



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

# **Afluências indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente

**Autor**

**José Pedro Saraiva Rebelo Boal Paixão**

**Orientadores**

**José Alfeu Almeida de Sá Marques**

**Nuno Eduardo da Cruz Simões**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Fevereiro, 2016**

## AGRADECIMENTOS

Com a presente dissertação encerro um capítulo importantíssimo, em que inúmeras pessoas estiveram envolvidas. Não posso, por isso, deixar de fazer um especial agradecimento:

Ao Professor Doutor José Alfeu Almeida de Sá Marques e ao Professor Doutor Nuno Eduardo da Cruz Simões pelo apoio, disponibilidade e cumplicidade demonstradas ao longo deste último semestre e, também, pelos ensinamentos, orientações e incentivos, essenciais para a elaboração desta dissertação.

À Águas do Norte pela total colaboração no fornecimento dos registos utilizados que foram a pedra basilar do estudo efetuado.

À Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Vila Real por toda a disponibilidade sempre demonstrada na cedência dos dados essenciais à concretização desta tese.

À Câmara Municipal de Bragança pela disponibilização de dados de grande qualidade, importantíssimos na formação da presente dissertação.

Ao meu pai, José, pelo carinho e dedicação, pelos conselhos e conhecimentos partilhados, não só ao longo da minha vida mas, também, ao longo desta dissertação.

À minha mãe, Helena, e ao meu irmão, Miguel, pela paciência e amor que sempre me tiveram, em todas as circunstâncias. Não sei como me conseguiram aturar todos estes anos.

À minha madrinha, Fatinha, e ao Tozé, por serem os meus segundos pais, a quem a minha gratidão não tem limites.

Aos meus avós, Piedade e Claudino, por tudo o que representam para mim, sei que ninguém estaria mais orgulhoso, com o culminar desta etapa, do que vocês.

A toda a restante família agradeço tudo o que fizeram por mim.

Por fim, a todos os meus amigos, os fozcoenses e os que fiz durante a vida de estudante. Foram essenciais. Algumas das coisas mais importantes que aprendi, ao longo da vida, foi com eles.

## RESUMO

Com a evolução e expansão dos centros urbanos, cada vez mais se reconhece a importância do bom funcionamento das redes de drenagem de bacias urbanas. Estes sistemas têm a função de transportar até às estações de tratamento de águas residuais (ETAR) este tipo de águas, para posterior tratamento, permitindo assim a descarga dos efluentes nos meios recetores, restaurando, deste modo, a água em condições ambientais satisfatórias. É, por isso, fulcral que a evolução dos centros urbanos seja acompanhada por uma evolução de todo este processo de ímpar importância ambiental, económica e social.

Para que tal se verifique, é necessário estudar e encontrar soluções para um problema com o qual as entidades gestoras de águas residuais se têm vindo a deparar, que é o das afluições indevidas às redes de drenagem de águas residuais.

As afluições indevidas fazem com que volumes consideráveis de água que não necessitam de qualquer tipo de tratamento nas estações de tratamento de águas residuais entrem nas redes de drenagem, aumentando de uma forma significativa os volumes de água entregues para tratamento. Este fenómeno agrava-se perante a ocorrência de certos eventos de precipitação que provocam a subida no nível dos lençóis freáticos bem como a entrada indevida de águas pluviais na rede de águas residuais.

No presente trabalho abordam-se as mais importantes causas e origens do fenómeno das afluições indevidas, bem como diversos métodos de quantificação dos volumes desta natureza e esboça-se uma quantificação da magnitude desta problemática. Para avaliar a magnitude do problema, adotaram-se como caso de estudo algumas redes de drenagem de municípios sob a alçada da entidade gestora Águas do Norte, analisando os volumes entregues nas ETAR e a sua variação, tendo em conta o período do ano e a ocorrência de precipitações.

**Palavras-chave:** Afluições indevidas, infiltração, caudais parasitas, drenagem urbana, escoamento direto, águas residuais, precipitação.

## ABSTRACT

With the expansion and evolution of urban centers, the importance of efficiency in urban basins drainage networks is becoming increasingly recognized. These system's purpose is to carry wastewater flow into the wastewater treatment plants (WWTP), for posterior treatment, allowing, this way, the discharge of the effluents in the receiving ends and restoring the water in satisfactory environmental conditions. With that being said, it is primordial to assure that the evolution of urban centers is followed by an evolution in this process of fundamental environmental, economic and social importance.

In order to assure that this evolution occurs, it is necessary the study and search of solutions for a problem which the wastewater managing entities have been confronted with, which is the problem of inflow and infiltration (I/I), in wastewater separate sewers.

The occurrence of infiltration and inflow causes the entry of considerable volumes of water, that don't require any type of treatment, into sewer systems increasing, this way, the total volume of water sent to WWTP. This phenomena tends to aggravate with the occurrence of precipitation which cause that the level of groundwater rises as well as the unintended entrance of pluvial water into the wastewater network.

In the present dissertation the most important causes and origins of the I/I phenomena are approached, as well as various quantification methods for I/I flows. To evaluate this problem's magnitude, some drainage networks under the supervision of the managing entity *Águas do Norte* were adopted as case studies, in which the volumes discharged into WWTP and its variation will be analysed, accounting, also, rainfall variations, through different time periods and seasons of the year.

**Keywords:** Infiltration, Inflow, I/I, urban drainage, flow, wastewater, rainfall.

---

## ÍNDICE

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Estrutura do trabalho.....	3
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Introdução .....	4
2.2	Afluências indevidas em condutas de águas residuais.....	5
2.2.1	Afluências indevidas diretas.....	6
2.2.2	Afluências indevidas indiretas.....	7
2.2.3	Classificação das afluências indevidas .....	7
2.2.4	Consequências das afluências indevidas .....	9
2.2.5	Fatores que contribuem para a ocorrência de afluências indevidas.....	11
2.2.6	Origens das afluências indevidas diretas e indiretas .....	13
2.2.7	Métodos de monitorização e deteção das afluências indevidas.....	13
2.2.8	Custos afetados pela ocorrência de afluências indevidas .....	15
2.3	Princípios fundamentais para a quantificação das afluências indevidas.....	16
2.4	Métodos de quantificação das afluências indevidas em fase de projeto.....	17
2.4.1	Decreto regulamentar nº 23/95 .....	17
2.5	Métodos de quantificação das afluências indevidas em fase de exploração.....	19
2.5.1	Métodos de quantificação de afluências indevidas diretas e indiretas .....	20
2.5.2	Métodos de quantificação de afluências indevidas indiretas.....	26
2.5.3	Métodos de quantificação de afluências indevidas diretas.....	29
2.6	Indicadores de desempenho técnico para as afluências indevidas.....	31
3	Metodologia .....	33
3.1	Estudos de caso .....	33
3.1.1	Descrição geral dos sistemas .....	34

---

---

3.1.2	Descrição do processo de estudo dos casos.....	35
3.2	Metodologia para a quantificação e classificação das afluências indevidas.....	36
3.2.1	Método do triângulo .....	36
3.2.2	Método do mínimo móvel .....	38
3.3	Indicadores de desempenho técnico para as afluências indevidas.....	40
4	Aplicação aos estudos de caso .....	41
4.1	Estudo de caso de Mirandela .....	41
4.2	Estudo de caso de Vila Nova de Foz Côa.....	47
4.3	Estudo de caso de Bragança.....	53
4.4	Estudo de caso de Vila Real .....	60
4.5	Análise de sensibilidade ao número de dias do mínimo móvel para os presentes estudos de caso, na busca de um dia de tempo seco .....	66
4.6	Indicadores de desempenho técnico sugeridos pela APUSS .....	68
4.7	Estudo do impacto financeiro da ocorrência de afluências indevidas .....	70
5	Conclusões e trabalhos futuros.....	74
5.1	Conclusões .....	74
5.2	Trabalhos futuros .....	77
	Referências Bibliográficas.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tipos de afluências indevidas diretas (adaptado de Kesik (2015)).....	8
Figura 2.2 – Tipos de afluências indevidas indiretas (adaptado de Kesik (2015)).....	8
Figura 2.3 – Identificação dos vários tipos de afluências indevidas (adaptado de EPA (1995)). .....	9
Figura 2.4 – Ciclo vicioso do trinómio infiltração/aumento dos caudais/deterioração (adaptado de Bonito (2014)). .....	9
Figura 2.5 – Estudo económico dos custos relacionados com as afluências indevidas (adaptado de Amorim (2007)). .....	16
Figura 2.6 – Exemplo de aplicação do método do triângulo para a separação das parcelas de origem doméstica, infiltração e escoamento superficial (adaptado de Almeida e Monteiro, 2004). .....	22
Figura 2.7 – Exemplo de aplicação do método do mínimo móvel para a elaboração de hidrogramas de afluências indevidas (adaptado de Mortinho, 2011). .....	24
Figura 3.1 – Exemplo de aplicação do método do triângulo para a separação das parcelas de origem doméstica, infiltração e escoamento superficial (adaptado de Almeida e Monteiro, 2004). .....	38
Figura 3.2 – Exemplo de aplicação do método do mínimo móvel ao estudo de caso de Mirandela para a elaboração de hidrogramas de afluências indevidas – a) caudais residuais domésticos discretizados; b) caudais residuais domésticos não discretizados. ....	39
Figura 3.3 – Exemplo de aplicação do método do mínimo móvel ao estudo de caso de Bragança para a elaboração de hidrogramas de afluências indevidas – a) caudais residuais domésticos discretizados; b) caudais residuais domésticos não discretizados. ....	39
Figura 4.1 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela em 2009. ....	42
Figura 4.2 – Volumes afluentes à ETAR de Mirandela, em vários anos, segundo a aplicação do método do triângulo. ....	43

---

Figura 4.3 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela em 2009.....	44
Figura 4.4 – Volumes afluentes à ETAR de Mirandela, em vários anos, segundo a aplicação do método do mínimo móvel.....	46
Figura 4.5 – Resultados obtidos na determinação das afluências indevidas à ETAR de Mirandela pela aplicação dos diferentes métodos.....	47
Figura 4.6 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de V. N. de Foz Côa em 2009.....	48
Figura 4.7 – Volumes afluentes à ETAR de V. N. de Foz Côa, em vários anos, segundo a aplicação do método do triângulo.....	49
Figura 4.8 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de V. N. de Foz Côa em 2009. ....	51
Figura 4.9 – Volumes afluentes à ETAR de V. N. de Foz Côa, em vários anos, segundo a aplicação do método do mínimo móvel.....	52
Figura 4.10 – Resultados obtidos na determinação das afluências indevidas à ETAR de Vila Nova de Foz Côa pela aplicação dos diferentes métodos.....	53
Figura 4.11 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Bragança em 2009. ....	55
Figura 4.12 – Volumes afluentes à ETAR de Bragança, em vários anos, segundo a aplicação do método do triângulo.....	56
Figura 4.13 – Caudais diários distribuídos pela ETA de Bragança em 2009.....	57
Figura 4.14 – Capitações referentes à população da cidade de Bragança em 2009. ....	57
Figura 4.15 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Bragança em 2009. ....	58
Figura 4.16 – Volumes afluentes à ETAR de Bragança, em vários anos, segundo a aplicação do método do mínimo móvel.....	58
Figura 4.17 – Resultados obtidos na determinação das afluências indevidas à ETAR de Bragança pela aplicação dos diferentes métodos. ....	59
Figura 4.18 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real em 2009. ....	61

---

---

Figura 4.19 – Volumes afluentes à ETAR de Vila Real, em vários anos, segundo a aplicação do método do triângulo.....	62
Figura 4.20 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real em 2009.....	64
Figura 4.21 – Volumes afluentes à ETAR de Vila Real, em vários anos, segundo a aplicação do método do mínimo móvel.....	65
Figura 4.22 – Resultados obtidos na determinação das afluências indevidas à ETAR de Vila Real pela aplicação dos diferentes métodos. ....	66
Figura 4.23 – Resultados obtidos para os custos excedentários anuais, operacionais e energéticos, e volumes afluentes anuais às ETAR. ....	73

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Tipologias de afluências indevidas.....	8
Quadro 2.2 – Métodos de deteção de afluências indevidas (adaptado de Kesik (2015)). ....	14
Quadro 2.3 – Métodos de determinação de afluências indevidas, segundo várias normas (adaptado de Amorim (2007)). ....	18
Quadro 3.1 – Elementos base dos vários estudos de caso. ....	34
Quadro 3.2 – Percentagem de materiais dos coletores, por rede. ....	34
Quadro 3.3 – Percentagem de diâmetro dos coletores, por rede. ....	34
Quadro 3.4 – Processo de estudo para os casos de Mirandela e Vila Nova de Foz Côa. ....	36
Quadro 3.5 – Processo de estudo para o caso de Vila Real. ....	36
Quadro 3.6 – Processo de estudo para o caso de Bragança. ....	36
Quadro 4.1 – Resultados obtidos para a ETAR de Mirandela pela aplicação do método do triângulo.....	43
Quadro 4.2 – Dados recolhidos e capitações obtidas em 2009 para a ETAR de Mirandela. ....	45
Quadro 4.3 – Resultados obtidos para a ETAR de Mirandela pela aplicação do método do mínimo móvel.....	45
Quadro 4.4 – Resultados obtidos para a ETAR de V. N. de Foz Côa pela aplicação do método do triângulo.....	49
Quadro 4.5 – Dados recolhidos e capitações obtidas em 2009 para a ETAR de Foz Côa. ....	50

---

Quadro 4.6 – Resultados obtidos para a ETAR de V. N. de Foz Côa pela aplicação do método do mínimo móvel.....	51
Quadro 4.7 – Resultados obtidos para a ETAR de Bragança pela aplicação do método do triângulo.....	55
Quadro 4.8 – Resultados obtidos para a ETAR de Bragança pela aplicação do método do mínimo móvel.....	58
Quadro 4.9 – Resultados obtidos para a ETAR de Vila Real pela aplicação do método do triângulo.....	62
Quadro 4.10 – Dados recolhidos e captações obtidas em 2009 para a ETAR de Vila Real. ..	64
Quadro 4.11 – Resultados obtidos para a ETAR de Vila Real pela aplicação do método do mínimo móvel.....	65
Quadro 4.12 – Comparação dos resultados obtidos em 2009 para as várias ETAR pela aplicação dos métodos do mínimo móvel, com períodos de 21 e 7 dias, e do triângulo.....	67
Quadro 4.13 – Indicadores de desempenho da rede de drenagem de Bragança.....	69
Quadro 4.14 – Indicadores de desempenho da rede de drenagem de Mirandela. ....	69
Quadro 4.15 – Indicadores de desempenho da rede de drenagem de Vila Nova de Foz Côa. .	69
Quadro 4.16 – Indicadores de desempenho da rede de drenagem de Vila Real.....	70
Quadro 4.17 – Comparação dos custos anuais médios operacionais e energéticos, com e sem a ocorrência de aflúências indevidas, na ETAR de Bragança.....	72
Quadro 4.18 – Comparação dos custos anuais médios operacionais e energéticos, com e sem a ocorrência de aflúências indevidas, na ETAR de Mirandela.....	72
Quadro 4.19 – Comparação dos custos anuais médios operacionais e energéticos, com e sem a ocorrência de aflúências indevidas, na ETAR de Vila Real.....	72
Quadro 4.20 – Comparação dos custos anuais médios operacionais e energéticos, com e sem a ocorrência de aflúências indevidas, na ETAR de Vila Nova de Foz Côa. ....	72

## ABREVIATURAS

$\delta^{18}O$  – Razão isotópica  $^{18}O/^{16}O$

$\delta^2H$  – razão isotópica  $^2H/^1H$

AA – Abastecimento de Água

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AdTMAD – Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro

AI – Afluências indevidas

APUSS – *Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems*

AR – Águas Residuais

CCTV – *Closed-Circuit Television*

CEN – *European Committee for Standardization*

CQO – Carência Química de Oxigénio

DR – Decreto Regulamentar

EPA – *US Environmental Protection Agency*

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FFD – Ferro Fundido Dúctil

II – *Infiltration and Inflow*

IEAR – Instalação Elevatória de Águas Residuais

INE – Instituto Nacional de Estatística

IRAR – Instituto Regulador de Águas e Serviços

MM – Mínimo Móvel

PVC – Policloreto de Vinil

RGSPDADAR – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

## SIMBOLOGIA

$\delta_{res,total}(t)$  – Razão de isótopos nas águas residuais no instante  $t$

$\delta_{potável}(t)$  – Razão de isótopos na água potável no instante  $t$

$\delta_{inf,indiretas}(t)$  – Razão de isótopos na água de infiltrações indiretas no instante  $t$

$\frac{\sum_{m=1}^M V_m^{jT}}{M}$  – 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

$C$  – Capitação de abastecimento de água

$C_{a,r}$  – Capitação de águas residuais

$C_{AI}(t)$  – Concentração de poluentes nas afluições indevidas no instante  $t$

$C_{médio}$  – Concentração média de traçadores ao longo do dia

$C_{mín}$  – Concentração mínima de traçadores ao longo do dia

$C_{res,dom}(t)$  – Concentração de poluentes nas águas residuais domésticas no instante  $t$

$C_{res,total}(t)$  – Concentração de poluentes nas águas residuais totais no instante  $t$

$C_{res,total}^{modelo}(t)$  – Concentração de poluentes nas águas residuais totais do modelo no instante  $t$

$F$  – Fator de afluência

$f$  – Funções que definem, por aproximação, a concentração de poluentes, em função das medições ou do tempo

$f_a$  – Fator de afluência residual

$k_{rec}$  – Coeficiente recessivo

$L_{Coletor}$  – Comprimento do coletor

$M$  – Número de dias do último período contínuo de tempo seco (recomenda-se que a duração de  $M$  seja de pelo menos 10 dias, isto é, que se utilize o valor médio diário do último período contínuo de tempo seco com uma duração mínima de 10 dias)

$n^{\circ}C_{visita}$  – Número de caixas de visita

$P$  – População

$P_{\text{Coletor}}$  – Perímetro do coletor

$Q_{0,AI,diretas}$  – Caudal de afluições indevidas diretas na rede no instante em que se iniciam as afluições indevidas diretas

$Q_{AI,indiretas}(t)$  – Caudal de afluições indevidas indiretas na rede no instante  $t$

$Q_{AI}$  – Caudal diário de afluições indevidas na rede residual

$Q_{AI}(t)$  – Caudal de afluições indevidas na rede residual no instante  $t$

$Q_{ETAR,cresc.}$  – Caudal afluyente à ETAR, por ordem crescente

$Q_{inf}$  – Caudal de infiltração

$Q_{inf,indiretas}(t)$  – Caudal de infiltração indireta na rede residual no instante  $t$

$Q_{inf,indiretas}$  – Caudal diário de infiltração indireta

$Q_{res,dom}$  – Caudal diário residual doméstico

$Q_{res,ind}$  – Caudal diário residual industrial

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

$Q_{res,mín,ts}$  – Caudal diário residual total mínimo de tempo seco

$Q_{res,proj}$  – Caudal diário residual de projeto

$Q_{res,total}(t)$  – Caudal total na rede residual no instante  $t$

$Q_{SC}$  – Caudal de secção cheia

$Q_{tempo\ seco}$  – Caudal diário residual total de tempo seco

$t_{0,AI,diretas}$  – Instante em que se iniciam as afluições indevidas diretas

$t$  – Tempo

$T_f$  – Número de dias do período em estudo

$T_p$  – Número de dias sem chuva do período em estudo

$V_{Esc.dir.}^{T_f}$  – Volume de escoamento direto na rede residual durante o período de estudo

$V_{AI}^{T_f}$  – Volume de afluições indevidas na rede residual durante o período de estudo

$V_{Inf}^{T_f}$  – Volume de infiltrações na rede residual durante o período de estudo

$V_{AI}^j$  – Volume de afluições indevidas afluyentes à rede residual no dia  $j$

$V_{Esc.dir.}^j$  – Volume de escoamento direto afluyente à rede residual no dia  $j$

$V_{ETAR}^j$  – Volume afluyente à ETAR no dia j

$V_{Inf.}^j$  – Volume de infiltrações afluyente à rede residual no dia j

$V_{MM}^j$  – Volume correspondente ao mínimo móvel dos 21 dias prévios ao dia j

$V_{res,dom}^j$  – Volume de águas residuais domésticas afluyente à rede residual no dia j

$V_{res,ind}^j$  – Volume de águas residuais industriais afluyente à rede residual no dia j

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

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

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

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Atualmente, os sistemas de drenagem de águas residuais constituem uma parte muito importante das infraestruturas dos centros urbanos. Em Portugal, nas últimas três a quatro décadas, foi desenvolvido no setor da água um enorme esforço de investimento e de formação de técnicos para garantir uma evolução condigna deste serviço, acompanhando os padrões exigidos pelos países desenvolvidos, nomeadamente pela união europeia, no que toca à cobertura dos serviços de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais e correspondente tratamento.

No entanto, só recentemente as entidades gestoras dos serviços de águas se começaram a aperceber da importância das afluições indevidas às redes de drenagem, também conhecidas com caudais parasitas. Esta questão começou a ser notada principalmente devido ao envelhecimento e conseqüente deterioração das infraestruturas construídas, o que tem levado a uma crescente afluição de caudais de infiltração. Uma vez que a prioridade das entidades gestoras foi a criação destas redes de drenagem para cobertura dos utilizadores, presentemente são necessárias estratégias de melhoramento dos serviços prestados. Tais estratégias não poderão ignorar a ocorrência dos fenómenos de afluições indevidas à rede.

Conforme é mencionado no relatório final da APUSS (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005), é absolutamente fulcral um bom estado de conservação estrutural e uma boa eficiência funcional para a garantia da transferência das águas residuais para as ETAR, sem fenómenos de infiltração significativos. A ocorrência de afluições indevidas é particularmente prejudicial à eficiência dos tratamentos efetuados nas ETAR. A sobrecarga de caudais devido aos volumes infiltrados, que em algumas redes pode ser igual a 100% do volume de águas residuais, dilui as concentrações das matérias poluentes reduzindo, assim, a eficácia do processo de tratamento e encarecendo-o muito significativamente.

As principais conseqüências da existência de volumes de afluições indevidas consideráveis são (Karpf e Krebs, 2011; Cardoso *et al.*, 2002; Cardoso *et al.*, 2005; Almeida e Monteiro, 2004; Ellis, 2001; Shirakata *et al.*, 2014; Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005; De Bénédittis *et al.*, 2005; Raynaud *et al.*, 2008):

- Conseqüências financeiras negativas para as entidades gestoras.
- Conseqüências funcionais negativas nos sistemas de drenagem e de tratamento.

- Consequências ambientais negativas, como a degradação dos solos.
- Consequências negativas para a saúde pública com a libertação de caudais não tratados.
- Consequências socioeconómicas negativas com a necessidade de reparações muito avultadas.

Os critérios de cálculo do caudal infiltrado são diversos e conduzem, na grande maioria das situações, a valores bastante díspares. O conhecimento das condições do solo, da idade e dos materiais dos coletores e das câmaras de visita, bem como eventuais medições efetuadas em diferentes períodos do ano, devem ser tomados em consideração na quantificação destes caudais (Marques e Sousa, 2009). Na falta de tais elementos, o RGSPDADAR (DR nº23/95) fornece critérios aproximados de determinação dos caudais, que não têm em conta as várias condicionantes, atrás descritas, para a sua determinação.

A norma europeia EN 752-2 (CEN, 1996), conforme citado por Bertrand-Krajewski *et al.* (2005), indica os critérios base para a performance correta de um sistema de águas residuais. Entre esses critérios, existem os dois seguintes, de particular importância: i) as massas de água recetoras devem ser protegidas contra a poluição; ii) a integridade estrutural de uma rede de drenagem águas residuais, incluindo a sua estanquidade, deve ser garantida (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005).

Apesar do reconhecimento dos requisitos supracitados para a prevenção da ocorrência do fenómeno de infiltração, muitas das redes de drenagem de águas residuais padecem de várias patologias contraproducentes, devido a fatores (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005; Amorim, 2007; Bonito, 2014; Coelho, 2013):

- Deterioração dos coletores.
- Precária qualidade de construção e de colocação dos coletores.
- Não prevenção de assentamentos após a colocação dos coletores.
- Falta de manutenção ou reparação dos sistemas.
- Falta de estratégias de prevenção, de manutenção e de investimentos adequados.
- Idade avançada dos componentes das redes, e conseqüente degradação.
- Características do solo envolvente.

Deste modo verifica-se que é necessária uma abordagem mais dedicada e corrente a este fenómeno permitindo, assim, às entidades gestoras a otimização na gestão destas infraestruturas, efetuar planos de monitorização e contabilizar um conjunto de medidas de

---

prevenção, aumentando com isto a qualidade do serviço prestado e aumentando a vida útil das redes de drenagem de águas residuais.

## **1.2 Objetivos**

Os objetivos fundamentais da presente dissertação correspondem a:

- Quantificação dos volumes de afluições indevidas em várias redes.
- Comparação dos resultados obtidos pelos diferentes métodos.
- Avaliação do desempenho das redes, perante as afluições indevidas.
- Avaliação da magnitude financeira da ocorrência de afluições indevidas.

Os estudos de caso para a aplicação da metodologia e interpretação de resultados são ETAR sob a tutela da entidade gestora Águas do Norte, ligadas a redes de drenagem em “baixa” pertencentes às sedes dos concelhos de Bragança, Mirandela, Vila Nova de Foz Côa e Vila Real.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

No primeiro capítulo é feita uma breve descrição do tema em estudo, com uma introdução à temática dos sistemas de drenagem urbanos e ao conceito de afluições indevidas e das respetivas consequências.

No segundo capítulo faz-se uma revisão bibliográfica, descrevendo mais detalhadamente a temática das afluições indevidas e toda a problemática causa-efeito, políticas de prevenção e mitigação e aborda-se a questão dos custos associados a esta problemática, bem como várias metodologias, utilizadas por diversos autores, na quantificação de afluições indevidas.

No terceiro capítulo apresentam-se as metodologias que serão usadas para a quantificação das afluições indevidas e os estudos de caso e para a avaliação de desempenho das redes de drenagem.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos nos estudos de caso, uma análise de sensibilidade para uma das metodologias utilizadas na quantificação dos afluições indevidas e uma breve análise aos impactos financeiros inerentes a esta problemática.

No quinto e último capítulo são elaboradas as conclusões e apresentadas propostas suscetíveis de contribuir para o estudo da temática.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução

A ocorrência de fenómenos de afluições indevidas é de particular interesse nos sistemas de drenagem separativos, uma vez que nos sistemas unitários a origem é tanto doméstica e industrial como pluvial. As águas de origem pluvial, apesar de não necessitarem de tratamento nas ETAR, também para lá são transportadas nos sistemas unitários, assim sendo o fenómeno de afluições indevidas é de menor relevância. Portanto, neste capítulo, é de particular importância analisar os tipos de drenagem urbana que existem, bem como os vários conceitos de relevo associados a esta temática.

Os sistemas de drenagem são essenciais em áreas urbanas de modo a fazer face aos problemas gerados pelo consumo humano e utilização da água para os vários fins. As origens das águas transportadas pelos sistemas de drenagem podem ser de índole doméstica, industrial, comercial e, também, por águas superficiais, pluviais ou subterrâneas (Metcalf & Eddy, 1995).

Todas as comunidades produzem tanto resíduos sólidos como líquidos. A porção líquida desses resíduos, que são as águas residuais, é constituída essencialmente pela água abastecida à comunidade após esta ter sido empregue numa variedade de fins. As águas residuais após o seu uso, não sendo drenadas de forma adequada podem causar problemas graves de poluição e de saúde pública. Esta origem contém todo o tipo de matérias, resíduos sólidos finos e grossos (águas negras), e de detergentes e outros produtos químicos, gorduras, entre outros constituintes nocivos (águas cinzentas) (Butler e Davies, 2011).

