origens. Os principais motivos que potenciam este tipo de infiltrações na rede são os fenómenos pluviométricos (causador principal), a elevação do nível freático, o estado de conservação da rede (idade, materiais, acessórios...) e as ligações clandestinas de águas pluviais à rede de drenagem.

No entanto, duas das maiores problemáticas são o facto de, a maioria das vezes, as redes de drenagem não estarem devidamente preparadas e dimensionadas para estes volumes, nem ter havido uma análise preventiva para os receber, e o facto destes grandes volumes não necessitarem de tratamento biológico, no entanto, ao afluírem à ETAR são tratados como águas residuais e sofrem os vários processos de tratamento. Isto implica o aumento significativo dos volumes que chegam à ETAR, nomeadamente nos meses mais chuvosos, a perda de eficácia do tratamento e o custo acrescido do tratamento destes volumes. O aumento do volume de água a tratar pode, por vezes, chegar a valores tão elevados que a ETAR não tem capacidade para funcionar corretamente, pois o volume a tratar ultrapassa o volume de dimensionamento e vê-se assim “obrigada” a realizar descargas indesejadas e sem qualquer tratamento nos meios hídricos recetores, o que ambientalmente pode ser prejudicial, mas é a solução mais viável para contornar este acréscimo de água a tratar.

Com esta dissertação pretende-se analisar as características e as condições das redes de drenagem, abordando especialmente as causas e origens das infiltrações e a sua respetiva quantificação. Pretende-se também quantificar o volume que chega às ETAR devido à contribuição das águas pluviais e analisar o encargo financeiro que lhe está associado.

Palavras-Chave: Aflúências indevidas; Águas pluviais; Drenagem de águas residuais; Drenagem urbana; Infiltrações.

ABSTRACT

The inflows and infiltrations to the drainage systems are less content and their co-participation represent a substantial percentage on the volume that flows to the Wastewater Treatment Plant. This co-participation assume an important role at the environmental, social, technical and structural, economic-financial and public health levels, and this way becomes aware of the impact of this problem.

The increase inflow and infiltration is a complex subject, because of it diversity causes and origins. The main reasons that support this problem are the pluviometric phenomena (main cause), groundwater elevation level, an increase in the level of load, the state of systems drainage conservation (age, materials, accessories...) and the clandestine connections of rainwater systems to the wastewater drainage systems.

However, two of the most problematics, are the fact of most of the times the drainage systems aren't properly prepared and dimensioned for this volumes, neither have been a preventive analysis to receive them, and the fact of this big volumes don't need biological treatment, however, when they flow to the Wastewater Treatment Plant are treated like wastewater and suffer the several treatment process. This implies a significant increase in the volumes that flow to the Wastewater Treatment Plant, manely, in the rainy months, the treatment lost efficiency and the added treatment cost for this volumes. The increase of the water volumes to be treated, sometimes can reach such high values that the Wastewater Treatment Plant doesn't have the capacity to work correctly, because the volume to be treated exceeds the sizing volumes and the treatment station commitment to realized unwanted discharges without any treatment in the receiving water environments, which can be environmentally harmful but is the most viable solution to avoid this increase of water to be treated.

This dissertation intends to analyse the characteristics and the wastewater drainage conditions, approaching specially the causes and infiltrations origins, and respective quantification. It also intend to quantify the volume that flows to the Wastewater Treatment Plant due to the rainwater participation and analyse the financial burden associated with it.

Key-Words: Infiltration; Inflow; Rainwater; Urban drainage; Wastewater drainage system.

ÍNDICE DE TEXTO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE TEXTO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE QUADROS	xi
ACRÓNIMOS	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Apresentação e Enquadramento do tema.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Estrutura da Dissertação	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Drenagem urbana.....	5
2.2. Aflúências indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais.....	7
2.3. Fatores que contribuem para a ocorrência de aflúências indevidas.....	13
2.4. Impacto das infiltrações no desempenho dos sistemas de drenagem	14
2.5. Métodos de inspeção, monitorização e detenção de aflúências indevidas.....	16
2.6. Custos associados às aflúências indevidas.....	19
2.7. Controlo e métodos de quantificação das aflúências indevidas.....	20
2.8. Indicadores de desempenho técnico para as aflúências indevidas.....	32
2.9. Enquadramento estratégico.....	33
3. METODOLOGIA.....	34
3.1. Estudo do caso de Chaves, Mirandela e Vila Real	34

3.2.	Descrição geral dos casos de estudo	34
3.3.	Proposta da metodologia para a quantificação das afluências indevidas.....	35
3.4.	Análise da precipitação	37
4.	APLICAÇÃO AOS ESTUDOS DE CASO	39
4.1.	Estudo do caso de Chaves.....	39
4.2.	Estudo do caso de Mirandela	45
4.3.	Estudo do caso de Vila Real	51
4.4.	Influência da ocorrência de precipitação	58
4.5.	Análise económica da contribuição das afluências indevidas	59
4.6.	Análise crítica dos resultados obtidos.....	62
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....	63
5.1.	Conclusões	63
5.2.	Recomendações para trabalhos futuros.....	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Ciclo urbano da água (AdP, 2015).....	1
Figura 2.1 – Ilustração da diferença entre os dois tipos de aflúências (adaptado Jamestown BPU, 2005).	8
Figura 2.2 – Tipos de aflúência indevidas diretas (Paixão, 2016).....	9
Figura 2.3 – Tipos de aflúências indevidas indiretas (Paixão, 2016).....	10
Figura 2.4 – Infiltração na câmara de visita (foto cedida por INOVA, s/d).....	13
Figura 2.5 – Infiltração nas juntas (foto cedida por INOVA, s/d).....	13
Figura 2.6 – Anomalia coletor: ramal de ligação com deslocamento transversal (foto cedida por INOVA, s/d).....	13
Figura 2.7 – Anomalia na junta do coletor devido a raízes (foto cedida por INOVA, s/d).....	13
Figura 2.8 – Coletor obstruído devido a acumulação de gordura (foto cedida por INOVA, s/d).	13
Figura 2.9 – Coletor deformado (foto cedida por INOVA, s/d).....	13
Figura 2.10 – Otimização do custo associado à redução de infiltrações numa rede de drenagem (Amorim, 2007).	20
Figura 2.11 – Exemplo da aplicação do método do triângulo para a separação das parcelas de origem doméstica, infiltração e escoamento superficial (Paixão, 2016).	24
Figura 2.12 – Exemplo de aplicação do método do mínimo móvel para a elaboração de hidrogramas de aflúências indevidas (adaptado Mortinho, 2011).	27
Figura 3.1 – Gráfico da precipitação acumulada em Bragança e Vila Real nos anos 2015, 2016, 2017 (IPMA, 2018).....	38
Figura 3.2 – Número de dias influenciados pela precipitação (IPMA, 2018).....	38
Figura 4.1 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2015.....	40
Figura 4.2 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2016.....	41
Figura 4.3 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2017.....	41
Figura 4.4 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2015.....	43
Figura 4.5 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2016.....	43
Figura 4.6 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2017.....	44
Figura 4.7 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2015.....	47

Figura 4.8 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2016.....	47
Figura 4.9 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2017.....	48
Figura 4.10 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2015.....	49
Figura 4.11 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2016.....	49
Figura 4.12 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2017.....	50
Figura 4.13 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2015.....	53
Figura 4.14 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2016.....	53
Figura 4.15 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2017.....	54
Figura 4.16 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2015.....	55
Figura 4.17 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2016.....	55
Figura 4.18 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2017.....	56
Figura 4.19 – Gráfico da combinação do caudal residual afluente à ETAR de Chaves com os valores de precipitação registados no ano de 2017.....	58
Figura 4.29 – Gráfico da combinação do caudal residual afluente à ETAR de Mirandela com os valores de precipitação registados no ano de 2017.....	58
Figura 4.30 – Gráfico da combinação do caudal residual afluente à ETAR de Vila Real com os valores de precipitação registados no ano de 2017.....	59

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Tipo de aflúências indevidas (Metcalf & Eddy, adaptado Rodrigues, 2013).....	10
Quadro 2.2 – Causas das aflúências indevidas segundo a localização e origem (Belez, 2016).	11
Quadro 2.3 – Resumo das consequências da entrada dos vários tipos de aflúências indevidas aos sistemas de drenagem (EPAL e LVT, 2015).	15
Quadro 3.1 – Processos da metodologia para o estudo dos casos de Chaves, Mirandela e Vila Real. .	37
Quadro 4.1 – Caudais afluentes à ETAR de Chaves entre 2015 e 2017.	39
Quadro 4.2 – Cálculo do caudal residual médio diário de origem doméstica à ETAR de Chaves.	40
Quadro 4.3 – Resultados obtidos através da aplicação do método do triângulo aos caudais afluentes à ETAR de Chaves.....	42
Quadro 4.4 – Resultados obtidos através da aplicação do método do mínimo móvel aos caudais afluentes à ETAR de Chaves.	44
Quadro 4.5 – Comparação dos resultados obtidos pelo método do triângulo e pelo método do mínimo móvel para o caso de Chaves.	45
Quadro 4.6 – Caudais afluentes à ETAR de Mirandela entre 2015 e 2017.....	46
Quadro 4.7 – Cálculo do caudal residual médio diário de origem doméstica à ETAR de Mirandela...	46
Quadro 4.8 – Resultados obtidos através da aplicação do método do triângulo aos caudais afluentes à ETAR de Mirandela.	48
Quadro 4.9 – Resultados obtidos através da aplicação do método do mínimo móvel aos caudais afluentes à ETAR de Mirandela.	50
Quadro 4.10 – Comparação dos resultados obtidos pelo método do triângulo e pelo método do mínimo móvel para o caso de Mirandela.....	51
Quadro 4.11 – Caudais afluentes à ETAR de Vila Real entre 2015 e 2017.....	52
Quadro 4.12 – Cálculo do caudal residual médio diário de origem doméstica à ETAR de Vila Real. .	52
Quadro 4.13 – Resultados obtidos através da aplicação do método do triângulo aos caudais afluentes à ETAR de Vila Real.	54
Quadro 4.14 – Resultados obtidos através da aplicação do método do mínimo móvel aos caudais afluentes à ETAR de Vila Real.	56
Quadro 4.15 – Comparação dos resultados obtidos pelo método do triângulo e pelo método do mínimo móvel para o caso de Vila Real.....	57
Quadro 4.16 – Faturação do volume de água residual afluente à ETAR de Chaves.....	60
Quadro 4.17 – Faturação do volume de água residual afluente à ETAR de Mirandela.	60
Quadro 4.18 – Faturação do volume de água residual afluente à ETAR de Vila Real.	61

ACRÓNIMOS

AdP	Águas de Portugal
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CQO	Carência química de oxigénio
CCTV	<i>Closed Circuit Television</i>
E. M.	Empresa Municipal
EE	Estação elevatória
EG	Entidade Gestora
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
<i>I/I</i>	<i>Infiltration/Inflow</i>
ID	Indicados de desempenho
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IRAR	Instituto Regulador de Águas e Resíduos
MMM	Método do mínimo móvel
MT	Método do triângulo
RGSPDADAR	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação e Enquadramento do tema

O ciclo urbano da água, apresentado na figura 1.1, é constituído por várias fases, desde a captação da água bruta até ao seu tratamento e devolução ao meio hídrico. Este ciclo da água está direta ou indiretamente relacionado a vários serviços das zonas urbanas (construção, transportes, energia, comunicação...), por isso é necessário a coordenação e cooperação entre os vários órgãos responsáveis por esses serviços e os responsáveis pelo setor da água (Grupo AdP, Entidades Municipais, Entidades Gestoras Privadas...) para que se garanta uma gestão sustentável deste recurso.



Figura 1.1 – Ciclo urbano da água (AdP, 2015).

“As atividades de abastecimento público de água às populações, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos constituem serviços públicos de carácter estrutural, essenciais ao bem-estar geral, à saúde pública e à segurança coletiva das populações, às atividades económicas e à proteção do ambiente.” (ERSAR, s/d).

Relativamente ao serviço de saneamento, tem de haver um destaque evidente para a importância do papel dos sistemas de drenagem de águas residuais e para o seu bom funcionamento e boa gestão. Estima-se que, de uma forma global, os primeiros sistemas de drenagem de águas residuais em zonas urbanas começaram a ser implementados há mais de 5 000 anos e que apenas nos últimos 150 anos se começou a progredir neste setor de forma a vencer desafios, como o aumento populacional, o agravamento das condições ambientais e, em especial, a necessidade de qualidade das águas dos meios recetores (Matos, 2003).

De acordo com dados da *PORDATA*, estima-se que em 2009 a população servida de serviço de drenagem de águas residuais rondasse os 84%, enquanto a população servida por sistemas de

tratamento de águas residuais era apenas de 74%. Muitas vezes, apesar do seu correto dimensionamento e de seguirem todas as normas de implementação, estes nem sempre funcionam de forma otimizada e rentável, uma vez que ao longo do tempo vão apresentando uma série de “problemas” que condicionam o seu funcionamento. Um dos problemas mais correntes é o das aflúências indevidas, ou seja, o volume excedente de água que entra no sistema de drenagem, nomeadamente devido à ocorrência de precipitação, a ligações de redes de águas pluviais às redes de drenagem de águas residuais em redes separativas e a entradas no sistema devido a problemas estruturais de alguns componentes do sistema.

Atualmente, em Portugal, o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR) é o regulamento em vigor para dimensionamento dos sistemas de abastecimento e de drenagem de água, e apresenta critérios aproximados como solução para a determinação de vários caudais de dimensionamento. E, relativamente ao cálculo do caudal de infiltração, o regulamento em vigor apresenta uma forma simples e prática para esse cálculo no artigo n.º 126º do Capítulo III onde estabelece a metodologia necessária para a quantificação do caudal de infiltração da rede, atendendo apenas a critérios de extensão da rede e diâmetro dos coletores. Contudo, após vários estudos chegou-se à conclusão que há aspetos que não são tidos em conta no regulamento, neste cálculo do caudal de infiltração, mas que, cada vez mais se tornam imprescindíveis para a obtenção de um caudal mais aproximado da realidade, de modo a que sejam evitados vários problemas na rede de drenagem e nas ETAR. A título de exemplo, no RGSPDADAR faltam critérios que relacionem o cálculo do caudal de infiltração com as características do solo e as condições que este apresenta, com a idade, os materiais dos coletores e das câmaras de visita, com medições periódicas, entre outros elementos.

Dos vários impactos que as aflúências indevidas possam causar, um dos maiores centra-se no aumento dos custos operacionais e de manutenção, e especialmente o aumento de custos na ETAR, uma vez que vai tratar os volumes de aflúências indevidas como se de água residual doméstica ou industrial se tratasse. Ou seja, o investimento em estratégias de combate a estas aflúências indevidas nos sistemas de drenagem urbana é de grande interesse para as EG e para os seus clientes, uma vez que são elas que na maior parte das vezes sofrem as consequências relativas ao aumento dos custos. São notórios os esforços que se fazem sentir para um claro avanço em torno desta problemática das aflúências indevidas. No entanto, ainda não há uma resposta clara, uma vez que se trata de um problema com muitas condicionantes e que varia de sistema para sistema e de região para região.

Este trabalho visa contribuir para uma melhor definição de aflúências indevidas, nomeadamente através da análise das infiltrações nos Subsistemas de Chaves, Mirandela e Vila Real, no sentido

de avaliar, quantificar e analisar estes volumes excedentes afluentes às infraestruturas de drenagem e, subsequentemente, às estações de tratamento.

1.2. Objetivos

As aflúências indevidas têm um papel cada vez mais significativo e é necessário haver uma maior consciencialização da importância que este volume de água tem nos sistemas de drenagem de águas residuais. Nesse sentido, a presente dissertação tem como objetivos:

- Aprofundar conhecimentos em relação ao funcionamento dos sistemas de drenagem de águas residuais;
- Abordar a problemática das aflúências indevidas aos sistemas de drenagem de água;
- Avaliar as infiltrações nos sistemas de drenagem em relação ao seu tipo, causas e origem;
- Quantificar os volumes afluentes às ETAR de aflúências indevidas;
- Analisar tecnicamente o desempenho do sistema de drenagem;
- Analisar economicamente a contribuição das aflúências indevidas nas ETAR.

De forma a cumprir os objetivos estabelecidos, é necessário adotar uma metodologia de trabalho. A aplicação da metodologia e sua interpretação necessita de uma pesquisa sobre o tema das infiltrações em sistemas de drenagem de águas residuais e analisar os vários métodos existentes que permitam estimar os caudais de infiltração para se proceder à discussão dos resultados. Os casos de estudo são referentes a três sistemas de drenagem de águas residuais da região norte de Portugal, sob a tutela da Empresa Águas do Norte S.A. – Subsistema de Chaves, Mirandela e Vila Real. Com base nos dados disponibilizados proceder-se-á ao estudo e comparação dos volumes afluentes às Estações de Tratamento de Águas Residuais, relacionando-os com os volumes faturados no respetivo intervalo de tempo e os dados de precipitação disponíveis.

O estudo quantitativo das aflúências indevidas nos vários sistemas desperta interesse no setor da água, nomeadamente na parte de drenagem pois fornece dados importantes para uma análise da prestação dos sistemas de drenagem e os seus impactos, principalmente económicos, relativos a este fenómeno. Posto isto, viabiliza-se que sejam sugeridas e, posteriormente, adotadas medidas de mitigação ou eliminação das aflúências indevidas aos sistemas de drenagem, como também a recomendações futuras de interesse.

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é constituída por cinco capítulos.

No primeiro capítulo é feito um enquadramento do tema, definidos os objetivos e a motivação para a escolha do tema da dissertação e é apresentada a sua estruturação.

No segundo capítulo é apresentada toda a revisão bibliográfica necessária relacionada com o tema em análise, apresentando uma abordagem, nas várias vertentes, à problemática das aflúências indevidas. São abordadas as origens das mesmas, o impacto que estas têm a variados níveis, bem como os custos que lhes estão associados. São também descritos os vários métodos de deteção de aflúências indevidas, os vários métodos para a sua quantificação e os indicadores de desempenho que servirão de base para o estudo.

No terceiro capítulo é descrita a metodologia a aplicar na quantificação das aflúências indevidas. São apresentadas todas as informações relevantes e necessárias para o posterior desenvolvimento da dissertação.

No quarto capítulo é posta em prática a metodologia aos três casos de estudo – Subsistemas de Chaves, Mirandela e Vila Real, e analisados, expostos e discutidos os resultados. É feita uma abordagem à parte técnica desta problemática e também uma análise ao impacto económico provocado por este fenómeno.

Por fim, no quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e propostas algumas sugestões para melhorias e trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Drenagem urbana

Durante as últimas décadas temos vindo a assistir a um aumento da consciencialização da população relativamente à importância do bom funcionamento dos sistemas de drenagem como parte fundamental do ciclo urbano da água, desde a sua captação até à descarga no meio hídrico. Com o crescimento e expansão urbana, juntamente com a crescente urbanização, houve necessidade de alterar os métodos de análise e dimensionamentos dos equipamentos hidráulicos urbanos. Sumarizando, *“a drenagem urbana não é só uma necessidade, mas uma prioridade por estar diretamente ligada à qualidade de vida e à segurança das pessoas e bens.”* (Sá Marques *et al.*, 2013).

Os sistemas de drenagem têm três objetivos principais (EPAL e LVT, 2015):

- Ter capacidade para recolher e transportar as águas residuais até à estação de tratamento (ETAR) e de descarga final;
- Construção e implementação correta da rede, de modo a conduzir as águas pluviais provenientes de escoamentos superficiais à rede apropriada, diminuindo assim o risco de inundações;
- Assegurar o cumprimento das condições regulamentadas da descarga final no meio hídrico recetor.

Sistemas de drenagem de águas residuais

As águas residuais, com base na sua origem e características, podem-se classificar em águas residuais domésticas, industriais e pluviais. As **águas residuais domésticas** são provenientes de instalações sanitárias, cozinhas e zonas de lavagem de roupas, instalações familiares ou coletivas. O que mais as caracteriza é a considerável quantidade de matéria orgânica, que é facilmente biodegradável, e o facto de manterem as suas características ao longo do tempo. Já as **águas residuais industriais** resultam de atividades industriais e caracterizam-se por conterem grandes quantidades de compostos físicos e químicos que se vão alterando ao longo do tempo e cujas características variam de indústria para indústria. Por sua vez, as **águas residuais pluviais** (ou águas pluviais) são provenientes do escoamento superficial causado pela precipitação atmosférica. Também se inclui neste tipo de águas as de rega de jardins, lavagens de arruamentos etc., ou seja, as águas que são recolhidas pelas sarjetas e sumidouros.

Há também uma parcela que, apesar de não fazer parte desta classificação tem uma grande contribuição para o aumento do caudal escoado na rede: as aflúências indevidas, que inclui a parcela de água que entra indevidamente no sistema de drenagem, de forma direta ou indireta, como se explica mais à frente.

Tipos de sistemas de drenagem

Segundo o n.º 1 do artigo 116º do RGSPPDADAR e vários autores, os sistemas de drenagem pública de águas residuais podem ser classificados em (Sá Marques *et al.*, 2013; Sá Marques e Sousa, 2008; RGSPPDADAR, 1995):

- **Sistemas unitários:** são constituídos por uma única rede de coletores que escoam as águas residuais domésticas, industriais e pluviais simultaneamente;
- **Sistemas separativos:** são constituídos por duas redes de drenagem distintas: uma é destinada à recolha das águas residuais domésticas e industriais, enquanto a outra se destina apenas à recolha das águas pluviais;
- **Sistemas mistos:** são constituídos por ambos os sistemas abordados acima. Ou seja, uma parte da rede funciona como sistema unitário que admite todo o tipo de água e a outra parte da rede funciona como sistema separativo;
- **Sistemas separativos parciais ou pseudo-separativos:** são admitidos em condições excecionais, que devido à inexistência de coletores pluviais é permitido estabelecer ligações de drenagem das águas pluviais de pátios interiores e terraços à rede de drenagem das águas residuais domésticas.