Nos centros urbanos também as águas pluviais necessitam de uma drenagem eficiente. Sendo estas oriundas de fenómenos de precipitação, acumulam-se principalmente devido à impermeabilização da superfície da bacia urbana, o que aumenta os volumes a serem drenados bem como reduz o tempo de concentração das precipitações, quando comparando com terrenos não impermeabilizados.

Uma drenagem insuficiente ou incorreta das águas pluviais pode resultar em graves consequências para as comunidades com o aparecimento de cheias, enxurradas, danos materiais e também problemas de saúde pública. As águas pluviais também contêm alguns poluentes, de origem atmosférica e da própria superfície da bacia de escoamento (Butler e Davies, 2011). Segundo os mesmos autores, na maioria das áreas urbanas, a drenagem é feita de forma completamente artificial através de redes de drenagem (unitárias ou separativas). No entanto, em zonas rurais, muitas vezes, tal não se verifica por não ser economicamente ou tecnicamente

---

viável. Nesses casos, a drenagem de águas pluviais é feita de forma natural, o que normalmente é suficiente devido à menor impermeabilização dos solos e dimensão dos aglomerados. As águas residuais, por necessitarem de um tratamento adequado, quando não abrangidas pela rede pública de esgotos, são enviadas para fossas sépticas, sem garantias relativamente à sua qualidade no momento da rejeição ou, por vezes, em casos obviamente desaconselháveis e na margem da lei, para o próprio meio ambiente sem qualquer tratamento.

Existem várias tipologias de sistemas de drenagem que foram sendo utilizadas ao longo do tempo em vários países, existindo quatro categorias segundo o Decreto Regulamentar 23/95, artigo 116.º:

- **Redes unitárias:** constituídas por uma única rede de coletores onde são admitidas em conjunto as águas residuais domésticas, industriais e pluviais.
- **Redes separativas:** constituídas por duas redes de coletores separadas uma da outra. Uma destinada às águas residuais domésticas e industriais posteriormente levadas às ETAR e outra destinada à drenagem das águas pluviais ou de escorrência na superfície das bacias urbanas, que é, normalmente, libertada diretamente nos meios recetores por não necessitar de tratamento em ETAR.
- **Redes mistas:** constituídas pela conjugação das tipologias anteriores, em que parte da rede de coletores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo. Por vezes, na realidade muitos destes sistemas mistos funcionam como redes unitárias caso a parte separativa tenha como destino ou ligação a parte unitária, acabando todos esses caudais por ir para a ETAR.
- **Redes pseudo-separativas ou separativas parciais:** funcionam como redes separativas, no entanto admite-se a recolha das águas pluviais recolhidas em pátios interiores ou coberturas das edificações por parte do coletor de águas residuais.

## 2.2 Afluências indevidas em condutas de águas residuais

As afluências indevidas não são mais do que aquilo a que em termos anglo-saxónicos é referido por “*infiltration and inflow*” (I/I), ou seja, infiltrações e escoamento superficial indevido para condutas de redes de drenagem. Também podem ser denominados por caudais parasitas ou infiltrações, embora este último termo seja mais confuso pois dá a ideia de que não são incluídos os escoamentos superficiais.

O termo “*infiltration*” (*i.e.* infiltração) diz respeito à infiltração de água contida no solo, proveniente de lençóis freáticos ou de precipitação, ao longo ou em pontos das canalizações através de fraturas ou falhas, ou em pontos da rede como juntas de acessórios que estejam em precário estado de conservação/construção (Kaczor, 2011; Nasrin *et al.*, 2013).

Já o termo “*inflow*” (*i.e.* escoamento direto ou superficial) refere-se aos caudais de águas pluviais e águas de escorrência da superfície das bacias urbanas que afluem diretamente à rede através de ligações indevidas à rede de águas residuais, em vez de ligada à rede de águas pluviais, são incluídas nesta categoria. Também é observada a afluência de caudais desta natureza através de tampas de esgotos que apresentem um mau estado de conservação (Kaczor, 2011).

Importa mencionar que no âmbito deste trabalho visa-se, essencialmente, determinar o efeito das infiltrações em redes de drenagem separativas, pseudo-separativas e mistas, nomeadamente na componente de águas residuais, pois é aí que os efeitos são mais significativos, mas também de redes unitárias. Como as redes unitárias, mistas, e até as pseudo-separativas em parte, acabam por drenar as águas pluviais oriundas de precipitação, nestas a componente de escoamento superficial acaba por ter menor relevância, sendo somente indesejável a componente de infiltração subterrânea.

Apesar de as redes de emissários e interceptores transportarem um caudal bastante superior quando comparado com as redes de coletores dos sistemas em “baixa”, é nestas últimas onde, por existirem um maior número de caixas de visita, ligações indevidas, etc., que ocorrem a maioria das afluências indevidas à rede (Amorim, 2007).

A distinção entre os diversos tipos de caudais excedentes passa, também, por ter em consideração o relacionamento direto ou indireto com os eventos pluviométricos, Assim sendo, as afluências indevidas em redes de drenagem de águas residuais domésticas classificam-se, essencialmente, em dois grupos: afluências indevidas diretas e afluências indevidas indiretas (Almeida e Monteiro, 2004).

Parte dos caudais constituintes apresentam uma relação direta e relativamente imediata, com a precipitação. Outra componente dos mesmos, apesar de também depender até certo ponto da precipitação, não se manifesta de uma forma direta ou imediata, após os fenómenos de pluviosidade. A variabilidade de cada uma das partes implica diferentes abordagens, tanto no método de determinação, como na implementação de medidas preventivas e corretivas nas redes de drenagem e nas ETAR (Almeida e Monteiro, 2004).

### **2.2.1 Afluências indevidas diretas**

Este grupo de caudais considera-se diretamente resultante das precipitações pois manifesta a sua chegada à rede de águas residuais em intervalos de tempo que variam entre períodos de alguns minutos a alguns dias, após um evento pluviométrico. Subdividem-se em escoamento direto ou superficial e infiltração direta ou drenagem rápida. Normalmente são estes caudais, não obstante a sua curta duração no tempo, os responsáveis pelos elevados caudais de ponta verificados nas ETAR em períodos de pluviosidade mais intensa (Almeida e Monteiro, 2004).

O escoamento direto ou superficial manifesta-se de forma relativamente rápida, pois a sua ocorrência pode variar entre intervalos de tempo de minutos ou horas, após atingir a rede e a sua existência é de ocorrência aleatória uma vez que está diretamente ligada às precipitações. Esta componente das afluições indevidas é, essencialmente consequência de ligações indevidas de águas pluviais à rede de drenagem separativa de águas residuais e como a sua entrada na rede é feita através de pontos localizados são, por isso, facilmente detetáveis. No caso de a rede de drenagem ser, de facto, separativa, os caudais de ponta neste tipo de redes devem-se essencialmente a esta componente (Almeida e Monteiro, 2004).

A infiltração direta ou drenagem rápida não é mais que a infiltração que ocorre pelos coletores através de falhas, fendas ou ligações dos mesmos, num curto espaço de tempo após o início das chuvadas, que pode variar entre horas a dias. Tal deve-se à percolação de massas de água através do solo, que afluem diretamente para a rede, ou seja, são infiltrações oriundas de escoamentos subterrâneos ou sub-superficiais. Caso ocorram séries consecutivas de precipitação, ao longo de vários dias, esta componente pode ser bastante significativa (Almeida e Monteiro, 2004).

### **2.2.2 Afluências indevidas indiretas**

Estes caudais de afluições indevidas resultam da chamada infiltração indireta, que por sua vez, deriva da drenagem de águas oriundas de lençóis freáticos e representam uma relação indireta com os eventos pluviométricos. A sua entrada nos coletores de águas residuais é função da posição do nível freático em relação ao nível do coletor. Estas massas de água atingem o coletor essencialmente pelas juntas ou por fissuras existentes na rede, tal como na drenagem rápida, e têm, por isso, contribuições difusas no espaço (Almeida e Monteiro, 2004). Esta parcela caracteriza-se por ser pouco influenciada por eventos pluviométricos isolados, contudo apesar de ter a tendência de se manter relativamente persistente ao longo do tempo, apresenta uma variação essencialmente sazonal. A influência indireta das precipitações pende-se com o facto da possibilidade de variação do nível freático, após chuvadas mais persistentes. De notar que em zonas costeiras, também as marés influenciam a posição do nível freático das massas de água subterrâneas.

### **2.2.3 Classificação das afluições indevidas**

Como já foi referido, quanto à relação com a ocorrência de precipitações, as infiltrações ao longo das condutas e acessórios enterrados no solo são distinguidas como infiltração direta ou drenagem rápida, se forem consequência direta das chuvadas, ou infiltração indireta, se forem constituídas por águas oriundas de lençóis freáticos. Contudo, muitas vezes o termo “infiltrações” aparece na bibliografia como sinónimo do termo “afluências indevidas”, o que gera, por vezes alguma confusão. Ainda hoje, não existe uma distinção padronizada. Tudo isto faz com que as diferentes caracterizações não sejam, por vezes, fáceis de assimilar.

Assim sendo, tendo em conta estudos já desenvolvidos em trabalhos e investigações portuguesas, mas seguindo a linha das designações anglo-saxónicas, opta-se nesta dissertação por se classificar os caudais de afluições indevidas ou caudais parasitas, em função da sua relação com os fenómenos de pluviosidade, como afluições indevidas diretas, caso sejam consequência direta das precipitações, e afluições indevidas indiretas, caso não exista uma ligação direta com os fenómenos de precipitação, subclassificando-as quanto à origem, conforme esquematizado no quadro 2.3.

Quadro 2.1 – Tipologias de afluições indevidas.

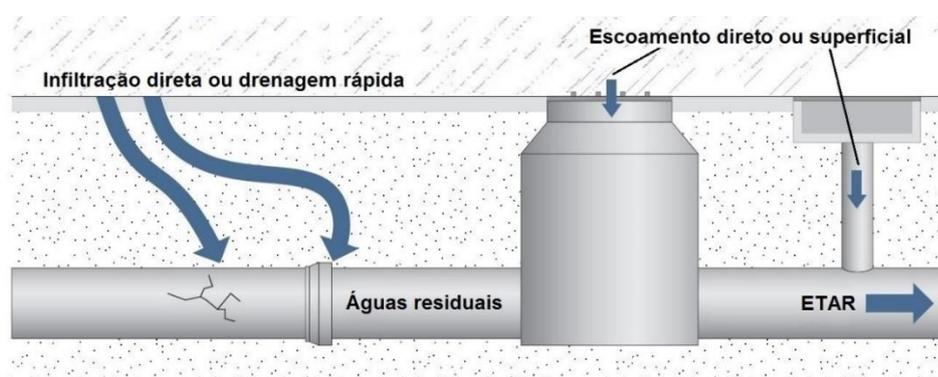
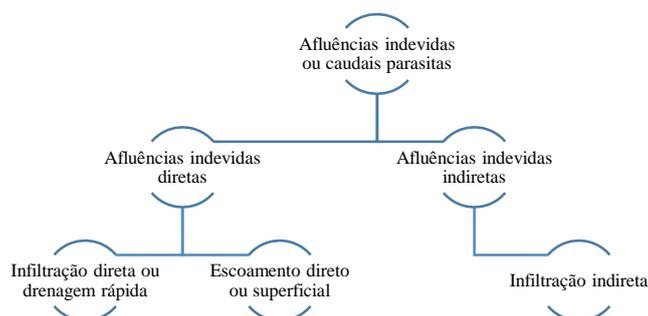


Figura 2.1 – Tipos de afluições indevidas diretas (adaptado de Kesik (2015)).

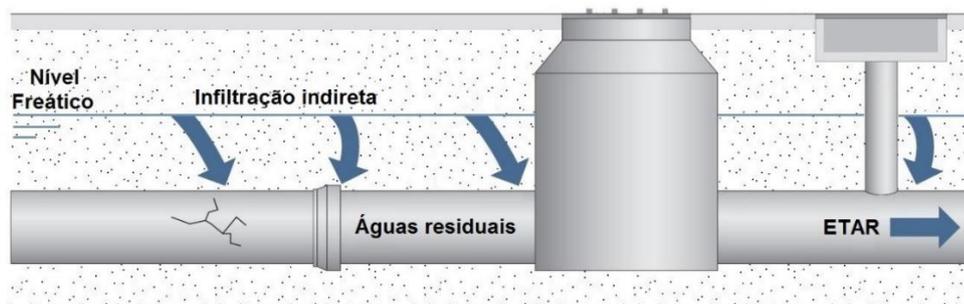


Figura 2.2 – Tipos de afluições indevidas indiretas (adaptado de Kesik (2015)).

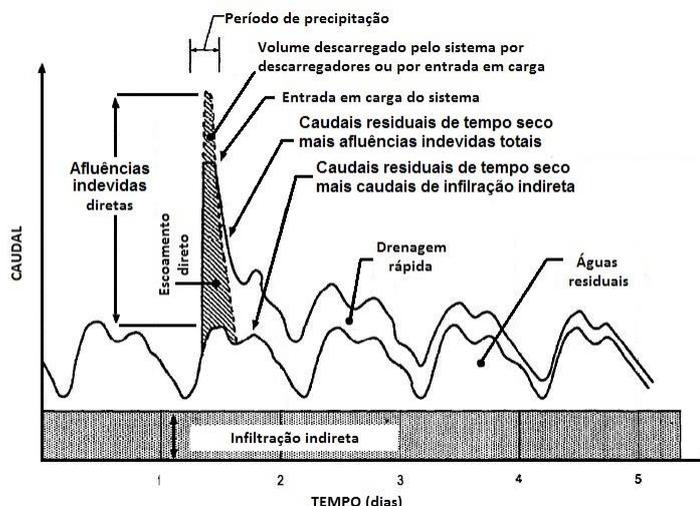


Figura 2.3 – Identificação dos vários tipos de afluências indevidas (adaptado de EPA (1995)).

#### 2.2.4 Consequências das afluências indevidas

Este pode não parecer um fenómeno preocupante a “olho nu”, pois não apresenta consequências visíveis, de ligação direta, local e imediata, mas como se pretende demonstrar as afluências indevidas podem levar a várias consequências indesejáveis (Karpf e Krebs, 2011; Cardoso *et al.*, 2002; Cardoso *et al.*, 2005; Almeida e Monteiro, 2004; Ellis, 2001; Shirakata *et al.*, 2014; Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005; De Bénédittis *et al.*, 2005; Raynaud *et al.*, 2008).

- **Aumento dos custos operacionais:** as afluências indevidas podem igualar ou até suplantar os valores de origem residual doméstica. O tratamento injustificado de um volume que corresponde a 100% do volume de origem residual, não pode ser ignorado pois, como é óbvio, a economia de todo o sistema de drenagem é gravemente afetada.
- **Deterioramento dos sistemas de drenagem:** a infiltração conduz a um aceleração do envelhecimento dos coletores e põe em perigo a funcionalidade das infraestruturas adjacentes, devido à possibilidade da entrada de sedimentos presentes no solo pelas fendas e com isso serem arrastados pela água escoada.



Figura 2.4 – Ciclo vicioso do trinómio infiltração/aumento dos caudais/deterioração (adaptado de Bonito (2014)).

- **Entrada em carga da rede:** as afluições indevidas contribuem de forma não negligenciável para a possível entrada em carga dos coletores, que corresponde à passagem de um escoamento em regime de superfície livre, para um escoamento sob pressão, principalmente durante fenómenos de precipitação que, no caso de redes separativas, leva a um aumento das afluições indevidas, e em redes mistas ou unitárias também leva a um aumento dos caudais pluviais. Tal pode levar a que águas residuais sejam libertadas pelas próprias caixas de visita, ocorram descargas de caudais não tratados em descarregadores e se agrave a ocorrência de cheias urbanas causando problemas de saúde pública.
- **Redução da eficácia de tratamento de águas residuais** – com o aumento das afluições indevidas aumenta o volume das águas entregues em ETAR aumenta mas a concentração de poluentes diminui, uma vez que estes caudais caracterizam-se por não conterem este tipo de matérias. Com o diluimento dos poluentes, torna-se mais difícil a remoção dos mesmos nas ETAR.
- **Ocorrência de descargas poluentes nos meios recetores** – as ETAR são dimensionadas para um determinado caudal de projeto e caso este seja excedido, tem como implicações a falta capacidade de resposta face aos volumes excedentes. Perante este tipo de ocorrências torna-se necessária a libertação de águas poluídas nos meios recetores, através de descarregadores de emergência.
- **Maior número de horas de funcionamento das instalações elevatórias de águas residuais (IEAR)** – o aumento dos volumes a elevar leva a que as IEAR tenham de bombear durante mais tempo, o que diminui a vida-útil deste tipo de equipamentos e aumenta os gastos energéticos do sistema.
- **Aumento dos custos de reparação** – com a maior incidência do conjunto de problemas descritos, incidem, inevitavelmente, maiores custos nas respetivas reparações.
- **Possibilidade de exfiltração** – a degradação do sistema, devido a infiltrações, pode possibilitar a existência de exfiltração quando o sistema entrar em carga. A exfiltração não é mais que o fenómeno oposto à infiltração, cujas consequências ambientais são óbvias, com a fuga de águas residuais para o exterior dos coletores.
- **Degradação dos solos** – Com a ocorrência de infiltração em determinados pontos, geram-se caminhos preferenciais para o escoamento desses caudais, originando o arrastamento de partículas do solo e criação de vazios.
- **Perda de integridade estrutural da rede** – com a degradação dos solos e criação de caminhos preferenciais de escoamento, e o respetivo aparecimento de vazios causa grandes assentamentos nos vários órgãos da rede. Tais assentamentos induzem o

aparecimento de tensões e deformações problemáticas, que podem causar fissuração ou até rotura total dos vários órgãos da rede.

Todos estes fatores contribuem, em última análise, para dois resultados indesejáveis para os utilizadores: a perda de qualidade do serviço e o encarecimento do mesmo. Assim, é necessário identificar os fatores que contribuem para este fenómeno e conhecer métodos de mitigação e prevenção.

### 2.2.5 Fatores que contribuem para a ocorrência de afluições indevidas

Reconhecidos os impactos das afluições indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais, para se proceder a medidas de prevenção e mitigação é necessário conhecer os fatores que provocam a sua ocorrência e conhecer exatamente de onde vêm estes caudais. É muito importante referir que esta problemática tem um conjunto de consequências que por si só também são causas, ou seja, verifica-se a existência de vários ciclos viciosos que agravam, em última análise a ocorrência de afluições indevidas. De um modo geral, as entradas físicas de água na rede dependem dos seguintes fatores (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005; Amorim, 2007; Bonito, 2014; Coelho, 2013):

- **Ocorrência de precipitação** – propicia a ocorrência de afluições indevidas diretas, quer através da entrada por ligações indevidas, quer através de águas pluviais que saturaram o solo envolvente.
- **Existência de ligações pluviais a redes de drenagem de águas residuais** – a ocorrência de precipitações implica a ocorrência de escoamento direto.
- **Proximidade dos aquíferos ou do nível freático do solo** – caso a cota do nível freático de um aquífero seja superior à cota de soleira de um determinado órgão da rede, aumenta a probabilidade da ocorrência de infiltrações indiretas.
- **Estado de conservação e idade dos órgãos da rede** – a vida útil das tubagens depende do material que as constitui e do modo de operação do sistema. As redes de idade mais avançada são mais suscetíveis a infiltrações, devido à perda de capacidade vedante das juntas, por envelhecimento, e por apresentarem fendas ou fraturas diretas, ou devido à falta de estanquidade por parte das tampas de esgoto.
- **Modo de construção e colocação das condutas** – a utilização de materiais que resistam bem às pressões interiores exercidas pela água mas pouco resistentes à compressão diametral induzida pelas cargas exteriores aumenta a possibilidade de a rede se deteriorar e com isso aumentar as infiltrações. Uma colocação e montagem deficientes, sem compactação correta do solo e sem o recobrimento regulamentar implicam também o aparecimento de tensões de torção provocados por assentamentos. Tal leva, como já foi referido, ao aparecimento de fissuras e fendas.

- **Especificidades do solo e existência de outras fugas** – as infiltrações, de origem pluvial ou proveniente de fugas nas condutas de abastecimento de água, em função do tipo e compacidade do solo envolvente, geram caminhos preferenciais de escoamento, com arrastamento das partículas mais finas do solo. Este fenómeno pode induzir assentamentos localizados em vários pontos da rede que podem levar ao aparecimento de fissuras e fendas.
- **Frequência de passagem de cargas pesadas sobre tubagem** – a passagem frequente de veículos pesados sobre os coletores pode danificá-los por esmagamento ou levar à rotura por fadiga do material causando infiltrações provenientes do solo envolvente.
- **Topografia** – a topografia determina a quantidade de águas pluviais que afluem à rede, quer por escoamento direto quer por drenagem rápida, bem como a sua variância faz com que a proximidade das condutas a níveis freáticos de massas de água subterrâneas se altere de ponto para ponto.
- **Ataques químicos** – caso a rede de drenagem sofra este tipo de ataques, esta pode degradar-se devido a fenómenos como a corrosão, aumentando a ocorrência de infiltração.
- **Pressão hidrostática** – a infiltração é proporcional à pressão hidrostática exercida sobre os órgãos da rede, tanto por parte de águas pluviais impregnadas no solo, como por massas de água subterrâneas.
- **Densidade dos ramais** – quanto maior for o número de órgãos numa localização propícia a infiltração devido à presença de massas de água subterrâneas, maior será a probabilidade de as afluições indevidas entrarem no sistema em maior quantidade.
- **Capacidade de transporte da rede de drenagem** – quanto maior a capacidade de transporte da rede, maiores serão as suas tubagens e maiores caudais de afluições indevidas terá capacidade de suportar.
- **Materiais e estado dos ramais de ligação em domínio privado** – o estado da rede em domínio público, como já foi explicitado, nem sempre está nas melhores condições mas está sujeito a regulação e controlo de várias entidades gestoras. Já no domínio privado, tal não acontece e, portanto, não existem garantias da utilização de boas práticas na implementação dos ramais de ligação privados. Segundo a APUSS (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005), as ligações domésticas à rede são a parte da rede mais negligenciada da rede e podem contribuir com até 50% das afluições indevidas à rede pública.

Assim, de uma forma geral, muitos dos fatores de ocorrência de afluições indevidas à rede são partilhados pelas afluições indevidas diretas e afluições indevidas indiretas. No entanto as origens das mesmas são diferentes.

### **2.2.6 Origens das afluências indevidas diretas e indiretas**

De uma forma sintética convém mencionar as principais fontes deste problema, de modo a complementar os conhecimentos necessários para uma abordagem preventiva e corretiva desta questão.

As afluências indevidas diretas têm várias fontes de proveniência, entre as quais se encontram as seguintes (Amorim, 2007; Coelho, 2013; Bonito, 2014):

- Ligações indevidas de sumidouros ou coletores da rede pública pluvial, ou sumidouros ou ramais de redes prediais pluviais, ao sistema separativo doméstico.
- Mistura de caudais de origem pluvial e de origem doméstica na rede predial (parcial ou total).
- Tampas de câmaras de visita de coletores da rede de águas residuais (domésticas ou públicas).
- Fendas ou falhas localizadas em órgãos do sistema.

A infiltração indireta provém de fendas ou falhas dos vários órgãos da rede. É relevante mencionar que ao contrário do que acontece nas infiltrações diretas, este tipo de afluências ocorre mais preponderantemente nas partes do sistema em “alta”, uma vez que as condutas se encontram, geralmente, a cotas mais profundas e, por isso, com maior probabilidades de se encontrarem mais envolvidas por massas de água subterrâneas.

### **2.2.7 Métodos de monitorização e deteção das afluências indevidas**

Em certos sistemas a ocorrência de afluências indevidas é bastante perceptível sendo, por isso, necessário um levantamento das localizações mais críticas, uma vez que os pontos de entrada variam bastante, bem como os tipos de afluências indevidas. De modo a que o controlo e combate às afluências indevidas seja eficaz, é necessário seguir o seguinte plano (Bonito, 2014): i) Quantificar os caudais de afluências indevidas, ii) determinar os pontos de entrada na rede, iii) identificar as causas e a natureza das afluências indevidas, iv) averiguar do estado estrutural dos órgãos da rede nas zonas mais críticas e v) utilizar métodos de deteção adequados.

Segundo a EPA (1991), de modo a corrigir a ocorrência de afluências indevidas diretas é necessária a elaboração e implementação de planos de controlo da infiltração, bem como de medidas corretivas baseadas numa abordagem fiscalizadora e preventiva. De igual modo, a correção da ocorrência de infiltrações diretas implica a reparação e reabilitação da rede e a implementação de um programa de manutenção e monitorização na bacia de drenagem (EPA, 1991).

Assim, de uma forma resumida apresentam-se os métodos práticos mais utilizados na deteção de causas para a ocorrência de afluências indevidas (Kesik, 2015; Bonito, 2014):

Quadro 2.2 – Métodos de deteção de afluências indevidas (adaptado de Kesik (2015)).

Método	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Medidores e registadores na rede	Utilizados na deteção de zonas com grandes volumes de afluência. São mais eficazes quando combinados com aparelhos de medição de precipitação.	Útil para uma abordagem analítica, de investimento compensatório, na determinação em áreas com grandes I/I.	Cobre apenas grandes áreas e apenas funciona como indicador, ou seja, não identifica especificamente os tipos de patologias nem a sua localização específica.
Inspeção visual	Efetua-se em locais de provável ocorrência de afluências indevidas, como caixas de visita.	Rápido e simples. Não necessita de mão-de-obra muito qualificada.	Pode ser necessário acesso a propriedades privadas.
Testes de fumo	Útil na deteção de ligações indevidas. O seu uso na identificação de infiltrações depende da profundidade das infraestruturas, do tipo de solo e do nível freático no solo.	Rápido e simples. Reduz o tempo gasto em propriedades privadas.	A sua eficácia depende das condições climáticas e do tipo de solo envolvente. Não determina, necessariamente, o ponto das infiltrações ou ligações indevidas.
Marcadores coloridos	Usado na confirmação da existência de ligações erróneas, confirmadas por testes de fumo ou não.	Simple. Não requer mão-de-obra muito qualificada.	Requer acesso a propriedades privadas. Implica um gasto excessivo de água.
Inspeção visual por "Closed Circuit Television" (CCTV)	Utilizado para a localização de fontes de afluências indevidas devido a deficiências estruturais, tanto em condutas públicas como privadas.	Fornece a localização exata das fontes de infiltração.	A sua utilização complica-se com a ocorrência de caudais elevados. As fontes de infiltração são menos visíveis em condições de tempo seco e quando o nível freático do solo for inferior à cota das condutas. Necessita de mão-de-obra qualificada. Pode requerer limpeza prévia das condutas.
"Electro scan"	É uma nova tecnologia que pode ser utilizada na deteção de infiltrações, tanto em domínio público como privado, em tubagens não condutoras de corrente elétrica.	Localiza as fontes de infiltração. Utilizada até em condições de carga do sistema. Tem melhor taxa de deteção que a inspeção por CCTV.	Nova tecnologia, com necessidade de mão-de-obra muito qualificada. Espaço de gravação de registos limitado. Não pode ser utilizado em condutas que conduzam a corrente elétrica.

Isolamento hidrostático de troços da rede	Usado com a finalidade de dar indicações qualitativas da extensão da infiltração, tanto em condutas públicas como privadas.	Fornecer facilmente indicações claras do estado das condutas, quanto à infiltração.	Necessita isolamento da secção de troços da rede (pode implicar a colocação de <i>bypass</i> ). Não quantifica exatamente os caudais de infiltração. Não define exatamente a localização dos pontos de infiltração, nem a natureza dos mesmos.
Inundação do solo envolvente da conduta	Fornecer indicação de prováveis taxas de infiltração.	Dá a indicação de prováveis taxas de infiltração em redes privadas e em condições de solos saturados.	Requer o gasto de bastante tempo. É necessário o isolamento da conduta a ser testada. Dificulta a medição de caudais.
"Jetting"	A injeção de jatos de água permite a deteção de ligações indevidas.	Simple e barato. Efectua a limpeza das condutas.	Só permite a deteção de afluências indevidas por escoamento direto.

### 2.2.8 Custos afetados pela ocorrência de afluências indevidas

Como já foi referido, os custos do processo de drenagem de águas residuais e do posterior tratamento são gravemente inflacionados com a ocorrência de afluência indevidas e é esta a consequência negativa que mais chama à atenção para este problema, por parte das entidades gestoras, estes dividem-se em três categorias de maior importância nas redes de drenagem, que são os custos de natureza operacional, os custos ligados à manutenção do sistema e também os custos de investimento.

#### 2.2.8.1 Custos operacionais

Estes custos são diretamente afetados pelo desempenho do sistema, nomeadamente das IEAR e das ETAR. Ambos os órgãos da rede são diretamente responsáveis por encargos relacionados com o consumo de electricidade. As ETAR, em particular, são também responsáveis por gastos relativos à utilização de produtos químicos, entre outros. Ainda assim, apesar de as ETAR terem como função o tratamento biológico das águas residuais, os encargos ligados à energia eléctrica podem ascender até cerca de 50% da fatura final do processo. Ou seja, compreende-se a ligação direta entre o aumento dos volumes de águas residuais, devido às afluências indevidas, e entre o aumento de encargos operacionais.

#### 2.2.8.2 Custos de manutenção

A esta parcela dos custos estão associados todos os gastos causados pela necessidade de reabilitação ou manutenção de órgãos dos sistemas que causem diretamente grandes volumes de afluências indevidas e também a medidas de fiscalização no campo. Há, também, que ter em conta a diminuição da vida útil da rede devido à ocorrência de infiltrações, o que implica a necessidade de reparações na rede com uma maior frequência, quando comparada com uma situação de caudais de infiltração reduzidos.

No entanto, uma vez que estes custos são uma consequência não tão direta da ocorrência desta problemática, é difícil quantificar a relação volume de afluições indevidas/custos de manutenção.

### 2.2.8.3 Custos de investimento

Também os custos de investimento podem ser inflacionados pelas afluições indevidas, numa fase inicial de projeto ou em uma fase de reinvestimento em infraestruturas já existentes, mas são de uma quantificação muito menos direta e proporcional, sendo que a inflação verificada é de menor amplitude quando comparada com as inflações verificadas nos custos operacionais.

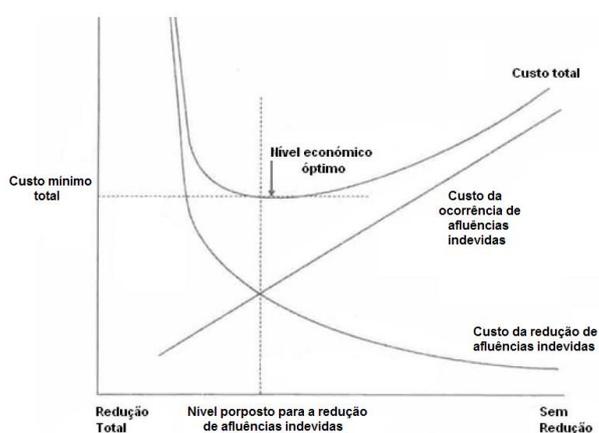


Figura 2.5 – Estudo económico dos custos relacionados com as afluições indevidas (adaptado de Amorim (2007)).

## 2.3 Princípios fundamentais para a quantificação das afluições indevidas

A avaliação do desempenho técnico de sistemas de drenagem urbana deve ter em conta a análise dos efeitos das afluições indevidas nos diferentes domínios. Uma vez que não é possível eliminar totalmente este fenómeno e que, geralmente não existem dados de medição quanto à sua ocorrência, atribui-se um valor de projeto ao caudal de afluições indevidas no dimensionamento dos sistemas, com base no regulamento em vigor, em função do diâmetro e da extensão da rede a montante (Cardoso *et al.*, 2002).

Acontece que, mesmo sendo conservador na aplicação das exigências dos regulamentos, os valores dos caudais de afluições indevidas podem exceder significativamente os valores de projeto e são um indicador do estado estrutural dos sistemas após a sua construção (Cardoso *et al.*, 2002).

Assim sendo, as afluições indevidas devem ser determinadas na fase de projeto, como já foi referido, mas criteriosamente monitorizados também durante a fase de exploração, avaliando o desempenho do sistema em termos técnicos e económicos, controlo que nem sempre é efetuado

na realidade. Em projetos de reabilitação, a quantificação da infiltração é importante para avaliar o desempenho antes e depois da intervenção (Cardoso *et al.*, 2002).

## **2.4 Métodos de quantificação das afluições indevidas em fase de projeto**

### **2.4.1 Decreto regulamentar nº 23/95**

Relativamente ao cálculo de caudais de infiltração, o artigo 126º, do Título IV, Capítulo 2, do decreto regulamentar 23/95, conhecido como Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR) menciona o seguinte:

“1 – Os caudais de infiltração provêm da água existente no solo e devem ser cuidadosamente ponderados no projeto de novos sistemas de drenagem.

2 – O valor dos caudais de infiltração é função das características hidrogeológicas do solo e do tipo e estado de conservação do material dos coletores e das juntas.

3 – Nos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas e industriais deve ser minimizada a sua afluição à rede através de procedimentos adequados de projeto, seleção de materiais e juntas disposições construtivas.

4 – Desde que não se disponha de dados experimentais locais ou de informações similares, o valor do caudal de infiltração pode considerar-se:

a) Igual ao caudal médio anual, nas redes de pequenos aglomerados com coletores a jusante até 300 mm;

b) Proporcional ao comprimento e diâmetro dos coletores, nas redes de médios e grandes aglomerados; neste último caso, quando se trate de coletores recentes ou a construir, podem estimar-se valores de caudais de infiltração da ordem de 0,500 m<sup>3</sup>/dia, por centímetro de diâmetro e por quilómetro de comprimento da rede pública, podendo atingir-se valores de 4 m<sup>3</sup>/dia, por centímetro e por quilómetro, em coletores de precária construção e conservação.

c) Os valores referidos nas alíneas a) e b) podem ser inferiores sempre que estiver assegurada uma melhor estanquidade da rede, nomeadamente no que respeita aos coletores, juntas e câmaras de visita.”

Apesar de no ponto 2º do artigo 126º do DR 23/95, ser mencionado que o valor dos caudais de infiltração é função das características hidrogeológicas, não existe um claro conjunto de procedimentos de modo a ter essa influência em conta, pelo menos em fase de projeto. Eventualmente seria importante a realização de um estudo das características do solo, o que implicaria uma disposição de meios que nem sempre se tem na realidade.

Em fase de projeto este é, de facto, o método de determinação de afluências indevidas mais utilizado adotando, dentro dos limites estipulados, valores superiores aos mencionados por parte das entidades gestoras, ainda assim, é conveniente conhecer outras práticas de determinação dos caudais de infiltração utilizadas um pouco por todo o mundo (Cardoso *et al.*, 2002; Kracht, 2007; Amorim, 2007; Rodrigues, 2013; Coelho, 2013; Bonito, 2014).

Quadro 2.3 – Métodos de determinação de afluências indevidas, segundo várias normas (adaptado de Amorim (2007)).

País	Fonte	Valores de caudais de infiltração
Alemanha	Norma ATV118 (ATV-DVWK 2003)	100% do caudal doméstico em sistemas separativos (em casos justificados pode assumir outra magnitude) Negligenciada no dimensionamento dos coletores de sistemas unitários mas considerada no dimensionamento de estruturas especiais e estações de tratamento
Brasil	ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) – NBR 9649 (1986)	<sup>1</sup> 0,05 a 1 l/(s·km)
Brasil	SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) (1984)	<sup>1</sup> 0,05 a 0,50 l/(s·km)
Botswana		10 m <sup>3</sup> /(ha·dia), para tubagens de PVC
Estados Unidos da América	American Society of Civil Engineers-Water Environment Federation (EPA, 2001)	<sup>2</sup> 0,05 - 1,39 m <sup>3</sup> /(dia·cm·km)
	Metcalf & Eddy (1991)	<sup>2</sup> 0,094 a 9,4 m <sup>3</sup> /(dia·cm·km)
	USEPA Guidelines	<sup>3</sup> 140 l/(dia·mm·km)
Irlanda	Greater Dublin Área Sewer Network (2004)	10 a 15 % do caudal médio diário em tempo seco
Portugal	Decreto Regulamentar n° 23/95, artigo 126° (1995)	100% do caudal médio anual, nas redes de pequenos aglomerados com coletores a jusante até 300 mm de diâmetro <sup>2</sup> 0,5 m <sup>3</sup> /(dia·cm·km), quando se trate de coletores recentes ou a construir <sup>2</sup> 4 m <sup>3</sup> /(dia·cm·km), em coletores de precária construção e conservação
Reino Unido	Water Authorities Association (1989)	10% da capacidade do coletor deve ser destinada à infiltração

<sup>1</sup> Litros por segundo e por quilómetro de extensão da rede.

<sup>2</sup> Metros cúbicos por dia, por centímetro de diâmetro e por quilómetro de extensão da rede.

<sup>3</sup> Litros por dia, por milímetro de diâmetro e por quilómetro de extensão da rede.

Tendo-se os critérios de projeto para a obtenção dos caudais de afluições indevidas definidos, a abordagem é análoga para todas as fontes no cálculo do caudal de projeto da rede em estudo. É definido no DR 23/95, os elementos de cálculo necessários para a determinação do caudal de projeto de uma rede residual:

- No artigo 122º referenciam-se os parâmetros aconselhados na definição dos valores da população e da capitação.
- No artigo 123º menciona-se que o fator de afluição não é mais que a razão dos caudais de água abastecidas às populações que afluem à rede e define-se o seu valor num intervalo de 0,7 a 0,9, consoante as características do território local (zonas agrícolas consomem mais água da rede para outros fins que não os de uso doméstico e, por isso, devem utilizar um valor inferior para o fator de afluição).
- No artigo 124º refere-se que o caudal médio anual se obtém fazendo o produto da capitação média anual de afluição à rede pelo número de habitantes servidos.
- No artigo 126º definem-se os critérios, já demonstrados, no cálculo do caudal de afluições indevidas.

$$Q_{\text{res,dom}} = P \cdot C \cdot f_a \quad (1)$$

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

Em que:

C – Capitação de abastecimento de água.

$f_a$  – Fator de afluição residual.

P – População.

$Q_{\text{res,proj}}$  – Caudal diário residual de projeto.

$Q_{\text{res,dom}}$  – Caudal diário residual doméstico.

$Q_{\text{res,ind}}$  – Caudal diário residual industrial.

$Q_{\text{AI}}$  – Caudal diário de afluições indevidas na rede residual.

## 2.5 Métodos de quantificação das afluições indevidas em fase de exploração

Existem quatro orientações possíveis na quantificação de afluições indevidas durante a fase de exploração (Kracht, 2007; Bonito, 2014):

- **Balancos Hídricos** – metodologia baseada na subtração dos volumes de montante, aos volumes de jusante, em que, usualmente, estes últimos são as águas afluentes a ETAR.

- **Hidrogramas** – procedimento matemático similar ao usado nos hidrogramas de cheia, em hidrologia e recursos hídricos.
- **Marcadores** – processo no qual se quantifica o volume indevido em função de uma característica distintiva das águas residuais.
- **Modelos de Simulação** – modelos computacionais, empregando algoritmos idênticos aos modelos de percolação, e *inputs* característicos da bacia a simular.

Optou-se por, no seguimento desta dissertação classificar os vários métodos em função do tipo de afluições indevidas que são determinadas, classificando-os em métodos que determinam afluições indevidas diretas, métodos que determinam afluições indevidas indiretas e métodos que determinam as afluições indevidas totais e/ou diretas e indiretas.

Os caudais que afluem aos sistemas de drenagem residuais são constituídos pelas parcelas de águas residuais de origem doméstica, eventualmente também de origem industrial, e pela parcela das afluições indevidas. A separação de cada uma das componentes é possível tendo em conta as diferentes características identificáveis em cada parcela.

A variação dos caudais das várias afluições ao longo do tempo, bem como ao longo do espaço, fornece pistas importantes, na identificação e quantificação das afluições indevidas numa dada rede. Existem vários métodos e técnicas conhecidas dependendo, fundamentalmente, a escolha do tipo de registos de que se dispõe, sejam estes de precipitação ou de caudais afluentes às ETAR, e do grau de especificidade que se pretende no estudo (Almeida e Monteiro, 2004).

## 2.5.1 Métodos de quantificação de afluições indevidas diretas e indiretas

### 2.5.1.1 Método do triângulo

O método do triângulo consiste na organização de séries cronológicas em séries de caudais ordenados, caudais esses que constituem os valores dos caudais entregues nas ETAR. A definição de uma curva de caudais, ordenados em função do seu valor e classificados em função da existência de precipitação ou não, possibilita a quantificação dos volumes respetivos a cada uma das componentes das águas residuais, no final de uma dada série temporal (Almeida e Monteiro, 2004; Weiß *et al.*, 2002).

Este método é de fácil execução se for interpretado de uma forma gráfica. Tal implica que se disponha de várias séries cronológicas com registos de caudais diários entregues nas ETAR. Deste modo e para que a análise seja o mais eficaz possível é importante que essas séries temporais correspondam a anos completos, com os vários registos diários.

Tendo-se os caudais diários, é necessária a sua ordenação crescente em função do seu valor. Tal procedimento origina um gráfico crescente, cujas abcissas são os dias. Possuindo-se medições relativamente à existência, ou não, de precipitação nos vários dias da série temporal, efetua-se uma contagem do número de dias em que houve, efetivamente, precipitação. Tendo-

se “*n*” dias de precipitação, divide-se o gráfico de forma a que na curva dos caudais sejam identificados os “*n*” dias com maior afluência de caudais à ETAR.

Partindo da simplificação que os caudais diários de origem doméstica têm, de uma forma constante, o mesmo valor médio ao longo do ano, é possível delimitar uma zona do gráfico, assemelhando-se esta a um triângulo, a que correspondem os volumes de afluências indevidas na rede, recorde-se, sendo estas de várias naturezas (escoamento direto ou infiltrações).

A área que se situa abaixo da linha característica do caudal de origem doméstica corresponde ao volume de água residual doméstica da série temporal. Analogamente, a área definida entre a curva de caudais e a linha horizontal relativa ao caudal médio de origem doméstica é equivalente ao volume resultante de escoamento superficial e infiltração nessa mesma série temporal (Almeida e Monteiro, 2004; Weiß *et al.*, 2002).

A separação das parcelas relativas ao escoamento superficial, ou direto, e da infiltração obtém-se assumindo que a componente de escoamento superficial atinge o seu máximo depois de períodos chuvosos (Almeida e Monteiro, 2004). Da mesma forma, segundo os mesmos autores, admite-se que a infiltração é tanto menor quanto maior for a componente de escoamento direto, podendo mesmo ser nula.

Afinal de contas, nestes casos tal pode demonstrar que quanto maior for a componente de escoamento direto ou superficial maior é a probabilidade de os coletores entrarem em carga. Com isto, reduz-se a capacidade da rede de suportar os caudais de infiltração, podendo estes ser nulos, nesses casos, existindo, até, a possibilidade de ocorrer exfiltração em vez de infiltração.

Contabilizados os dias em que ocorre precipitação, estes são marcados no diagrama de caudais classificados, da direita para a esquerda, a partir do dia de maior caudal afluente à ETAR. Ao ponto de intersecção da abcissa do último dia de chuva, com a curva de caudais totais, corresponde o início da linha de separação. O final desta linha corresponde à intersecção, à direita, com a reta horizontal de origem doméstica e com a linha vertical da abcissa do dia de caudal máximo. Às áreas definidas acima e à direita correspondem aos volumes de escoamento superficial, enquanto abaixo e à esquerda dessa linha de separação correspondem aos volumes devidos a infiltração. De modo a melhor se compreender este procedimento, demonstra-se o exemplo da figura 2.8

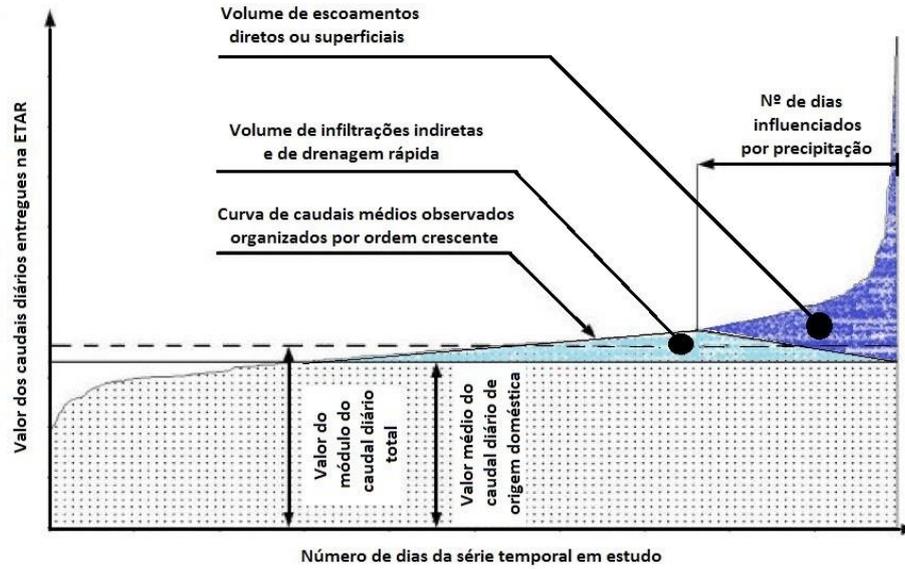


Figura 2.6 – Exemplo de aplicação do método do triângulo para a separação das parcelas de origem doméstica, infiltração e escoamento superficial (adaptado de Almeida e Monteiro, 2004).

$$V_{AI}^{T_f} = \int_0^{T_f} [Q_{ETAR,cresc.}(t) - (Q_{res,dom}(t) + Q_{res,ind}(t))] dt \quad (3)$$

$$V_{Inf.}^{T_f} = \int_0^{T_p} [Q_{ETAR,cresc.}(t) - (Q_{res,dom}(t) + Q_{res,ind}(t))] dt + \int_{T_p}^{T_f} \left[ Q_{ETAR,crescente}(T_p) - \frac{Q_{ETAR,crescente}(T_p) - (Q_{res,dom}(t) + Q_{res,ind}(t))}{T_f - T_p} (t - T_p) - (Q_{res,dom}(t) + Q_{res,ind}(t)) \right] dt \quad (4)$$

$$V_{Esc.dir.}^{T_f} = \int_{T_p}^{T_f} [Q_{ETAR,cresc.}(t) - Q_{Infiltr.}(t) - (Q_{res,dom}(t) + Q_{res,ind}(t))] dt \quad (5)$$

Em que:

$Q_{ETAR,cresc.}$  – Caudal afluente à ETAR, por ordem crescente.

$t$  – Tempo.

$T_f$  – Número de dias do período em estudo.

$T_p$  – Número de dias sem chuva do período em estudo.

$V_{AI}^{T_f}$  – Volume de afluências indevidas na rede residual durante o período de estudo.

$V_{Inf.}^{T_f}$  – Volume de infiltrações na rede residual durante o período de estudo.

$V_{Esc.dir.}^{T_f}$  – Volume de escoamento direto na rede residual durante o período de estudo.

### 2.5.1.2 Método do mínimo móvel

O método do mínimo móvel permite a quantificação do escoamento direto e da infiltração (direta e indireta), durante um dado período de tempo e, ao contrário do método do triângulo permite determinar a variação temporal das afluições indevidas (Weiß *et al.*, 2002).

Este método é baseado na ideia de que a soma das águas residuais domésticas com a componente relativa às afluições indevidas, de um dia qualquer, é igual ao caudal afluyente à ETAR.

Este método é de fácil e simples aplicação sendo para isso, apenas, necessários registos diários e permite a elaboração de hidrogramas representativos dos caudais afluyentes a ETAR e dos caudais de afluições indevidas, fazendo para cada dia da série temporal o estudo dos 21 dias precedentes (Weiß *et al.*, 2002).

O mínimo móvel corresponde ao hidrograma de caudais a que corresponde o valor mínimo dos últimos 21 dias de um dado dia (Weiß *et al.*, 2002). Através do mínimo móvel é possível calcular o volume de infiltrações diretas e indiretas, ao longo de um dado período, sendo que este corresponde à diferença entre o mínimo móvel e entre o caudal médio de origem doméstica.

Assim sendo, o volume de escoamento direto ou superficial corresponderá à diferença entre o caudal afluyente às ETAR, num dado período, e entre a soma das infiltrações com a componente de origem residual (Weiß *et al.*, 2002).

$$V_{\text{Esc.dir.}}^j = V_{\text{ETAR}}^j - V_{\text{MM}}^j \quad (6)$$

$$V_{\text{Inf.}}^j = V_{\text{MM}}^j - (V_{\text{res,dom}}^j + V_{\text{res,ind}}^j) \quad (7)$$

$$V_{\text{AI}}^j = V_{\text{Esc.dir.}}^j + V_{\text{Inf.}}^j \quad (8)$$

Em que:

$V_{\text{Esc.dir.}}^j$  – Volume de escoamento direto afluyente à rede residual no dia j.

$V_{\text{ETAR}}^j$  – Volume afluyente à ETAR no dia j.

$V_{\text{MM}}^j$  – Volume correspondente ao mínimo móvel dos 21 dias prévios ao dia j.

$V_{\text{Inf.}}^j$  – Volume de infiltrações afluyente à rede residual no dia j.

$V_{\text{res,dom}}^j$  – Volume de águas residuais domésticas afluyente à rede residual no dia j.

$V_{\text{res,ind}}^j$  – Volume de águas residuais industriais afluyente à rede residual no dia j.

$V_{\text{AI}}^j$  – Volume de afluições indevidas afluyentes à rede residual no dia j.

Outra das vantagens desta metodologia é também a de permitir que o estudo não necessite da informação sobre a existência ou não de precipitação nos dias prévios, permitindo determinar as afluições indevidas totais (Weiß *et al.*, 2002; Mortinho, 2011). Uma das possíveis desvantagens deste método consiste no facto de lhe faltar a componente física neste tipo de estudos – apenas se efetua uma aproximação a um resultado plausível para a maioria dos sistemas (Weiß *et al.*, 2002).

No entanto, segundo Weiß *et al.*, (2002) foram efetuados testes de modo a averiguar a sensibilidade dos resultados e chegou-se à conclusão de que um período de estudo de 21 dias antecedentes é bastante satisfatório para a garantia de resultados viáveis.

De mencionar que, uma vez que o valor das afluições indevidas totais é a diferença entre o caudal afluyente à ETAR e o caudal residual de origem doméstica, bem como as afluições indevidas indiretas equivalem à diferença entre o mínimo dos últimos 21 dias e o caudal residual de origem doméstica, nos dias em que o caudal residual de origem doméstica sejam superiores aos outros dois registos, o valor da respetiva afluição indevida é tida como zero.

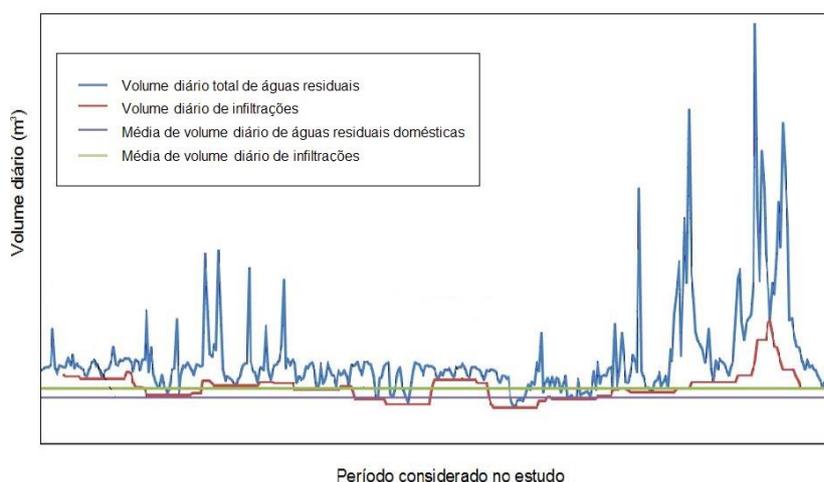


Figura 2.7 – Exemplo de aplicação do método do mínimo móvel para a elaboração de hidrogramas de afluições indevidas (adaptado de Mortinho, 2011).

### 2.5.1.3 Método das séries temporais de cargas poluentes

O método das séries temporais de cargas poluentes procura quantificar as águas não poluídas incorporadas nos caudais residuais, que correspondem às afluições indevidas, através da medição de séries temporais de caudais num dado ponto da rede e as respetivas concentrações das matérias poluentes. Baseada na equação (9), a análise é feita através de um modelo que descreve a concentração de poluentes em função dos caudais totais e do tempo, a que corresponde a equação (10) (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005; Kracht, 2007; Rodrigues, 2013).

Este método implica a utilização de instrumentos de medição, com intervalos de confiança adequados, oferecendo garantias de qualidade considerável aos dados recolhidos, tendo-se

presente que tal não implica a assunção (como noutros métodos) que os padrões diários de afluência dos caudais domésticos, e as respetivas concentrações dos poluentes, sejam ciclicamente iguais, de dia para dia (Bertrand-Krajewski et al., 2005).

O seguinte modelo tem a capacidade de considerar flutuações temporais das concentrações dos poluentes das águas residuais de origem doméstica, conforme descreve a equação (11), bem como variações, dependentes do tempo, da quantidade de afluências indevidas, tendo em conta a preponderância de escoamento direto ou de infiltrações (*i.e.* drenagem rápida mais infiltração indireta). A variação das afluências indevidas encontra-se descrita pela equação (12) (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005; Kracht, 2007; Rodrigues, 2013).

$$Q_{AI}(t) = \frac{C_{res,dom}(t) - C_{res,total}(t)}{C_{res,dom}(t) - C_{AI}(t)} \cdot Q_{res,total}(t) \quad (9)$$

$$C_{res,total}^{modelo}(t) = \frac{(Q_{res,total}(t) - Q_{AI}(t)) \cdot C_{res,dom}(t) + Q_{AI}(t) \cdot C_{AI}(t)}{Q_{res,total}(t)} \quad (10)$$

$$C_{res,dom} = f(t) + f(Q_{res,dom}) \quad (11)$$

$$Q_{AI}(t) = Q_{AI,indiretas}(t) + Q_{0,AI,diretas} \cdot e^{-k_{rec} \cdot (t - t_{0,AI,diretas})} \quad (12)$$

Em que:

$C_{res,dom}(t)$  – Concentração de poluentes nas águas residuais domésticas no instante  $t$ .

$C_{res,total}(t)$  – Concentração de poluentes nas águas residuais totais no instante  $t$ .

$C_{AI}(t)$  – Concentração de poluentes nas afluências indevidas no instante  $t$ .

$C_{res,total}^{modelo}(t)$  – Concentração de poluentes nas águas residuais totais do modelo no instante  $t$ .

$f$  – Funções que definem, por aproximação, a concentração de poluentes, em função das medições ou do tempo.

$k_{rec}$  – Coeficiente recessivo.

$Q_{res,total}(t)$  – Caudal total na rede residual no instante  $t$ .

$Q_{AI}(t)$  – Caudal de afluências indevidas na rede residual no instante  $t$ .