A escolha do tipo de sistema a utilizar sempre foi objeto de discussão, sendo que inicialmente o sistema unitário era o mais escolhido, uma vez que se ligava as várias origens de águas à mesma rede de drenagem, tornando esta solução a mais viável economicamente. Só mais tarde surgiu a utilização de sistemas separativos, por serem os mais indicados em termos ambientais. No entanto, a escolha do tipo de sistema a implementar é condicionada por vários fatores técnicos, económicos e ambientais. Hoje em dia, e de acordo com a legislação em vigor (artigo n.º 119 do RGSPPDADAR) na conceção de sistemas de drenagem pública de águas residuais em novas áreas de urbanização, estes deverão ser do tipo separativo.

Constituição dos sistemas de drenagem de águas

Em geral, os sistemas de drenagem de águas residuais são essencialmente constituídos por rede de coletores e órgãos acessórios, independentemente do tipo de águas que transportarem.

Quando há uma nova implantação de um sistema de drenagem de águas residuais, todos os processos de dimensionamento do projeto, deve respeitar o RGSPDADAR nas suas várias condicionantes, pois este estabelece os principais princípios que os sistemas de distribuição e drenagem devem obedecer desde a sua conceção, construção e exploração.

De uma forma geral e resumida, quando se aborda o tema de avaliar o desempenho técnico do sistema de drenagem, tem de se ter em conta as análises em diferentes domínios, como hidráulico, sanitário, ambiental, estrutura e económico. Naturalmente, são inúmeras as causas de degradação do desempenho dos sistemas, desde causas internas (*e.g.*, condições de escoamento, materiais), causas externas (*e.g.*, sobrecargas, ocorrência de sismos), incorreções de conceção e projeto, práticas de construção inadequadas, insuficiência de manutenção e operação, entre outras.

2.2. Aflúências indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais

2.2.1. A problemática das aflúências indevidas

As aflúências indevidas têm vindo a ser um problema que merece cada vez maior atenção. O acréscimo destes volumes de água aos sistemas de drenagem, nomeadamente após grandes chuvadas, é um assunto que é de grande relevância para as EG, pois um dos principais problemas relacionados com deficiências funcionais nos sistemas de drenagem urbana deve-se a estes caudais excedentes. Apesar da definição de aflúências indevidas não ser bem clara devido às diversas origens e ambiguidades, estas podem estabelecer-se como o volume excedente de água que entra no sistema de drenagem de águas residuais. As maiores dificuldades em avaliar o impacto desta ocorrência prendem-se com a dificuldade de separação entre as águas domésticas e as pluviais (devido a ausência de investimento em redes separativas), quantificação destes volumes e a fraca perceção do custo que está associado ao tratamento das águas pluviais numa ETAR (Amorim, 2007).

Quando se analisa este assunto, duas das suas maiores problemáticas são o facto de na maioria das vezes as redes de drenagem não estarem dimensionadas para transportar estes volumes, nem ter havido uma análise preventiva para os receber, e o facto destes grandes volumes não necessitarem de um tratamento tão avançado. No entanto, ao afluírem à ETAR são tratados como águas residuais domésticas/industriais e sofrem os vários processos de tratamento. O que torna esta situação mais complicada é que, nomeadamente nos meses mais chuvosos há um aumento muito significativo do caudal a transportar e, conseqüentemente, o aumento dos volumes que afluem à ETAR, e isto traduz-se numa degradação mais acelerada do estado de

conservação da rede e uma perda de eficácia do tratamento. Fazendo uma avaliação económica, nomeadamente em relação ao aumento do volume de água a tratar, constata-se que os custos deste tratamento de volume excedente apresentam um enorme impacto nas EG.

Frequentemente, é usada na bibliografia anglo-saxónica *I/I – Infiltration/Inflow*, (ver figura 2.1) que designa as duas formas de entrada de volumes de água indevidos na rede de drenagem. Assim sendo, as afluências indevidas são classificadas em dois grandes grupos:

- **Inflow** ou **afluências diretas**, cujo volume de água provém, nomeadamente, devido à ocorrência de eventos pluviométricos (através do escoamento superficial);
- **Infiltration** ou **afluências indiretas**, que resultam da infiltração direta das águas subterrâneas nos coletores devido à subida da posição do nível freático.

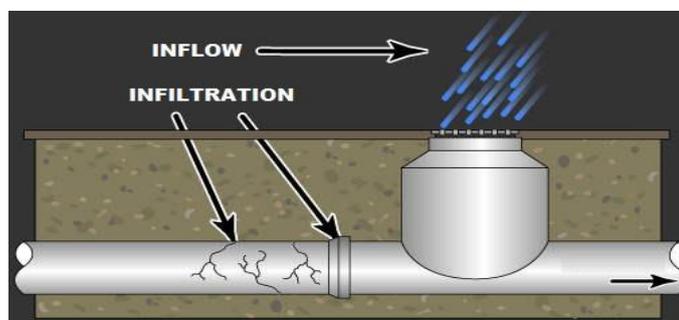


Figura 2.1 – Ilustração da diferença entre os dois tipos de afluências (adaptado Jamestown BPU, 2005).

2.2.2. Tipos e origens das afluências indevidas

As afluências indevidas apresentam grande variabilidade de características, podem ter várias origens e ser de vários tipos. Contudo, na sua classificação opta-se por considerar dois tipos: classificação quanto à origem da afluência e classificação quanto ao tipo de ocorrência. Tendo em conta a variabilidade das características de cada tipo, isto implica uma abordagem diferente no estudo de cada um, nomeadamente em termos de processos de quantificação e de intervenção na rede de drenagem ou na ETAR, de modo a solucionar o problema (Amorim, 2007).

Afluências diretas (ver figura 2.2) representam todo o caudal que entra diretamente no sistema de drenagem de águas residuais, quer pelas câmaras de visita, ligações indevidas, etc., devido à ocorrência de precipitações. Nos meses mais chuvosos, há um incremento de água a cair no solo que, posteriormente, drena para o sistema de drenagem, que por sua vez se vê “obrigado” a admitir todo esse caudal e a transportá-lo ao longo dos coletores. Este volume excedente de água é então encaminhado para a ETAR.

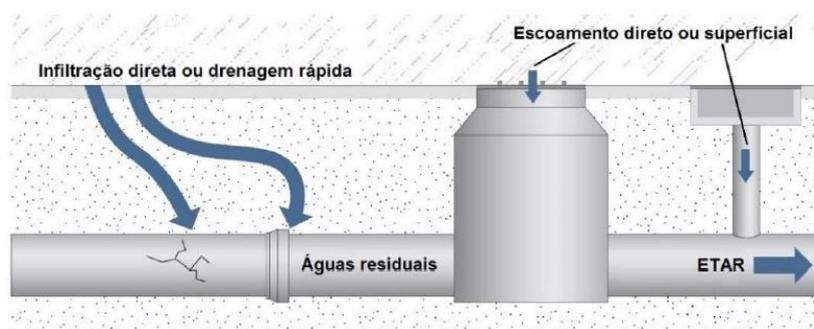


Figura 2.2 – Tipos de aflúncia indevidas diretas (Paixão, 2016).

Os caudais resultantes da precipitação podem subdividir-se em escoamento direto ou superficial e infiltração direta ou drenagem rápida. Estas duas componentes do sistema têm uma contribuição temporária de caudais excedentes em sistema de drenagem e nas ETAR, porque surgem quando há a ocorrência de precipitação, mas dissipam-se pouco tempo depois de esta cessar.

O escoamento direto ou superficial manifesta-se de forma curta e rápida, e ocorre em paralelo com o evento pluviométrico. Esta parcela das aflúncias indevidas representa, na maioria das vezes, as ligações indevidas de águas pluviais à rede de drenagem de águas residuais domésticas, em sistemas separativos, o que torna mais fácil a deteção e localização destas ligações indevidas quando há o aumento de caudal na rede de águas residuais domésticas.

A infiltração direta ou drenagem rápida representa a água que entra no sistema de drenagem através de infiltrações nos solos e que, posteriormente, entra na rede de drenagem através de juntas, falhas, fendas, etc. Ocorre num curto espaço de tempo após o início da chuvada e pode demorar desde horas a dias, pois depende de várias condições internas da rede (estado de conservação) e externas, como a topografia e geologia do terreno, estado hídrico do solo, densidade de precipitação, etc.

As **aflúncias indiretas** (ver figura 2.3) ou infiltrações indiretas representam todo o caudal que entra proveniente de várias origens, não dependendo diretamente dos fenómenos pluviométricos. Estas infiltrações ocorrem devido a deficiências nas infraestruturas e têm origem em lençóis freáticos, linhas de água e na variação do nível freático em relação à rede de drenagem e representam uma contribuição difusa no tempo e no espaço (ao longo do sistema de drenagem).

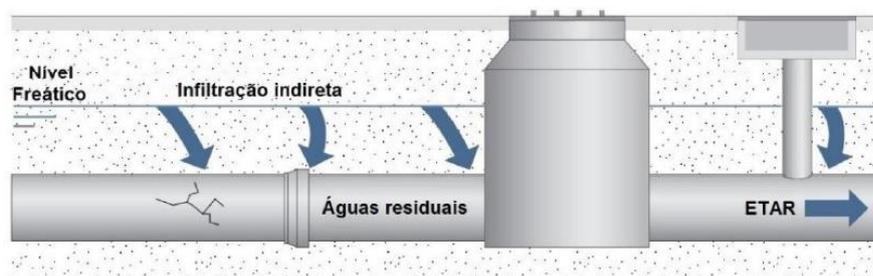


Figura 2.3 – Tipos de afluições indevidas indiretas (Paixão, 2016).

Uma vez que as afluições indevidas englobam todo o volume de água que entra indevidamente na rede de drenagem de águas residuais, as afluições indevidas podem ser divididas pelo tipo de água em (EPAL e ALVT, 2015):

- **Pluviais** – que resultam de infiltrações nos coletores e de ligações clandestinas ao sistema de drenagem de águas residuais domésticas;
- **Domésticas e Industriais** – provenientes de ligações clandestinas ou ligações com características inadequadas aos sistemas de drenagem urbana;
- **De maré** – que representam as entradas de água marítima na rede de drenagem através de pontos de descarga que se encontram ligados diretamente ao meio recetor e a infiltração da mesma devido ao estado de conservação desses coletores;

As afluições indevidas podem ter origem, nomeadamente subterrânea ou pluvial e podem surgir com a combinação de cinco componentes: infiltração de percurso (ou simplesmente infiltração), infiltração base, afluições pluviais diretas, afluições pluviais totais e afluições pluviais retardadas (Metcalf & Eddy, 1976). O quadro 2.1 apresenta as definições de cada um dos tipos acima referidos.

Quadro 2.1 – Tipo de afluições indevidas (Metcalf & Eddy, adaptado Rodrigues, 2013).

Tipos de afluição indevida	Origem da água	Definição
Infiltração de percurso (ou simplesmente infiltração)	Subterrânea	Água subterrânea que entra nas infraestruturas enterradas dos sistemas de drenagem através de deficiências estruturais nos coletores (em juntas, ligações) ou através das paredes das câmaras de visita

Tipos de aflúencia indevida	Origem da água	Definição
Infiltração base		Água subterrânea que entra deliberadamente no sistema de drenagem, proveniente de drenos, da bombagem de caves, de sistemas de arrefecimento ou de descargas de pequenos cursos de água naturais canalizados, e que é independente do estado de conservação do coletor
Aflúências pluviais diretas		Água pluvial que entra indevidamente no sistema, com origem no escoamento de telhados ou em ligações indevidas de ramais pluviais de edificações e de sumidouros
Aflúências pluviais totais	Pluvial	Soma das aflúências anteriores com outras possíveis descargas feitas a montante (por descarregadores de tempestade, por exemplo)
Aflúências pluviais retardadas		Água pluvial que leva diversos dias a percorrer ou a entrar no sistema de drenagem (devido a reservas e empoçamentos na bacia natural, por exemplo)

No quadro seguinte (quadro 2.2), são apresentados exemplos de causas típicas para as aflúências diretas e indiretas, e exemplos de entradas nos componentes do sistema de drenagem.

Quadro 2.2 – Causas das aflúências indevidas segundo a localização e origem (Belez, 2016).

Localização	Origem	
	Aflúencia Pluvial	Infiltração de Base
Tubagens	Ligação indevida de coletor pluvial ao coletor "separativo" doméstico	Fissura ou fenda nas tubagens
	Ligação de coletor unitário ou pseudo-separativo ao coletor "separativo" doméstico	Deformação da tubagem
		Colapso ou rotura da tubagem
	Ligação indevida de dispositivo de interceção de águas pluviais (sarjetas de passeio ou sumidouros) à rede de drenagem doméstica	Desgaste originado por ataque químico ou por ação física
Deslocamento das juntas das tubagens		
		"Intrusão" de raízes

	Existência de descarregadores de "alívio" ou de "segurança"	Falta de estanquidade nas juntas das tubagens
Ramais/ Sistemas Prediais	Ligação indevida de ramal pluvial domiciliário à rede de drenagem doméstica	Ligação indevida de sistemas de drenagem periféricos de água de infiltração provenientes de caves e zonas baixas
	Ligação indevida de ramal unitário à rede de drenagem doméstica	Falta de estanquidade ao longo da tubagem do ramal pluvial e/ou na ligação ao coletor principal doméstico
Câmaras de visita	Tampa danificada	Falta de estanquidade nas juntas dos anéis prefabricados
		Falta de estanquidade entre o cone e o corpo da câmara de visita
	Tampa ventilada	Falta de estanquidade das juntas entre blocos de alvenaria ou pedra
		Fissuras e fendas
	Tampa com encaixe defeituoso	Desgaste originado por ataque químico ou por ação física
		Falta de estanquidade na ligação da tubagem à câmara de visita

Embora as redes de emissários e interceptores (redes em “alta”) transportem um caudal superior comparativamente à rede de coletores dos sistemas em “baixa”, uma vez que fazem a recolha e o transporte de todo o caudal proveniente dos vários coletores e ramais de ligação, é nesta última onde as ligações indevidas ocorrem com maior frequência, o que provoca um maior volume de caudais de aflúências indevidas à rede de drenagem e às estações de tratamento. Pelo exposto, sintetiza-se que os principais motivos que potenciam a ocorrência das aflúências indevidas são os eventos pluviométricos, a existência de ligações clandestinas, a proximidade de aquíferos e o estado de conservação da rede (Amorim, 2007).

Nas figuras 2.4 a 2.9 apresentam-se alguns exemplos de anomalias nos sistemas de drenagem que dão origem à ocorrência de infiltração.



Figura 2.4 – Infiltração na câmara de visita (foto cedida por INOVA, s/d).



Figura 2.5 – Infiltração nas juntas (EPAL e LVT, 2015).

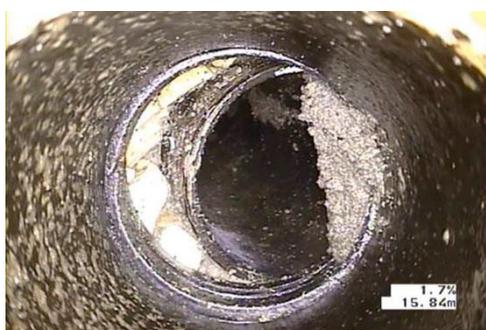


Figura 2.6 – Anomalia coletor: ramal de ligação com deslocamento transversal (foto cedida por INOVA, s/d).



Figura 2.7 – Anomalia na junta do coletor devido a raízes (foto cedida por INOVA, s/d)

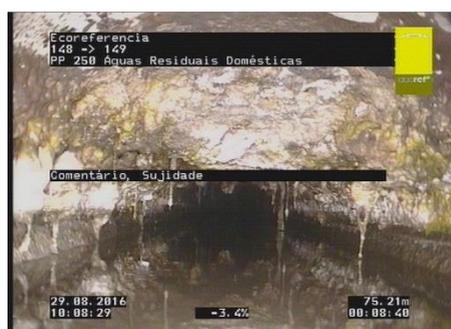


Figura 2.8 – Coletor obstruído devido a acumulação de gordura (foto cedida por INOVA, s/d).



Figura 2.9 – Coletor deformado (foto cedida por INOVA, s/d).

2.3. Fatores que contribuem para a ocorrência de afluências indevidas

Há um vasto número de fatores que contribuem para o agravamento do impacto das afluências indevidas e existem muitos fatores que possibilitam a ocorrência e o aumento de infiltrações ou

exfiltrações. Apesar de variar de caso para caso, de seguida estão listados, sem qualquer ordem de importância, os fatores mais significativos para a ocorrência da entrada destes volumes de águas nas redes de drenagem (White *et al.*, 1997; Amorim, 2007; Kesik, 2015; Almeida e Monteiro, 2004; Cardoso *et al.*, 2002; Almeida e Cardoso, 2010; Coelho, 2013; GDSD, 2005):

- Estado de conservação da rede e suas características (materiais usados, idade do sistema, tempo de vida útil, comprimento das redes, diâmetro dos coletores, densidade de ramais de ligação, nº de câmaras de visita, estanquidade...);
- Ocorrência de precipitação;
- Regime hidráulico predominante (superfície livre ou sob-pressão);
- Mudanças climáticas e eventos climatológicos extremos;
- Topografia local;
- Existência de fugas em condutas de abastecimento de água;
- Capacidade de transporte da rede de drenagem;
- Proximidade de aquíferos ou linhas de água;
- Materiais e estado da rede situada em domínio privado;
- Crescente aumento da urbanização;
- Posição dos elementos da rede em relação ao nível freático;
- Qualidade da construção, implementação e manutenção;
- Movimento de terra junto aos elementos da rede;
- Características do solo envolvente;
- Características químicas da água residual a transportar;
- Existência de ligações clandestinas à rede;
- Percentagem de tempo em que o nível freático se encontra acima da cota de soleira dos elementos da rede de drenagem;
- Elevados custos de construção e reabilitação de condutas.

2.4. Impacto das infiltrações no desempenho dos sistemas de drenagem

As infiltrações nos sistemas de drenagem de águas residuais têm grande importância, como já referido. Os volumes excedentes de água podem ou não ter maior ou menor peso em relação às consequências causadas à rede, pois o seu impacto varia de rede para rede. É necessário ter em conta se no seu dimensionamento houve uma análise preventiva para receber estes volumes, uma vez que nas situações onde houve a tomada de medidas, supostamente a quantidade de infiltrações é menor e assim o seu impacto nas várias vertentes também.

Esta problemática torna-se cada vez mais um problema multidimensional, uma vez que pode ter um impacto em várias áreas (Amorim, 2007). Para os vários tipos de aflúências indevidas, o quadro 2.3 apresenta em resumo exemplos de consequências da ocorrência dos vários tipos de aflúências e os principais locais de entrada.

Quadro 2.3 – Resumo das consequências da entrada dos vários tipos de aflúências indevidas aos sistemas de drenagem (EPAL e LVT, 2015).

Aflúências Pluviais	
Principais locais de entrada	Descarregadores de passagem entre os sistemas unitários e separativos;
	Ligação de sumidouros diretamente à rede doméstica;
	Ligações cruzadas entre redes separativas
	Ao longo do coletor ou câmaras de visita, devido a anomalias estruturais
Principais consequências	Sobrecarga hidráulica das redes domésticas
	Incapacidade de descarga de ligações domésticas ou industriais devido à falta de capacidade do coletor
	Extravasamento
	Degradação estrutural dos coletores
	Arrastamento de sedimentos, paus e pedras para o sistema
	Aumento dos custos de exploração e investimento (gastos energéticos de bombagem; gastos de reagentes, etc.)
Aflúências domésticas	
Principais locais de entrada	Ligações indevidas diretamente à câmara de visita ou coletor pluvial
	Ligações diretas ao meio recetor
	Ligações cruzadas entre redes separativas
Principais consequências	Poluição dos meios recetores
	Diminuição da concentração de oxigénio dissolvido
	Crescimento de algas
	Contaminação por patogénicos
Aflúências industriais	
Principais locais de entrada	Ligações feitas ao coletor pluvial, doméstico ou unitário sem licença de descarga
	Ligações feitas ao coletor pluvial, doméstico ou unitário com licença de descarga, mas sem cumprir os parâmetros de descarga
	Ligações diretas ao meio recetor sem licença de descarga
	Ligações diretas ao meio recetor com licença de descarga
Principais consequências	Poluição dos meios recetores
	Problemas no tratamento na ETAR
	<i>Bulking/foaming</i>

	Morte de biomassa
	Estratificação em espessadores
	Alteração da decantabilidade
Afluências de maré	
Principais locais de entrada	Descarregadores de passagem entre os sistemas unitários e separativos, junto ao meio recetor
	Pontos de descarga na rede sem válvula de maré
	Descarregadores de emergência nas estações elevatórias sem válvula de maré
Principais consequências	Sobrecarga hidráulica na rede doméstica
	Aumento dos custos energéticos de bombagem
	Entrada significativa de cloretos na rede
	Degradação estrutural do equipamento e infraestrutura
	Problemas de decantabilidade na ETAR
	Morte de biomassa no tratamento biológico
Afluências de caudais de infiltração	
Principais locais de entrada	Câmaras de visita e coletores com anomalias
	Diluição do caudal de água residual
Principais consequências	Aumento do caudal tratado em tempo seco
	Durante eventos de precipitação poderá agravar os problemas ocasionados pela entrada de caudais pluviais indevidos em redes domésticas

Concluindo, importa identificar os fatores que contribuem para a ocorrência deste fenómeno e que agravam as suas consequências, estabelecendo as formas ou métodos de monitorização e deteção das mesmas para uma rápida intervenção e resolução.

2.5. Métodos de inspeção, monitorização e deteção de afluências indevidas

No processo de deteção de afluências indevidas existem vários métodos para identificar e localizar as mesmas na rede de drenagem. Uma vez não ser possível, nem viável, fazer um levantamento exaustivo de todas as ligações à rede, é necessário haver uma caracterização de todo o sistema de drenagem. Há todo um processo que deve ser seguido para facilitar o estudo, desde o início do processo de deteção até à escolha do método a utilizar (Bonito, 2014):

- Quantificar os caudais de afluências indevidas;
- Determinar os pontos de entrada na rede;
- Identificar os caudais e a natureza das afluências indevidas;

- Averiguar o estado estrutural dos órgãos da rede nas zonas mais críticas;
- Escolher o(s) método(s) mais adequado(s) à situação.

A escolha do método a utilizar depende de todas as características envolventes a cada situação, nomeadamente dos conhecimentos técnicos de cada método, das características da rede, do objetivo concreto e, nomeadamente, dos recursos disponíveis para proceder à aplicação do método (EPAL e LVT, 2015). De seguida é feita uma síntese da aplicação dos vários métodos (EPAL e LVT, 2015; Kesik, 2015; Mortinho, 2011; Coelho, 2013).

Medidores e registadores na rede de caudais e de precipitação

A monitorização de caudais de curta/longa duração, numa ou em várias seções da rede de drenagem permite quantificar a totalidade das aflúências e quando combinada com a monitorização da precipitação, os resultados tendem a ser mais aproximado à realidade. A análise dos registos (altura da água, velocidade, caudal...) permite identificar as aflúências em tempo seco, no coletor pluvial e as aflúências indevidas ao coletor doméstico devido à ocorrência de precipitação.

Inspeção visual

Este método pode ser aplicado em zonas onde é mais provável a ocorrência de aflúências indevidas e aplicável em coletores visitáveis tem como objetivo identificar as ligações existentes ao coletor e infiltrações ao longo da rede de drenagem, e preza-se por ser um método rápido e simples, não necessitando de mão obra especializada.

Inspeção visual por CCTV (“*Closed Circuit TV*”)

A inspeção visual com o auxílio de CCTV tem como objetivo a utilização de um robot que percorre as tubagens, filmando o seu percurso, possibilitando a identificação de anomalias e obstruções que acontecem ao longo da rede e fornecendo a localização exata das mesmas. Permite ainda, fazer o levantamento da condição estrutural da rede de drenagem. Esta inspeção geralmente aplica-se a coletores não visitáveis ou de reduzida dimensão. Contudo, gera limitações quando há um elevado caudal nas condutas, que impede a localização das infiltrações.

Testes de fumo

A utilização destes testes permite avaliar a existência de infiltrações de origem direta, indireta ou de ligações indevidas que estejam localizadas perto da superfície. Permite ainda detetar

fissuras ou falta de estanquidade dos coletores. Este método consiste em tapar cada seção do coletor e de seguida injetar fumo colorido e não tóxico na rede de drenagem e observar as zonas onde ele emerge à superfície.

Testes com traçadores

O uso de identificadores coloridos, mas não tóxicos, que têm como objetivo identificar a entrada indevida da água na rede de drenagem. O traçador é introduzido na ligação suspeita e, posteriormente, é verificado se aflui à rede através da observação da presença do mesmo a jusante. Há vários tipos de traçadores com diferentes características químicas, radioativas ou físicas específicas.

Testes de condutividade

A utilização de sondas de condutividade é uma nova tecnologia que pode ser utilizada para detetar infiltrações através da presença de cloretos num determinado caudal afluente. É analisada a variação de condutividade da água escoada na rede ao longo do dia e cruzada com a informação dos dados de pico de maré. Este cruzamento de dados permite confirmar se, devido ao aumento da maré, ocorre uma entrada indevida desta água na rede de drenagem pela elevação do nível freático. A colocação destas sondas pode ser na ETAR, nas EE ou na própria rede de drenagem.

Sistemas de iluminação e espelho

Este método é executado simultaneamente com a inspeção das câmaras de visita e consiste na inspeção dos coletores através da câmara de visita, usando uma luz artificial e um espelho. É um método um pouco limitado e não muito usado, uma vez que apenas se aplica a redes de pequena dimensão e apenas consegue inspecionar uma parte do coletor perto da câmara de visita, e não a rede toda.

Isolamento hidrostático de troços da rede

O isolamento de troços da rede tem como objetivo fornecer as indicações qualitativas da extensão da infiltração numa qualquer conduta.

Este método consiste no isolamento de várias seções do coletor, onde há a possível desconfiança da ocorrência de infiltrações. Após isto, há uma injeção de ar e água na rede e são verificados os resultados dessa injeção, o que permite fornecer de forma clara se há ou não infiltrações no troço selecionado. Porém, peca por apenas servir para confirmar se há ou não infiltrações, não fornecendo as suas localizações.

2.6. Custos associados às aflúências indevidas

Como já referido anteriormente, as aflúências indevidas provocam um custo acrescido. Para as EG, é através do custo monetário real que se tem a perceção da relevância dos volumes de águas pluviais que afluem à ETAR e o seu posterior tratamento, pois estes geralmente representam um grande impacto económico. Os custos associados às aflúências indevidas podem ser divididos em custos de investimento, custos de operação e custos de manutenção (Amorim, 2007).

Os **custos de investimento** incluem os encargos monetários iniciais da infraestrutura na altura da construção da rede de drenagem, para prevenir a ocorrência de infiltrações. É necessário, nesta fase inicial, prever no dimensionamento da rede, o caudal excedente provocado pelas infiltrações, para que se garanta que os coletores suportam esse volume de águas e funcionem de forma eficiente. Estes custos podem estar associados à fase inicial do projeto ou numa fase em que há um reinvestimento em relação à rede de drenagem relativamente à tentativa de eliminação ou redução das infiltrações.

Os **custos de operação** centram-se nas despesas normais de operação da rede de drenagem e ao seu funcionamento. Têm um peso importante nos custos estimados para a vida útil do sistema, sendo que as infiltrações provocam um aumento destes custos. Entre estes custos, encontram-se os custos de bombagem nas estações elevatórias (EE) e nas ETAR, custos de operação de tratamento dos efluentes na ETAR (custos de arejamento, adição de produtos químicos...), custos de energia, entre outros.

Relativamente aos **custos de manutenção**, é a parcela relativa à garantia do bom funcionamento de toda a rede de drenagem e em bom estado, quer a nível estrutural e hidráulico. Nestes custos incluem-se todas as operações de reparação, substituição, limpeza e encargos com os equipamentos e materiais da rede. Uma vez que cada sistema tem as suas próprias características, estes custos são de difícil previsão.

Minimização de custos

Tendo em vista a obtenção de um ponto ótimo entre os custos de investimento e os benefícios que este traz, pretende-se seguir uma estratégia de minimização de custos totais relativos aos custos associados à prevenção das infiltrações ou preferência na admissão destas.

A figura 2.10 mostra a solução ótima entre os custos relacionados à redução das infiltrações numa rede de drenagem.

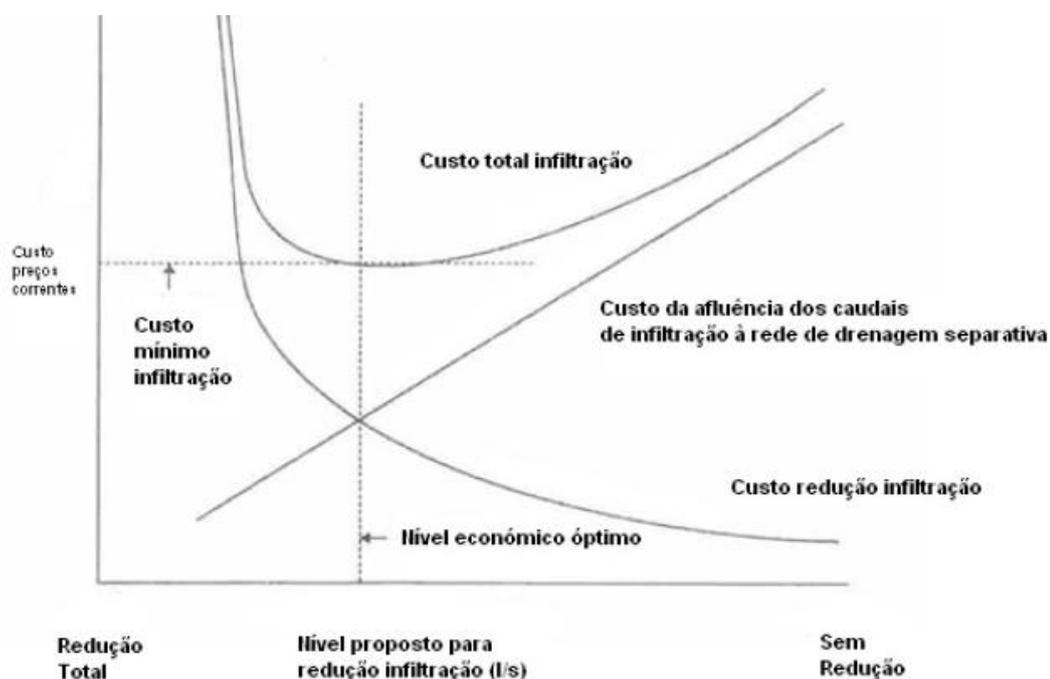


Figura 2.10 – Otimização do custo associado à redução de infiltrações numa rede de drenagem (Amorim, 2007).

2.7. Controlo e métodos de quantificação das afluições indevidas

2.7.1. Controlo da infiltração

Há situações onde a ocorrência de infiltrações na rede de drenagem é evidente e, facilmente, detetável. O problema surge porque, em geral, estas não são uniformes ao longo do tempo e ao longo da rede, pelo que se torna indispensável proceder à localização e identificação das zonas mais críticas relativas a este tema. Geralmente, os diferentes métodos de redução/controlo das infiltrações envolve, quase sempre, as seguintes tarefas (Cardoso *et al.*, 2002):

- Quantificação dos caudais de infiltração e identificação de zonas prioritárias;
- Identificação das principais causas e dos elementos da rede mais críticos em termos estruturais;
- Escolha das tecnologias mais apropriadas para cada situação e patologia;
- Reabilitação dos troços de acordo com as prioridades definidas.

2.7.2. Métodos de quantificação das afluições indevidas

A necessidade de quantificação do caudal da infiltração coloca-se em duas fases distintas da obra: fase de projeto – no cálculo dos caudais de dimensionamento; fase de exploração – na avaliação do desempenho do sistema em termos técnicos e económicos. Pode-se considerar uma outra fase, quando há projetos de reabilitação, onde a quantificação das infiltrações se torna importante na avaliação do desempenho antes e depois da intervenção na rede (Cardoso *et al.*, 2002).

Quando se pretende obter o caudal de infiltração na fase de projeto, na maioria das vezes não é possível ter os dados das medições necessárias para a quantificação do caudal e por isso atribui-se-lhe um valor de projeto no dimensionamento dos sistemas, em função da extensão da rede e diâmetro dos coletores. Esta estimativa inicial tem de cumprir a disposição regulamentar em vigor. Já na fase de exploração, existem quatro orientações possíveis que se podem seguir para a quantificação das aflúências indevidas (Bonito, 2014):

- **Balancos hídricos** – metodologia baseada na subtração dos volumes de montante aos volumes de jusante, em que, usualmente este último é a água que aflui à ETAR;
- **Hidrogramas** – procedimento matemático similar ao usado nos hidrogramas de cheia em hidrologia e recursos hídricos;
- **Marcadores/Traçadores** – processo no qual se quantifica o volume indevido em função de uma característica distintiva das águas residuais;
- **Modelos de simulação da rede** – modelos computacionais, empregando algoritmos idênticos aos modelos de percolação, e *inputs* característicos da bacia de drenagem a simular.

Geralmente e como referido anteriormente, estes valores de caudal de infiltração apresentam uma grande e imprevisível variação sazonal. E mesmo que sejam cumpridas todas as regulamentações, estes podem exceder significativamente o caudal admitido na fase de projeto. É, por isso, necessário durante toda a vida útil da infraestrutura, haver uma monitorização desta problemática (Paixão, 2016).

Perante a existência de vários métodos de quantificação de aflúências indevidas diretas e indiretas, optou-se por apresentar e descrever os vários métodos de quantificação em quatro grupos (Franz, 2007; Amorim, 2007; Mortinho, 2011; Almeida e Monteiro, 2004; Paixão, 2016; Bonito, 2014):

- **Decreto regulamentar n.º 23 /95 – RGSPDADAR;**
- **Métodos baseados em medição de caudal:**
 - Balanço anual;
 - Método do triângulo;
 - Método do caudal mínimo;

- Método do caudal em tempo seco;
- Método do mínimo móvel.
- **Métodos baseados em traçadores:**
 - Método suíço;
 - Método das séries temporais de cargas poluentes;
 - Método dos isótopos estáveis.
- **Recomendações da ERSAR.**

Decreto regulamentar n.º 23/95

Em Portugal, o Decreto regulamentar n.º 23/95 de 23 de Agosto, estabelece os princípios para o cálculo dos caudais de infiltração subentende-se que, na fase de projeto de sistemas de drenagem de águas residuais, o cálculo dos caudais de infiltração, é necessário para avaliar o caudal de projeto de uma rede residual, atendendo aos seguintes artigos 122º, 123º, 124º, 126º e 127º, aplicam-se as expressões 1 e 2:

$$Q_{res,dom} = Pop \times Cap \times f_a \quad (1)$$

$$Q_{res,proj} = Q_{res,dom} + Q_{res,ind} + Q_{AI} \quad (2)$$

Em que:

Pop	População (habitantes)	Cap	Capitação
f_a	Fator de aflúencia	$Q_{res,proj}$	Caudal residual de projeto
$Q_{res,dom}$	Caudal residual doméstico	$Q_{res,ind}$	Caudal residual industrial
Q_{AI}	Caudal diário de aflúencias indevidas à rede de drenagem		

Métodos baseados em medição de caudal

Balanço anual

O método de balanço anual de um sistema de abastecimento de água e drenagem de águas residuais pode ser obtido pela seguinte equação:

$$V_{I/I} = V_{DWF} - (V_{ag,capt} - V_{ag,exp} - V_{ag,perdida} - V_{ag,armaz}) \times f_a + V_{ag,res,perdida} \quad (3)$$

Em que:

$V_{I/I}$	Volume de infiltração direta	$V_{ag,armaz}$	Volume de água armazenada
-----------	------------------------------	----------------	---------------------------

V_{DWF}	Volume anual correspondente ao caudal de tempo seco	$V_{ag,perdida}$	Volume de água perdida
$V_{ag,capt}$	Volume de água captada	$V_{ag,res,perdida}$	Volume de água residual perdida
$V_{ag,exp}$	Volume de água exportada	f_a	Fator de afluência

É essencial para a aplicação deste método que as condições de medição espaciais e temporais sejam idênticas, caso contrário deve proceder-se a uma adaptação e ajustamento das condições de medição. Devido às incertezas em dados, como a perda de água potável e extrafiltração em sistemas de drenagem de águas residuais, este método considera-se menos exato.

Método do triângulo

O método do triângulo é um método gráfico usado para contabilizar as várias componentes da água residual (água residual doméstica/industrial, afluições indevidas diretas e indiretas) que aflui a uma dada ETAR, baseando-se nos registos diários de volumes de entrada. Este método consiste na organização de séries cronológicas em séries de caudais classificados aplicado aos caudais afluentes à ETAR ($Q_{ETAR, cres}$). Recorre-se ao uso de uma curva de caudais ordenados em função do seu valor e classificados em função da existência de precipitação, ou não, que possibilita estimar/quantificar os volumes gerados por cada uma das parcelas acima referidas, no final de uma série temporal. É importante referir que para que a análise seja o mais eficaz possível é necessário que essas séries temporais correspondam a anos completos, com os vários registos diários.

A aplicação deste método gráfico implica uma ordenação e representação gráfica dos caudais diários que afluem à ETAR. Esses caudais têm de se ordenar por ordem crescente de grandeza, em função do seu valor e em percentagem do valor máximo verificado no período considerado para a realização do estudo (T_f). Este procedimento gera um gráfico crescente, cujo eixo horizontal apresenta os valores de volume diário em percentagem do caudal máximo observado, eixo vertical apresenta os dias da série temporal em estudo.

Inicialmente, considera-se que a componente de origem doméstica (e industrial), ou seja, os caudais residuais domésticos são constantes ao longo do tempo (admitindo o valor médio ao longo da série temporal), e é traçada uma linha horizontal. Através desta simplificação, consegue-se delimitar no gráfico a área que se situa abaixo da linha característica do caudal de origem doméstica, a que corresponde o volume de água residual doméstica no tempo em estudo. A área compreendida entre a curva dos caudais e a linha horizontal característica do caudal residual (semelhança com a forma de um triângulo) é equivalente ao volume das afluições indevidas ($V_{AI}^{T_f}$) na rede que afluem à ETAR.

A separação das duas componentes das aflúências indevidas, o escoamento superficial (aflúências diretas) e as infiltrações (aflúências indiretas), é conseguida assumindo que a componente do escoamento superficial atinge o seu máximo após a ocorrência de precipitação. Admite-se também que a componente da infiltração é tanto menor (podendo até admitir-se nula), quanto maior for a componente do escoamento superficial. O que ocorre em algumas situações é que nos períodos de maior valor de precipitação, os coletores entram em carga e a rede não está preparada para suportar os caudais de infiltração e há a possibilidade da ocorrência de extrafiltração da água residual para o solo envolvente. Com a análise dos registos de caudais que afluem à ETAR e os da precipitação, são contabilizados os dias em que ocorre a precipitação, bem como os dias seguintes em que ainda é notório o seu efeito. Depois de contabilizados, estes dias são marcados no diagrama de caudais classificados, em percentagem e marcados da direita para a esquerda, a partir do dia de maior caudal afluente à ETAR. O ponto de interseção da abcissa do último dia de precipitação com a curva de caudais totais corresponde ao início da linha de separação. O final desta linha de separação corresponde à interseção, à direita com a linha horizontal característica do caudal residual doméstico e com a linha vertical do dia de caudal máximo (que corresponde à abcissa com valor 100%). A área definida acima da linha de separação corresponde ao volume de escoamento de escoamento direto ($V_{Esc.dir.}^{Tf}$), enquanto a área abaixo da linha de separação corresponde aos volumes de infiltração ($V_{Inf.}^{Tf}$). Através da análise da figura 2.11 é possível verificar todo o procedimento anteriormente descrito e observar os volumes dos vários componentes das águas residuais que afluem à ETAR.

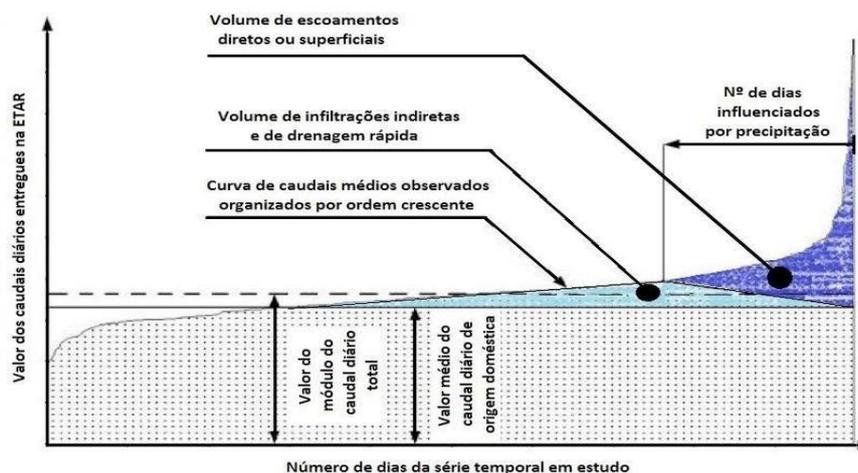


Figura 2.11 – Exemplo da aplicação do método do triângulo para a separação das parcelas de origem doméstica, infiltração e escoamento superficial (Paixão, 2016).

É através das equações abaixo referidas que se consegue quantificar as aflúências indevidas diretas e indiretas.

$$V_{AI}^{T_f} = \int_0^{T_f} [Q_{ETAR, cres}(t) - (Q_{res, dom}(t) + Q_{res, ind}(t))] dt \quad (4)$$

$$V_{Inf}^{T_f} = \int_0^{T_p} [Q_{ETAR, cres}(t) - (Q_{res, dom}(t) + Q_{res, ind}(t))] dt + \int_{T_p}^{T_f} Q_{ETAR, cres}(T_p) - \frac{Q_{ETAR, cres}(T_p) - (Q_{res, dom}(t) + Q_{res, ind}(t))}{T_f - T_p} \times (t - T_p) - (Q_{res, dom}(t) + Q_{res, ind}(t))] dt \quad (5)$$

$$V_{Esc, dir}^{T_f} = \int_{T_p}^{T_f} [Q_{ETAR, cresc}(t) - Q_{infiltr}(t) - (Q_{res, dom}(t) + Q_{res, ind}(t))] dt \quad (6)$$

Em que,

$Q_{infiltr}$	Caudal de infiltração
T_p	Número de dias sem chuva do período em estudo

Método do caudal mínimo

Os caudais de infiltração podem também ser estimados com base no método do caudal mínimo que envolve a análise dos caudais em tempo seco. É de conhecimento que os sistemas de drenagem de águas residuais apresentam grandes variações de caudais ao longo do dia, que se devem, principalmente, devido aos hábitos de consumo da população que varia ao longo do dia. Basicamente, os caudais diários de drenagem seguem os hábitos diários da população. Com este ritmo variado dos caudais, pode verificar-se que o valor mais baixo do caudal mínimo ocorre no período noturno, admitindo que esse valor de caudal corresponde às infiltrações na rede.

Este método envolve a análise dos caudais em tempo seco durante as primeiras horas do dia, período em que os caudais que afluem à rede apresentam valores muito baixos, atingindo assim o valor mínimo diário. As medições dos caudais de tempo seco devem ocorrer entre as 2 e as 4 horas da manhã. As medições são diárias e devem incluir os fins-de-semana, uma vez que é necessário ter em conta e evitar os caudais de origem industrial que podem estar a afluir à rede entre esse intervalo de horas e ser confundidos com caudais de infiltrações.

Há autores que defendem a ideia que o caudal mínimo noturno corresponde a 100% do caudal de infiltração, no entanto existem outros autores que admitem que uma parte do caudal mínimo

tem origem doméstica/industrial, e outra parte corresponde às infiltrações. Posto isto, normalmente, considera-se que no período de ocorrência do caudal mínimo em tempo seco ($Q_{res,mín,ts}$) apenas 10% desse valor representa o caudal de origem doméstica/industrial. Sendo que 90% desse caudal é admitido como caudal de infiltrações ($Q_{inf,indiretas}$). As expressões seguintes traduzem a quantificação das aflúências indevidas, através dos caudais mínimos diários:

$$Pop \cdot Cap_{ag,r} + Q_{res,ind} = \frac{Q_{res,médio,ts} - Q_{res,mín,ts}}{F} \quad (7)$$

$$Q_{inf,indiretas} = Q_{res,médio} - Pop \cdot C_{a,r} + Q_{res,ind} \quad (8)$$

Em que,

$Q_{res,médio}$	Caudal residual médio
$Q_{res,médio,ts}$	Caudal diário residual total médio de tempo seco

A estimativa do caudal de infiltração depende do valor adotado para o fator de aflúência. Este fator também tem em conta a hipótese da componente residual industrial que pode afluir à rede em períodos noturnos ou mesmo durante todo o dia (24h).