$Q_{AI,indiretas}(t)$  – Caudal de afluências indevidas indiretas na rede no instante  $t$ .

$Q_{0,AI,diretas}$  – Caudal de afluências indevidas diretas na rede no instante em que se iniciam as afluências indevidas diretas.

$t_{0,AI,diretas}$  – Instante em que se iniciam as afluências indevidas diretas.

A aplicação da equação (10) requer informação relativa à concentração dos traçadores nas águas infiltradas. Um parâmetro aconselhável para essa finalidade é a carência química de oxigénio (CQO). A presença de CQO nas águas parasitas é negligenciável, o que evita algumas dificuldades na determinação da contribuição do traçador oriundo das afluições indevidas (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005).

## 2.5.2 Métodos de quantificação de afluições indevidas indiretas

Em condições de tempo seco, as águas residuais têm, normalmente, duas origens: a água potável proveniente do consumo urbano, à qual lhe foi dado uma grande variedade de usos, e a água oriunda de infiltração indireta, que em condições de tempo seco corresponde às infiltrações indiretas (Kracht, 2007).

### 2.5.2.1 Método dos isótopos estáveis

Este método aproveita as propriedades isotópicas dos átomos de oxigénio ou hidrogénio, presentes nas moléculas de água, utilizando-os como traçadores para o cálculo de caudais de infiltração. É um procedimento barato e de simples execução e apenas necessita conhecer a conhecer a razão  $\delta^{18}O$  ou  $\delta^2H$ , que não é mais que uma razão entre os isótopos de cada elemento, e pode ser obtido através de amostras de água das várias origens. Tem, também, a vantagem de os traçadores utilizados se encontrarem naturalmente na água, evitando, assim, o uso de traçadores artificiais (Kracht, 2007). O cálculo dos caudais de infiltração é feito da seguinte forma:

$$Q_{\text{inf,indiretas}}(t) = \frac{\delta_{\text{res,total}}(t) - \delta_{\text{potável}}(t)}{\delta_{\text{inf,indiretas}}(t) - \delta_{\text{potável}}(t)} \cdot Q_{\text{res,total}}(t) \quad (13)$$

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  $t$ .

$Q_{\text{inf,indiretas}}(t)$  – Caudal de infiltração indireta na rede residual no instante  $t$ .

### 2.5.2.2 Método do caudal em tempo seco

Este método admite que em condições de tempo seco o caudal escoado pela rede é composto, exclusivamente, pelas parcelas que de facto devem estar nos coletores, nomeadamente as águas residuais de consumo doméstico e de consumo industrial, e pela parcela respetiva à infiltração. Acontece que, partindo do princípio de não terem ocorrido precipitações ou outro tipo de afluições superficiais de volumes consideráveis por se estar em tempo seco, as afluições indevidas são constituídas apenas pelas infiltrações indiretas, à qual a ocorrência de precipitações é irrelevante para a sua ocorrência.

Assim, é possível comparar os caudais totais efluentes às ETAR, através das respetivas medições, com o caudal em tempo seco calculado sem a parcela das afluições indevidas. Deste modo a diferença entre os caudais registados em tempo seco e o caudal calculado assumindo inexistência de infiltrações, de origem doméstica e industrial, corresponde ao volume das infiltrações indiretas durante o respetivo período (Amorim, 2007; Bonito 2014).

$$Q_{\text{inf,indiretas}} = Q_{\text{tempo seco}} - (P \cdot C_{a,r} + Q_{\text{res,ind}}) \quad (14)$$

Em que:

$C_{a,r}$  – Capitação de águas residuais.

$Q_{\text{tempo seco}}$  – Caudal diário residual total de tempo seco.

$Q_{\text{inf,indiretas}}$  – Caudal diário de infiltração indireta.

Segundo *Drainage* (2005), em Bonito (2014), para a aplicação deste método é necessário que não ocorram fenómenos de pluviosidade entre 7 a 10 dias antes do primeiro registo contabilizado no estudo. Este intervalo temporal é necessário de modo a garantir bons resultados práticos, mesmo tendo em conta que a influência pluviométrica de alguns fenómenos de precipitação chega até aos 6 meses após o último evento.

No caso da inexistência de registos o caudal de afluições indevidas pode ser determinado, aproximadamente, das seguintes formas, análogas:

$$Q_{\text{inf,indiretas}} = Q_{\text{tempo seco}} \cdot 0,45 \quad (15)$$

$$\Leftrightarrow Q_{\text{inf,indiretas}} = (P \cdot C_{a,r} + Q_{\text{res,ind}} + Q_{\text{inf,indiretas}}) \cdot 0,45 \Leftrightarrow$$

$$Q_{\text{inf,indiretas}} = (P \cdot C_{a,r} + Q_{\text{res,ind}}) \cdot 0,80 \quad (16)$$

A determinação de que o caudal de infiltrações indiretas corresponde a 45% do caudal total de tempo seco advém de um estudo efetuado com os caudais registados em 95 cidades inglesas e gaulesas, denominado de projeto CIRIA – (White, 1996) – conforme citado em Amorim (2007). Por simplificação matemática da equação (15), chega-se à equação (16).

### 2.5.2.3 Método do caudal mínimo

Os sistemas de drenagem de águas residuais apresentam grandes variações de caudais ao longo do dia, sendo que tais variações se devem principalmente aos hábitos de consumo dos utilizadores domésticos.

Durante as madrugadas, por norma, verifica-se que os caudais residuais, de tempo seco, que afluem à rede decrescem bastante, atingindo o seu valor mínimo. Este método tem em conta esse facto, implicando que os caudais da rede de drenagem residual nesse período são, principalmente, devidos a infiltrações indiretas na rede de drenagem.

Para a aplicação deste método é necessária a medição de caudais de tempo seco, ao longo de intervalos de tempo diários, em que é possível obter o valor mínimo diário de origem doméstica nas primeiras horas do dia (período noturno, entre as 2 e 4 da madrugada) e determinar os caudais médios diários de tempo seco. É aconselhável, também que as medições sejam feitas no fim-de-semana, de modo a evitar os caudais residuais de origem industrial, que por vezes funcionam nesse período (Amorim, 2007).

No intervalo temporal de ocorrência do caudal mínimo em tempo seco, podem, ainda assim, ocorrer afluições de origem doméstica e industrial/comercial e, normalmente, assume-se que 10% desse valor é dessa proveniência, sendo os restantes 90% devido a afluições indevidas (Amorim, 2007). No entanto, existem autores que defendem que a contribuição de origem doméstica e industrial, nesse período, é desprezável sendo a infiltração igual ao caudal mínimo noturno registado (Mortinho, 2011). Assim, desta forma, chega-se às seguintes expressões:

$$P \cdot C_{a,r} + Q_{res,ind} = \frac{Q_{res,médio,ts} - Q_{res,mín,ts}}{F} \quad (17)$$

$$Q_{inf,indiretas} = Q_{res,médio} - (P \cdot C_{a,r} + Q_{res,ind}) \quad (18)$$

Em que:

F – Fator de afluição.

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

$Q_{res,mín,ts}$  – Caudal diário residual total mínimo de tempo seco.

Para os caudais afluentes a coletores situados mais a montante numa dada rede de drenagem, o valor de F é geralmente igual a 0,9, diminuindo com o aumento da extensão da rede. Este fator tem também em conta possíveis caudais residuais de origem industrial que podem ocorrer em períodos noturnos ou durante 24 horas por dia (Amorim, 2007).

Em segmentos da rede onde os caudais sejam reduzidos e onde os incrementos destes são da ordem de alguns litros por segundo, a estimativa do caudal mínimo noturno pode tornar-se complicada. Deste modo, nestas situações, pode recorrer-se à utilização de medidores de caudal ultrassónicos, que possibilitam o registo dos caudais com alturas da lâmina de água bastante reduzidas (Amorim, 2007; Mortinho, 2011).

#### 2.5.2.4 Método suíço

Segundo Hager *et al.* (1985) em Franz (2007), o método suíço descreve a seguinte abordagem iterativa, de modo a identificar a componente de infiltrações indiretas em caudais residuais de tempo seco, através de amostras e medições de caudais nas ETAR:

$$Q_{inf,indiretas} = \frac{Q_{res,mín,ts}}{Q_{res,médio,ts}} \cdot \left[ 1 - \frac{C_{mín} \cdot Q_{res,mín,ts}}{C_{médio} \cdot Q_{res,médio,ts}} \cdot \left( \frac{Q_{res,mín,ts}}{Q_{res,médio,ts}} - 1 + \frac{C_{mín}}{C_{médio}} \right) \right] \cdot Q_{res,total} \quad (19)$$

Em que:

$C_{\min}$  – Concentração mínima de traçadores ao longo do dia.

$C_{\text{médio}}$  – Concentração média de traçadores ao longo do dia.

Este método assume que o caudal de infiltrações indiretas e a concentração dos poluentes se mantém constante ao longo do dia (Franz, 2007). Segundo Franz (2007), a série de medições é tipicamente registada em períodos de 24 horas, com uma discretização temporal de 15 minutos. Uma vantagem desta metodologia deve-se ao facto de não ser necessário o conhecimento dos padrões e hábitos de descargas de águas residuais por parte dos utilizadores da rede.

### 2.5.3 Métodos de quantificação de afluências indevidas diretas

#### 2.5.3.1 Método exposto na recomendação nº 04/2007 do IRAR

Em 2007, o então Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), agora ERSAR, elaborou um conjunto de recomendações para as entidades gestoras de redes de águas residuais, entre estas a recomendação nº 04/2007, onde se encontram descritas metodologias a serem utilizadas sobre a quantificação dos volumes pluviais nas redes residuais urbanas, também denominadas de escoamento direto ou escoamento superficial. Na recomendação nº 04/2007, “Faturação de serviços em “alta” de saneamento de águas residuais urbanas com contribuição de águas pluviais”, menciona-se o seguinte (Baptista e Escudeiro, 2008):

- “Para melhor gestão de investimentos na redução de afluências indesejáveis com origem em redes de drenagem será fundamental que as entidades gestoras de sistemas em “alta” assegurem, sempre que técnica e economicamente justificável, registos de medições em secções de entrega, por forma a permitir não só estimar os caudais descarregados por cada utilizador, como avaliar a parcela com origem pluvial”.
- “Os caudais de tempo seco e de tempo húmido devem ser estimados a partir de registos contínuos de caudais à entrada das estações de tratamento e, quando justificável, em secções de entrega da rede em “baixa” na rede em “alta” (pontos de recolha), estabelecendo-se curvas padrão de evolução de caudal de tempo seco a partir de registos em período estival. Os volumes afluentes de origem pluvial podem ser estimados com base na diferença entre os volumes registados em tempo de chuva e os valores estimados para condições de referência de tempo seco”.

Para a definição de “dia de chuva”, recomenda-se que (Baptista e Escudeiro, 2008):

- “A entidade gestora e os utilizadores do sistema selecionem um udómetro (ou mais de um udómetro) localizado na área servida por cada estação de tratamento ou suficientemente próximo desta, cujas medições sejam consideradas representativas de ocorrência de contribuições de águas pluviais na área contributiva”.

- “Pode ser razoável que um udómetro selecionado como representativo da ocorrência de precipitação na área servida por uma dada estação de tratamento seja considerado também representativo da ocorrência de precipitação em áreas vizinhas servidas por outras estações de tratamento”.
- “Considera-se “dia de chuva” numa dada área servida se se registar ocorrência de precipitação no udómetro selecionado para o respetivo ponto de medição (estação de tratamento ou secção de entrega) ”.
- “Nos dias de chuva os volumes medidos devem ser repartidos entre o volume de águas residuais domésticas/industriais e o volume de águas pluviais 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”.
- “Caso o sistema em análise apresente um hidrograma com uma vincada recuperação lenta do padrão de tempo seco após “dias de chuva”, e que tal seja verificado por medição e/ou modelo matemático calibrado, pode aplicar-se a expressão (20), para determinação do, nos n dias de tempo seco, equivalentes, em termos de comportamento, a “dias de chuva”. O valor de n variará de sistema para sistema (e, possivelmente, de chuvada para chuvada) ”.

Deste modo e em jeito de resumo este método considera que a componente pluvial é não mais que a diferença entre o caudal total em tempo húmido e o caudal total em tempo seco.

$$V_n^{jT} = V_n^{jad} + V_n^{jap} = \min \left( V_n^{jT}; \frac{\sum_{m=1}^M V_m^{jT}}{M} \right) + V_n^{jap} \quad (20)$$

Em que:

$V_n^{jT}$  – 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 (recomenda-se que a duração de M seja de pelo menos 10 dias, isto é, que se utilize o valor médio diário do último período contínuo de tempo seco com uma duração mínima de 10 dias).

$\frac{\sum_{m=1}^M V_m^{jT}}{M}$  – 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.

## 2.6 Indicadores de desempenho técnico para as afluições indevidas

“Um indicador ou medida de desempenho é uma característica ou variável de estado que permite, em função dos valores que assume, traduzir em termos quantitativos o desempenho do sistema” (Cardoso *et al.*, 2002).

Estes parâmetros podem ser obtidos através de dados de monitorização ou modelação da rede em estudo e podem variar espacialmente, de órgão para órgão, ou temporalmente, uma vez que os caudais transportados também variam.

Estando definidos os indicadores de desempenho, poder-se-á usar uma função de desempenho de modo a transformar os valores que estes tomam em valores de desempenho, segundo Coelho e Alegre (1999) e Cardoso *et al.* (1999), citados por Cardoso *et al.* (2002).

Assim, com esta finalidade Cardoso *et al.* (2002) propôs os seguintes indicadores de desempenho:

- **Utilização da capacidade de secção cheia** (expressão (21)) – “esta medida indica qual é a percentagem do caudal de infiltração relativamente ao valor do caudal de secção cheia do coletor, que representa a sua capacidade. Permite avaliar a percentagem da capacidade do coletor que é utilizada em consequência da ocorrência de infiltração. (...) Este valor pode ser obtido elementarmente (num coletor), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema. (...).”
- **Proporção do caudal de tempo seco** (expressão (22)) – “esta medida indica qual é a percentagem do caudal de infiltração relativamente ao valor do caudal médio diário de tempo seco. Permite comparar o peso da contribuição do caudal de infiltração relativamente ao do caudal médio diário de tempo seco no caudal que é transportado pelo sistema. (...) Este valor pode ser obtido elementarmente (num coletor), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema) (...).”
- **Caudal unitário por câmara de visita** (expressão (23)) – “esta medida indica o caudal médio de infiltração por câmara de visita. Como foi anteriormente referido, as câmaras de visita são possíveis origens de infiltração. Assim, para avaliar a influência do número de câmaras de visita no caudal de infiltração, este valor deve ser determinado em troços de igual comprimento, por forma a que a influência do comprimento do coletor, outra origem de infiltração, não se sobreponha com a das câmaras de visita. No entanto, este indicador não entra em conta com a influência da infiltração ao longo do coletor, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido, sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema) (...).”

- **Caudal unitário por comprimento do coletor** (expressão (24)) – “esta medida indica o caudal médio de infiltração que ocorre por km de comprimento do coletor. Este indicador não tem em conta a influência da infiltração nas câmaras de visita, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num coletor), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema) (...).”
- **Caudal unitário por área de parede do coletor** (expressão (25)) – “esta medida indica o caudal médio de infiltração em função da área de parede do coletor exposta a possíveis infiltrações. Este indicador não entra em conta com a influência da infiltração nas câmaras de visita, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num coletor), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no coletor de jusante do sistema) (...).”

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{SC}} (\%) \quad (21)$$

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,m\u00e9dio,ts}} (\%) \quad (22)$$

$$\frac{Q_{inf}}{n^{\circ}C_{visita}} (m^3/s) \quad (23)$$

$$\frac{Q_{inf}}{L_{Coletor}} (m^3/(s \cdot km)) \quad (24)$$

$$\frac{Q_{inf}}{L_{Coletor} \cdot P_{Coletor}} (m^3/(s \cdot km \cdot cm)) \quad (25)$$

Em que:

$Q_{inf}$  – Caudal de infiltração.

$Q_{SC}$  – Caudal de secção cheia.

$Q_{res,m\u00e9dio,ts}$  – Caudal residual total m\u00e9dio de tempo seco.

$n^{\circ}C_{visita}$  – N\u00famero de caixas de visita.

$L_{Coletor}$  – Comprimento do coletor.

$P_{Coletor}$  – Per\u00edmetro do coletor.

Um estudo rigoroso dos indicadores de desempenho deve ser feito, tendo em conta a clara defini\u00e7\u00e3o dos objetivos que se permitem atingir, seleccionando os indicadores mais importantes em cada caso (Cardoso *et al.*, 2002). Tamb\u00e9m se deve ter em considera\u00e7\u00e3o o facto de que estes par\u00e2metros podem fornecer informa\u00e7\u00e3o complementar, relativa ao desempenho do sistema, e que constituem uma ferramenta \u00fatil na decis\u00e3o de eventuais repara\u00e7\u00f5es a redes.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Estudos de caso

Os estudos de caso utilizados na aplicação da metodologia e interpretação de resultados correspondem às redes de drenagem em “baixa”, ligadas às ETAR sob a tutela da entidade gestora em “alta” Águas do Norte, que servem as sedes dos concelhos de Bragança, Mirandela, Vila Nova de Foz Côa e Vila Real.

Para se efetuar o estudo aos vários sistemas de drenagem dispôs-se de dados relativos aos caudais diários afluentes às ETAR, desde 2005 e/ou 2006 a junho de 2015, e das concentrações de CQO do afluente bruto. Os dados relativos aos caudais possibilitaram a aplicação dos métodos do triângulo e do mínimo móvel a todas as ETAR supracitadas e os valores registados para as concentrações de CQO possibilitariam, em princípio, em conjunto com os valores dos caudais diários, a aplicação do método das séries temporais de cargas poluentes.

Acontece que a aplicação do método das séries temporais de cargas poluentes tornou-se inviável pelas seguintes razões:

- Existiam mais dias em que não havia registo de concentrações de CQO, que os que possuíam, de facto, registo desse parâmetro.
- As concentrações de CQO das afluições à ETAR eram bastante superiores às concentrações padrão de CQO de origem doméstica, com aceitação generalizada e amplamente referenciada na bibliografia, em resultado de medições em países com hábitos de consumo diferentes.
- A utilização deste método implica que os registos de CQO afluente sejam obrigatoriamente menores que os de origem exclusivamente doméstica e industrial, caso existam indústrias.
- Uma vez que não existe uma concentração padrão de CQO, para as águas residuais domésticas, baseadas em registos efetuados em Portugal, seriam necessárias medições de amostras recolhidas de águas residuais domésticas numa multiplicidade de ramais domiciliários localizados nos locais em estudo, algo que não se afigura como possível de obter em tempo útil com o objetivo de ser incluído nesta dissertação.

Assim e em face da impossibilidade de a aplicação do método das séries temporais de cargas poluentes optou-se pela utilização dos métodos do triângulo e do mínimo móvel, que mostrou

---

ser de uma aplicação mais universal e adequada aos objetivos deste estudo, possibilitando a diferenciação da natureza das afluições indevidas, levando a resultados muito semelhantes.

### 3.1.1 Descrição geral dos sistemas

Na aplicação das metodologias, procurou-se que os casos de estudo representassem situações o mais diversas possível, tendo amostras de redes que servissem aglomerados populacionais de várias dimensões, sendo que Vila Nova de Foz Côa representa uma cidade “pequena”, Mirandela uma cidade “pequena a média”, Bragança uma cidade “média” e Vila Real uma cidade “média” mas com maior população que Bragança. Obviamente, a escala das cidades está limitada aos exemplos disponíveis, para estudo, por parte da entidade gestora Águas do Norte.

De igual modo, procurou-se ter redes de drenagem de várias tipologias, sendo que no caso de Mirandela a rede é separativa, no caso de Vila Nova de Foz Côa a rede é unitária, no caso de Bragança a rede é pseudo-separativa e, no caso de Vila Real, a rede é de tipologia desconhecida.

Quadro 3.1 – Elementos base dos vários estudos de caso.

Caso	População servida pela ETAR (2007)	Tipologia da rede	Comprimento total da rede (km)	Nº de IEAR
Bragança	23834	Pseudo-separativa	-	-
Mirandela	11347	Separativa	57.6	1
V. N. de Foz Côa	2863	Unitária	25.2	3
Vila Real	28989	Desconhecida	154.2	11

Quadro 3.2 – Percentagem de materiais dos coletores, por rede.

Caso	Material				
	Betão	Grés	FFD	PVC	Desconhecidos/Vários
Bragança	0%	0%	0%	0%	100%
Mirandela	0%	0%	0%	8%	92%
V. N. de Foz Côa	0%	74.3%	0%	25.7%	0%
Vila Real	1%	5%	0.6%	93.4%	0%

Quadro 3.3 – Percentagem de diâmetro dos coletores, por rede.

Caso	Diâmetro dos coletores (mm)			
	200	200 a 400	400	500
Bragança	100%	0%	0%	0%
Mirandela	100%	0%	0%	0%
V. N. de Foz Côa	0%	100%	0%	0%
Vila Real	97.1%	2.1%	0.1%	0.7%

### 3.1.2 Descrição do processo de estudo dos casos

A utilização dos métodos do triângulo e do mínimo móvel implica o conhecimento do caudal diário afluente às ETAR, do caudal diário residual de origem doméstica e do caudal diário residual de origem industrial.

No entanto, como é natural, uma vez que para se conhecerem exatamente os caudais residuais de origem doméstica e industriais, seria necessário contar com a existência de caudalímetros em todas as ligações de águas residuais de domicílios/estabelecimentos industriais, o que não foi possível, não se dispo de dessa informação.

Assim sendo, só possuindo os dados relativos aos valores da população, volumes de abastecimento de água e fator de afluência das águas de abastecimento ao sistema de águas residuais, foi possível determinar estes caudais, tendo sido, também, possível o cálculo das capitações.

Quanto aos caudais residuais de origem industrial, não foram considerados pelos seguintes motivos:

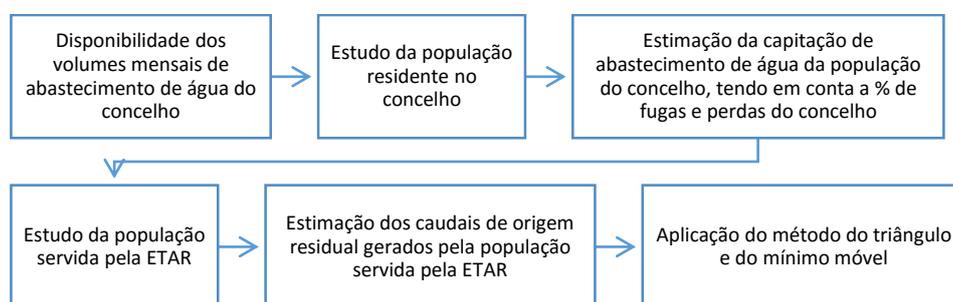
- Existência de indústrias de muito reduzida dimensão nos locais de estudo.
- Inexistência de registos dos consumos.
- Facto de algumas das indústrias possuírem fontes próprias de captação e tratamento de água.

Deste modo, tendo em conta diferentes discretizações temporais para os dados relativos a volumes e populações, conforme o caso, o procedimento para a sua determinação diferiu. Para os concelhos de Mirandela e Vila Nova de Foz Côa os volumes de abastecimento de água mensais foram fornecidos pela entidade gestora de sistemas em “alta”, Águas do Norte, para a sede do concelho de Bragança os volumes de abastecimento de água diários foram fornecidos pela Câmara Municipal de Bragança e, para a população de Vila Real servida pela ETAR local, os volumes de abastecimento de água mensais foram fornecidos pela entidade gestora de sistemas em “baixa”, a Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Vila Real (EMAR). Os volumes diários afluentes à ETAR de Vila Real foram também fornecidos pela Águas do Norte.

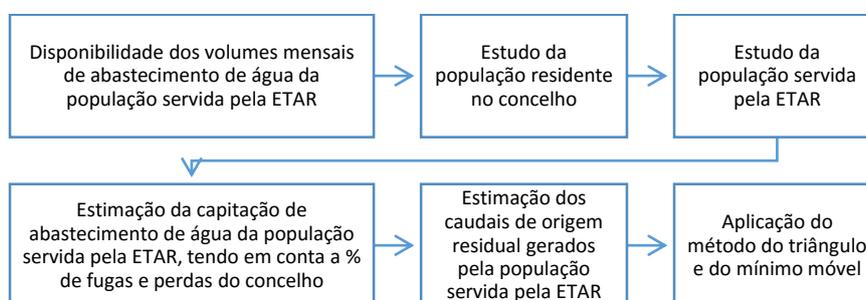
No âmbito desta dissertação, optou-se por, em cada estudo de caso, se apresentarem os resultados de 2009, por ser um ano em que todos os casos tinham os registos completos para os valores de afluências às ETAR e para os volumes fornecidos para abastecimento de água aos vários aglomerados em estudo, aspeto que dá maiores garantias de fiabilidade ao estudo.

Também em cada caso particular, se apresentam os dados relativos aos anos em que existiram maiores e menores percentagens de afluências indevidas, excluindo os casos em que os registos diários de caudais afluentes à ETAR não se encontram completos.

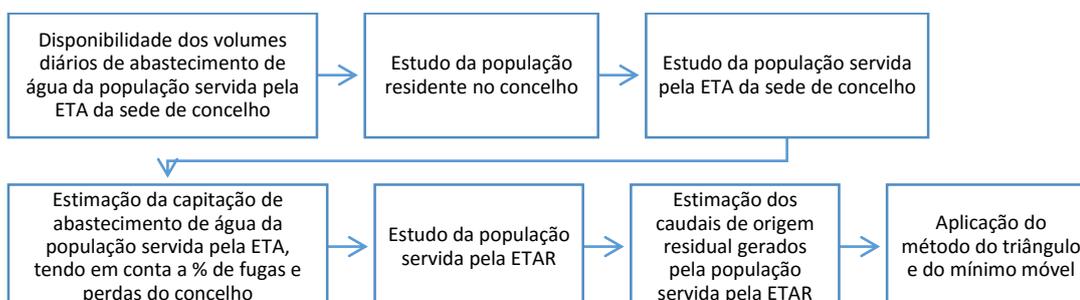
Quadro 3.4 – Processo de estudo para os casos de Mirandela e Vila Nova de Foz Côa.



Quadro 3.5 – Processo de estudo para o caso de Vila Real.



Quadro 3.6 – Processo de estudo para o caso de Bragança.



## 3.2 Metodologia para a quantificação e classificação das afluências indevidas

### 3.2.1 Método do triângulo

Como já foi referido no capítulo da revisão bibliográfica, o método do triângulo consiste na organização de séries cronológicas em séries de caudais ordenados, caudais esses que constituem os valores dos caudais afluentes às ETAR. A definição de uma curva de caudais, ordenados em função do seu valor e classificados em função da existência de precipitação ou não, possibilita a quantificação dos volumes respetivos para cada uma das componentes das

---

águas residuais (*i.e.* volume de infiltração e volume de escoamento direto), no final de uma dada série temporal, segundo Almeida e Monteiro (2004) e Weiß *et al.* (2002).

Nos estudos de caso disponíveis, dispôs-se de, como já foi referido, dois dados fundamentais, a que correspondem os caudais diários afluentes à ETAR e a os registos da ocorrência ou não de precipitação, e dispendo-se, também, dos volumes de água fornecidos para abastecimento, que permitiram determinar, indiretamente, a terceira variável fundamental para a aplicação do método do triângulo.

No entanto, conforme Almeida e Monteiro (2004) e Weiß *et al.* (2002) mencionam, de modo a se poderem separar os volumes das diferentes afluições indevidas, quanto à sua origem, é necessário conhecer o número de dias influenciados pela precipitação e não o número de dias em que ocorreram eventos de precipitação, que são, de facto, conceitos diferentes.