Método do mínimo móvel

O método do mínimo móvel (ou *moving minimum*) é baseado em conjuntos de medições diárias de caudais, num intervalo de tempo e permite quantificar as aflúências diretas e indiretas. Este método considera que o caudal efluente à ETAR (corresponde à soma dos caudais residuais domésticos/industriais com os caudais das aflúências indevidas, e é com base nos registos dos caudais afluentes à ETAR que se aplica este método, através da elaboração de um hidrograma.

No hidrograma, o mínimo móvel corresponde ao caudal mínimo de água residual no período dos 21 dias precedentes (3 semanas). A escolha do período de 21 dias admite-se por se considerar que este período é suficiente para se conseguir excluir a ocorrência do escoamento superficial a curto prazo, ou seja, para excluir o conjunto de dias que têm influência direta da precipitação. Atendendo a que a escolha de um período inferior aos 21 dias pode conduzir a um menor caudal de infiltração do que o real, opta-se por utilizar sempre o período de 21 dias. Assim, através deste método é possível quantificar o volume de infiltrações diretas e indiretas, num determinado período, sendo para isso necessário determinar previamente o volume anual que aflui à ETAR, o volume de água residual doméstica e industrial ($V_{res,dom}^j$ e $V_{res,ind}^j$) e o

volume de água residual, incluindo as infiltrações indiretas. Este último é o total do caudal mínimo das águas residuais (mínimo móvel) e corresponde ao produto entre a média do mínimo móvel e o período de tempo que se considera no estudo – volume do mínimo móvel (V_{MM}^j). O cálculo do volume de escoamento direto e do volume de infiltração pode ser obtido através da análise do hidrograma obtido e aplicando as seguintes equações:

$$V_{Esc.dir.}^j = V_{ETAR}^j - V_{MM}^j \quad (9)$$

$$V_{Inf.}^j = V_{MM}^j - (V_{res,dom}^j + V_{res,ind}^j) \quad (10)$$

$$V_{AI}^j = V_{Esc.dir.}^j + V_{Inf.}^j \quad (11)$$

A figura 2.12 apresenta o hidrograma, com os registos das várias medições:

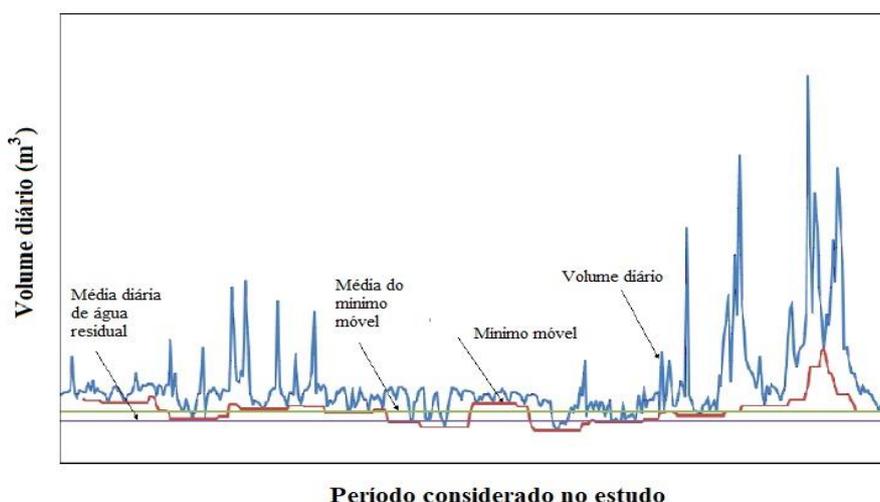


Figura 2.12 – Exemplo de aplicação do método do mínimo móvel para a elaboração de hidrogramas de aflúências indevidas (adaptado Mortinho, 2011).

O uso deste método na quantificação das aflúências indevidas tem como principal vantagem o facto de não necessitar de informações de precipitação, ou seja, inclui os períodos de chuva e de tempo seco, sendo apenas necessário seleccionar os dias de tempo seco como referência. A desvantagem deste método consiste na falta de uma componente física, pois na maioria dos casos apenas serve para obter uma aproximação a um resultado plausível.

Método do caudal em tempo seco

O método do caudal em tempo seco (ou também designado por *dry weather flow*) admite que o caudal escoado em tempo seco ($Q_{res,ts}$) numa rede de drenagem é composto apenas por três parcelas: o caudal doméstico, o caudal industrial e o caudal de infiltrações, excluindo assim a componente proveniente da precipitação. Ou seja, admite-se que não há a ocorrência de precipitação e consequentemente afluências diretas no período de tempo seco. Este método permite comparar os caudais totais que afluem à ETAR, ao longo do tempo, com o caudal estimado em tempo seco, e assim obter o caudal das afluências – infiltração direta ($Q_{inf,diretas}$) e infiltração indireta ($Q_{inf,indiretas}$) através da relação entre os caudais registados e o estimado:

$$Q_{inf,indiretas} = Q_{tempo\ seco} - (Pop \cdot Cap_{a,r} + Q_{res,ind}) \quad (12)$$

Para que seja possível aplicar este método é necessário que haja um intervalo de tempo em que não haja a ocorrência de precipitação, entre 7 a 10 dias, de modo a tornar este método mais fiável. Este intervalo verifica-se suficiente para garantir a obtenção de bons resultados práticos, mesmo tendo em conta que a influência pluviométrica, nestes casos, possa chegar até aos 6 meses após o último evento.

Quando não há existência de registos relativos ao caudal de afluências indevidas à rede de drenagem, em áreas com níveis freáticos elevados, este caudal pode-se admitir como sendo aproximadamente de 45% do caudal em tempo seco. Esta simplificação leva à equação do caudal das infiltrações indiretas:

$$Q_{inf,indiretas} = (Pop \cdot Cap_{a,r} + Q_{res,ind}) \cdot 0,80 \quad (13)$$

Métodos baseados em traçadores

Método suíço

O método suíço aproveita as características da água para quantificar a taxa de infiltração. Este descreve a abordagem de recolha de amostras e medições de caudal nas ETAR para identificar. Este método pressupõe que, quer o caudal de infiltração, quer a sua concentração de poluentes são constantes ao longo do dia (24 horas), sendo que as medições são efetuadas em períodos de 24 horas, com uma resolução temporal de 15 minutos. O facto de não ser necessário conhecer

os padrões de consumo e os hábitos de descargas de águas residuais, por parte da população, torna este método vantajoso.

Método das séries temporais de cargas poluentes

O método das séries temporais de cargas poluentes foi introduzido por Kracht e Gujer, como um método bastante flexível que parte do pressuposto que, em tempo seco, a ocorrência de infiltrações provocam diluição das cargas poluentes, ou seja, há uma diminuição da concentração dos poluentes presentes nas águas residuais. Basicamente, este método através da medição de séries temporais de caudais num determinado ponto da rede e as respetivas concentrações de cargas poluentes estima o caudal de afluências indevidas. Esta análise é feita baseando-se em modelos ajustados para a modelação diária do caudal e da concentração de CQO (carência química de oxigénio), que se admite nula nas águas parasitas. A utilização do parâmetro de CQO como traçador é aconselhável, pois este é um parâmetro bastante monitorizado e estudado no âmbito da análise das águas residuais, caracterizando-se também por não ser sensível a variações de pH e de temperatura. A utilização deste método requer a aplicação de uma metodologia, desde a medição contínua do caudal residual e do poluente até chegar ao cálculo da estimativa do caudal de infiltração ($Q_{\text{inf,indiretas}}$).

A equação que se segue mostra o resultado final da formulação de um modelo que descreve a concentração do poluente em função do caudal medido ao longo do tempo, atendendo às variações temporais da concentração do poluente na água residual para calcular o caudal de afluências indevidas.

$$Q_{AI}(t) = Q_{AI,indiretas}(t) + Q_{0,AI,diretas} \cdot e^{-k_{rec}(t-t_{0,AI,diretas})} \quad (14)$$

Em que,

k_{rec}	Coefficiente recessivo
$t_{0,AI,diretas}$	Instante em que se iniciam as afluências indevidas diretas

Método dos isótopos estáveis

Este método pode ser utilizado para a quantificação do caudal de infiltração, diferenciando-se de alguns pelo facto de a utilização não necessitar de dados de medições, que era necessário em alguns métodos atrás mencionados e utilizar combinações de análises de séries temporais à água.

A molécula da água é constituída por vários isótopos estáveis de ^2O e ^2H , e é através da análise destas propriedades isotópicas do oxigénio e/ou do hidrogénio presentes na água residual ($Q_{\text{res,total}}(t)$) considerando apenas a água de origem doméstica e industrial, e na água afluyente à ETAR que se consegue calcular o caudal de infiltrações. Assim sendo, não é necessário recorrer à utilização de traçadores artificiais, pois os que se analisam estão presentes na água em todo o seu processo. De forma sucinta, quando se analisa a molécula da água (H_2O) é necessário conhecer a razão entre os elementos dos isótopos de ^{18}O e ^2H de amostras de água com várias origens. Nesta análise podem ocorrer várias situações:

- Se na análise da água afluyente à ETAR apenas aparecerem os isótopos correspondentes aos da água residual, significa que, ou não há infiltrações à rede de drenagem, ou as infiltrações têm os mesmos isótopos da água residual;
- Se na análise da água afluyente à ETAR os isótopos forem iguais aos presentes na água residual, então não se podem tirar conclusões;
- Se na análise da água afluyente à ETAR, existirem isótopos diferentes dos da água residual, pode-se concluir que existem infiltrações.

O cálculo do caudal de infiltração direta ($Q_{\text{inf,indiretas}}(t)$) é obtido através da seguinte fórmula:

$$Q_{\text{inf,indiretas}}(t) = \frac{\delta_{\text{res,total}}(t) - \delta_{\text{potável}}(t)}{\delta_{\text{inf,indiretas}}(t) - \delta_{\text{potável}}(t)} \cdot Q_{\text{res,total}}(t) \quad (15)$$

Em que,

$\delta_{\text{res,total}}(t)$	Razão de isótopos nas águas residuais no instante t
$\delta_{\text{potável}}(t)$	Razão de isótopos na água potável no instante t
$\delta_{\text{inf,indiretas}}(t)$	Razão de isótopos na água de infiltrações indiretas no instante t

Em termos de aplicação deste método, ele apenas se torna mais exigente porque é necessário conhecer as diferentes composições dos isótopos da água residual e da água de infiltração, isto é, é necessário estipular bem as diferenças entre a água residual doméstica e industrial da água proveniente das infiltrações. Só assim se consegue estabelecer as comparações fundamentais para se chegar ao caudal de infiltração.

Recomendações ERSAR

O IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos, atual ERSAR emitiu em 2007 um conjunto de recomendações para as entidades gestoras de redes de drenagem de águas residuais. Entre as várias recomendações, encontra-se a Recomendação IRAR n.º 04/2007 – “Faturação de serviços em “alta” de saneamento de águas residuais urbanas em sistemas com contribuição de águas pluviais”. Esta é dirigida às entidades gestoras de sistemas de saneamento “em alta” e aos seus utilizadores, relativa aos princípios e às metodologias a aplicar na faturação dos serviços de transporte, no tratamento e no destino final das águas residuais e nos procedimentos a adotar na estimativa dos volumes de águas residuais quando há a verificação de contribuição de águas pluviais (IRAR, 2008).

Desta recomendação destacam-se vários pontos relativos a procedimentos de medição na quantificação da contribuição pluvial no sistema, entre os quais (IRAR, 2008):

- *“Para melhor gestão de investimentos na redução de aflúências 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;*
- *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 do 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.”;*

Relativamente aos “dia de chuva”, o documento recomenda que:

- *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 expressão (20), que incorpora a média aritmética dos volumes medidos no período antecedente de, pelo menos, M dias consecutivos de tempo seco”.*

$$V_n^{jT} = V_n^{jad} + V_n^{jap} = \min\left(V_n^{jT}; \frac{\sum_{m=1}^M V_m^{jT}}{M}\right) + V_n^{jap} \quad (16)$$

Em que:

n	Dia de chuva
j	Ponto de medição
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
$\frac{\sum_{m=1}^M V_m^{jT}}{M}$	Valor médio diário dos volumes totais medidos no ponto de medição j , calculado para o último período, precedente ao dia n , de M dias consecutivos de tempo seco

A recomendação do IRAR admite que, caso o sistema em análise apresente um hidrograma de precipitação com uma vincada recuperação lenta do padrão de tempo seco após “dias de chuva” e que seja verificado pelas medições e/ou pelo modelo matemático calibrado, pode aplicar-se a equação anterior para a determinação dos dias de tempo seco equivalentes, em termos de comportamento, a “dias de chuva”. Salienta também que este valor tem tendência a variar de sistema para sistema e de chuvada para chuvada (IRAR, 2008).

2.8. Indicadores de desempenho técnico para as aflúências indevidas

Os indicadores de desempenho (ID) surgem como forma de haver uma avaliação do desempenho dos serviços de abastecimento de água e drenagem de águas residuais. Entenda-se por indicador de desempenho ou medida de desempenho “*medidas de eficiência e de eficácia das entidades gestoras relativamente a aspetos específicos da atividade desenvolvida ou do comportamento dos sistemas. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço. A eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos*” (Cardoso *et al.*, 2002; Alegre, s/d).

A especificação, seleção e a utilização dos vários ID é comum ao serviço de abastecimento e de drenagem, no entanto, são recomendados diferentes ID para cada tipo de serviço. Para que a avaliação corra da melhor forma é importante que os ID cumpram determinados requisitos, de modo a que não hajam confusões ou interpretações incorretas acerca do seu uso (Cardoso *et al.*, 2002; Matos *et al.*, 2004). A escolha dos ID mais apropriados a usar tem de ir ao encontro dos objetivos traçados para a avaliação do serviço. Segundo este proposto, para o estudo do impacto das infiltrações indevidas no desempenho dos sistemas de drenagem, propôs-se os seguintes indicadores: utilização da capacidade da seção; proporção do caudal de tempo seco; caudal unitário por câmara de visita; caudal unitário por comprimento do coletor; e caudal

unitário por área de parede do coletor (Cardoso *et al.*, 2002; Amorim, 2007; Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005).

2.9. Enquadramento estratégico

O PENSAAR 2020 – “Uma nova estratégia para o setor de abastecimento de água e saneamento de águas residuais”, é o novo programa estratégico desde 2013 até 2020 visa definir a estratégia com base em objetivos de sustentabilidade em todas as vertentes e assim promover um serviço de qualidade à população através de estratégias dirigidas para o serviço público de abastecimento e saneamento. Relativamente às aflúências indevidas, o PENSAAR 2020 tem vários objetivos operacionais que vão de encontro à sua mitigação e ao seu controlo. A minimização destes volumes de água é um dos desafios avançados por este plano porque estamos perante um problema transversal em vários âmbitos. Esta minimização conduz não só a uma melhoria da qualidade das massas de água, visto que nas zonas urbanas as descargas dos sistemas unitários em tempo húmido representam focos de contaminação, como também permite, através de medidas corretivas, a otimização das redes de drenagem para os vários tipos de águas residuais que necessitem de diferentes tipos de tratamento (PENSAAR 2020, 2015).

Concluindo, esta estratégia tem como objetivo o desenvolvimento do setor da água com base numa governação em união e sustentada pelos planos de estratégia, para que sejam prestados serviços de qualidade e sustentáveis em termos ambientais, económico-financeiros e sociais, e rege-se pelo lema “Uma estratégia ao serviço da população: serviços de qualidade a um preço sustentável” (ERSAR, 2016).

3. METODOLOGIA

3.1. Estudo do caso de Chaves, Mirandela e Vila Real

Os casos de estudo são referentes a três sistemas de drenagem de águas residuais da região norte de Portugal, sob a tutela da Empresa Águas do Norte S.A. (AdN) – Sistema de Chaves, Mirandela e Vila Real. Estes três sistemas servem as sedes dos respetivos concelhos. Na realização do presente estudo foi disponibilizado alguma caracterização de cada sistema de drenagem e dados relativos a caudais diários afluentes a cada uma das ETAR no período de **1 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2017**.

Com base nos dados da ETAR disponibilizados possibilita-se a aplicação de dois métodos de quantificação das aflúências indevidas: **método do triângulo (MT)** e **método do mínimo móvel (MMM)**. Os dados disponibilizados pela AdN são a monitorização diária do caudal afluente a cada ETAR e, uma vez que não foi possível aceder a valores de concentrações de poluentes nem dados relativos a características químicas da água, impossibilitou assim a utilização de outros métodos. A escolha do método do triângulo e do método do mínimo móvel verifica-se adequada e vai de encontro aos objetivos traçados, uma vez que após a utilização dos mesmos será possível estimar a parcela do caudal de aflúências indevidas e proceder ao estudo e análise dos sistemas de drenagem relativa às infiltrações.

3.2. Descrição geral dos casos de estudo

3.2.1. Caracterização da rede de drenagem

O Município de Chaves pertence ao distrito de Vila Real e tem aproximadamente 39 600 habitantes residentes. A **ETAR de Chaves** serve 20 485 habitantes, que corresponde a aproximadamente 52% da população do concelho. Esta ETAR foi dimensionada para uma capacidade de 57 748 habitantes equivalentes. Segundo um estudo das AdN estimou-se que em 2017 o caudal de origem doméstica e o caudal potencial a recolher e a tratar “em alta” tivessem o valor de 1 136 447 m³/ano e 3 892 452 m³/ano, respetivamente.

A cidade de Mirandela pertence ao distrito de Bragança e tem cerca de 22 000 habitantes. A ETAR de Mirandela serve cerca de 10 502 habitantes que corresponde, aproximadamente, a 48% da população do concelho. A **ETAR de Mirandela** foi dimensionada para uma capacidade

de 26 509 habitantes equivalentes. Segundo o mesmo estudo das AdN estimou-se que em 2017 o caudal de origem doméstica e o caudal potencial a recolher e a tratar “em alta” tivessem o valor de 1 063 844 m³/ano e 1 777 873 m³/ano, respetivamente.

Vila Real, também conhecida como Vila Real de Trás-os-Montes tem, aproximadamente, 50 000 habitantes residentes. A **ETAR de Vila Real/Campeã** serve cerca de 32 449 habitantes que corresponde, aproximadamente, a 65% da população do concelho de Vila Real. A ETAR foi dimensionada para uma capacidade de 6 000 habitantes equivalentes. Segundo a AdN estimou-se que em 2017 o caudal de origem doméstica e o caudal potencial a recolher e a tratar “em alta” tivessem o valor de 2 137 075 m³/ano e 3 482 083 m³/ano, respetivamente.

3.3. Proposta da metodologia para a quantificação das aflúências indevidas

A quantificação das aflúências indevidas será estudada através da aplicação do **método do triângulo** e **método do mínimo móvel**, como referido anteriormente. A aplicação destes dois métodos requer, à partida, um conhecimento das populações servidas pela ETAR, do caudal residual diário afluente à ETAR e do caudal diário de origem doméstica e de origem industrial. Contudo, durante a realização deste trabalho constatou-se não ser possível reunir todas as informações necessárias, nomeadamente em relação ao:

1. Caudal diário de origem industrial;
2. Caudal diário de origem doméstico;
3. Número de dias influenciados pela precipitação.

Ponto 1: não foi possível contabilizar a componente industrial que entra no sistema, uma vez que não há monitorização do caudal de cada ligação, ou não se obteve o registo do caudal residual que as indústrias “fornecem” ao sistema de drenagem. Uma das razões é porque muitas destas possuem captações próprias e realizam o tratamento da água que utilizam. Sendo assim, assume-se à partida que todo o caudal que chega à ETAR tem apenas duas componentes: caudal residual doméstico e caudal de aflúências indevidas.

Ponto 2: uma vez que torna-se morosa a descaracterização do caudal diário residual de origem doméstica durante os três anos em estudo procede-se a uma simplificação para chegar ao valor do caudal residual em cada sistema. Inicialmente, esta simplificação tinha por base o RGSPDADAR através do uso de dados do abastecimento de água. No entanto, em todos os casos de estudo a população atendida por abastecimento de água não corresponde à mesma “área” de atendimento da rede de drenagem das águas. Tendo em conta esse fator importante, seria desajustado estimar o caudal diário de origem doméstica por esse meio. Segundo Sá

Marques e Sousa, usou-se a seguinte equação (17) para obter o valor de capitação de abastecimento de água (equação válida para a região norte com populações com mais de 2 000 hab.). Aplicando um fator de afluência de 0,8 (recomendado) obtém-se uma estimativa para o valor de capitação de águas residuais da população servida, sendo que o valor A corresponde à idade da obra (horizonte de projeto).

$$\text{Cap} = e^{1,0914 \times [\ln(100+1,25 A) - \ln(80+A)] \times \ln \text{Pop} + 9,2953 \times \ln(80+A) - 8,2953 \times \ln(100+1,25A)} \quad (17)$$

Ponto 3: a determinação do número de dias de chuva torna-se imprescindível para a quantificação das afluências indevidas pelo método do triângulo. Normalmente, para se obter um valor mais aproximado possível do número de dias, é através de registos de monitorização da precipitação diária durante os anos vários. Atendendo a que não foi possível aceder a essa informação, a contabilização aproximada dos dias influenciados pela precipitação foi feita a partir dos dados de precipitação diária disponibilizados pelo IPMA.

Segundo vários autores, para uma melhor separação das componentes do volume de afluências indevidas é necessário conhecer, ao invés do número de dias em que ocorreu precipitação, o número de dias influenciados pela precipitação. Ou seja, a entrada no sistema de drenagem da componente originada pela ocorrência de precipitação não se dá imediatamente após este fenómeno, podendo apenas se sentir o seu efeito no sistema de drenagem desde minutos a dias. Isto porque a transformação da precipitação em escoamento é um processo complexo que apresenta vários elementos condicionantes. Um dos condicionantes da análise da precipitação nos sistemas de drenagem urbana é o tempo de concentração (t_c) e a diferença entre o comportamento da infiltração direta e do escoamento superficial porque as duas parcelas têm comportamentos diferentes após a ocorrência de precipitação. Em suma, os efeitos sentidos nos sistemas de drenagem e sobretudo no caudal que chega à ETAR, após as chuvadas não se baseiam apenas na duração da chuvada, nem só nos dias que ocorre a precipitação, mas sim nos dias que são influenciados pela ocorrência de precipitação.