Naturalmente, dependendo das características da bacia em estudo e, em última análise, do respetivo tempo de concentração, o efeito das chuvadas pode ser sentido dias depois da sua ocorrência, caso o tempo de concentração das águas pluviais exceda o próprio dia do evento pluviométrico, ou pode corresponder a minutos ou horas, principalmente em bacias altamente impermeabilizadas, como acontece em zonas com índices de urbanização elevados.

No âmbito deste estudo, optou-se por assumir que o número de dias em que ocorreu precipitação é igual ao número de dias influenciados por precipitação, por três motivos:

- Para se calcular o tempo de concentração das bacias urbanas do caso de estudo seria necessário um estudo aprofundado ao seu comportamento hidrológico, algo que não se manifesta como possível face à inacessibilidade a dados que o permitissem.
- Almeida e Monteiro (2004) mencionam que, após as chuvadas, a infiltração direta se manifesta em intervalos de tempo que podem variar entre horas a dias, e que o escoamento direto se verifica entre minutos a horas, ou seja, é possível fazer a assunção de que os efeitos diretos dos eventos pluviométricos ocorrem num intervalo temporal de algumas horas após as precipitações.
- Como os estudos de caso são bacias urbanas, é aceitável assumir-se que o tempo de concentração do escoamento direto seja inferior a um dia.

Contabilizados os dias em que ocorre precipitação, estes são marcados no diagrama de caudais classificados, da direita para a esquerda, a partir do dia de maior caudal afluente à ETAR, o que permite a separação dos diferentes volumes das afluições indevidas, conforme ilustrado na figura 3.1, e mais detalhadamente explicado em 2.8.1.1.

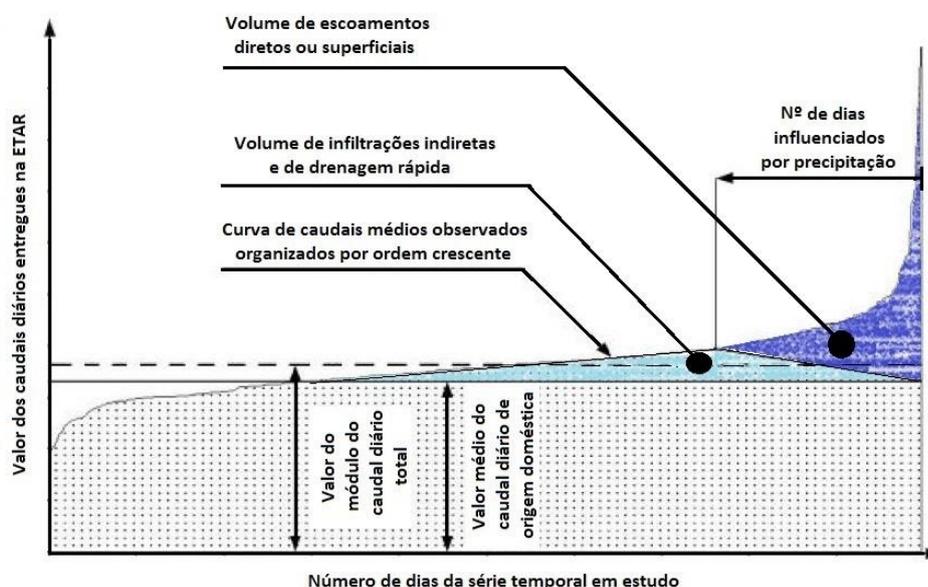


Figura 3.1 – Exemplo de aplicação do método do triângulo para a separação das parcelas de origem doméstica, infiltração e escoamento superficial (adaptado de Almeida e Monteiro, 2004).

### 3.2.2 Método do mínimo móvel

Como já foi mencionado no capítulo 2, Weiß *et al.* (2002) afirma que o método do mínimo móvel permite a quantificação das infiltrações e escoamento direto, durante um dado período de tempo e, ao contrário do método do triângulo permite determinar a variação temporal das afluências indevidas.

Tal como no método do triângulo, este método é baseado no conceito de que a soma das águas residuais domésticas com a componente relativa às afluências indevidas, de um dia qualquer, é igual ao caudal afluente à ETAR.

De modo a se proceder à separação dos caudais é necessário conhecer dois dados fundamentais, a que correspondem os caudais diários afluentes às ETAR, e, dentro destes, os respetivos caudais residuais de origem doméstica. Acontece que, como exposto na revisão bibliográfica, Weiß *et al.* (2002) refere que, relativamente aos caudais de origem doméstica, a utilização de um caudal médio anual, é satisfatório na obtenção de resultados coerentes e aceitáveis.

Ainda assim, face à qualidade dos dados dispostos (no caso de Bragança dispôs-se dos caudais diários da ETA local, e nos restantes casos, dispôs-se dos volumes mensais de abastecimento dos concelhos), e face ao facto de que o método do mínimo móvel corresponde a um estudo em que os períodos temporais se encontram cronologicamente ordenados, ao contrário do método do triângulo, optou-se por se discretizar temporalmente ao máximo possível os caudais residuais domésticos, aproximando, assim os padrões de afluência das águas residuais

domésticas às afluições diárias verificadas na realidade. A título de exemplo apresentam-se as afluições de Mirandela em 2008, sem discretização e com discretização dos caudais de origem doméstica, na figura 3.2.

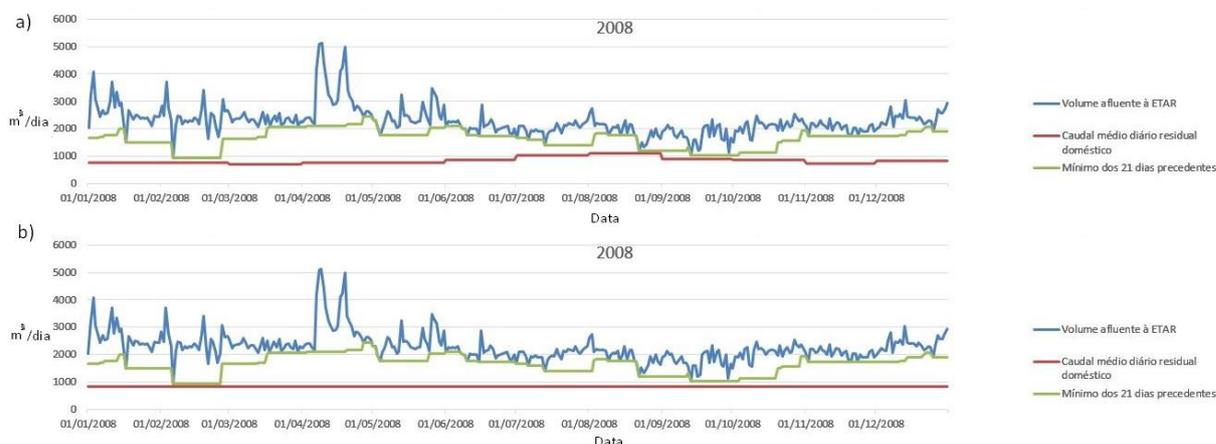


Figura 3.2 – Exemplo de aplicação do método do mínimo móvel ao estudo de caso de Mirandela para a elaboração de hidrogramas de afluições indevidas – a) caudais residuais domésticos discretizados; b) caudais residuais domésticos não discretizados.

É importante voltar a mencionar que, nos dias em que o caudal residual de origem doméstica sejam superiores às afluições totais à ETAR desses mesmos dias, o valor da respetiva afluição indevida é tida como zero, uma vez que pode significar, até, que ocorra exfiltração em vez de infiltração. Como se pode ver, pelo exemplo da figura 3.3, o número de dias em que tal acontece é aproximadamente igual, com ou sem a discretização dos caudais residuais domésticos.

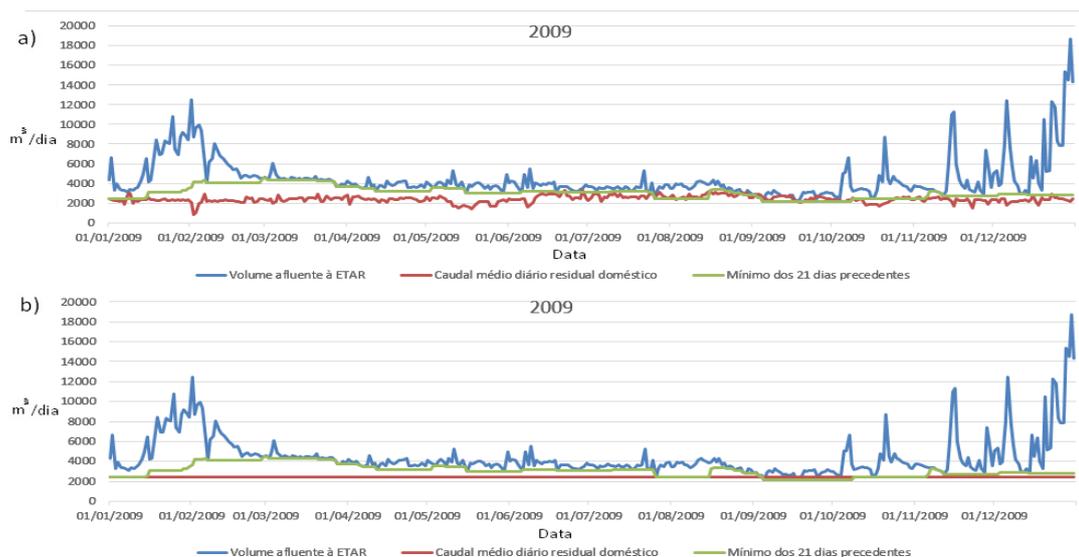


Figura 3.3 – Exemplo de aplicação do método do mínimo móvel ao estudo de caso de Bragança para a elaboração de hidrogramas de afluições indevidas – a) caudais residuais domésticos discretizados; b) caudais residuais domésticos não discretizados.

Uma vez que o período temporal para a obtenção do mínimo móvel foi definido e testado em estudos efetuados na Alemanha (Weiß *et al.*, 2002), em que a precipitação é de menor concentração e de maior distribuição temporal, procedeu-se, em resultado deste facto, à análise do impacto da alteração desse período de 21 dias para períodos de 7 dias, de modo a se perceber o alcance do impacto que tal alteração teria em Portugal, em virtude de as precipitações ocorrerem em períodos bastante mais curtos e, conseqüentemente, mais concentradas.

### 3.3 Indicadores de desempenho técnico para as afluições indevidas

Como indicadores de desempenho das redes de drenagem, foram utilizados os propostos por Cardoso *et al.* (2002), expostos em 2.8:

- Utilização da capacidade de secção cheia

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{sc}} (\%) \quad (26)$$

- Proporção do caudal de tempo seco

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,m\u00e9dio,ts}} (\%) \quad (27)$$

- Caudal unitário por câmara de visita

$$\frac{Q_{inf}}{n^{\circ}C_{visita}} (m^3/s) \quad (28)$$

- Caudal unitário por comprimento do coletor

$$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}} (m^3/(s \cdot km)) \quad (29)$$

- Caudal unitário por área de parede do coletor

$$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor} \cdot P_{coletor}} (m^3/(s \cdot km \cdot cm)) \quad (30)$$

---

## 4 APLICAÇÃO AOS ESTUDOS DE CASO

### 4.1 Estudo de caso de Mirandela

Neste caso, estudaram-se as afluições à ETAR de Mirandela que, segundo a Águas do Norte, servia 11347 habitantes em 2007. A rede que aflui a esta estação de tratamento tem, no total do comprimento dos coletores que a constituem, cerca de 58 km e é de tipologia separativa. Perante o registo dos caudais diários afluentes à ETAR, desde 1 de Outubro de 2005 a 30 de Junho de 2015, procedeu-se ao estudo das afluições de origem doméstica dos domicílios servidos pela respetiva rede.

Assim, em primeira instância tornou-se necessário determinar a população servida. Não havendo registos da população servida e ligada à ETAR, excetuando o ano de 2007, como já foi referido, tornou-se necessário determinar a população total do concelho recorrendo aos Censos efetuados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE). Tendo efetuado esse estudo chegou-se à conclusão que a população do concelho servida em 2007 correspondia a 46,1% da sua população total. Deste modo, e partindo do princípio que as infraestruturas da rede de drenagem eram as mesmas nos restantes anos dos registos possuídos, determinou-se, por estimativa, a população servida e ligada à ETAR, desde 2005 a 2015.

Possuindo os volumes mensais de água para abastecimento, desde 2007 a 2015, fornecidos pela Águas do Norte, então AdTMAD, à entidade gestora em “baixa” (Serviços Municipalizados de Água de Mirandela) e com os dados da ERSAR, relativos à percentagem de fugas e perdas no concelho (42%), disponibilizados em Addition Lda., (2015), calculou-se a capitação diária de abastecimento de água, para cada mês e para cada ano.

Como não se conheciam os registos mensais de volumes de abastecimento de água nos anos de 2005 e 2006, procedeu-se a uma estimativa da capitação diária anual, por interpolação linear, ao invés de se determinar a capitação diária baseada em registos mensais, conforme se efetuou nos restantes anos. Conhecendo as capitações de abastecimento de água, podem determinar-se as capitações de águas residuais, multiplicando as primeiras por um fator de afluição, com o valor de 0,8 conforme sugerido pelo RGSPDADAR.

O método do triângulo utiliza o valor médio do caudal residual de origem doméstica, para a obtenção dos volumes de afluições indevidas sendo, por isso, de maior interesse a avaliação das capitações diárias, baseadas em volumes anuais, enquanto o método do mínimo móvel utiliza registos diários, cronologicamente ordenados, daí que seja preferível a utilização dos

registos diários. Na impossibilidade de calcular os valores diários de águas residuais de origem doméstica, optou-se por utilizar registos médios mensais, que sempre oferecem uma melhor discretização deste parâmetro no método dos mínimos móveis.

#### 4.1.1.1 Método do triângulo

A aplicação do método do triângulo requer que se conheça o número de dias de chuva nos anos em análise. O registo fornecido pela entidade gestora da ETAR indicava a existência, ou não, de precipitação em cada dia. Tendo esses registos para os vários anos, embora em dois anos houvesse bastantes dias com registo de caudais afluentes à ETAR em falta (ano de 2005 e de 2015), procedeu-se à aplicação do método, calculando o volume de infiltração e de escoamento direto em cada dia. Na figura 4.1 apresenta-se o estudo, mais detalhado, para o ano de 2009, na figura 4.2 e no quadro 4.1 apresenta-se, a título de exemplo, a aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela nos anos de 2006, 2009 e 2012, bem como os valores médios de todos os anos.

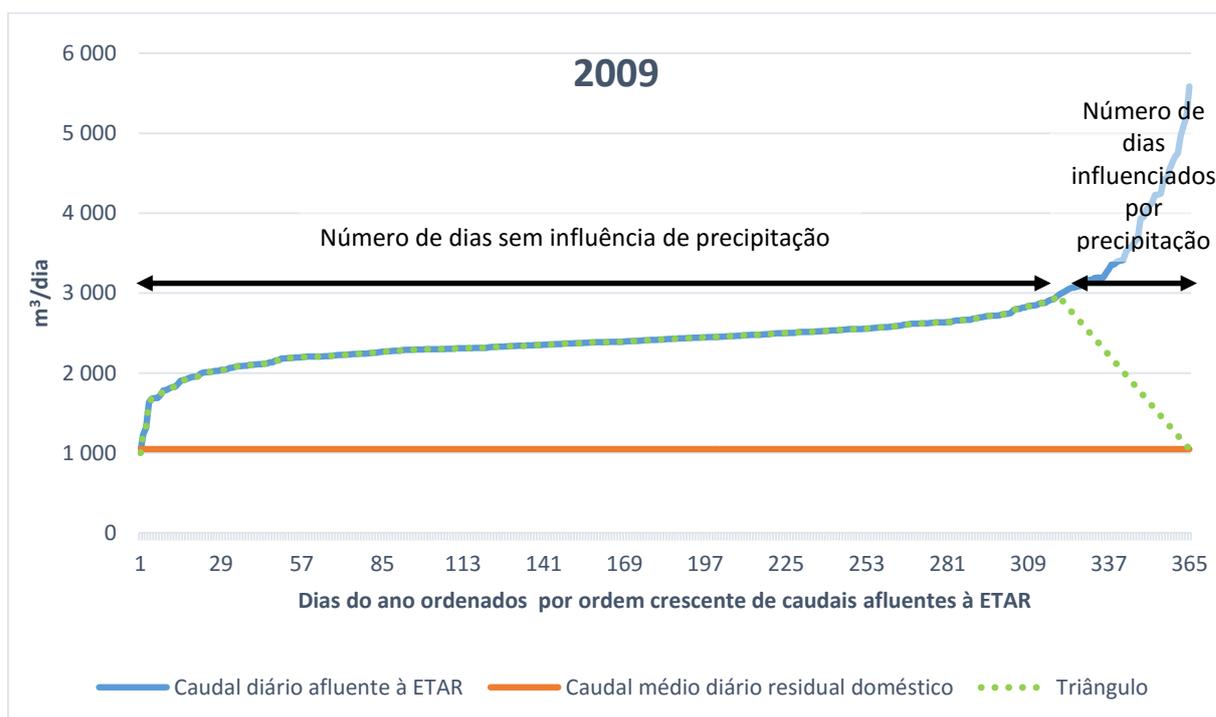


Figura 4.1 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela em 2009.

Quadro 4.1 – Resultados obtidos para a ETAR de Mirandela pela aplicação do método do triângulo.

Designação	2009	2006	2012	Média de todos os anos
Volume total (AA) [m <sup>3</sup> ]	1780379	-	2048901	1814760**
População concelho [hab]	24244*	24835*	23473*	23942
População ETAR [hab]	11164*	11436*	10809*	11025
Fugas e Perdas	42%	42%	42%	42%
Capitação (AA) [l/(hab dia)]	117.1	91.8*	139.2	118.3
F <sub>a</sub> – fator de afluência	0.8	0.8	0.8	0.8
Capitação (AR) [l/(hab dia)]	93.7	73.4	111.3	94.7
Caudal médio diário residual doméstico [m <sup>3</sup> /dia]	1046	840	1204	1046
Volume total afluente à ETAR [m <sup>3</sup> ]	928674	962726	1016372	996916**
Volume total de infiltração [m <sup>3</sup> ]	466343	502790	528587	523492**
Volume total de escoamento direto [m <sup>3</sup> ]	80673	153527	47284	93302**
Volume total de afluências indevidas [m <sup>3</sup> ]	547016	656317	575871	616794**
Afluências indevidas no volume total [%]	59%	68%	57%	61%
Dias de precipitação no ano [%]	13%	24%	7%	13%

\* Valores estimados por extrapolação de tendências.

\*\* Apenas foram considerados os anos com registos das afluências à ETAR completos.

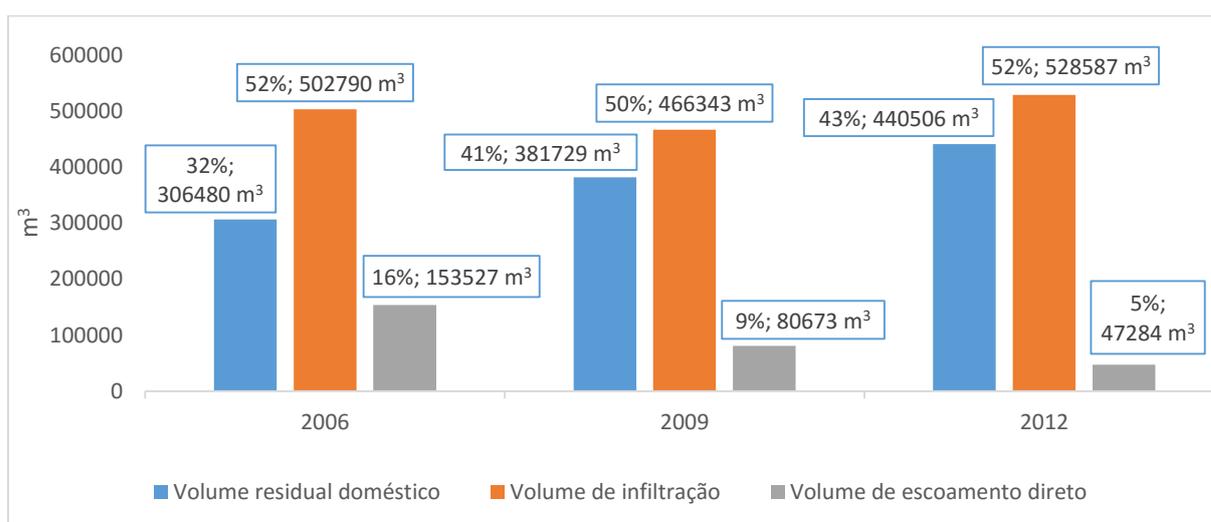


Figura 4.2 – Volumes afluente à ETAR de Mirandela, em vários anos, segundo a aplicação do método do triângulo.

Da aplicação do método do triângulo à ETAR de Mirandela podemos concluir que, nos anos apresentados, as afluições indevidas apresentam um volume superior ao caudal residual doméstico/industrial, representando, em 2009, 59% do volume afluente à ETAR, com um valor de 547 016 m<sup>3</sup>. Destes 466 343 m<sup>3</sup> (50%) são infiltração direta e indireta e 80 673 m<sup>3</sup> (9%) são escoamento direto. No ano de maior percentagem de afluições indevidas à ETAR de Mirandela, em 2006, 68% do volume afluente correspondem a afluições indevidas, com um valor de 656 317 m<sup>3</sup>, sendo que destas 502 790 m<sup>3</sup> (52%) são infiltração direta e indireta e 153 527 m<sup>3</sup> (16%) são escoamento direto. No ano de menor percentagem de afluições indevidas à ETAR de Mirandela, em 2012, 57% do volume afluente correspondem a afluições indevidas, com um valor de 575 871 m<sup>3</sup>, sendo que destas 528 587 m<sup>3</sup> (52%) são infiltração direta e indireta e 47 284 m<sup>3</sup> (5%) são escoamento direto.

#### 4.1.1.2 Método do mínimo móvel

Como se pode observar pelo gráfico das afluições à ETAR, figura 4.3, a variabilidade das mesmas é bastante grande, dependendo enormemente das estações do ano em que se encontra, notando-se uma maior afluição de caudais totais nos meses das estações mais chuvosas e uma menor afluição de caudais de origem doméstica, e nos meses mais quentes e secos, verificam-se menores afluições dos caudais totais mas maiores afluições de caudais residuais de origem doméstica. No quadro 4.2 apresenta-se o estudo, mais detalhado, para o ano de 2009, na figura 4.4 e no quadro 4.3 apresenta-se, a título de exemplo, a aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela nos anos de 2006, 2009 e 2012, bem como os valores médios de todos os anos.

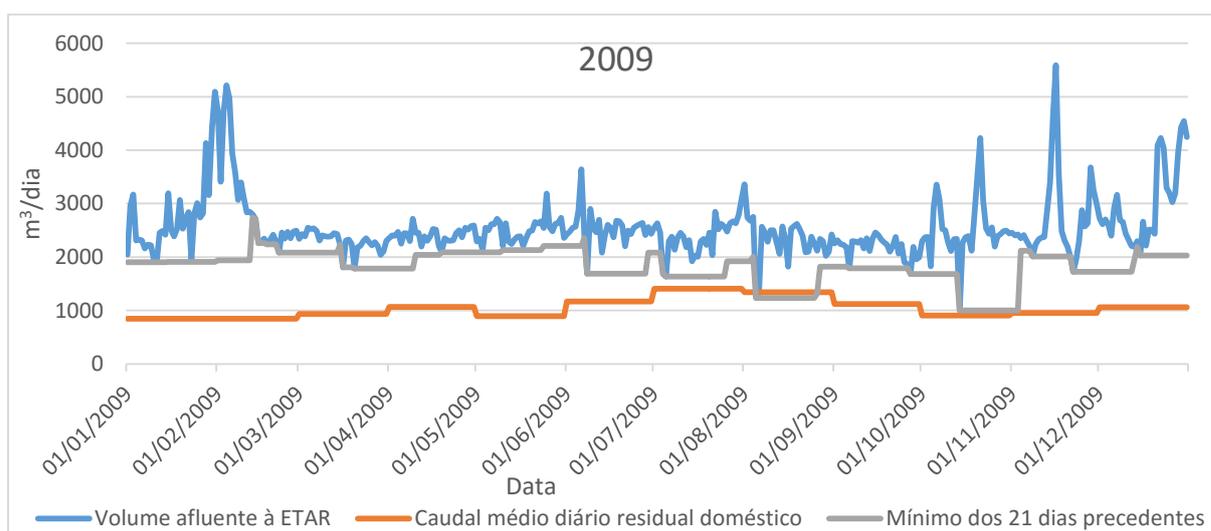


Figura 4.3 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Mirandela em 2009.

Quadro 4.2 – Dados recolhidos e capitações obtidas em 2009 para a ETAR de Mirandela.

Mês	Volumes mensais (AA) [m <sup>3</sup> ]	População concelho [hab]	Fugas e Perdas	Capitação (AA) [l/(hab dia)]	Capitação (AR) [l/(hab dia)]	Caudal médio diário residual doméstico [m <sup>3</sup> /dia]
Janeiro	122032	24244*	42%	94.5	75.6	844
Fevereiro	110162			94.4	75.6	844
Março	134999			104.5	83.6	934
Abril	149183			119.4	95.5	1066
Maio	129390			100.2	80.2	895
Junho	163488			130.8	104.7	1168
Julho	203392			157.5	126.0	1407
Agosto	193873			150.1	120.1	1341
Setembro	156655			125.4	100.3	1120
Outubro	131035			101.5	81.2	906
Novembro	133183			106.6	85.3	952
Dezembro	152987			118.5	94.8	1058

\* Valores estimados por extrapolação de tendências.

Quadro 4.3 – Resultados obtidos para a ETAR de Mirandela pela aplicação do método do mínimo móvel.

Designação	2009	2006	2012	Média de todos os anos
Volume total afluente à ETAR [m <sup>3</sup> ]	928674	962726	1016372	996916**
Volume total de infiltração [m <sup>3</sup> ]	261641	375645	388455	377591**
Volume total de escoamento direto [m <sup>3</sup> ]	285439	280670	188615	239167**
Volume total de afluições indevidas [m <sup>3</sup> ]	547080	656314	577070	616758**
Afluições indevidas no volume total [%]	59%	68%	57%	62%
Dias de precipitação no ano [%]	13%	24%	7%	13%

\*\* Apenas foram considerados os anos com registos das afluições à ETAR completos.

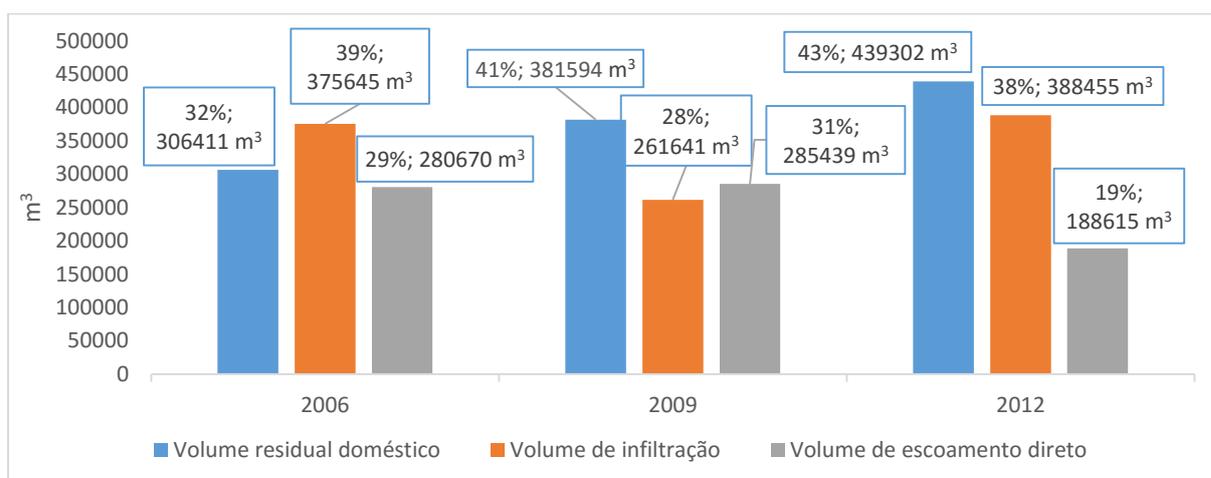


Figura 4.4 – Volumes afluentes à ETAR de Mirandela, em vários anos, segundo a aplicação do método do mínimo móvel.

Da aplicação do método do mínimo móvel à ETAR de Mirandela podemos concluir que, no ano de 2009, as afluições indevidas apresentam um volume superior ao caudal residual doméstico/industrial, representando 59% do volume afluente à ETAR, com um valor de 547 016 m<sup>3</sup>, valor que é coincidente com o do método do triângulo. No entanto, com este método, os valores da infiltração direta e indireta e do escoamento direto são diferentes, apresentando valores de 261 641m<sup>3</sup> (28%) para as infiltrações direta e indireta e 285 439 m<sup>3</sup> (31%) para o escoamento direto. No ano de maior percentagem de afluições indevidas à ETAR de Mirandela, em 2006, 68% do volume afluente correspondem a afluições indevidas, com um valor de 656 314 m<sup>3</sup>, sendo que destas 375 645 m<sup>3</sup> (39%) são infiltração direta e indireta e 280 670 m<sup>3</sup> (29%) são escoamento direto. No ano de menor percentagem de afluições indevidas à ETAR de Mirandela, em 2012, 57% do volume afluente correspondem a afluições indevidas, com um valor de 577 070 m<sup>3</sup>, sendo que destas 388 455 m<sup>3</sup> (38%) são infiltração direta e indireta e 188 615 m<sup>3</sup> (19%) são escoamento direto.

#### 4.1.1.3 Comparação de resultados

De seguida, apresentam-se os resultados obtidos por ambos os métodos, na figura 4.5, para a ETAR de Mirandela, ao longo dos vários anos estudados, bem como a percentagem de dias de chuva em cada ano, de modo a se tentar perceber de uma forma simples a possível influência das precipitações na ocorrência das afluições indevidas.

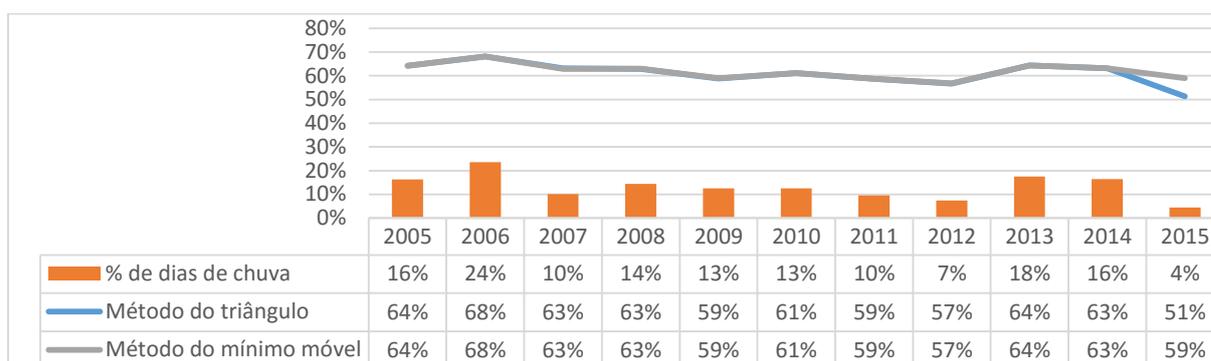


Figura 4.5 – Resultados obtidos na determinação das afluências indevidas à ETAR de Mirandela pela aplicação dos diferentes métodos.

De notar que a parcela de afluências indevidas, nesta rede, ao longo dos anos, não apresenta uma grande variação: a amplitude dessa parcela é de cerca de 11% para o método do mínimo móvel e de 17% para o método do triângulo.

## 4.2 Estudo de caso de Vila Nova de Foz Côa

Neste caso, estudaram-se as afluências à ETAR de V. N. de Foz Côa que, segundo a Águas do Norte, servia 2863 habitantes em 2007. A rede que serve a sede do concelho tem, no total do comprimento dos coletores que a constituem, cerca de 25 km e é de tipologia unitária. Estando-se na posse do registo dos caudais diários afluentes à ETAR, desde 1 de Janeiro de 2006 a 30 de Junho de 2015, procedeu-se ao estudo das afluências de origem doméstica dos domicílios servidos pela respetiva rede.

O procedimento é análogo ao efetuado para o caso de Mirandela: inicialmente estimou-se a população servida. Não havendo registos da população servida e ligada à ETAR, excetuando o ano de 2007 determinou-se a população total do concelho recorrendo aos Censos efetuados pelo INE, e de seguida chegou-se à conclusão que a população do concelho servida em 2007 por essa ETAR correspondia a 36,8% da sua população total, partindo do princípio que as infraestruturas da rede de drenagem eram as mesmas nos restantes anos dos registos possuídos, determinou-se por estimativa a população servida e ligada à ETAR, desde 2006 a 2015.

Possuindo os volumes mensais desde 2007 a 2015, fornecidos pela Águas do Norte, então AdTMAD, à entidade gestora em “baixa” (Câmara Municipal de V. N. de Foz Côa) e com os dados da ERSAR, relativos à percentagem de fugas e perdas no concelho (52%), disponibilizados em Addition Lda., (2015), calculou-se a capitação diária de abastecimento de água, para cada mês e para cada ano.

Desconhecendo-se os registos mensais de volumes de abastecimento de água no ano de 2006, procedeu-se a uma estimativa da capitação diária anual, por interpolação linear, ao invés de se determinar a capitação diária mensal conforme se efetuou nos restantes anos. Estimadas as

capitações de abastecimento de água, determinaram-se as capitações de águas residuais, multiplicando as primeiras por um fator de afluência, com o valor de 0,8 conforme sugerido pelo RGSPDADAR.

Tal como no estudo de caso de Mirandela, o método do triângulo utiliza o valor médio do caudal residual de origem doméstica sendo, por isso, de maior interesse a avaliação das capitações diárias, baseadas em volumes anuais. Também tal como no caso de estudo anterior, o método do mínimo móvel utiliza registos diários, cronologicamente ordenados, daí que seja preferível a utilização dos registos diários. Na impossibilidade de calcular os valores diários de águas residuais de origem doméstica, optou-se por utilizar registos médios mensais, que sempre oferecem uma melhor discretização deste parâmetro no método dos mínimos móveis.

#### 4.2.1.1 Método do triângulo

A aplicação do método do triângulo exige que se conheça o número de dias de chuva. O registo fornecido pela Águas do Norte indicava a existência, ou não, de precipitação nos vários dias ao longo do ano. Tendo esses registos para os vários anos, embora em 2015 houvesse bastantes dias com registo de caudais afluentes à ETAR em falta (o último registo data de 30 de junho), procedeu-se à aplicação do método, calculando o volume de infiltração e de escoamento direto em cada dia.

Na figura 4.6 apresenta-se o estudo, mais detalhado para o ano de 2009, na figura 4.7 e no quadro 4.4 apresenta-se, a título de exemplo, a aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Nova de Foz Côa nos anos de 2009, 2010 e 2012, bem como os valores médios de todos os anos.

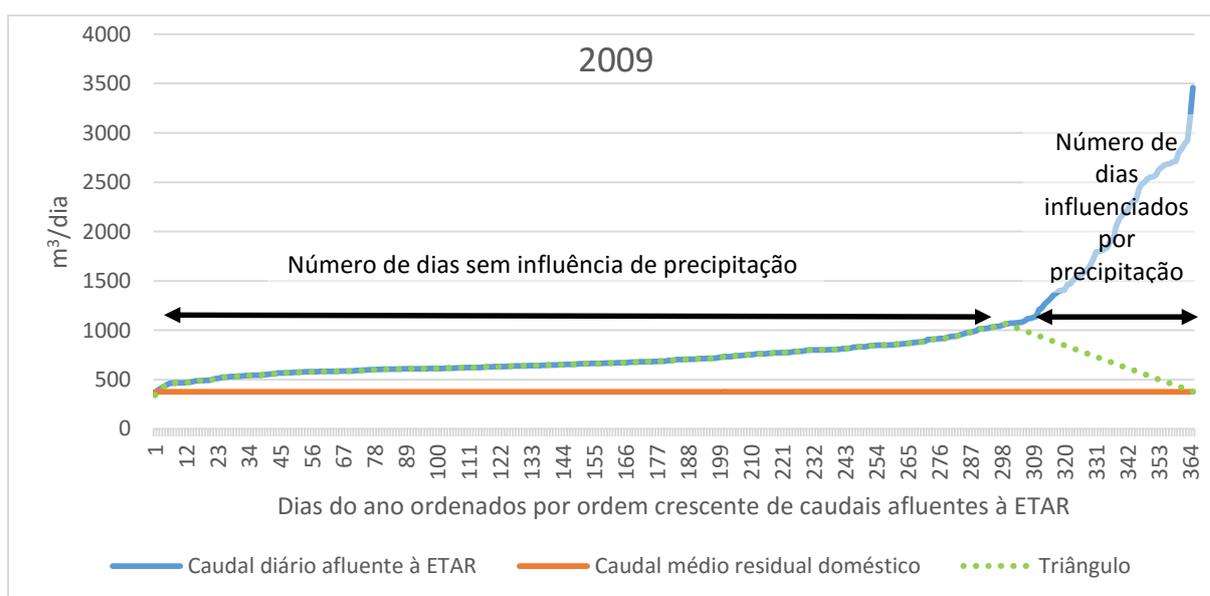


Figura 4.6 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de V. N. de Foz Côa em 2009.

Quadro 4.4 – Resultados obtidos para a ETAR de V. N. de Foz Côa pela aplicação do método do triângulo.

Designação	2009	2010	2012	Média de todos os anos
Volume anual (AA) [m <sup>3</sup> ]	972004	911728	899959	918983**
População concelho [hab]	7548*	7430*	7089*	7372
População ETAR [hab]	2776*	2732*	2607*	2711
Fugas e Perdas	52%	52%	52%	52%
Capitação (AA) [l/(hab dia)]	169.3	161.4	167.0	165.4
F <sub>a</sub> – fator de afluência	0.8	0.8	0.8	0.8
Capitação (AR) [l/(hab dia)]	135.5	129.1	133.6	132.3
Caudal médio diário residual doméstico [m <sup>3</sup> /dia]	376	353	348	357
Volume total afluente à ETAR [m <sup>3</sup> ]	331534	387526	216664	320315**
Volume total de infiltração [m <sup>3</sup> ]	115670	125273	70041	121944**
Volume total de escoamento direto [m <sup>3</sup> ]	78655	134871	20412	68333**
Volume total de afluências indevidas [m <sup>3</sup> ]	194325	260144	90453	190277**
Afluências indevidas no volume total [%]	59%	67%	42%	59%
Dias de precipitação no ano [%]	18%	27%	9%	18%

\* Valores estimados por extrapolação de tendências.

\*\* Apenas foram considerados os anos com registos das afluências à ETAR completos.

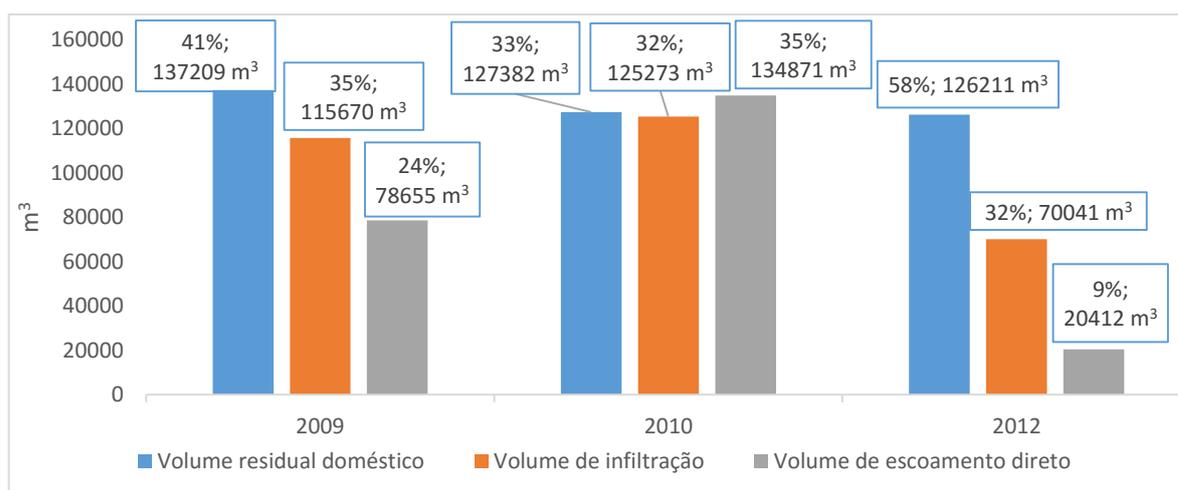


Figura 4.7 – Volumes afluente à ETAR de V. N. de Foz Côa, em vários anos, segundo a aplicação do método do triângulo.

Da aplicação do método do triângulo à ETAR de Vila Nova de Foz Côa podemos concluir que, nos anos apresentados, as afluências indevidas apresentam um volume superior ao caudal

residual doméstico/industrial, representando, em 2009, 59% do volume afluente à ETAR, com um valor de 194 325 m<sup>3</sup>. Destes 115 670 m<sup>3</sup> (35%) são infiltração direta e indireta e 78 655 m<sup>3</sup> (24%) são escoamento direto. No ano de maior percentagem de afluências indevidas à ETAR de Vila Nova de Foz Côa, em 2010, 67% do volume afluente correspondem a afluências indevidas, com um valor de 260 144 m<sup>3</sup>, sendo que destas 125 273 m<sup>3</sup> (32%) são infiltração direta e indireta e 134 871 m<sup>3</sup> (35%) são escoamento direto. No ano de menor percentagem de afluências indevidas à ETAR de Vila Nova de Foz Côa, em 2012, 42% do volume afluente correspondem a afluências indevidas, com um valor de 90 453 m<sup>3</sup>, sendo que destas 70 041 m<sup>3</sup> (32%) são infiltração direta e indireta e 20 412 m<sup>3</sup> (9%) são escoamento direto.

#### 4.2.1.2 Método do mínimo móvel

À semelhança do estudo de caso anterior, a variabilidade das afluências à ETAR, ao longo do ano, é bastante grande, dependendo em grande parte das estações do ano em que se encontra. Como observável no gráfico correspondente aos caudais diários, figura 4.8, existe uma maior afluência de caudais totais nos meses das estações mais chuvosas (entre Outubro e Março), com picos de afluência em que o caudal pode ser até 7 vezes superior ao caudal de um dia das estações secas, e uma menor afluência de caudais de origem doméstica. Nos restantes meses verificam-se menores afluências dos caudais totais mas maiores afluências de caudais residuais de origem doméstica, quando comparados com o período anterior.

Na figura 4.8 e quadro 4.5 apresenta-se o estudo, mais detalhado, para o ano de 2009, na figura 4.9 e no quadro 4.6 apresenta-se, a título de exemplo, a aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Nova de Foz Côa nos anos de 2009, 2010 e 2012, bem como os valores médios de todos os anos.

Quadro 4.5 – Dados recolhidos e capitações obtidas em 2009 para a ETAR de Foz Côa.

Mês	Volumes mensais (AA) [m <sup>3</sup> ]	População concelho [hab]	Fugas e Perdas	Capitação (AA) [l/(hab dia)]	Capitação (AR) [l/(hab dia)]	Caudal médio diário residual doméstico [m <sup>3</sup> /dia]
Janeiro	63005	7548*	52%	129.2	103.4	287
Fevereiro	58470			132.8	106.2	295
Março	74160			152.1	121.7	338
Abril	82343			174.5	139.6	388
Maio	84151			172.6	138.1	383
Junho	88409			187.4	149.9	416
Julho	112413			230.6	184.5	512
Agosto	112891			231.6	185.3	514
Setembro	97077			205.8	164.6	457
Outubro	75319			154.5	123.6	343
Novembro	62584			132.7	106.1	295
Dezembro	61182			125.5	100.4	279

\*Valores estimados por extrapolação de tendências.

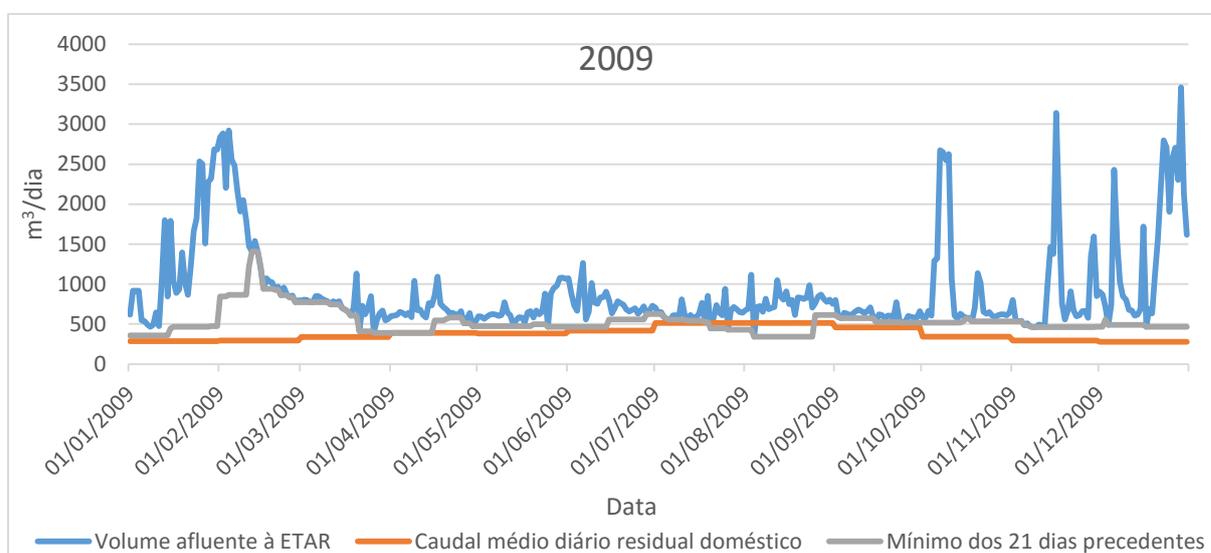


Figura 4.8 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de V. N. de Foz Côa em 2009.

Quadro 4.6 – Resultados obtidos para a ETAR de V. N. de Foz Côa pela aplicação do método do mínimo móvel.

Designação	2009	2010	2012	Média de todos os anos
Volume total afluente à ETAR [m <sup>3</sup> ]	331534	387526	216664	320315**
Volume total de infiltração [m <sup>3</sup> ]	60952	89870	27796	72197**
Volume total de escoamento direto [m <sup>3</sup> ]	133655	172693	67425	120098**
Volume total de afluições indevidas [m <sup>3</sup> ]	194607	262563	95221	192296**
Afluições indevidas no volume total [%]	59%	68%	44%	59%
Dias de precipitação no ano [%]	18%	27%	9%	18%

\*\* Apenas foram considerados os anos com registos das afluições à ETAR completos.

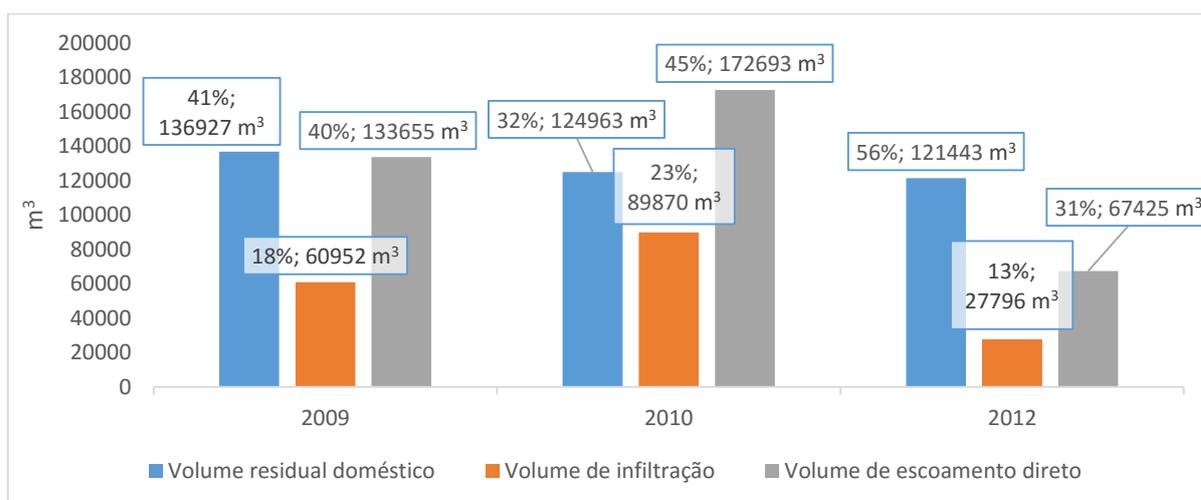


Figura 4.9 – Volumes afluentes à ETAR de V. N. de Foz Côa, em vários anos, segundo a aplicação do método do mínimo móvel.

Da aplicação do método do mínimo móvel à ETAR de V. N. de Foz Côa podemos concluir que, no ano de 2009, as afluições indevidas apresentam um volume superior ao caudal residual doméstico/industrial, exceto no ano de 2012, representando 59% do volume afluente à ETAR, com um valor de 194 607 m<sup>3</sup>, valor que é coincidente com o do método do triângulo. No entanto, com este método, os valores da infiltração direta e indireta e do escoamento direto são diferentes, apresentando valores de 60 952 m<sup>3</sup> (23%) para as infiltrações direta e indireta e 133 655 m<sup>3</sup> (40%) para o escoamento direto. No ano de maior percentagem de afluições indevidas à ETAR de V. N. de Foz Côa, em 2010, 68% do volume afluente correspondem a afluições indevidas, com um valor de 262 563 m<sup>3</sup>, sendo que destas 89 870 m<sup>3</sup> (23%) são infiltração direta e indireta e 172 693 m<sup>3</sup> (45%) são escoamento direto. No ano de menor percentagem de afluições indevidas à ETAR de V. N. de Foz Côa, em 2012, 44% do volume afluente correspondem a afluições indevidas, excedendo em 2% os resultados obtidos pelo método do triângulo para o mesmo ano, com um valor de 95 221 m<sup>3</sup>, sendo que destas 27 796 m<sup>3</sup> (13%) são infiltração e 67 425 m<sup>3</sup> (31%) são escoamento direto.

#### 4.2.1.3 Comparação de resultados

De seguida, apresentam-se os resultados obtidos por ambos os métodos, na figura 4.10, para a ETAR de V. N. de Foz Côa, ao longo dos vários anos estudados, bem como a percentagem de dias de chuva em cada ano, com o propósito de este servir de um indicador da influência das precipitações na ocorrência das afluições indevidas.

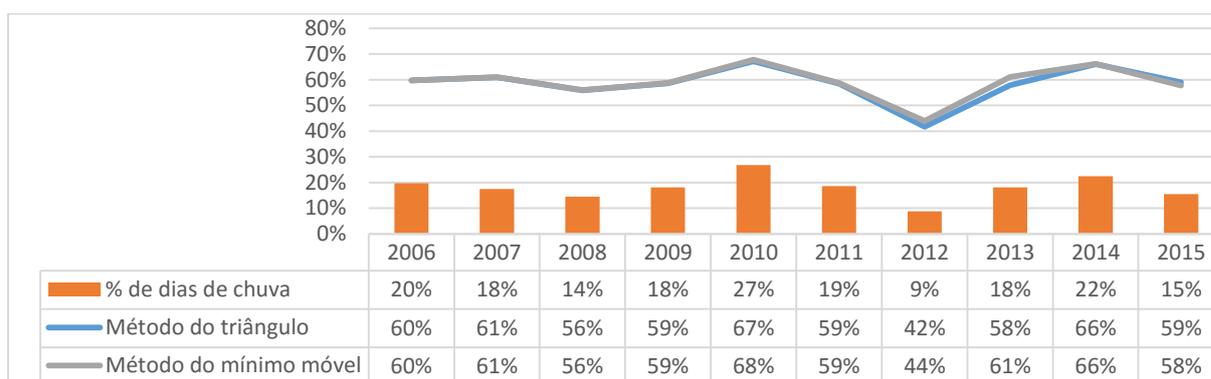


Figura 4.10 – Resultados obtidos na determinação das afluições indevidas à ETAR de Vila Nova de Foz Côa pela aplicação dos diferentes métodos.

Observados os resultados, compreende-se que ambos os métodos fornecem resultados muito semelhantes quanto ao total das afluições indevidas (ignorando a sua origem) que afluem à ETAR, sendo que a divergência máxima verificada é de 3% no ano de 2013.

Nota-se, imediatamente, uma grande variação da parcela de afluições indevidas, em contraste com a rede do caso anterior, ao longo dos anos: a amplitude dessa parcela é de cerca de 24% para o método do mínimo móvel e de 25% para o método do triângulo (no caso do método do mínimo móvel a variação das afluições é mais do dobro da amplitude verificada pelo método do mínimo móvel para o caso de Mirandela).

### 4.3 Estudo de caso de Bragança

No estudo de caso de Bragança procurou-se quantificar as afluições indevidas à ETAR de Bragança que, segundo a Águas do Norte, servia 23834 habitantes em 2007. Desconhece-se o comprimento total da rede de drenagem residual que serve a sede do concelho mas sabe-se que esta é de tipologia pseudo-separativa.

No caso particular de Bragança teve-se acesso ao registo dos caudais diários afluentes à ETAR mas também dos registos dos caudais fornecidos pela ETA que serve a sede de concelho (dados fornecidos pela Câmara Municipal de Bragança), desde 1 de Abril de 2006 a 30 de Junho de 2015. No entanto houve alguns dias sem registos, devido a avarias das instalações elevatórias da ETA, para além outros motivos desconhecidos: em 2007 faltam registos de dois dias, em 2011 os trinta dias de Junho e em 2014 os trinta e um dias de Outubro.

As populações servidas pela ETA e ETAR de Bragança podem não ser, na realidade, exatamente as mesmas mas, ao contrário dos casos anteriores em que se conheciam os volumes mensais de abastecimento de água para o concelho, neste caso conhecem-se os volumes diários fornecidos para a sede do concelho de Bragança. Estes dados relativos à ETA de Bragança, têm duas vantagens muito importantes: por um lado permitem a definição dos padrões de consumo de água (capitação) da população urbana, enquanto nos casos anteriores, eram abrangidas, não

só a população da sede de concelho, mas também todas as outras freguesias adulterando, porventura, os valores das capitações. Por outro lado, dispôs-se de registos diários, que permitem uma discretização diária do consumo de água, o que aumenta a certeza dos resultados do método do mínimo móvel.

Quanto ao estudo da população, não havendo registos da população servida e ligada à ETAR, exceto para o ano de 2007, determinou-se a população das freguesias pertencentes à sede de concelho e abrangidas pela ETAR, recorrendo aos Censos efetuados pelo INE, e de seguida chegou-se à conclusão que a população, das respetivas freguesias, servida em 2007 por essa ETAR correspondia a 91,2% da sua população total. Partindo do princípio que as infraestruturas da rede de drenagem eram as mesmas nos restantes anos para os quais se possuem registos, determinou-se, por estimativa, a população servida e ligada à ETAR, desde 2006 a 2015.