Para a realização deste trabalho, foi necessário proceder a uma recolha de informação, implicando várias entidades coletivas e individuais. A entidade gestora Águas do Norte, S.A. tornou-se essencial para a realização deste trabalho, uma vez que disponibilizou direta ou indiretamente quase todas os dados necessários para a realização do mesmo, nomeadamente os registos diários do caudal afluente a cada ETAR.

De seguida, no quadro 3.1 apresenta-se a metodologia a utilizar no estudo dos casos para estimar a parcela de afluências indevidas em cada sistema de drenagem.

Quadro 3.1 – Processos da metodologia para o estudo dos casos de Chaves, Mirandela e Vila Real.

METODOLOGIA	
Recolha de dados	Caracterização do sistema de drenagem
	Estudo da população servida pela ETAR
	Estudo do caudal médio de origem doméstica
	Volumes diários de águas residuais afluentes à ETAR
	Precipitação total
	Estudo dos dias influenciados pela precipitação
Tratamento dos dados	Quantificação das aflúências indevidas
	Aplicação do método do triângulo*
	Aplicação do método do mínimo móvel*
Resultados	Estimativa do volume de aflúências indevidas nos sistemas de drenagem
	Influência da precipitação nos sistemas de drenagem
	Análise económica da contribuição das aflúências indevidas

* Métodos escolhidos para a quantificação das aflúências indevidas

3.4. Análise da precipitação

Uma vez que não se teve acesso a informações sobre a existência de pluviómetros nas ETAR, foi através de registos do IPMA que se obtiveram os registos de precipitação para cada zona em estudo (ver figura 3.1). Estes dados mostram a variação da precipitação mensalmente e ao longo dos anos para várias zonas do país. Dado que as cidades de Chaves e Mirandela não se encontram na lista de registos, optou-se por utilizar os registos da zona mais próxima, ou seja, de Bragança, admitindo assim que a precipitação que ocorreu em Bragança, ocorreu também no Município de Chaves e de Mirandela.

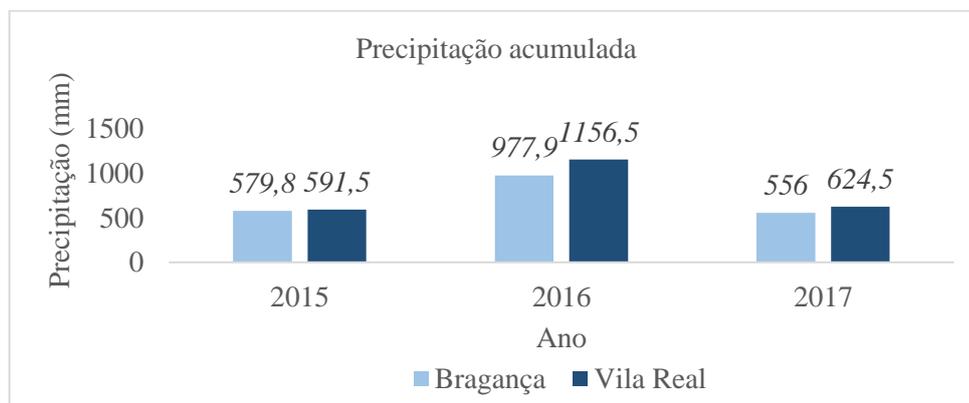


Figura 3.1 – Gráfico da precipitação acumulada em Bragança e Vila Real nos anos 2015, 2016, 2017 (IPMA, 2018)

Os valores da precipitação servirão para cruzar dados relativos à variação caudal afluente à ETAR com a ocorrência de eventos pluviométricos em cada região porque se reconhece que a ocorrência destes eventos, dependendo da duração e intensidade, contribuem para o aumento da infiltração direta, através do escoamento superficial, e para o aumento das infiltrações indiretas, uma vez que provoca a elevação do nível freático. Através dos mesmos dados de precipitação, foram estimados mensalmente o número de dias influenciados pela precipitação, através de uma análise gráfica das informações disponibilizadas pelo IPMA. O somatório dos dias por ano encontra-se expresso na figura 3.2.

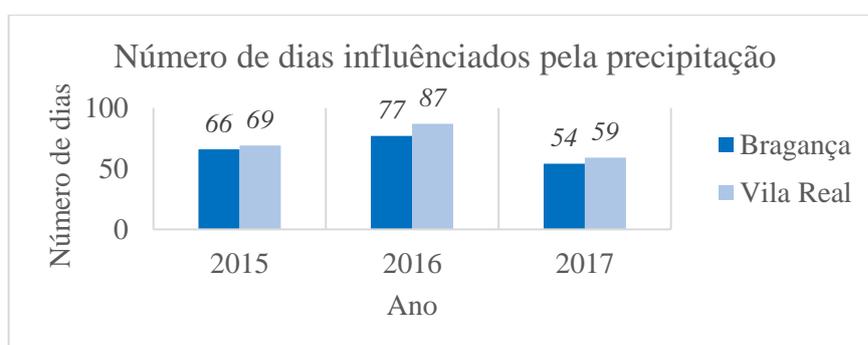


Figura 3.2 – Número de dias influenciados pela precipitação (IPMA, 2018).

4. APLICAÇÃO AOS ESTUDOS DE CASO

4.1. Estudo do caso de Chaves

No caso da ETAR de Chaves, sabe-se que no ano de 2017 esta ETAR servia cerca de 20 485 habitantes, pertencentes a várias freguesias, correspondendo a, aproximadamente, 52% da população do município de Chaves. No quadro 4.1 pode-se observar os caudais mensais nos respetivos anos.

Quadro 4.1 – Caudais afluentes à ETAR de Chaves entre 2015 e 2017.

Mês /Ano	Caudal total mensal (m ³ /mês)		
	2015	2016	2017
Janeiro	222 208	262 823	208 079
Fevereiro	189 693	231 565	188 996
Março	207 523	194 323	188 040
Abril	205 780	191 447	207 140
Maiο	228 789	183 914	255 609
Junho	197 019	173 001	227 414
Julho	197 427	199 495	229 962
Agosto	203 001	202 423	234 073
Setembro	189 038	178 555	214 375
Outubro	229 412	199 135	209 364
Novembro	228867	196 168	205 891
Dezembro	239 113	205 656	208 224
Caudal total (m ³)	2 537 870	2 418 505	2 577 167
Caudal residual total dos 3 anos (m ³)			7 533 542

De seguida apresenta-se o quadro 4.2 com os valores estimados para o caudal de origem doméstica, calculados pela equação 17.

Quadro 4.2 – Cálculo do caudal residual médio diário de origem doméstica à ETAR de Chaves.

Designação / Ano	2015	2016	2017
População servida pela ETAR (hab.)	20 316	20 419	20 485
Capitação de drenagem de água residual (l/hab. dia)	169	169	169
Caudal residual médio diário de origem doméstica (m³/dia)	3 430,34	3 451,94	3 465,84

4.1.1. Quantificação das aflúências - Método do triângulo

Para a aplicação deste método, estimou-se que os dias influenciados pela precipitação foram 66, 77 e 54 dias nos anos 2015, 2016 e 2017, respetivamente. Na sua aplicação, para obter o volume das aflúências indevidas: volume de infiltração e volume de escoamento superficial, pode-se observar nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3 o resultado dessa aplicação em termos gráficos e pode-se analisar o quadro 4.3.

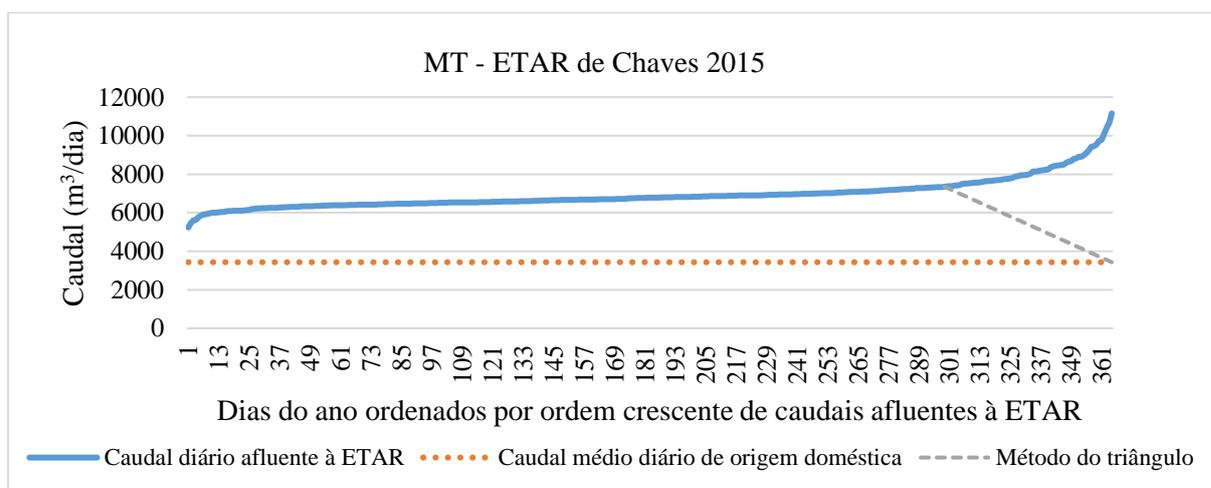


Figura 4.1 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2015.

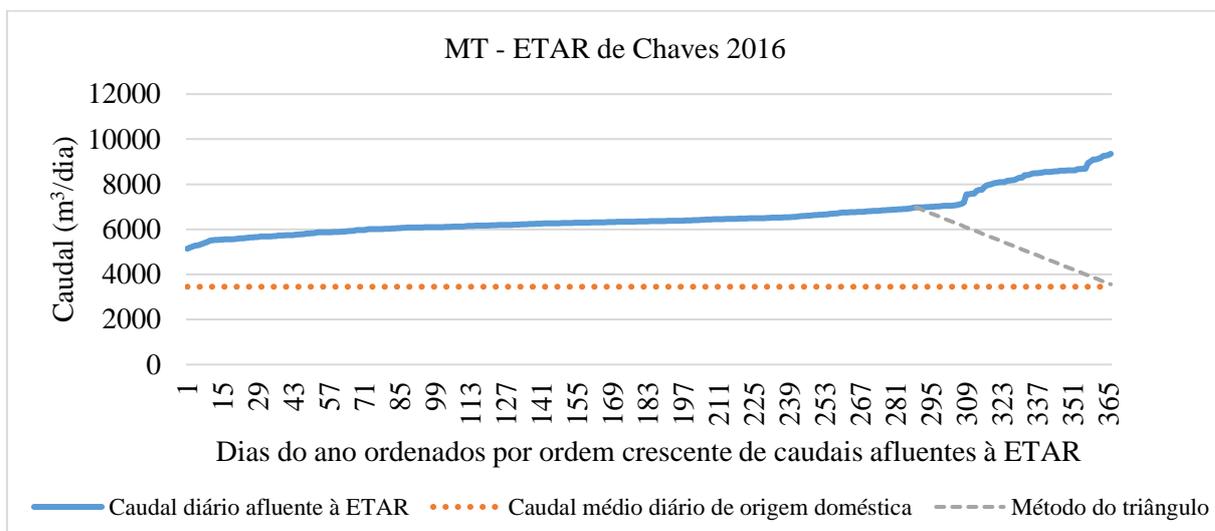


Figura 4.2 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2016.

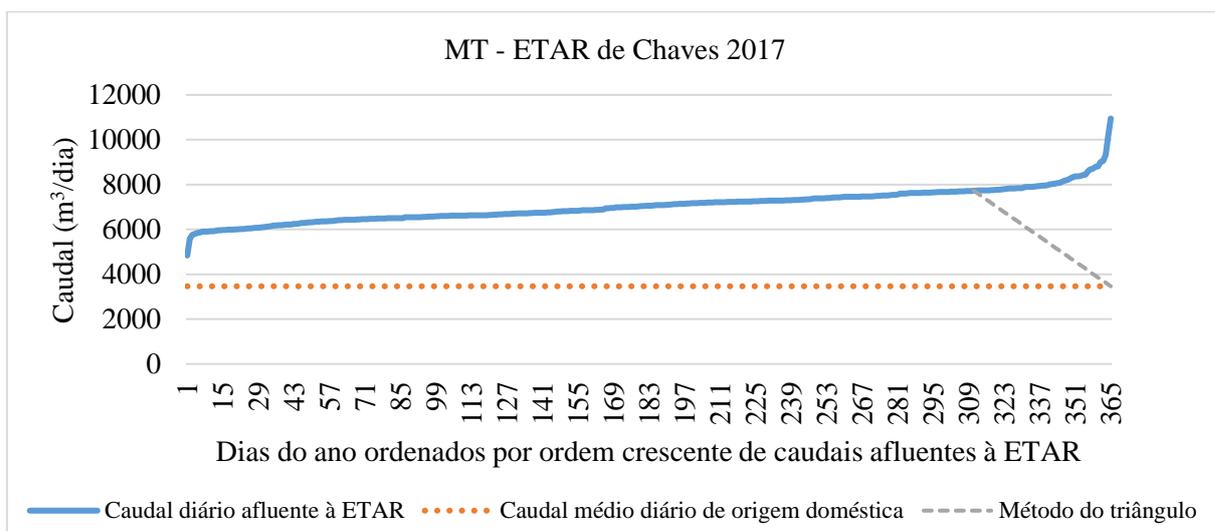


Figura 4.3 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2017.

Quadro 4.3 – Resultados obtidos através da aplicação do método do triângulo aos caudais afluentes à ETAR de Chaves.

Designação /Ano	2015	2016	2017
Volume total afluente à ETAR (m ³)	2 537 870	2 418 505	2 577 167
Volume total de aflúências indevidas (m ³)	1 285 798	1 155 096	1 312 136
Volume total de infiltração (m ³)	1 092 390	936 279	1 169 538
Volume total de escoamento direto (m ³)	193 408	218 817	142 598
Contribuição das aflúências indevidas (%)	51%	48%	51%
Contribuição da infiltração (%)	85%	81%	89%
Contribuição do escoamento superficial (%)	15%	19%	11%

Da aplicação do método do triângulo à ETAR de Chaves, conclui-se que para os anos em estudo, as aflúências indevidas representam em média 49% do volume que aflui à ETAR. De salientar que a componente da infiltração, em todos os anos, toma valores superiores a 80%, chegando a atingir 89% do volume de aflúências indevidas no ano 2017, ou seja, estas aflúências entram no sistema, maioritariamente, devido a problemas de infiltração ao longo da rede de drenagem de águas residuais domésticas.

4.1.2. Quantificação das aflúências - Método do mínimo móvel

Para a aplicação deste método é necessário, não só os registos dos caudais afluentes à ETAR e o caudal de origem doméstica, como também o valor do caudal de mínimo móvel nos 21 dias precedentes. Nas figuras 4.4 a 4.6 e no quadro 4.4 são apresentados os resultados gráficos e as conclusões da aplicação deste método.

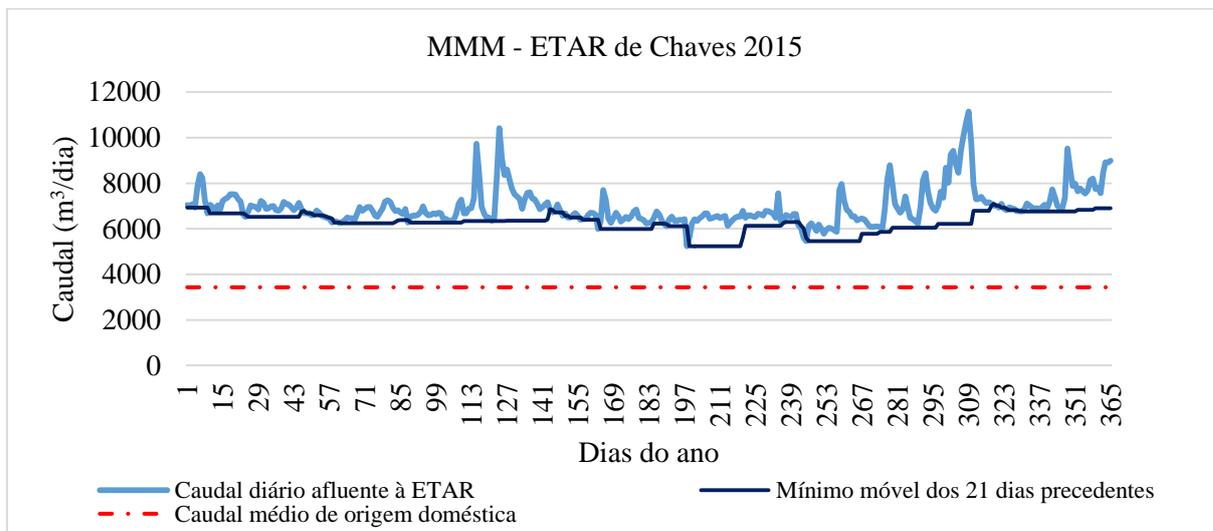


Figura 4.4 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2015.

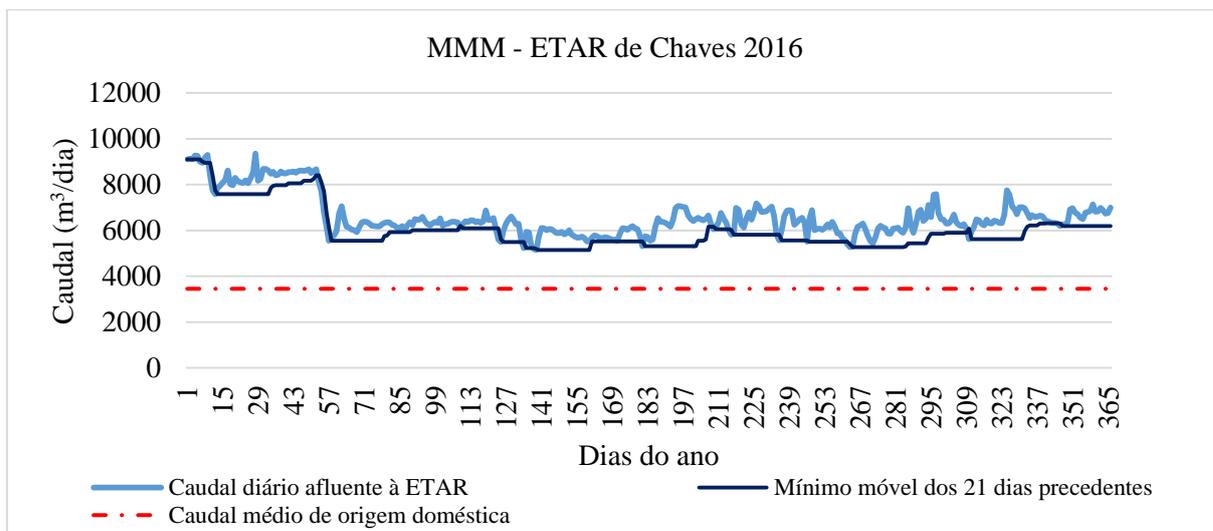


Figura 4.5 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2016.

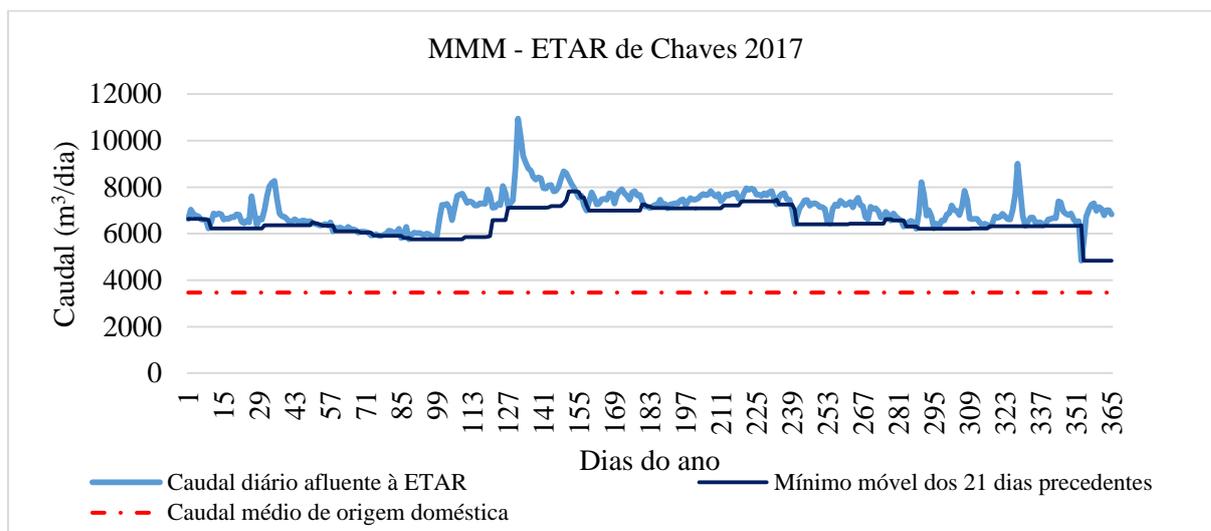


Figura 4.6 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Chaves no ano 2017.

Quadro 4.4 – Resultados obtidos através da aplicação do método do mínimo móvel aos caudais afluentes à ETAR de Chaves.

Designação /Ano	2015	2016	2017
Volume total afluyente à ETAR (m ³)	2 537 870	2 418 505	2 577 167
Volume total de afluições indevidas (m ³)	1 289 891	1 162 223	1 317 293
Volume total de infiltração (m ³)	1 036 799	946 077	1 102 144
Volume total de escoamento direto (m ³)	253 092	216 146	215 149
Contribuição das afluições indevidas (%)	51%	48%	51%
Contribuição da infiltração (%)	80%	81%	84%
Contribuição do escoamento superficial (%)	20%	19%	16%

Da aplicação do método do mínimo móvel à ETAR de Chaves, pode-se concluir que para os anos em estudo, as afluições indevidas representam em média 49% do volume que aflui à ETAR. A contribuição da componente infiltração, em todos os anos, toma valores superiores a 80%, enquanto a contribuição do escoamento superficial representa pouco em relação ao volume de afluições indevidas.

4.1.3. Comparação de resultados de quantificação

Após a aplicação dos dois métodos e das quantificações correspondentes ao longo dos três anos em estudo, faz-se uma pequena análise comparativa entre os volumes de afluições indevidas,

de infiltrações e de escoamento superficial que resultou de cada método. O quadro 4.5 expõe essa comparação de resultados pelos dois métodos.

Quadro 4.5 – Comparação dos resultados obtidos pelo método do triângulo e pelo método do mínimo móvel para o caso de Chaves.

Designação /Ano	Ano 2015		Ano 2016		Ano 2017	
	MT	MMM	MT	MMM	MT	MMM
Método de quantificação das aflúências indevidas						
Volume total afluyente à ETAR (m ³)	2 537 870		2 418 505		2 577 167	
Volume total de aflúências indevidas (m ³)	1 285 798	1 289 891	1 155 096	1 162 223	1 312 136	1 317 293
Volume total de infiltração (m ³)	1 092 390	1 036 799	936 279	946 077	1 169 538	1 102 144
Volume total de escoamento direto (m ³)	193 408	253 092	218 817	216 146	142 598	215 149
Contribuição das aflúências indevidas (%)	51%	51%	48%	48%	51%	51%
Contribuição da infiltração (%)	85%	80%	81%	81%	89%	84%
Contribuição do escoamento superficial (%)	15%	20%	19%	19%	11%	16%

Fazendo uma comparação de resultados obtidos pelos dois métodos, percebe-se que os resultados da quantificação das aflúências indevidas são aproximados. No entanto, o método do triângulo apresenta valores de volumes de infiltração ligeiramente superiores aos obtidos pelo método do mínimo móvel, em todos os anos.

4.2. Estudo do caso de Mirandela

A ETAR de Mirandela no ano de 2017 servia cerca de 10 502 habitantes, pertencentes a várias freguesias. No quadro 4.6 pode observar-se a síntese dos caudais mensais nos respetivos anos.

Quadro 4.6 – Caudais afluentes à ETAR de Mirandela entre 2015 e 2017.

Mês /Ano	Caudal total mensal (m ³ /mês)		
	2015	2016	2017
Janeiro	83 855	113 327	9 8050
Fevereiro	79 087	100 433	11 6278
Março	81 176	100 479	96 724
Abril	78 560	120 316	86 410
Maio	75 088	112 382	91 061
Junho	72 808	802 02	78 726
Julho	80 398	79 430	83 346
Agosto	75 992	87 840	86 758
Setembro	76 314	78 573	78 900
Outubro	98 001	91 042	87 179
Novembro	87 649	101 541	84 857
Dezembro	80 922	101 726	89 859
Caudal total (m³)	969 850	1 167 291	1 078 148
Caudal residual total dos 3 anos (m³)			3 215 289

De seguida apresenta-se o quadro 4.7 com os valores estimados para o caudal de origem doméstica, calculados pela equação 17.

Quadro 4.7 – Cálculo do caudal residual médio diário de origem doméstica à ETAR de Mirandela.

Designação / Ano	2015	2016	2017
População servida pela ETAR (hab.)	10 404	10 463	1 0502
Capitação de drenagem de água residual (l/hab. dia)	143	144	144
Caudal residual médio diário de origem doméstica (m³/dia)	1 492,51	1 503,00	1 510,00

4.2.1. Quantificação das aflúências - Método do triângulo

Para a aplicação deste método, estimou-se que os dias influenciados pela precipitação foram 66, 77 e 54 dias nos anos 2015, 2016 e 2017, respetivamente. Na sua aplicação, para obter o volume das aflúências indevidas: volume de infiltração e volume de escoamento superficial, pode-se observar nas figuras 4.7 a 4.9 o resultado dessa aplicação em termos gráficos e pode-se analisar o quadro 4.8.

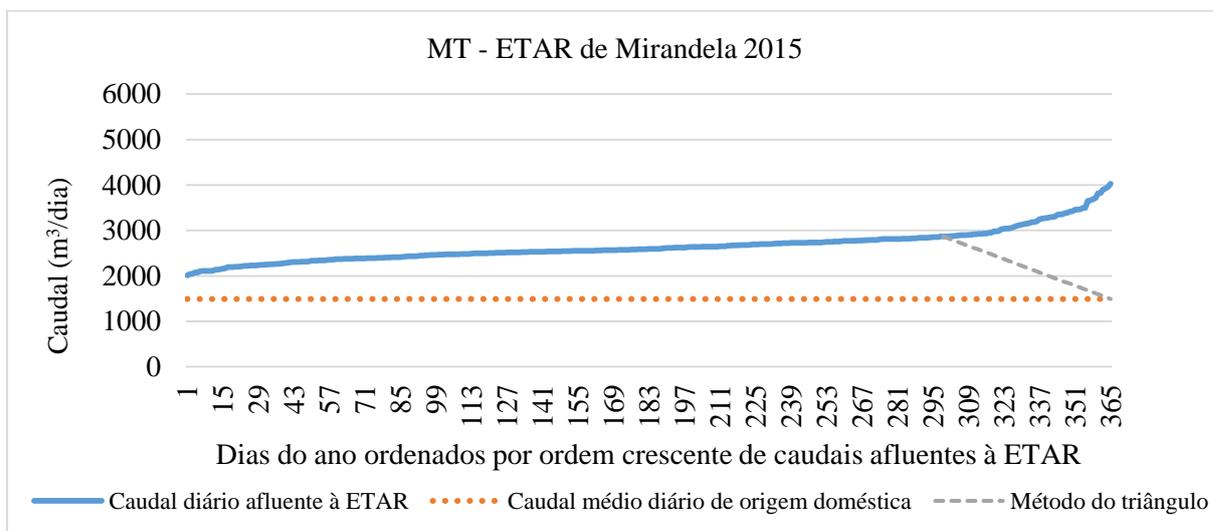


Figura 4.7 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2015.

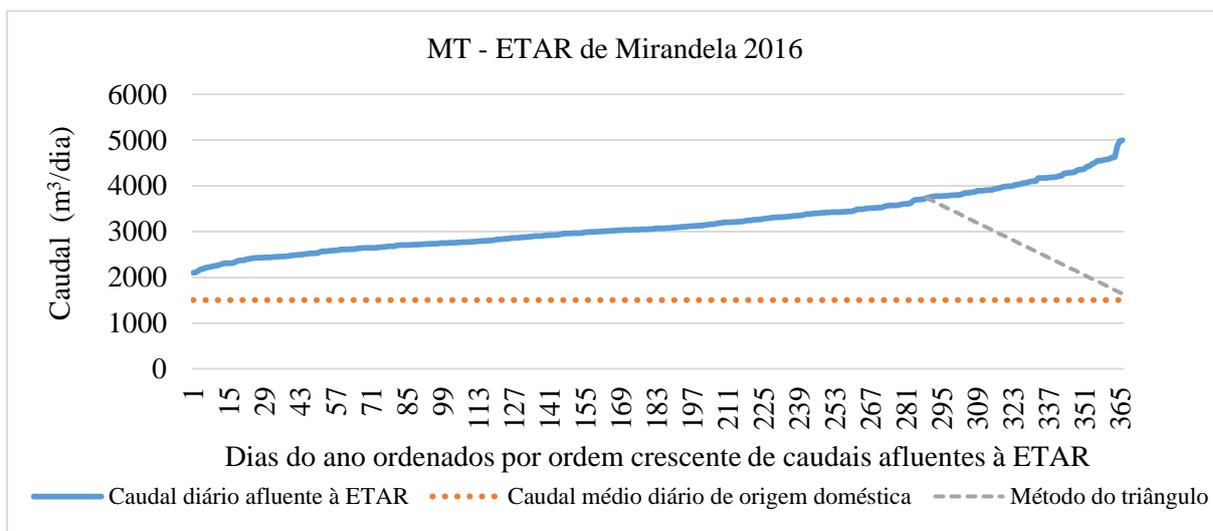


Figura 4.8 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2016.

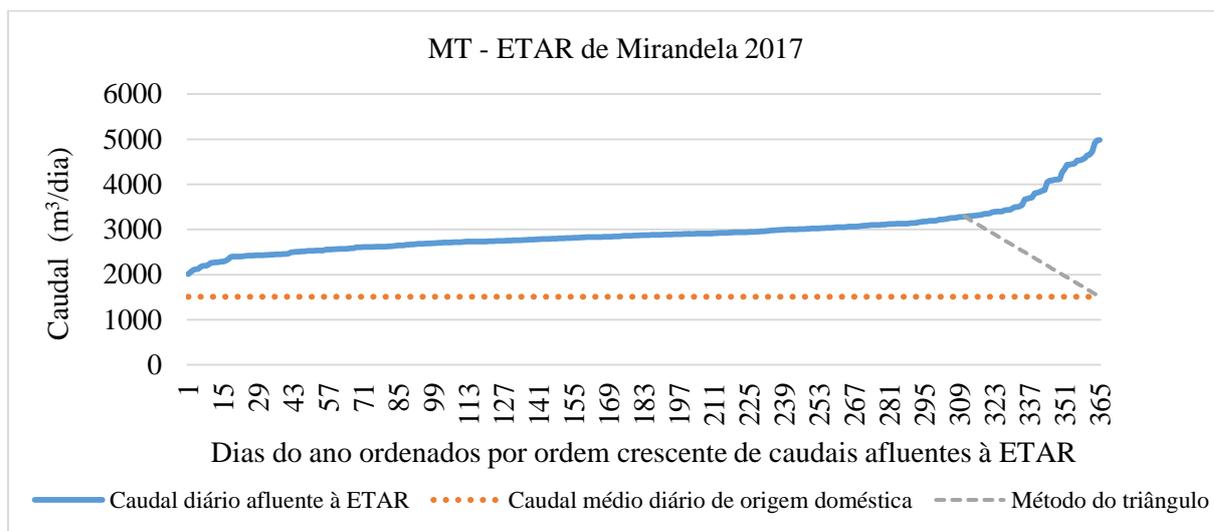


Figura 4.9 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2017.

Quadro 4.8 – Resultados obtidos através da aplicação do método do triângulo aos caudais afluentes à ETAR de Mirandela.

Designação /Ano	2015	2016	2017
Volume total afluente à ETAR (m3)	969 850	1 167 291	1 078 148
Volume total de afluições indevidas (m3)	425 082	617 192	526 997
Volume total de infiltração (m3)	355 350	505 383	445 704
Volume total de escoamento direto (m3)	69 733	111 809	81 293
Contribuição das afluições indevidas (%)	44%	53%	49%
Contribuição da infiltração (%)	84%	82%	85%
Contribuição do escoamento superficial (%)	16%	18%	15%

Da aplicação do método do mínimo móvel à ETAR de Mirandela, pode-se concluir que para os anos em estudo, as afluições indevidas rondam em média os 50% do volume que aflui à ETAR. A contribuição da componente da infiltração, em todos os anos, toma valores superiores a 80% do volume de afluições indevidas. Já a contribuição do escoamento superficial no volume de afluições indevidas é, em todos os anos, muito menor.

4.2.2. Quantificação das afluições - Método do mínimo móvel

Para a aplicação deste método é necessário, não só os registos dos caudais afluentes à ETAR e o caudal de origem doméstica, como também o valor do caudal de mínimo móvel nos 21 dias

precedentes. Nas figuras 4.10 a 4.13 e no quadro 4.9 são apresentados os resultados gráficos e as conclusões da aplicação deste método.

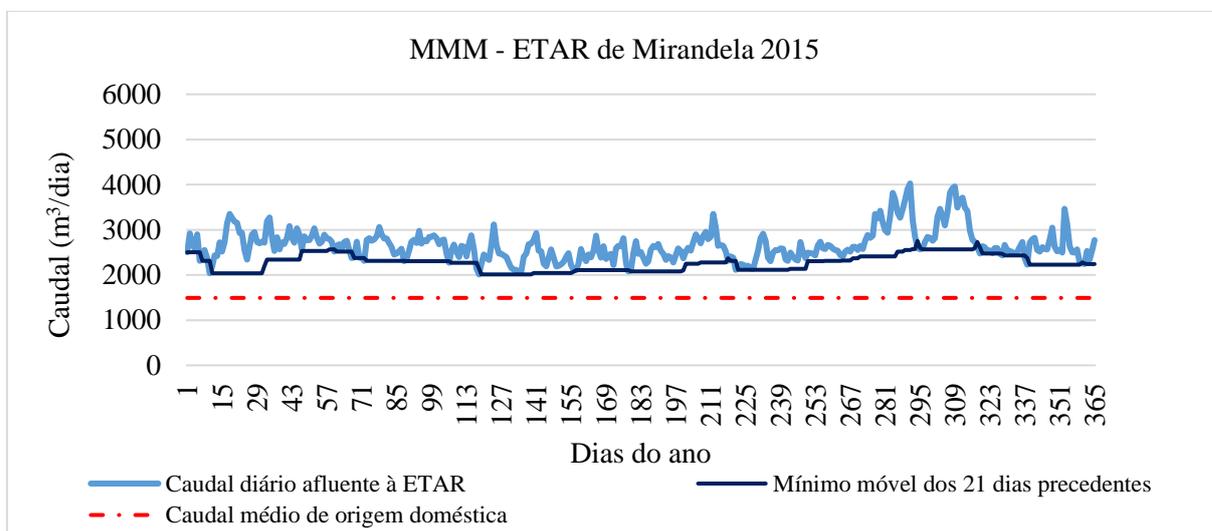


Figura 4.10 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2015.

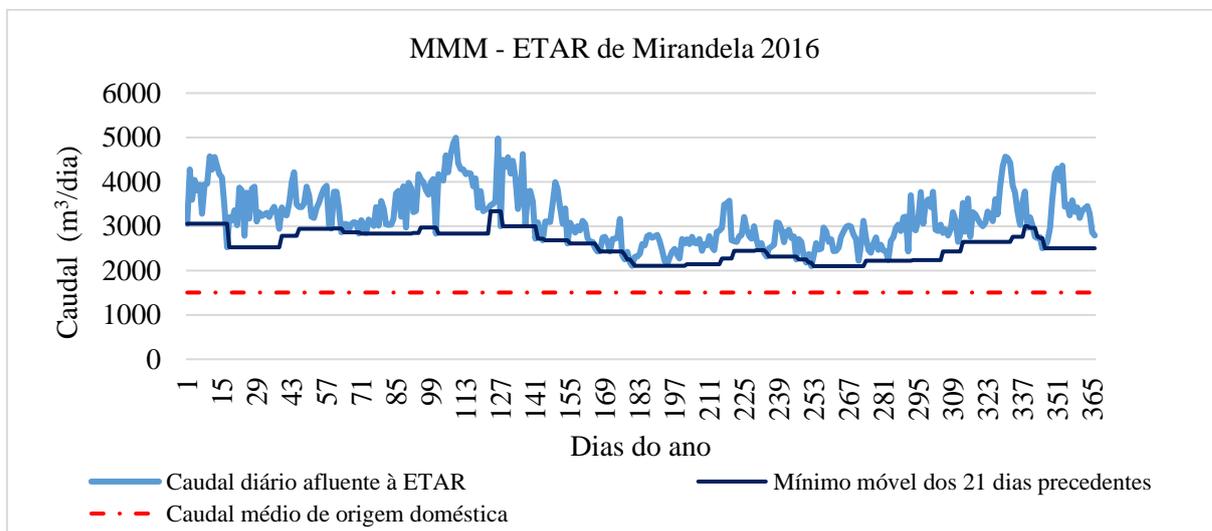


Figura 4.11 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2016.

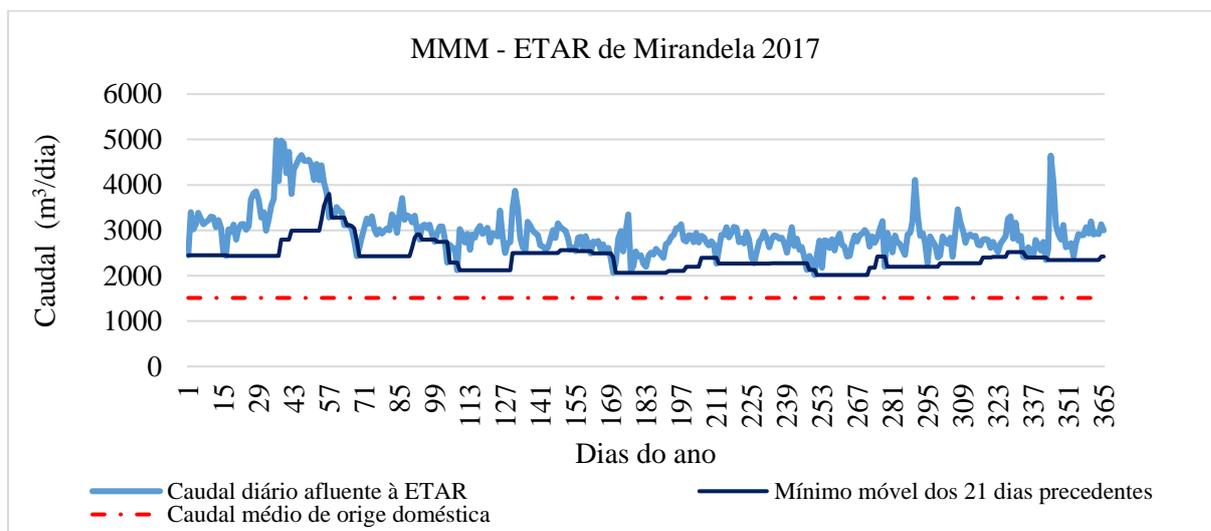


Figura 4.12 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela no ano 2017.

Quadro 4.9 – Resultados obtidos através da aplicação do método do mínimo móvel aos caudais afluentes à ETAR de Mirandela.

Designação /Ano	2015	2016	2017
Volume total afluyente à ETAR (m ³)	969 850	1 167 291	1 078 148
Volume total de afluências indevidas (m ³)	427 114	620 067	530 463
Volume total de infiltração (m ³)	283 557	389 486	321 334
Volume total de escoamento direto (m ³)	143 557	230 581	209 129
Contribuição das afluências indevidas (%)	44%	53%	49%
Contribuição da infiltração (%)	66%	63%	61%
Contribuição do escoamento superficial (%)	34%	37%	39%

Da aplicação do método do mínimo móvel à ETAR de Mirandela, pode-se concluir que para os anos em estudo, as afluências indevidas rondam os 50% do volume que aflui à ETAR. A contribuição do volume de infiltração, em todos os anos, toma valores superiores ao volume de escoamento superficial, sendo que este representa metade do volume de afluências.

4.2.3. Comparação de resultados de quantificação

Após a aplicação dos dois métodos e das quantificações correspondentes ao longo dos três anos em estudo, faz-se uma pequena análise comparativa entre os volumes de afluências indevidas,

de infiltrações e de escoamento superficial que resultou de cada método. O quadro 4.10 expõe essa comparação de resultados pelos dois métodos.

Quadro 4.10 – Comparação dos resultados obtidos pelo método do triângulo e pelo método do mínimo móvel para o caso de Mirandela.

Designação /Ano	Ano 2015		Ano 2016		Ano 2017	
	MT	MMM	MT	MMM	MT	MMM
Método de quantificação das aflúências indevidas						
Volume total afluyente à ETAR (m ³)	969 850		1 167 291		1 078 148	
Volume total de aflúências indevidas (m ³)	425 082	427 114	617 192	620 067	526 997	530 463
Volume total de infiltração (m ³)	355 350	283 557	505 383	389 486	445 704	321 334
Volume total de escoamento direto (m ³)	69 733	143 557	111 809	230 581	81 293	209 129
Contribuição das aflúências indevidas (%)	44%	44%	53%	53%	49%	49%
Contribuição da infiltração (%)	84%	66%	82%	63%	85%	61%
Contribuição do escoamento superficial (%)	16%	34%	18%	37%	15%	39%

Fazendo uma comparação de resultados obtidos pelos dois métodos, percebe-se que os resultados da quantificação das aflúências indevidas são aproximados. No entanto, o método do triângulo apresenta um valor do volume de infiltração ligeiramente inferior ao obtido pelo método do mínimo móvel, no ano de 2017.

4.3. Estudo do caso de Vila Real

Sabe-se que no caso de estudo da ETAR de Vila Real, no ano de 2017, esta servia cerca de 32 449 habitantes, pertencentes a várias freguesias. No quadro 4.11 e figura 4.15 pode-se observar a síntese dos caudais diários em caudais mensais nos respetivos anos.

Quadro 4.11 – Caudais afluentes à ETAR de Vila Real entre 2015 e 2017.

Mês /Ano	Caudal total mensal (m ³ /mês)		
	2015	2016	2017
Janeiro	223 913	309 104	188 075
Fevereiro	225 554	288 332	224 447
Março	201 199	256 040	224 548
Abril	192 709	268 184	184 801
Maiο	209 891	261 792	232 505
Junho	177 407	222 912	202 272
Julho	171 640	174 835	166 310
Agosto	144 061	153 260	146 555
Setembro	172 728	166 730	149 753
Outubro	215 183	188 974	164 536
Novembro	214 898	195 307	180 097
Dezembro	219 169	191 421	193 759
Caudal total (m³)	2 368 352	2 676 891	2 257 658
Caudal residual total dos 3 anos (m³)			7 302 901

De seguida apresenta-se o quadro 4.12 com os valores estimados para o caudal de origem doméstica, calculados pela equação 17.

Quadro 4.12 – Cálculo do caudal residual médio diário de origem doméstica à ETAR de Vila Real.

Designação / Ano	2015	2016	2017
População servida pela ETAR (hab.)	31372	31931	32449
Capitação de drenagem de água residual (l/hab. dia)	188	189	189
Caudal residual médio diário de origem doméstica (m³/dia)	5888,34	6019,15	6140,85

4.3.1. Quantificação das aflúências - Método do triângulo

Para a aplicação deste método, estimou-se que os dias influenciados pela precipitação foram 69, 87 e 59 dias nos anos 2015, 2016 e 2017, respetivamente. Na aplicação, para obter o volume das aflúências indevidas: volume de infiltração e volume de escoamento superficial, pode-se

observar nas figuras 4.13 a 4.15 o resultado dessa aplicação em termos gráficos e pode-se analisar o quadro 4.13.