De maneira a se prosseguir o estudo, admitiu-se que a percentagem de fugas e perdas de abastecimento de água para as freguesias pertencentes à sede de concelho e abrangidas pela ETAR, eram as iguais às percentagens de fugas e perdas referentes a todo o concelho, representando estas o valor de cerca de 52%, segundo a ERSAR, em Addition Lda., (2015). Estimaram-se, assim, as capitações de abastecimento de água diárias, baseadas em registos diários, o que permitiu a determinação das capitações de águas residuais diárias, multiplicando as primeiras por um fator de afluência, com o valor de 0,8 como sugerido pelo RGSPDADAR.

Tal como no estudo de caso de Mirandela e V. N. de Foz Côa, o método do triângulo utiliza o valor médio do caudal residual de origem doméstica sendo, por isso, de maior interesse a avaliação das capitações diárias, baseadas em volumes anuais. Também, neste caso, na aplicação do método do mínimo móvel utilizam-se registos diários, cronologicamente ordenados, daí que seja preferível a utilização dos registos diários. Ao contrário dos casos anteriores, como já foi dito, dispôs-se dos padrões diários de consumo, possibilitando a utilização do caudal residual médio diário, baseado em registos diários.

#### *4.3.1.1 Método do triângulo*

A aplicação do método do triângulo exige que se conheça o número de dias de chuva. O registo fornecido pela Águas do Norte indicava a existência, ou não, de precipitação nos vários dias ao longo dos diversos anos. Possuindo esses registos para os vários anos, embora em 2006 (registos dos três primeiros meses do ano em falta) e em 2015 (o último registo data de 30 de junho) houvesse bastantes dias com registo dos caudais afluentes à ETAR em falta, procedeu-se à aplicação do método, calculando o volume de infiltração e de escoamento direto em cada dia.

Na figura 4.11 apresenta-se o estudo mais detalhado para o ano de 2009, na figura 4.12 e no quadro 4.7 apresenta-se, a título de exemplo, a aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Bragança nos anos de 2009, 2010 e 2012, bem como os valores médios de todos os anos.

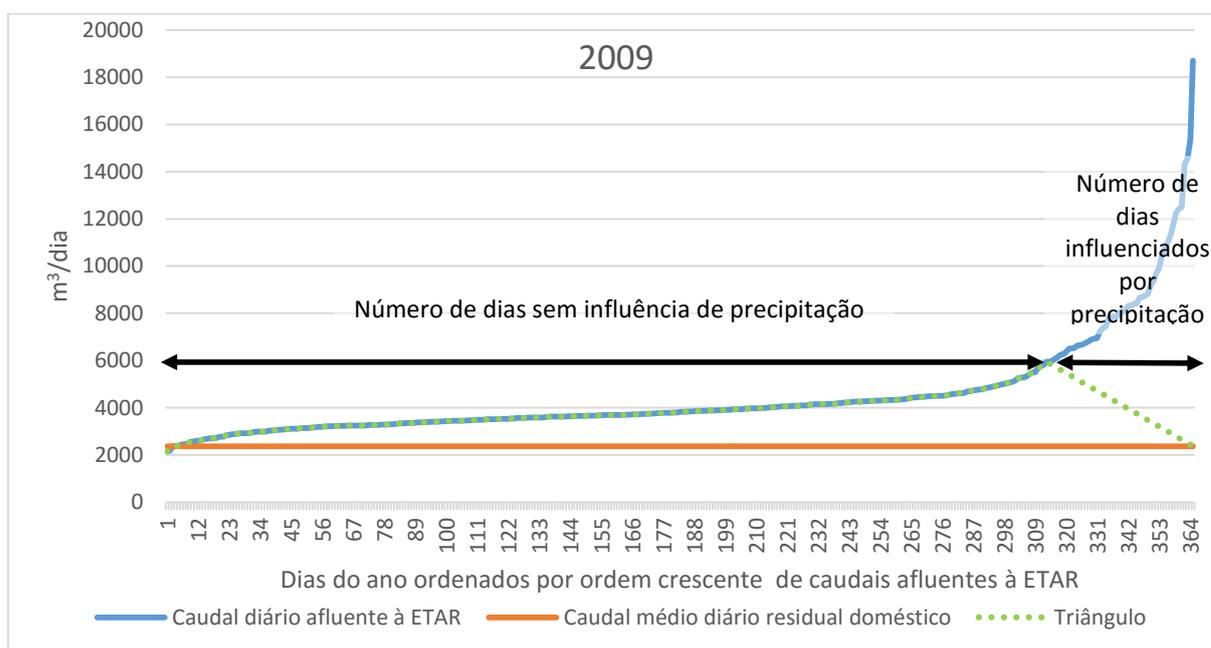


Figura 4.11 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Bragança em 2009.

Quadro 4.7 – Resultados obtidos para a ETAR de Bragança pela aplicação do método do triângulo.

Designação	2009	2010	2012	Média de todos os anos
Volume anual (AA) [m <sup>3</sup> ]	2491984	2594308	2251453	2392737**
População ETA [hab]	26534*	26738*	27347*	26866
População ETAR [hab]	23834*	24394*	24949*	24510
Fugas e Perdas	52%	52%	52%	52%
Capitação (AA) [l/(hab dia)]	122.7	126.8	107.3	117.1
F <sub>a</sub> – fator de afluência	0.8	0.8	0.8	0.8
Capitação (AR) [l/(hab dia)]	98.2	101.4	85.8	93.7
Caudal médio diário residual doméstico [m <sup>3</sup> /dia]	2377	2474	2142	2289
Volume total afluente à ETAR [m <sup>3</sup> ]	1633820	2295659	1432747	1762569**
Volume total de infiltração [m <sup>3</sup> ]	524860	894175	529378	637533**
Volume total de escoamento direto [m <sup>3</sup> ]	241822	498322	119550	292125**
Volume total de afluências indevidas [m <sup>3</sup> ]	766681	1392497	648928	929658**
Afluências indevidas no volume total [%]	47%	61%	45%	53%
Dias de precipitação no ano [%]	14%	18%	16%	16%

\*Valores estimados por extrapolação de tendências.

\*\* Apenas foram considerados os anos com registos das afluições à ETAR completos.

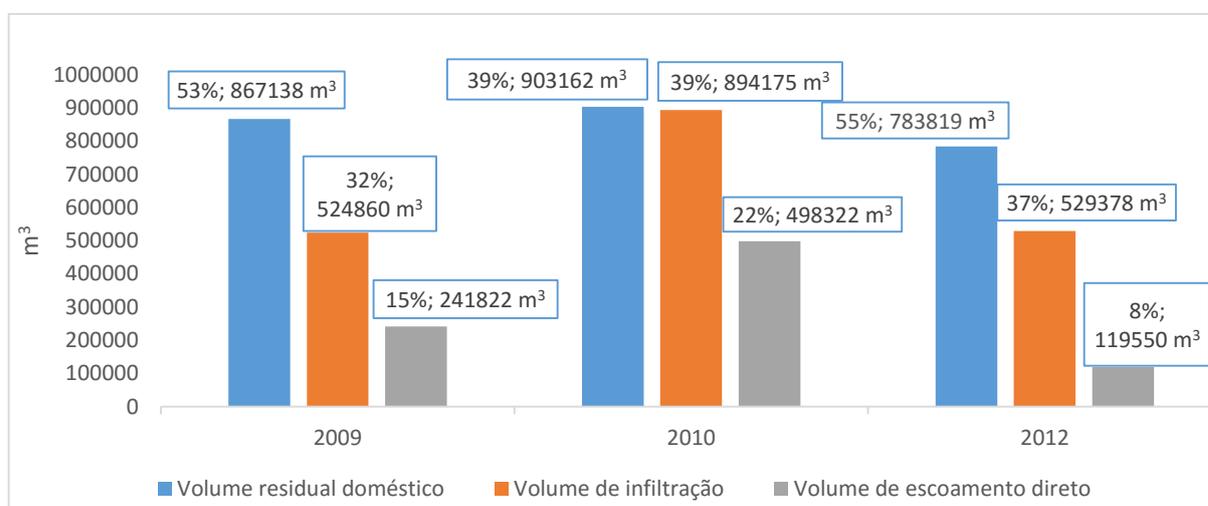


Figura 4.12 – Volumes afluentes à ETAR de Bragança, em vários anos, segundo a aplicação do método do triângulo.

Da aplicação do método do triângulo à ETAR de Bragança podemos concluir que, nos anos apresentados, as afluições indevidas apresentam um volume inferior ao caudal residual doméstico/industrial, exceto no ano de 2010, representando, em 2009, 47% do volume afluente à ETAR, com um valor de 766 681 m<sup>3</sup>. Destes 524 860 m<sup>3</sup> (32%) são infiltração direta e indireta e 241 822 m<sup>3</sup> (15%) são escoamento direto. No ano de maior percentagem de afluições indevidas à ETAR de Bragança, em 2010, 61% do volume afluente corresponde a afluições indevidas, com um valor de 1 392 497 m<sup>3</sup>, sendo que destas 894 175 m<sup>3</sup> (39%) são infiltração direta e indireta e 498 322 m<sup>3</sup> (22%) são escoamento direto. No ano de menor percentagem de afluições indevidas à ETAR de Bragança, em 2012, 45% do volume afluente corresponde a afluições indevidas, com um valor de 648 928 m<sup>3</sup>, sendo que destas 529 378 m<sup>3</sup> (37%) são infiltração direta e indireta e 119 550 m<sup>3</sup> (8%) são escoamento direto.

#### 4.3.1.2 Método do mínimo móvel

Tal como anteriormente, constatou-se que a variabilidade das afluições indevidas à ETAR, ao longo do ano, é bastante grande, dependendo em grande parte das estações do ano em que se encontra. Como observável no gráfico correspondente aos caudais diários, figura 4.15, existe uma maior afluência de caudais totais nos meses das estações mais chuvosas (entre Outubro e Junho), com picos de afluência em que o caudal pode ser até cerca de 9 vezes superior ao caudal de um dia das estações secas, e uma menor afluência de caudais de origem doméstica. Nos restantes meses verificam-se menores afluições dos caudais totais mas maiores afluições de caudais residuais de origem doméstica.

Nas figuras 4.13, 4.14 e 4.15 apresenta-se o estudo mais detalhado para o ano de 2009, na figura 4.16 e no quadro 4.8 apresenta-se, a título de exemplo, a aplicação do método do mínimo móvel

para os caudais afluentes à ETAR de Bragança nos anos de 2009, 2010 e 2012, bem como os valores médios de todos os anos.

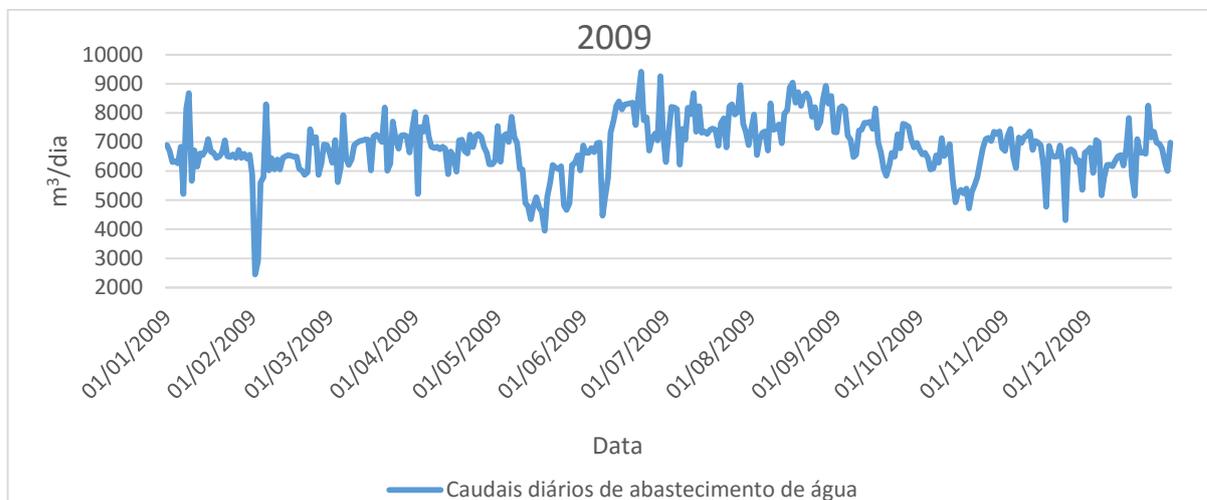


Figura 4.13 – Caudais diários distribuídos pela ETA de Bragança em 2009.

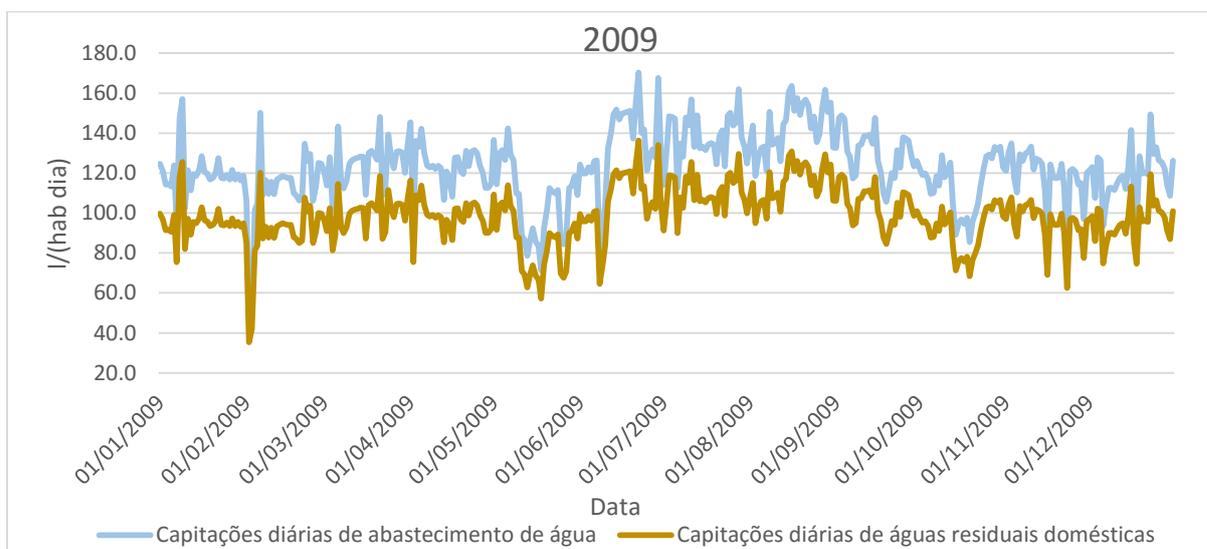


Figura 4.14 – Capitações referentes à população da cidade de Bragança em 2009.

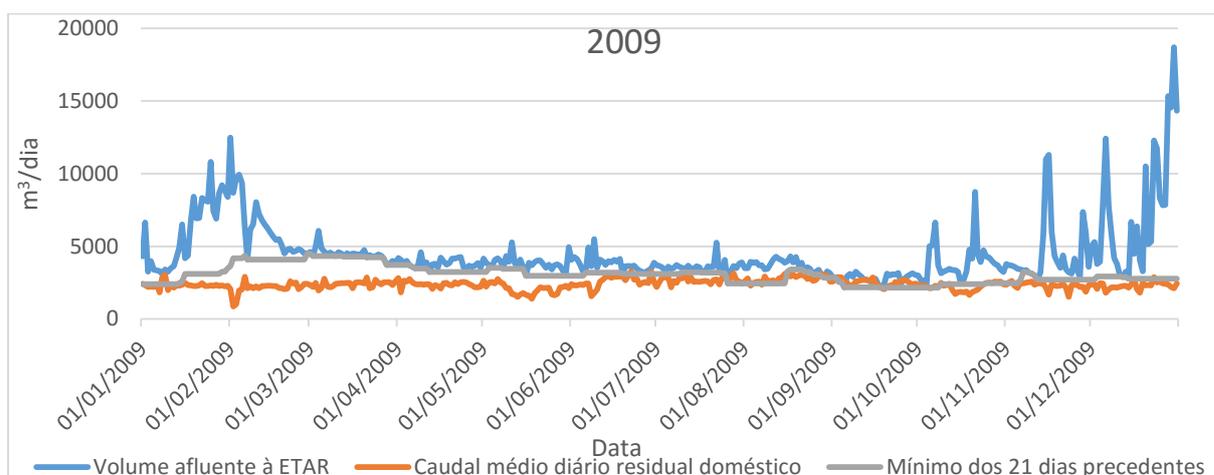


Figura 4.15 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Bragança em 2009.

Quadro 4.8 – Resultados obtidos para a ETAR de Bragança pela aplicação do método do mínimo móvel.

Designação	2009	2006	2012	Média de todos os anos
Volume total afluente à ETAR [m <sup>3</sup> ]	1633820	2295659	1432747	1762569**
Volume total de infiltração [m <sup>3</sup> ]	260853	556398	325678	394250**
Volume total de escoamento direto [m <sup>3</sup> ]	501993	830436	318317	530759**
Volume total de afluências indevidas [m <sup>3</sup> ]	762846	1386834	643996	925009**
Afluências indevidas no volume total [%]	47%	60%	45%	53%
Dias de precipitação no ano [%]	14%	18%	16%	16%

\*\* Apenas foram considerados os anos com registos das afluências à ETAR completos.

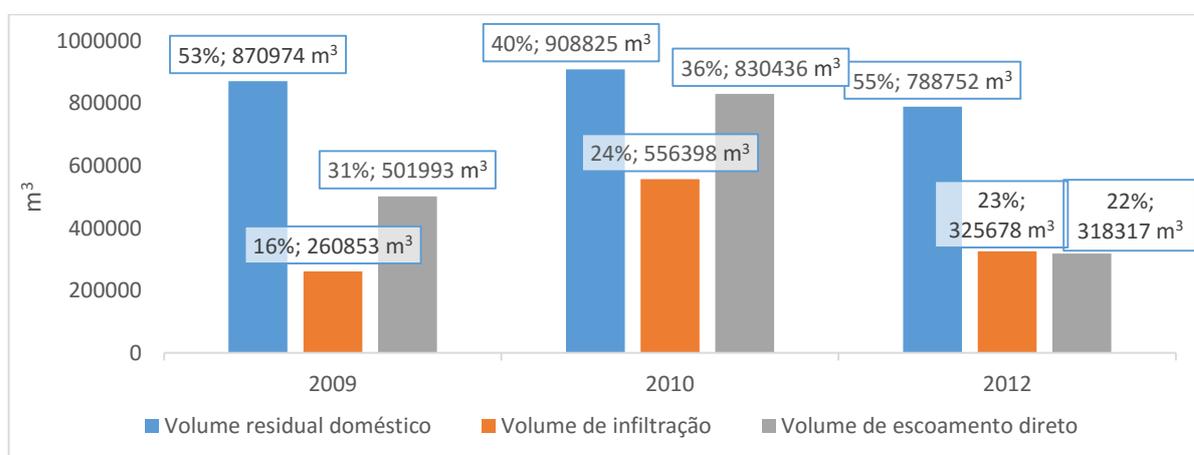


Figura 4.16 – Volumes afluentes à ETAR de Bragança, em vários anos, segundo a aplicação do método do mínimo móvel.

Da aplicação do método do mínimo móvel à ETAR de Bragança podemos concluir que, no ano de 2009, as afluições indevidas apresentam um volume inferior ao caudal residual doméstico/industrial, exceto no ano de 2010, representando 47% do volume afluyente à ETAR, com um valor de 762 846 m<sup>3</sup>. No entanto, com este método, os valores da infiltração direta e indireta e do escoamento direto são diferentes, apresentando valores de 260 853 m<sup>3</sup> (16%) para as infiltrações direta e indireta e 501 993 m<sup>3</sup> (31%) para o escoamento direto.

No ano de maior percentagem de afluições indevidas à ETAR de Bragança, em 2010, 60% do volume afluyente corresponde a afluições indevidas, com um valor de 1 386 834 m<sup>3</sup>, valor que difere com o do método do triângulo (61%), sendo que destas 556 398 m<sup>3</sup> (24%) são infiltração direta e indireta e 830 436 m<sup>3</sup> (36%) são escoamento direto.

No ano de menor percentagem de afluições indevidas à ETAR de Bragança, em 2012, 45% do volume afluyente correspondem a afluições indevidas, com um valor de 643996 m<sup>3</sup>, sendo que destas 325678 m<sup>3</sup> (23%) são infiltração direta e indireta e 318317 m<sup>3</sup> (22%) são escoamento direto.

#### 4.3.1.3 Comparação de resultados

De seguida, apresentam-se os resultados obtidos por ambos os métodos, na figura 4.17, para a ETAR de Bragança, ao longo dos vários anos estudados, bem como a percentagem de dias de chuva em cada ano, com o propósito de ser um indicador da influência das precipitações na ocorrência das afluições indevidas.

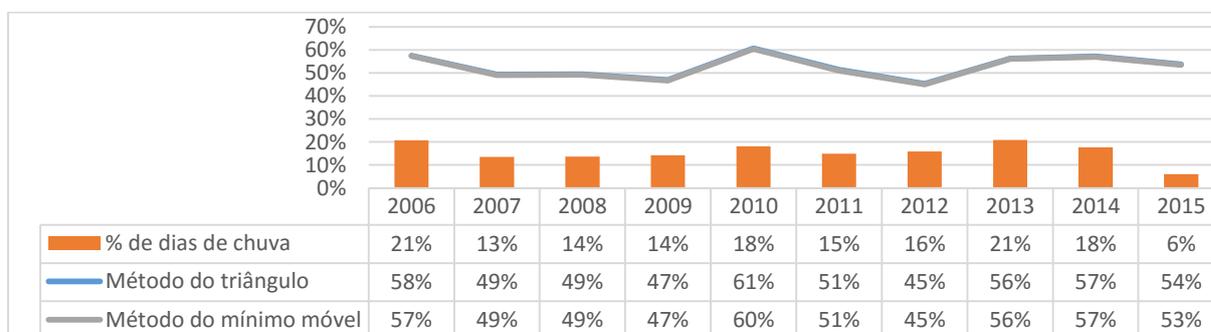


Figura 4.17 – Resultados obtidos na determinação das afluições indevidas à ETAR de Bragança pela aplicação dos diferentes métodos.

Perante estes resultados, observa-se que ambos os métodos fornecem resultados muito semelhantes quanto ao total das afluições indevidas, sendo que a divergência entre os métodos é de apenas 1% nos anos de 2006, 2011 e 2015, e que o primeiro e último ano do período analisado têm 4 meses e 6 meses de registos em falta. Consideram-se os resultados bastante semelhantes e, por isso, satisfatórios. A amplitude da porção de afluições indevidas é de cerca de 15% para o método do mínimo móvel e 16% para o método do triângulo.

Ainda assim, considera-se que as infiltrações estão relativamente controladas pois, no pior dos casos, estas representam cerca de 39% do total dos caudais afluentes à ETAR em 2010, pelo método do triângulo que constitui a abordagem mais pessimista, e, segundo o método do mínimo móvel, estas correspondem a apenas 24% do total, no mesmo ano.

Quanto às afluições por escoamento direto, é normal que estas apresentem valores consideráveis de 15% pelo método do triângulo e de 31% pelo método do mínimo móvel, pois esta rede tem, também, a função de drenar uma porção dos caudais pluviais, por ser de natureza pseudo-separativa.

#### **4.4 Estudo de caso de Vila Real**

No caso de Vila Real, estudaram-se as afluições à ETAR de Vila Real que, segundo a Águas do Norte, servia 28989 habitantes em 2007. A rede que aflui a esta estação de tratamento tem, no total do comprimento dos coletores que a constituem, cerca de 154 km, no entanto desconhece-se a sua tipologia. Perante o registo dos caudais diários afluentes à ETAR, desde 1 de Janeiro de 2005 a 30 de Junho de 2015, procedeu-se ao estudo das afluições de origem doméstica dos domicílios servidos pela respetiva rede.

Em primeiro lugar, tornou-se necessário determinar a população servida. Não havendo registos da população servida e ligada à ETAR, excetuando o ano de 2007, como já foi referido, tornou-se necessário determinar a população total do concelho recorrendo aos Censos efetuados pelo INE. Tendo efetuado esse estudo chegou-se à conclusão que a população do concelho servida em 2007 correspondia a 56,7% da sua população total. Deste modo, e partindo do princípio que as infraestruturas da rede de drenagem eram as mesmas nos restantes anos dos registos possuídos, determinou-se por estimativa a população servida e ligada à ETAR, desde 2005 a 2015.

Neste caso particular, a entidade gestora em “baixa” (EMAR), é responsável pela distribuição de água do concelho, sendo que uma parte desse volume distribuído é originário de fontes próprias de captação e outra parcela é adquirida à entidade gestora em “alta” Águas do Norte. A EMAR é também responsável pela rede de drenagem que aflui à ETAR de Vila Real, esta última sob gestão da Águas do Norte.

A EMAR disponibilizou, então, estimativas dos volumes mensais de abastecimento, desde 2009 a 2015, à população servida pela rede de drenagem simplificando assim o processo de determinação das capitações da cidade de Vila Real. Com os dados da ERSAR, relativos à percentagem de fugas e perdas no concelho (34%), disponibilizados em Addition Lda., (2015), calculou-se então a capitação diária de abastecimento de água, para cada mês e para cada ano. Como não se conheciam os registos mensais de volumes de abastecimento de água nos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008, procedeu-se a uma estimativa da capitação diária anual, por

interpolação linear, ao invés de se determinar a capitação diária mensal conforme se efetuou nos restantes anos.

Conhecendo as capitações de abastecimento de água, podem determinar-se as capitações de águas residuais, multiplicando as primeiras por um fator de afluência, com o valor de 0,8 conforme sugerido pelo RGSPDADAR.

O método do triângulo utiliza o valor médio do caudal residual de origem doméstica, para a obtenção dos volumes de afluências indevidas sendo, por isso, de maior interesse a avaliação das capitações diárias, baseadas em volumes anuais, enquanto o método do mínimo móvel utiliza registos diários, cronologicamente ordenados, daí que seja preferível a utilização dos registos diários. Na impossibilidade de calcular os valores diários de águas residuais de origem doméstica, optou-se por utilizar registos médios mensais, que sempre oferecem uma melhor discretização deste parâmetro no método dos mínimos móveis.

#### 4.4.1.1 Método do triângulo

A aplicação do método do triângulo requer que se conheça o número de dias de chuva. O registo fornecido pela entidade gestora da ETAR indicava a existência, ou não, de precipitação em cada dia. Tendo esses registos para os vários anos, procedeu-se à aplicação do método, calculando o volume de infiltração e de escoamento direto em cada dia.

Na figura 4.18 apresenta-se o estudo mais detalhado para o ano de 2009, na figura 4.19 e no quadro 4.9 apresenta-se, a título de exemplo, a aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real nos anos de 2005, 2009 e 2010, bem como os valores médios de todos os anos.