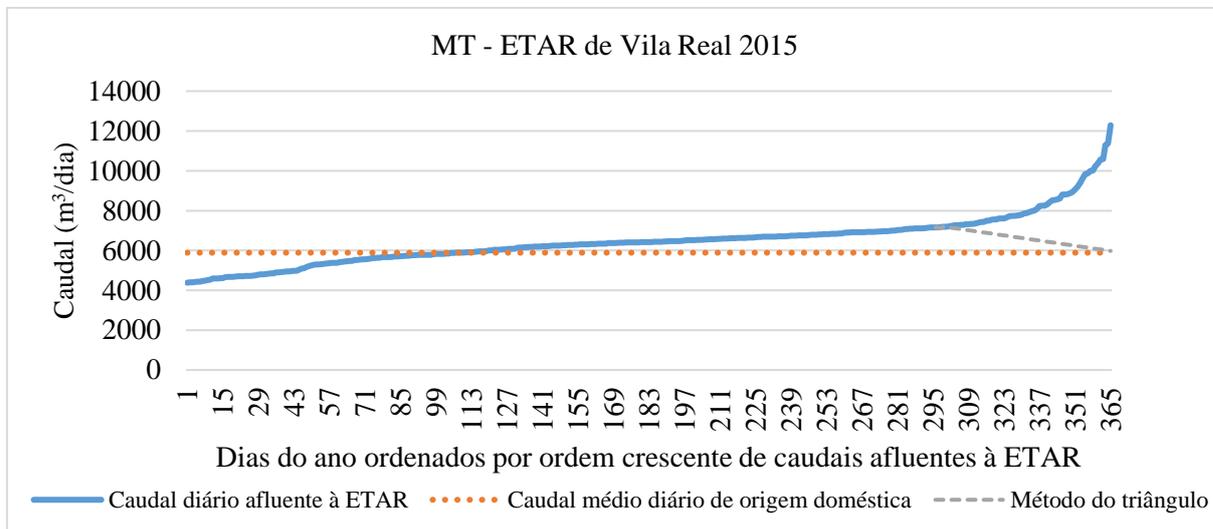


Figura 4.13 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2015.

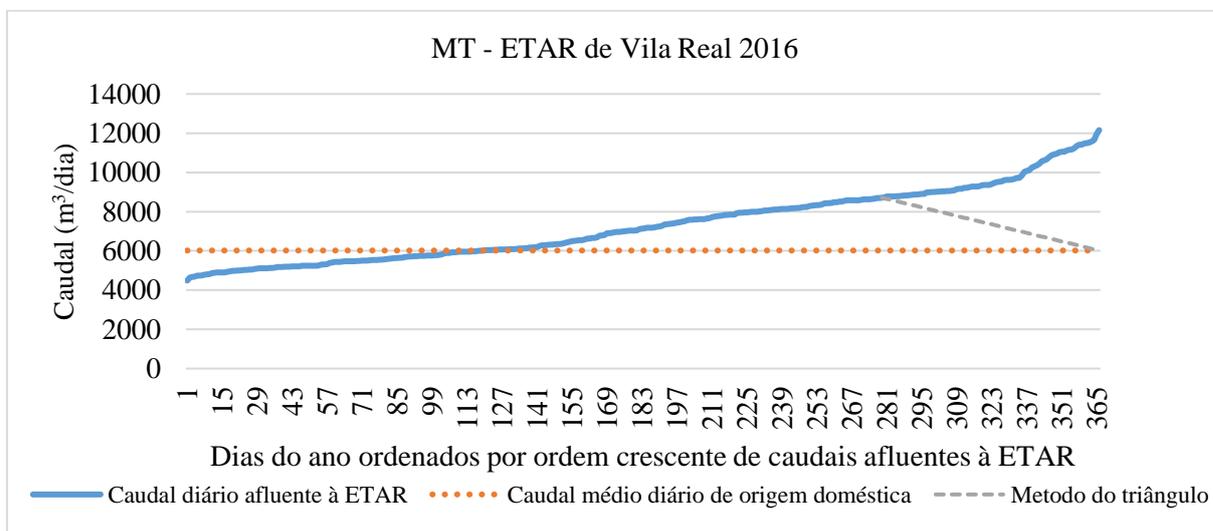


Figura 4.14 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2016.

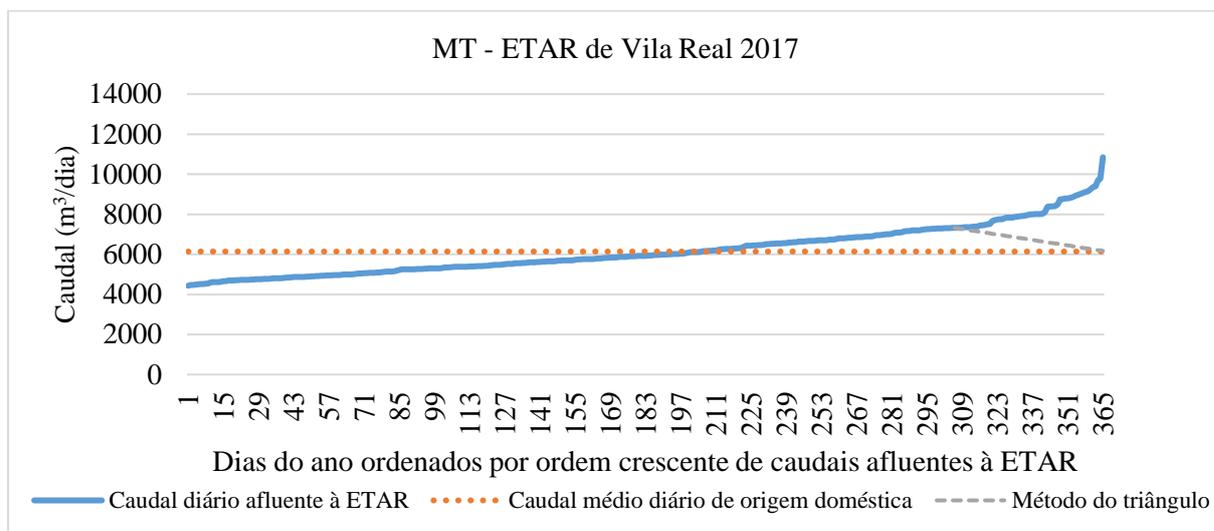


Figura 4.15 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2017.

Quadro 4.13 – Resultados obtidos através da aplicação do método do triângulo aos caudais afluentes à ETAR de Vila Real.

Designação /Ano	2015	2016	2017
Volume total afluente à ETAR (m ³)	2 368 352	2 676 891	2 257 658
Volume total de afluências indevidas (m ³)	273 639	549 948	184 488
Volume total de infiltração (m ³)	154 756	335 813	97 404
Volume total de escoamento direto (m ³)	118 884	214 134	87 084
Contribuição das afluências indevidas (%)	12%	21%	8%
Contribuição da infiltração (%)	57%	61%	53%
Contribuição do escoamento superficial (%)	43%	39%	47%

Da aplicação do método do triângulo à ETAR de Vila Real, conclui-se que o volume de afluências indevidas que afluem ao sistema tem valores baixos, ou seja, há uma baixa participação desta componente no volume de águas que afluem à ETAR. Em relação às parcelas de infiltração e escoamento superficial, em todos os anos a contribuição do volume de infiltração é superior, no entanto ambas as participações rodam os 50% do volume de afluências indevidas, cada uma.

4.3.2. Quantificação das afluições - Método do mínimo móvel

Para a aplicação deste método é necessário, não só os registos dos caudais afluentes à ETAR e o caudal de origem doméstica, como também o valor do caudal de mínimo móvel nos 21 dias precedentes. Nas figuras 4.16 a 4.18 e no quadro 4.14 são apresentados os resultados gráficos e as conclusões da aplicação deste método.

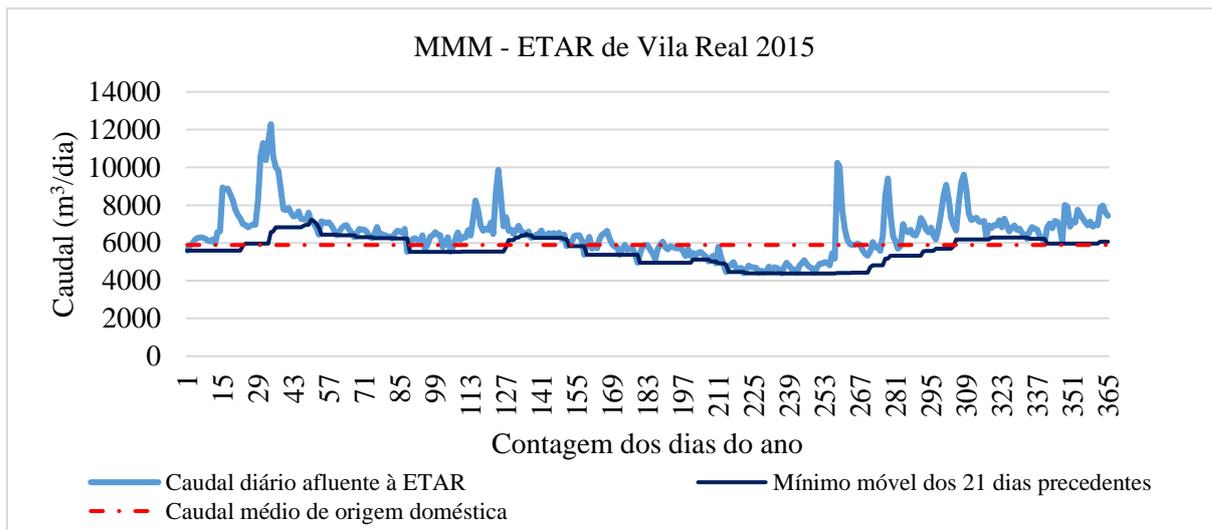


Figura 4.16 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2015.

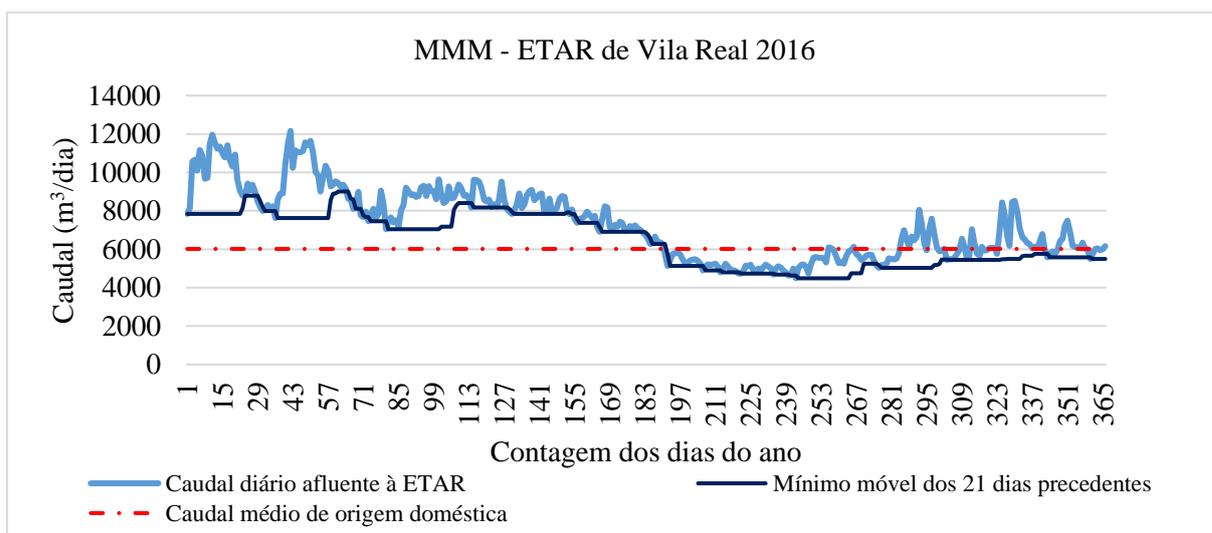


Figura 4.17 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2016.

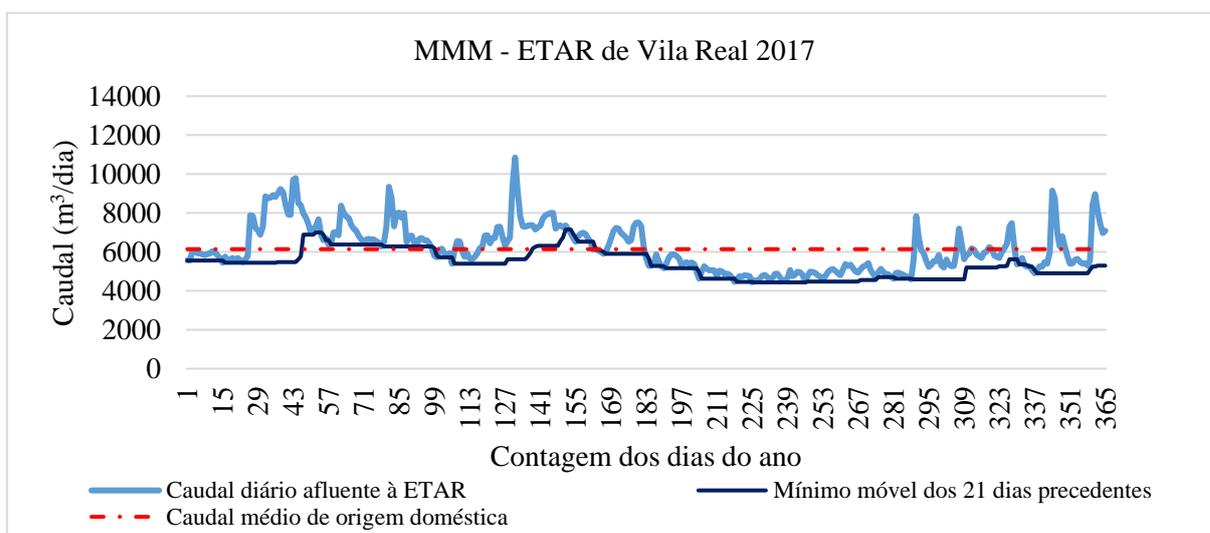


Figura 4.18 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real no ano 2017.

Quadro 4.14 – Resultados obtidos através da aplicação do método do mínimo móvel aos caudais afluentes à ETAR de Vila Real.

Designação /Ano	2015	2016	2017
Volume total afluyente à ETAR (m ³)	2 368 352	2 676 891	2 257 658
Volume total de aflúências indevidas (m ³)	387 904	639 973	184 488
Volume total de infiltração (m ³)	59 424	315 318	97 404
Volume total de escoamento direto (m ³)	328 480	324 655	87 084
Contribuição das aflúências indevidas (%)	16%	24%	8%
Contribuição da infiltração (%)	15%	49%	53%
Contribuição do escoamento superficial (%)	85%	51%	47%

Da aplicação do método do mínimo móvel à ETAR de Vila Real, pode tirar-se poucas conclusões. Apesar de em todos os anos a contribuição das aflúências indevidas ter um valor pequeno, é difícil tirar conclusões acerca dos volumes das duas parcelas que constituem este volume. Enquanto o escoamento superficial, nos anos de 2015 e 2017, tem uma grande contribuição no volume de aflúências indevidas, o mesmo já não se passa no ano 2016, sendo que a contribuição da infiltração é, aproximadamente, igual à do escoamento superficial.

4.3.3. Comparação de resultados de quantificação

Após a aplicação dos dois métodos e das quantificações correspondentes ao longo dos três anos em estudo, faz-se uma pequena análise comparativa entre os volumes de aflúências indevidas, de infiltrações e de escoamento superficial que resultou de cada método. O quadro 4.15 expõe essa comparação de resultados pelos dois métodos.

Quadro 4.15 – Comparação dos resultados obtidos pelo método do triângulo e pelo método do mínimo móvel para o caso de Vila Real.

Designação /Ano	Ano 2015		Ano 2016		Ano 2017	
	MT	MMM	MT	MMM	MT	MMM
Método de quantificação das aflúências indevidas						
Volume total afluente à ETAR (m ³)	2 368 352		2 676 891		2 257 658	
Volume total de aflúências indevidas (m ³)	273 639	387 904	549 948	639 973	184 488	322 488
Volume total de infiltração (m ³)	154 756	59 424	335 813	315 318	97 404	25 361
Volume total de escoamento direto (m ³)	118 884	328 480	214 134	324 655	87 084	297 127
Contribuição das aflúências indevidas (%)	12%	16%	21%	24%	8%	14%
Contribuição da infiltração (%)	57%	15%	61%	49%	53%	8%
Contribuição do escoamento superficial (%)	43%	85%	39%	51%	47%	92%

Fazendo uma comparação de resultados obtidos pelos dois métodos, percebe-se que os resultados da quantificação das aflúências indevidas são aproximados. No entanto, há uma grande variação dos valores do volume de infiltração e do volume de escoamento superficial dos dois métodos. No método do triângulo há um maior equilíbrio entre a contribuição destas duas parcelas no volume de aflúências indevidas que chega à ETAR, em todos os anos. Já no método do mínimo móvel a discrepância entre os volumes de infiltração e de escoamento superficial torna-se maior, sendo que esta última parcela toma sempre maiores valores, chegando a atingir 92% das aflúências indevidas no ano de 2017.

4.4. Influência da ocorrência de precipitação

Concluída a fase da quantificação das aflúências indevidas nos subsistemas, impõe-se tentar perceber quais as verdadeiras causas que levam a estes caudais excedentes. Como jeito de análise da influência de fenómenos pluviométricos na variação dos caudais registados à entrada da ETAR, procedeu-se ao estudo da combinação do caudal residual que chega à ETAR com os valores de precipitação registados pelo IPMA, expostos no capítulo 3.4. As figuras 4.19 a 4.21 mostram os resultados, para cada caso de estudo, no entanto é apenas apresentado o ano de 2017 por uma questão de síntese.

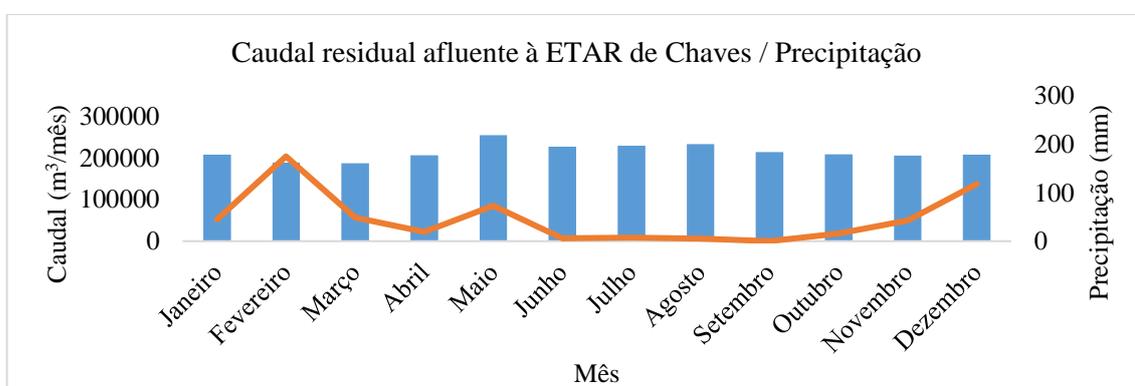


Figura 4.19 – Gráfico da combinação do caudal residual afluente à ETAR de Chaves com os valores de precipitação registados no ano de 2017.

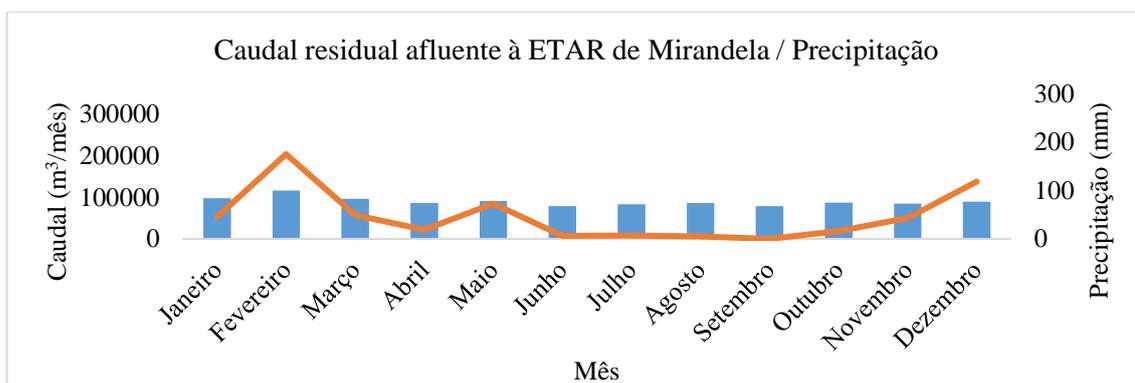


Figura 4.20 – Gráfico da combinação do caudal residual afluente à ETAR de Mirandela com os valores de precipitação registados no ano de 2017.

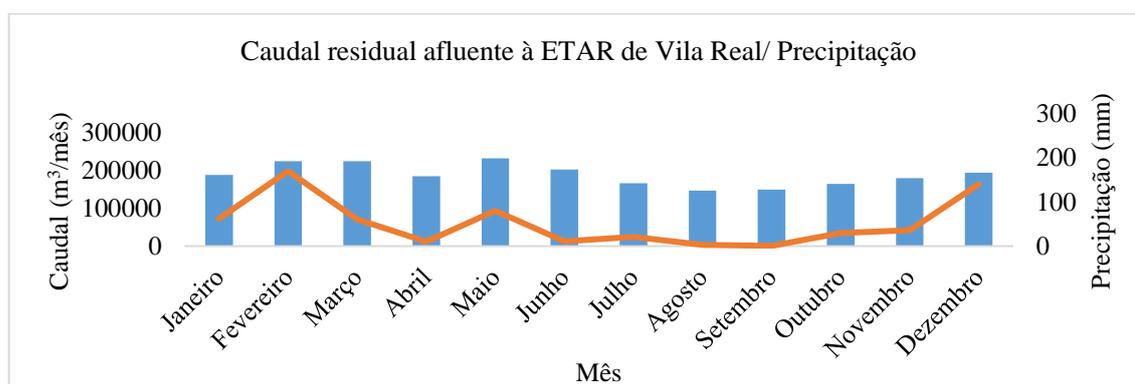


Figura 4.21 – Gráfico da combinação do caudal residual afluente à ETAR de Vila Real com os valores de precipitação registados no ano de 2017.

Apesar dos gráficos nos darem uma noção da influência da precipitação na variação dos caudais a recolher e a tratar pela ETAR, esta influência verifica-se de melhor forma no caso de Vila Real, uma vez que é o único caso cujos valores de precipitação são os do seu próprio município. Pela observação dos gráficos, nota-se que em muitos casos, após a ocorrência de precipitação (quando há um aumento de precipitação total), também ocorre um aumento no volume que afluente à ETAR. Posto isto, é de notar que os eventos pluviométricos estão diretamente relacionados com o aumento do caudal residual afluente à ETAR, mesmo que o sistema de drenagem seja separativo, provocando uma entrada de volume de águas residuais pluviais no sistema de drenagem de forma indevida, seja por escoamento superficial, seja por infiltração na rede.

4.5. Análise económica da contribuição das aflúências indevidas

O impacto económico devido à entrada das aflúências indevidas no sistema, pode ser refletido nos custos de investimento, custos de operação e custos de manutenção, inclusive os custos de reparação das infraestruturas, como referido no ponto 2.6. Mas para proceder a essa análise dos vários custos era necessário realizar um estudo muito detalhado para obter o impacto financeiro desta problemática. Este impacto pode-se fazer sentir desde os custos de investimento, que normalmente se associam-se aos encargos monetários iniciais para prevenção das aflúências indevidas, aos custos de operação e manutenção. Estes dois últimos custos têm uma maior importância, na medida em que nos custos de operação encontram-se os custos de bombagem nas estações elevatórias (EE), de tratamento dos efluentes na ETAR (custos de arejamento, adição de produtos químicos...), sendo que os aumentos dos custos energéticos, devido ao aumento de caudal, provocam um incremento significativo desta parcela.

Focando a atenção apenas para a contribuição das aflúências indevidas no aumento de custos na ETAR, procurou-se analisar as tarifas que estiveram em vigor em cada ano para comparar um cenário real com um cenário ideal, onde não há a contribuição das aflúências indevidas aos sistemas de drenagem. Para os três sistemas as tarifas são iguais, sendo que para o ano 2015 o m³ afluyente à ETAR é cobrado a 0,70€, no ano de 2016 o valor desce para 0,64€ o m³ e no ano de 2017 o valor a cobrar é de aproximadamente 0,65€ por cada m³ de água recolhida e tratada.

Uma vez que os valores de aflúências indevidas variam consoante o método aplicado, escolheu-se o caso mais desfavorável, cuja contribuição das aflúências indevidas se verifica maior. Em todos os estudos de caso, o método que se revelou mais gravoso em termos de quantificação das aflúências indevidas foi o método do mínimo móvel, em todos os anos. O quadro e gráfico seguintes apresentam, de forma resumida, a contribuição das aflúências indevidas nos custos globais das EG, no que diz respeito à faturação do volume de água que aflui à ETAR.

Quadro 4.16 – Faturação do volume de água residual afluyente à ETAR de Chaves.

ETAR de Chaves				
Designação / Ano	2015	2016	2017	Total 3 anos
Tarifa (€/m³)	0,70	0,64	0,6457	-
Volume afluyente à ETAR (m³)	2 537 870	2 418 505	2 577 167	7 533 542
Faturação do volume afluyente à ETAR (€)	1 776 509 €	1 547 843 €	1 664 076 €	4 988 428 €
Volume de aflúências indevidas (m³)	1 289 890	1 162 223	1 317 293	3 769 407
Faturação das aflúências indevidas (€)	902 923 €	743 822 €	850 576 €	2 497 322 €
Contribuição das aflúências indevidas	51%	48%	51%	50%

Quadro 4.17 – Faturação do volume de água residual afluyente à ETAR de Mirandela.

ETAR de Mirandela				
Designação / Ano	2015	2016	2017	Total 3 anos
Tarifa (€/m³)	0,70	0,64	0,6457	-
Volume afluyente à ETAR (m³)	969 850	1 167 291	1 078 148	3 215 289

Faturação do volume afluente à ETAR (€)	678 895 €	747 066 €	696 160 €	2 122 121 €
Volume de afluências indevidas (m³)	427 114 €	620 067 €	530 463 €	1 577 644 €
Faturação das afluências indevidas (€)	298 980 €	396 843 €	342 520 €	1 038 343 €
Contribuição das afluências indevidas	44%	53%	49%	49%

Quadro 4.18 – Faturação do volume de água residual afluente à ETAR de Vila Real.

Designação / Ano	ETAR de Vila Real			
	2015	2016	2017	Total 3 anos
Tarifa (€/m³)	0,70	0,64	0,6457	-
Volume afluente à ETAR (m³)	2 368 352	2 676 891	2 257 658	7302 901
Faturação do volume afluente à ETAR (€)	1 657 846 €	1 713 210 €	1 457 769 €	4 828 826 €
Volume de afluências indevidas (m³)	387 904	639 973	322 488	1 350 365
Faturação das afluências indevidas (€)	271 533 €	409 582 €	208 230 €	889 346 €
Contribuição das afluências indevidas	16%	24%	14%	18%

Através da análise dos quadros acima, consegue-se tirar várias conclusões:

- Na ETAR de Chaves, 50% da faturação do volume a tratar corresponde a afluências indevidas, que corresponde a um custo total nos três anos de 2 497 322,36 €;
- Na ETAR de Mirandela 49% da faturação do volume a tratar corresponde a afluências indevidas, que corresponde a um custo total nos três anos de 1 038 343,25 €;
- Na ETAR de Vila Real 18% da faturação do volume a tratar corresponde a afluências indevidas, que corresponde a um custo total nos três anos de 889 346,49 €.

Desta forma, é impossível não ficar indiferente à importância da contribuição das afluências indevidas aos sistemas de drenagem. Em termos globais, em três anos, e nos três casos em estudo, aproximadamente 39 % da água faturada deve-se, na maioria dos casos, à ocorrência de precipitação e ligações indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais. Estes volumes

envolvem custos a rondar os 4 000 000 000 €, desde a recolha “em alta” até ao lançamento da água tratada no meio hídrico.

4.6. Análise crítica dos resultados obtidos

Como é sabido, os dois métodos em estudo são de simples aplicação. É necessário por isso, abordar esta quantificação de forma crítica e analisar os resultados obtidos conforme os dados utilizados e tendo em conta a situação que acontece na realidade e que se admite na aplicação dos métodos. Na análise e interpretação dos resultados deve-se ter em conta que:

- Não há registo dos caudais diários de origem doméstica, ou seja, é admitido logo à partida que o caudal residual que é produzido pela população é igual por dia ao longo do ano;
- A quantificação do caudal residual de origem doméstica tem por base a aplicação de um fator de aflúncia na capitação de água residual. A variação deste valor (que teoricamente se entende por taxa de cobertura da rede de abastecimento em relação à rede de drenagem) provoca alterações no caudal residual doméstico e, conseqüentemente, nos valores obtidos pelos métodos na quantificação das aflúências indevidas, quer na parcela de infiltração, quer na parcela de escoamento superficial. Após experimentação, esta variação provoca grandes alterações nos resultados obtidos;
- A decisão de tomar o valor de caudal residual industrial como zero (por falta de elementos de informação/registos) pode influenciar os resultados obtidos uma vez que faria aumentar o valor do caudal residual e, conseqüentemente diminuir os valores “teóricos” das aflúências indevidas;
- Existem ao longo das redes em estudo descarregadores de percursos, principalmente antes da obra de entrada das ETAR, e todos os medidores de caudal estão a jusante dos descarregadores, pelo que os caudais de aflúências às ETAR são apenas os tratados e não os que são recolhidos ao longo da rede. Esta informação põe a hipótese das medições dos caudais em causa serem inferiores ao que realmente foi recolhido pela rede. Ou seja, muitas das vezes podem ser realizadas descargas de emergência através dos descarregadores quando a ETAR não tem capacidade para o caudal que realmente lhe iria afluir.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

5.1. Conclusões

O presente trabalho teve como principais objetivos destacar a importância das afluências indevidas através do estudo dos Subsistemas de Chaves, Mirandela e Vila Real, quer em volumes, quer em estimativas de custos associados a esta problemática. No presente documento, a principal preocupação em relação ao bom funcionamento dos sistemas de drenagem prende-se com as afluências indevidas, que provocam uma diminuição da eficácia (“segurança de um bom resultado”) e eficiência (“rendimento”) destas infraestruturas. A entrada de volumes de águas pluviais nos sistemas de drenagem de águas domésticas/industriais (em sistemas separativos) causam sobrecarga hidráulica na capacidade de transporte e de tratamento da rede e isso tem graves transtornos em termos estruturais da rede e envolve elevados custos, nomeadamente no tratamento destes volumes.

Com a realização deste estudo foi conseguido quantificar as afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais, através de dois métodos matemáticos e gráficos, e também quantificar cada componente desta parcela: a infiltração indireta e o escoamento superficial ou direto, de modo a perceber a contribuição que cada uma destas componentes tem no caudal residual que aflui à ETAR. Este estudo de quantificação das afluências indevidas através do método do triângulo e método do mínimo móvel permitiu concluir que há um grande caminho a percorrer no que diz respeito ao combate da entrada destes volumes nos sistemas de drenagem. Os resultados obtidos, não só atingem valores elevados, em comparação com os volumes de águas residuais que deveriam chegar à ETAR, como também provocam elevados acréscimos de custos.

Em relação aos valores obtidos pela aplicação do método do triângulo e pelo método do mínimo móvel na quantificação das afluências indevidas, estes não mostraram uma grande variação entre si, sendo que os valores obtidos por um método são aproximados dos valores obtidos pelo outro método, não ultrapassando os 10% de diferença. Isto mostra que, apesar de serem dois métodos com dados de entrada diferentes, os resultados obtidos não variam muito. No entanto, o mesmo não acontece em relação aos volumes de infiltração e de escoamento direto, pois nestas quantificações os valores variam muito de método para método, nomeadamente no caso de Vila Real.

Após a análise dos resultados, concluiu-se que o caso de Chaves e Mirandela são os casos mais preocupantes, pois os volumes excedentes rondam os 50% do volume de água que entra no sistema de drenagem. Ou seja, há uma sobrecarga do sistema com volumes que a ele afluem em normal funcionamento. Tendo ainda em conta que estas duas redes são as mais pequenas em termos de comprimento, percebe-se assim que há vários problemas de funcionamento ao longo da rede. O caso de Vila real, ainda que tenha um volume de afluências indevidas de aproximadamente 18% (como média dos três anos), também merece atenção porque é a rede com maior extensão e que serve mais habitantes, no entanto é aquela cujo valor de volume residual doméstico diário mais se aproxima dos volumes afluentes à ETAR em muitos dias.

Em Portugal, o setor de saneamento de águas residuais encontra-se em grande expansão e evolução no que diz respeito ao investimento nas infraestruturas. Mas há várias questões que se levantam relativamente aos verdadeiros fatores que tornam esta problemática de grande dimensão, nomeadamente as possíveis causas de infiltração nos sistemas de drenagem. Muitas das vezes desconhece-se o que realmente acontece para que haja tanto volume de água a entrar no sistema de drenagem que não era suposto afluir à rede. Sem dúvida que o estado de conservação da rede e as suas características são dos grandes fatores condicionantes para que haja afluências indevidas ou não. Em muitos casos a falta de informações leva a que haja uma ausência de investimentos relativos ao controlo e identificação das ligações indevidas à rede. Não basta seguir o RGSPDADAR no que diz respeito à criação de sistemas de drenagem separativos. É necessário que tais redes funcionem como tal, ou seja, que a rede de drenagem de águas residuais transporte águas residuais domésticas, industriais e comerciais e que a rede de drenagem de águas pluviais transporte águas pluviais, sem que haja ligações entre as duas, quando não é suposto haver.

Em relação ao aumento de custos associados, os resultados obtidos, ainda que através de simples métodos de quantificação, mostram bem que talvez não seja correto tratar esta componente das afluências indevidas como se de água residual fosse. Em três anos, gastar mais do que 4M € apenas em tratamento de água que se infiltra na rede ou que provém de ligações clandestinas de redes pluviais tem um peso enorme associado no que diz respeito ao tratamento destas afluências indesejáveis aos sistemas de saneamento. Ao longo dos anos são discutidas medidas, quer “em alta”, quer “em baixa” e analisados vários procedimentos para a quantificação destes volumes e respetivos montantes a faturar pelas EG, pois a ocorrência das afluências indevidas, ainda que com diversas origens e diferentes causas, podem afluir à rede “em alta” e “em baixa”. A metodologia a adotar sobre a faturação, seguindo o IRAR (2008) deve ter como objetivo a redução das afluências indevidas, baseando-se na medição dos caudais de origem doméstica em secções de entrega. Tendo em conta que em sistemas de grande complexidade de ligações entre rede “em alta” e “em baixa”, convém realizar as medições em

pontos estratégicos que permitam avaliar os volumes de água afluentes à rede. Em relação à tarifa a aplicar, esta deve ser baseada nos volumes estimados a partir dos volumes medidos, executando assim um “modelo de volumes desfasados” e desta forma, cada Município e cada EG teria em permanência a monitorização dos caudais e os respetivos encargos da componente das aflúências indevidas, promovendo assim planos e soluções que visam mitigar o custo marginal.

De forma global, reconhece-se que esta problemática contribui para o desempenho menos satisfatório dos sistemas de drenagem, apesar dos esforços em termos de investimento que têm sido feitos para controlar esta problemática. Embora as EG reconheçam o seu papel como dos principais fatores para a degradação dos sistemas e assim ir aumentando o impacto deste fenómeno (ciclo causa-efeito), muitas vezes não é dada a devida importância por falta de conhecimento da dimensão deste problema.

5.2. Recomendações para trabalhos futuros

No que diz respeito a recomendações futuras, há vários pontos que devem ser analisados e devidamente estudados, nomeadamente como solução para uma minimização das aflúências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais. Esta problemática deve ser abordada e estudada de forma exaustiva para ir ao encontro de um sistema de drenagem separativo que satisfaça todas as exigências para o seu bom funcionamento. Nesse seguimento recomendam-se as seguintes ações:

- Revisão do Decreto- Lei n.º 23/95, de 23 de agosto, no que diz respeito à previsão do caudal de infiltração em fase de projeto, em sistemas de drenagem separativa – o decreto acima referido está muito aquém das expectativas, uma vez que perante a dimensão desta problemática não é suficiente quantificar o caudal de infiltração apenas com base na capitação e população;
- Dados de cadastro dos sistemas separativos de drenagem de águas residuais pluviais e domésticas – realizar o levantamento das redes, quer “em baixa”, quer “em alta” torna-se imprescindível para perceber o seu desempenho. O conhecimento das características da rede (profundidades e cotas, as localizações, os materiais, as dimensões, as formas, locais de descargas e todas as demais ligações) torna-se importante em termos de informação uma vez que se tenta perceber possíveis fundamentos para se conseguir identificar possíveis fontes e causas de infiltração;

- Monitorização frequente dos caudais drenados em vários pontos de recolha através da utilização de aparelhos fiáveis para a medição deste tipo de águas residuais – a utilização de aparelhos de medição ao longo da rede em pontos estratégicos é uma mais-valia para se perceber a variação do caudal residual ao longo da mesma e assim proceder a uma análise detalhada dessa variação e ter a perceção no caso de alguma variação brusca de valores de registos;
- Construção, calibração e validação de modelos de simulação – é importante valorizar a utilização deste tipo de ferramentas que permitem a simulação da rede tendo em conta as suas características. Esta simulação permite prever a quantidade de infiltração em cada sistema, ou pelo menos ter uma maior sensibilidade para a ocorrência deste fenómeno e assim tomar medidas, sejam elas de prevenção ou de conservação;
- Utilização de meios de inspeção e deteção de fontes de infiltração – através do uso de vários métodos de inspeção na rede é possível constatar o seu estado e assim localizar possíveis fontes de infiltração, extrafiltração ou ligações clandestinas e até detetar as possíveis causas para essa ocorrência;
- Realização de estudos que permitam avaliar o estado da rede e avaliar os respetivos projetos de reabilitação – é necessário avaliar de forma equilibrada e viável os projetos que visam a reabilitação, ampliação ou conservação da rede e os seus benefícios futuros. Ao surgir um novo paradigma, nomeadamente “em baixa”, em que não se procede a investimentos para a melhoria das redes, porque em grande parte estas redes não são separativas, é imperativo fazer estas avaliações numa ótica de custo-benefício;
- Aplicação de uma tarifa mais reduzida à componente pluvial nas ETAR – o impacto financeiro nas entidades gestoras poderá ser amortizado através da aplicação de uma tarifa mais reduzida à componente pluvial, devidamente quantificada, que afluí à ETAR, nomeadamente nos meses mais chuvosos.

As aflúências indevidas são identificadas como um dos principais problemas dos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas, industriais e pluviais. De uma forma geral, devem ser adotadas medidas que permitam controlar e minimizar os efeitos das mesmas nos sistemas de drenagem, quer na fase inicial do projeto da rede, quer ao longo da sua vida útil. É necessário fortalecer a ideia da importância deste fenómeno nos sistemas separativos de drenagem de águas residuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AdN – Águas do Norte (2015). Acedido a Setembro de 2017 em: <http://www.adnorte.pt/>

AdP – Águas de Portugal (2007). *Contributos para a elaboração de um plano de minimização de aflúências indevidas nos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas*. Manual Técnico.

AdP – Águas de Portugal (2015). Acedido a Setembro de 2017 em: <http://www.adp.pt/>

Alegre, H. (s. d.) *Indicadores de desempenho de sistemas de abastecimento de água – Trabalho em curso no âmbito da IWSA*. LNEC, Lisboa.

Almeida, M. C. e Cardoso, A. A. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de águas residuais e pluviais*. Série Guias Técnicos, nº 17. ERSAR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Almeida, S. S. e Monteiro, P. S. (2004). *Incidência de caudais de águas pluviais em redes de drenagem de águas residuais – Dois casos de estudo em Municípios do Norte de Portugal*. 7º Congresso da Água, APRH, Lisboa.

Amorim, H. A. A. (2007). *Aflúências Indevidas aos Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Dissertação de Mestrado para satisfação do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente – Tratamento de Águas e Águas Residuais. Departamento de Engenharia Civil, Seção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Belez, J. R. O. (2016). *Gestão patrimonial de Infraestruturas – Quantificação de Aflúências Indevidas na Bacia de Crestuma*. Relatório de Estágio para satisfação do grau de Mestre em Engenharia Civil – Infraestruturas. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

Bonito, A. J. C. (2014). *Infiltrações na Rede de Drenagem de Águas Residuais – Caso de Estudo da Bacia de Drenagem de Lanheses*. Dissertação de Mestrado para satisfação do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Cardoso, A., Almeida, M. C. e Coelho, S. T. (2002). *Avaliação do impacto da infiltração no desempenho de sistemas de drenagem urbana*. APUSS- Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems, LENC.

Coelho, I. I. R. (2013). *Variabilidade de Afluências às Redes de Drenagem de Águas Residuais – Causas e Efeitos versus Sustentabilidade Económica*. Dissertação de Mestrado para satisfação do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Decreto-Lei n.º 23/95, de 23 de Agosto. Aprova o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. Diário da República, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

EPAL e LVT – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S. A. e Águas de Lisboa e Vale do Tejo (2015). *Afluências Indevidas – Parte I: Princípios Gerais*. Direção de gestão de ativos, Departamento de Perdas e Afluências – Área de Afluências Indevidas de EPAL e LVT, Lisboa.

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (2016). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal – Caracterização do setor de Águas e Resíduos*. Volume 1. ERSAR.

ERSAR - Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (s/d). Acedido a Outubro de 2017 em: <http://www.ersar.pt/pt>

Franz, T. (2007). *Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results*. Dissertação de Doutoramento, Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft, Technische Universität Dresden, Dresden.

INOVA – Empresa de Desenvolvimento Económico e Social de Cantanhede, E. M. (s/d). Fotografias de anomalias nos sistemas de drenagem de águas residuais

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2018). Acompanhamento do Clima – Precipitação total. Acedido a Novembro de 2017 em: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/index.jsp?selTipo=g&selVar=rr&selAna=to&selAno=2017#>

IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos (2008). Recomendações de 2005 a 2007. IRAR, Lisboa.

Kesik, T. (2015). *Best practices guide: Management of inflow and infiltration in new urban developments*. Institute for Catastrophic Loss Reduction, University of Toronto, Toronto.

Kracht, O. e Gujer, W. (2008) *Quantification of Infiltration into Sewers based on Time Series of Pollutant Loads*. Proceedings of the 4th International Conference on Sewer Processes and Networks, Madeira, Portugal.

Marques, M. A. F. (2010). *Metodologia para aplicação dos princípios do ciclo da vida a sistemas de drenagem de águas residuais*. Dissertação de Mestrado para satisfação do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Matos, J. S. (2003). *Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano*. Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura do Instituto Superior Técnico.

Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A. e Schulz, A. (2004). *Indicadores de desempenho para serviço de águas residuais*. Série Guias Técnicos, nº 2. IRAR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil e IWA.

Metcalf & Eddy (1976). *Waterwater Enginnering: Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Seried, Boston.

Mortinho, A. F. M. (2011). *Avaliação de Caudais de Infiltração em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Dissertação de Mestrado para satisfação do grau de Mestre em Construção Urbana. Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

Paixão, J. P. S. R. B. (2016). *Aflúências indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais*. Dissertação para satisfação do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

POR DATA - Base de Dados de Portugal Contemporâneo (2018). Acedido a Novembro de 2017 em: <https://www.pordata.pt/>

RGSPDADAR (1995). Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.

Rodrigues, V. A. T. (2013). *Avaliação de Infiltração em Drenagem Urbana Recorrendo a Métodos Convencionais e não Convencionais – Aplicação ao Caneiro de Alcântara, em Lisboa*. Dissertação de Mestrado para satisfação do grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Sá Marques, A., Lima, J. P., Sousa, J., Simões, N. E. e Pina, R. (2013). Hidrologia urbana – Sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas. Série Cursos Técnicos, n.º 2. ERSAR e UC, Lisboa.

Sá Marques, J. A. A. e Sousa, J. J. O. (2008). *Hidráulica Urbana – Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.

White, M. e Johnson, H., Anderson, G. e Misstear, B. (1997). *Control of infiltration to sewers*. Report 175, London.