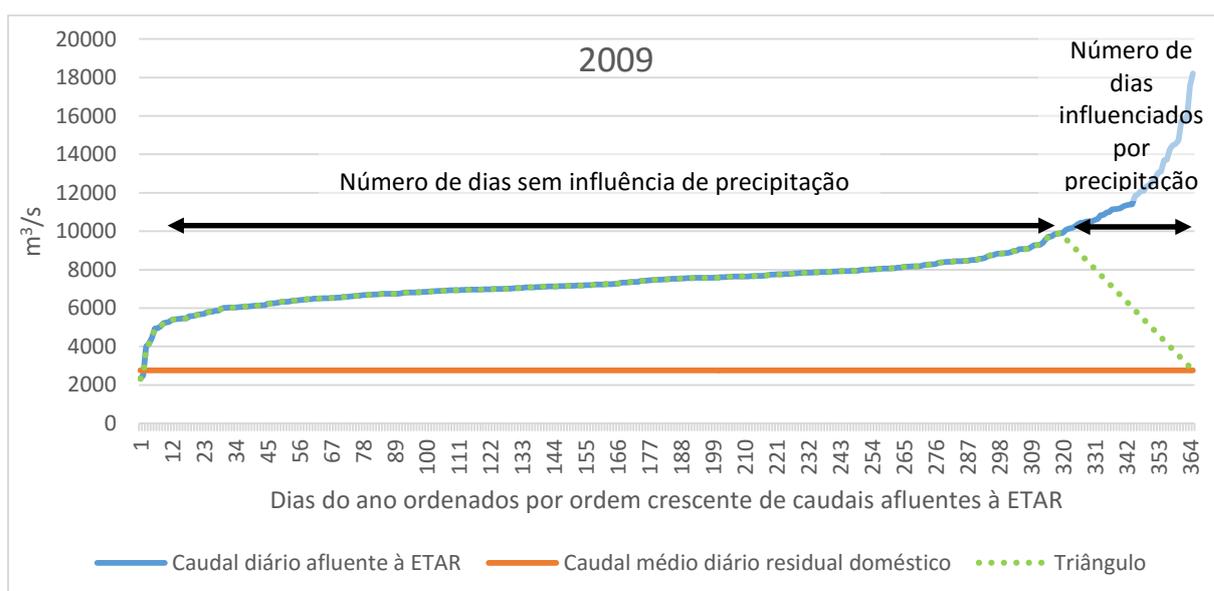


Figura 4.18 – Aplicação do método do triângulo para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real em 2009.

Quadro 4.9 – Resultados obtidos para a ETAR de Vila Real pela aplicação do método do triângulo.

Designação	2009	2010	2005	Média de todos os anos
Volume anual (AA) [m <sup>3</sup> ]	1917770	1975373	-	1914841**
População AA/ETAR [hab]	29204*	29311*	28774*	29333
Fugas e Perdas	34%	34%	34%	34%
Capitação (AA) [l/(hab dia)]	118.0	121.1	125.5*	118.74
F <sub>a</sub> – fator de afluência	0.8	0.8	0.8	0.8
Capitação (AR) [l/(hab dia)]	94.4	96.9	100.4	95.0
Caudal médio diário residual doméstico [m <sup>3</sup> /dia]	2757	2840	2889	2790
Volume total afluente à ETAR [m <sup>3</sup> ]	2873901	3119877	2432549	2793376**
Volume total de infiltração [m <sup>3</sup> ]	1594966	1562004	1243278	1454670**
Volume total de escoamento direto [m <sup>3</sup> ]	273230	521208	134928	318077**
Volume total de afluências indevidas [m <sup>3</sup> ]	1868197	2083212	1378206	1772748**
Afluências indevidas no volume total [%]	65%	67%	57%	63%
Dias de precipitação no ano [%]	13%	23%	10%	16%

\*Valores estimados por extrapolação de tendências.

\*\*Apenas foram considerados os anos com registos das afluências à ETAR completos.

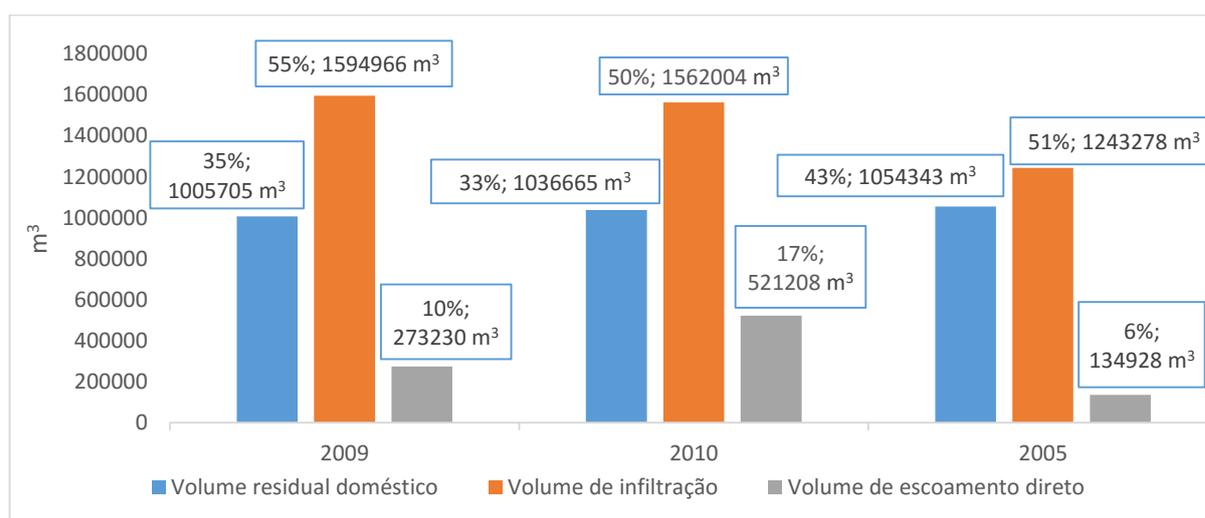


Figura 4.19 – Volumes afluente à ETAR de Vila Real, em vários anos, segundo a aplicação do método do triângulo.

Da aplicação do método do triângulo à ETAR de Vila Real podemos concluir que, nos anos apresentados, as afluências indevidas apresentam um volume superior ao caudal residual

doméstico/industrial, exceto no ano de 2010, representando, em 2009, 65% do volume afluente à ETAR, com um valor de 1 868 197 m<sup>3</sup>. Destes 1 594 966 m<sup>3</sup> (55%) são infiltração direta e indireta e 273 230 m<sup>3</sup> (10%) são escoamento direto. No ano de maior percentagem de afluições indevidas à ETAR de Vila Real, em 2010, 67% do volume afluente corresponde a afluições indevidas, com um valor de 2 083 212 m<sup>3</sup>, sendo que destas 1 562 004 m<sup>3</sup> (50%) são infiltração direta e indireta e 521 208 m<sup>3</sup> (17%) são escoamento direto. No ano de menor percentagem de afluições indevidas à ETAR de Vila Real, em 2005, 57% do volume afluente corresponde a afluições indevidas, com um valor de 1 378 206 m<sup>3</sup>, sendo que destas 1 243 278 m<sup>3</sup> (51%) são infiltração direta e indireta e 134 928 m<sup>3</sup> (6%) são escoamento direto.

#### 4.4.1.2 Método do mínimo móvel

Na aplicação do método do mínimo móvel, discretizaram-se ao máximo possível as capitações de abastecimento de água, calculando as capitações diárias, para cada mês, de modo a fornecerem aproximações mais realistas para os caudais residuais de origem doméstica, em vez de capitações baseadas em volumes anuais.

Como observável, a variabilidade das afluições indevidas à ETAR, figura 4.20, ao longo do ano, é bastante grande, dependendo em grande parte das estações do ano em que se encontra. No gráfico correspondente aos caudais diários, existe uma maior afluição de caudais totais nos meses das estações mais chuvosas (entre Outubro e Março), com picos de afluição em que o caudal pode ser até cerca de 4 a 5 vezes superior ao caudal de um dia das estações secas, sendo que nos restantes meses verificam-se menores volumes de afluições totais.

Ao contrário dos casos anteriores, não se pode afirmar, com clareza, que os caudais residuais de origem doméstica (dependentes do consumo de água de abastecimento) têm um aumento nos meses mais secos, embora, caso se exclua o mês de Janeiro deste ano da análise, o padrão de afluições residuais domésticas se assemelhe ao dos casos anteriores.

Na figura 4.20 e quadro 4.10 apresenta-se o estudo mais detalhado para o ano de 2009, na figura 4.21 e no quadro 4.11 apresenta-se, a título de exemplo, a aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real nos anos de 2005, 2009 e 2010, bem como os valores médios de todos os anos.

Quadro 4.10 – Dados recolhidos e capitações obtidas em 2009 para a ETAR de Vila Real.

Mês	Volumes mensais (AA) [m <sup>3</sup> ]	População concelho [hab]	Fugas e Perdas	Capitação (AA) [l/(hab dia)]	Capitação (AR) [l/(hab dia)]	Caudal médio diário residual doméstico [m <sup>3</sup> /dia]
Janeiro	188106	29204*	34%	136.3	109.0	3184
Fevereiro	95009			76.2	61.0	1781
Março	153171			111.0	88.8	2593
Abril	179836			134.7	107.7	3146
Maio	182998			132.6	106.1	3098
Junho	163158			122.2	97.7	2854
Julho	173399			125.6	100.5	2935
Agosto	172174			124.8	99.8	2915
Setembro	174222			130.5	104.4	3048
Outubro	151091			109.5	87.6	2558
Novembro	142033			106.3	85.1	2485
Dezembro	142573			103.3	82.6	2414

\*Valores estimados por extrapolação de tendências.

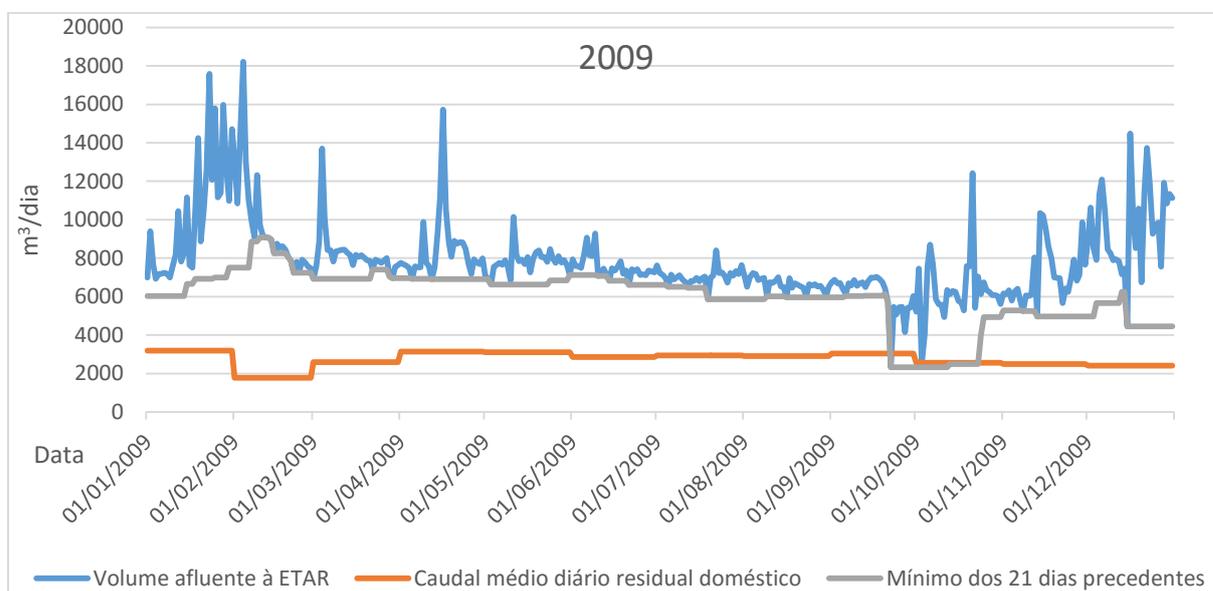


Figura 4.20 – Aplicação do método do mínimo móvel para os caudais afluentes à ETAR de Vila Real em 2009.

Quadro 4.11 – Resultados obtidos para a ETAR de Vila Real pela aplicação do método do mínimo móvel.

Designação	2009	2010	2005	Média de todos os anos
Volume total afluente à ETAR [m <sup>3</sup> ]	2873901	3119877	2432549	2793376**
Volume total de infiltração [m <sup>3</sup> ]	1196862	1221721	1027050	1238130**
Volume total de escoamento direto [m <sup>3</sup> ]	671387	861480	351149	534858**
Volume total de afluentes indevidas [m <sup>3</sup> ]	1868248	2083201	1378199	1772988**
Afluências indevidas no volume total [%]	65%	67%	57%	63%
Dias de precipitação no ano [%]	13%	23%	10%	16%

\*\* Apenas foram considerados os anos com registos das afluentes à ETAR completos.

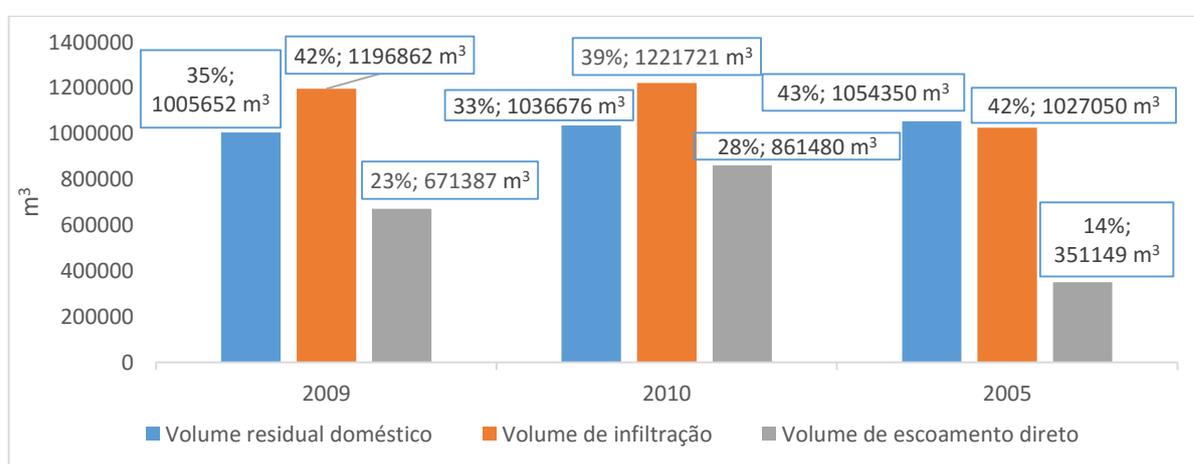


Figura 4.21 – Volumes afluente à ETAR de Vila Real, em vários anos, segundo a aplicação do método do mínimo móvel.

Da aplicação do método do mínimo móvel à ETAR de Vila Real podemos concluir que, no ano de 2009, as afluentes indevidas apresentam um volume superior ao caudal residual doméstico/industrial, representando 65% do volume afluente à ETAR, com um valor de 1868248 m<sup>3</sup>. No entanto, com este método, os valores da infiltração direta e indireta e do escoamento direto são diferentes, apresentando valores de 1196862 m<sup>3</sup> (42%) para as infiltrações direta e indireta e 671387 m<sup>3</sup> (23%) para o escoamento direto. No ano de maior percentagem de afluentes indevidas à ETAR de Bragança, em 2010, 67% do volume afluente corresponde a afluentes indevidas, com um valor de 2083201 m<sup>3</sup>, sendo que destas 1221721 m<sup>3</sup> (39%) são infiltração direta e indireta e 861480 m<sup>3</sup> (28%) são escoamento direto. No ano de menor percentagem de afluentes indevidas à ETAR de Bragança, em 2005, 57% do volume afluente correspondem a afluentes indevidas, com um valor de 1378199 m<sup>3</sup>, sendo que destas 1027050 m<sup>3</sup> (42%) são infiltração direta e indireta e 351149 m<sup>3</sup> (14%) são escoamento direto.

#### 4.4.1.3 Comparação de resultados

De seguida, apresentam-se os resultados obtidos por ambos os métodos, na figura 4.22, para a ETAR de Vila Real, ao longo dos vários anos estudados, bem como a percentagem de dias de chuva em cada ano de modo a se perceber de uma forma simplista a possível influência das precipitações na ocorrência das afluições indevidas.

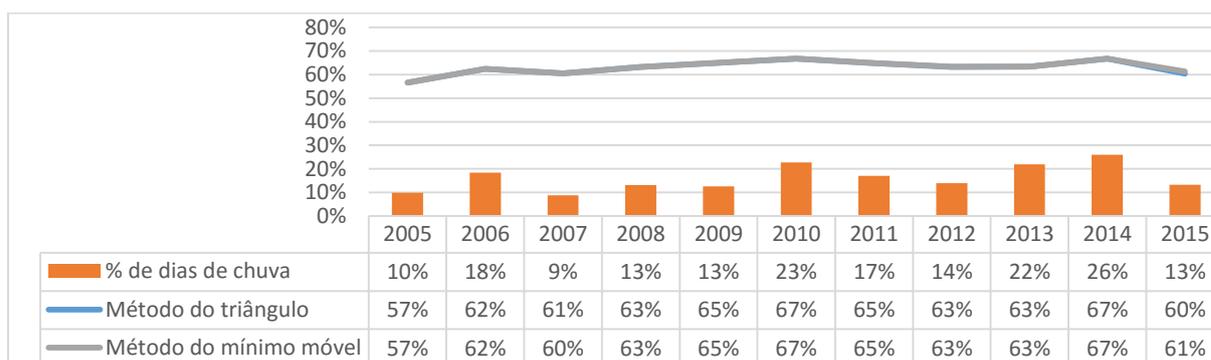


Figura 4.22 – Resultados obtidos na determinação das afluições indevidas à ETAR de Vila Real pela aplicação dos diferentes métodos.

Como se pode observar, ambos os métodos fornecem resultados idênticos quanto ao total das afluições indevidas que afluem à ETAR, excetuando os anos de 2007 e 2015 que diferem em apenas 1% do total. A porção de afluições indevidas, relativamente ao caudal total afluyente à ETAR, ao longo dos anos, não apresenta uma grande variação: a amplitude dessa parcela é de cerca de 10% tanto para o método do mínimo móvel como para o método do triângulo.

#### 4.5 Análise de se sensibilidade ao número de dias do mínimo móvel para os presentes estudos de caso, na busca de um dia de tempo seco

Como se viu nos vários casos de estudo, existe alguma diferenciação de resultados, no que toca à origem das afluições indevidas (infiltração, direta e indireta, ou escoamento direto), consoante os métodos utilizados. Tal pode basear-se no facto de o método do mínimo móvel partir do princípio que são necessários 21 dias anteriores para encontrar um dia “seco” que permita quantificar as infiltrações.

Como já foi referido no capítulo 3 desta dissertação, o método foi desenvolvido com base em estudos efetuados em redes de drenagem de cidades alemãs, que estão sujeitas a eventos de precipitação muito mais distribuídos temporalmente ao longo do ano, quando em comparação com Portugal e, principalmente, com uma das suas regiões mais secas (Trás-os-Montes e Alto Douro). Acontece que perante a realidade climática do nosso país não seria necessário recuar temporalmente 21 dias para se encontrar um dia sem influência de precipitação.

A influência da amplitude deste período, no método do mínimo móvel é bastante importante, uma vez que o mínimo móvel é utilizado para a subtração ao caudal total afluyente à ETAR, que, assim, dará o valor num dado dia para o escoamento direto. De igual modo, o valor do mínimo

móvel é utilizado para lhe ser subtraído o valor do caudal residual de origem doméstica, que dará o valor das afluições indevidas por escoamento direto.

Acontece que quanto maior for o período do mínimo móvel, maior será a probabilidade de se encontrar um valor menor ao valor do mínimo móvel para um período mais curto. O facto de se ter um valor do mínimo móvel mais baixo, implica que será maior a preponderância do escoamento direto face às infiltrações, no total das afluições indevidas, total este que permanece inalterado independentemente do período definido para o mínimo móvel.

Assim sendo, neste subcapítulo, apresentam-se os resultados para o método do mínimo móvel com 7 dias, em vez de 21, para se determinar o mínimo móvel. Foi escolhido um período de 7 dias pois, segundo *Drainage* (2005) em Bonito (2014), um intervalo temporal de 7 a 10 dias é suficiente de modo a garantir bons resultados práticos na escolha de um dia seco. No quadro 4.12, apresentam-se os resultados obtidos pelos métodos já utilizados e pelo método do mínimo móvel com 7 dias.

Quadro 4.12 – Comparação dos resultados obtidos em 2009 para as várias ETAR pela aplicação dos métodos do mínimo móvel, com períodos de 21 e 7 dias, e do triângulo.

Caso de estudo	Métodos	Infiltração	Escoamento direto	Afluências indevidas totais
Bragança	MM 21 dias	16%	31%	47%
	MM 7 dias	26%	21%	47%
	Triângulo	32%	15%	47%
Mirandela	MM 21 dias	28%	31%	59%
	MM 7 dias	42%	17%	59%
	Triângulo	50%	9%	59%
V. N. de Foz Côa	MM 21 dias	19%	40%	59%
	MM 7 dias	32%	27%	59%
	Triângulo	35%	24%	59%
Vila Real	MM 21 dias	42%	23%	65%
	MM 7 dias	50%	15%	65%
	Triângulo	55%	10%	65%

Como se pode observar, os resultados obtidos para o método do mínimo móvel, com um período de 7 dias, para o ano de 2009, para a percentagem de infiltração e de escoamento direto, enquadram-se entre os valores do método do mínimo móvel, com 21 dias, e entre os resultados obtidos pelo método do triângulo. As percentagens mais elevadas para o escoamento direto continuam a ser obtidas pelo método do mínimo móvel, com 21 dias, enquanto as percentagens mais elevadas de infiltração são resultantes da aplicação do método do triângulo.

#### 4.6 Indicadores de desempenho técnico sugeridos pela APUSS

De modo a que se tenha uma melhor noção do estado das redes e da magnitude das afluições indevidas que nelas se verificam, apresentam-se os indicadores de desempenho técnicos passíveis de ser determinados, conforme sugerido em Cardoso *et al.* (2002), descritos em 2.8. De mencionar que não foi possível determinar dois indicadores de desempenho, aos quais correspondem a utilização da capacidade de secção cheia (expressão 31) e o caudal unitário por câmara de visita (expressão 33). O primeiro indicador por ser necessário o seu cálculo para cada coletor. Tendo em conta que coletores a jusante poderão ter diâmetros superiores que os a montante, com inclinações e materiais diferentes, entre outros fatores, este processo tornar-se-ia extremamente complexo, uma vez que seria necessário de todas essas informações, o que não aconteceu. O segundo indicador não se determinou por não se dispor da informação relativa ao número de caixas de visita em cada uma das redes.

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{sc}} (\%) \quad (31)$$

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}} (\%) \quad (32)$$

$$\frac{Q_{inf}}{n^2 C_{visita}} (m^3/s) \quad (33)$$

$$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}} (m^3/(s \cdot km)) \quad (34)$$

$$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor} \cdot P_{coletor}} (m^3/(s \cdot km \cdot cm)) \quad (35)$$

Dos indicadores calculados, nota para a expressão (31), que apesar de mencionar “caudal de infiltração” em Cardoso *et al.* (2002), se concluiu não dizer respeito ao total das afluições indevidas mas sim, apenas, ao caudal de infiltração (relembra-se, subterrânea, direta e indireta). Já na expressão (33), se fala em caudal de infiltração mas, na realidade, apenas interessa o valor dos caudais de escoamento direto. Foi por estes motivos que se optou por, nesta dissertação, fazer a distinção entre afluições indevidas e infiltrações (estas, apenas subterrâneas, *i. e.* infiltrações diretas e infiltrações indiretas), pois em algumas das expressões supracitadas, como é o caso de Cardoso *et al.* (2002), o termo “infiltrações” diz respeito ao total das afluições indevidas, e em outras expressões o mesmo indicador diz respeito apenas às infiltrações subterrâneas ao longo dos coletores ou ao escoamento direto.

Quadro 4.13 – Indicadores de desempenho da rede de drenagem de Bragança.

Bragança							
Ano	$Q_{res,médio,ts}$ [l/s]	Triângulo		MM 21dias		MM 7 dias	
		$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$	$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$	$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$
2008	23.763	17.886	75%	10.353	44%	14.431	61%
2009	27.510	16.643	60%	8.272	30%	13.493	49%
2010	28.640	28.354	99%	17.643	62%	26.318	92%
2012	24.787	16.741	68%	10.299	42%	13.644	55%
2013	27.240	21.361	78%	15.884	58%	22.586	83%

Quadro 4.14 – Indicadores de desempenho da rede de drenagem de Mirandela.

Mirandela													
Ano	$Q_{res,médio,ts}$ [l/s]	Triângulo				MM 21dias				MM 7 dias			
		$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$	$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}} [l/(s \cdot km)]$	$\frac{Q_{inf}}{P_{coletor}} [l/(s \cdot km \cdot cm)]$	$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$	$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}} [l/(s \cdot km)]$	$\frac{Q_{inf}}{P_{coletor}} [l/(s \cdot km \cdot cm)]$	$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$	$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}} [l/(s \cdot km)]$	$\frac{Q_{inf}}{P_{coletor}} [l/(s \cdot km \cdot cm)]$
2006	9.7	15.9	164%	0.28	0.004	11.9	123%	0.21	0.003	15.2	157%	0.26	0.004
2007	9.5	14.7	154%	0.26	0.004	9.0	95%	0.16	0.003	12.1	127%	0.21	0.003
2008	9.8	14.1	144%	0.24	0.004	9.1	94%	0.16	0.003	12.2	124%	0.21	0.003
2009	12.1	14.8	122%	0.26	0.004	9.1	75%	0.16	0.003	12.4	103%	0.22	0.003
2010	13.6	17.7	130%	0.31	0.005	12.9	95%	0.22	0.004	16.0	118%	0.28	0.004
2011	13.8	17.1	124%	0.30	0.005	12.4	90%	0.22	0.003	14.6	106%	0.25	0.004
2012	13.9	16.7	120%	0.29	0.005	12.3	88%	0.21	0.003	14.1	101%	0.24	0.004
2013	12.7	19.0	149%	0.33	0.005	16.0	126%	0.28	0.004	17.7	139%	0.31	0.005
2014	13.3	19.3	146%	0.34	0.005	14.9	113%	0.26	0.004	17.3	131%	0.30	0.005

Quadro 4.15 – Indicadores de desempenho da rede de drenagem de Vila Nova de Foz Côa.

Vila Nova de Foz Côa										
Ano	$Q_{res,médio,ts}$ [l/s]	Triângulo			MM 21 dias			MM 7 dias		
		$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$	$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}} [l/(s \cdot km)]$	$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$	$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}} [l/(s \cdot km)]$	$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res,médio,ts}}$	$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}} [l/(s \cdot km)]$
2006	4.5	4.0	88%	0.158	2.3	51%	0.092	4.1	90%	0.162
2007	4.4	5.1	115%	0.203	3.2	73%	0.128	4.8	108%	0.190
2008	4.3	4.0	92%	0.158	1.9	44%	0.075	3.2	74%	0.126
2009	4.4	3.7	84%	0.146	1.9	44%	0.077	3.3	76%	0.132
2010	4.1	4.0	97%	0.158	2.8	70%	0.113	4.8	117%	0.189
2011	4.1	3.6	88%	0.143	1.7	41%	0.066	3.3	80%	0.130
2012	4.0	2.2	55%	0.088	0.9	22%	0.035	1.5	37%	0.060
2013	4.0	3.3	83%	0.132	2.4	61%	0.097	3.7	92%	0.146
2014	3.6	5.0	136%	0.196	3.4	93%	0.134	5.0	137%	0.198

Quadro 4.16 – Indicadores de desempenho da rede de drenagem de Vila Real.

Vila Real													
Ano	$Q_{res, \text{médio}, ts}$ [l/s]	Triângulo				MM 21 dias				MM 7 dias			
		$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res, \text{médio}, ts}}$	$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}}$ [l/(s·km)]	$\frac{Q_{inf}}{P_{coletor}}$ [l/(s·km·cm)]	$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res, \text{médio}, ts}}$	$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}}$ [l/(s·km)]	$\frac{Q_{inf}}{P_{coletor}}$ [l/(s·km·cm)]	$Q_{inf}$ [l/s]	$\frac{Q_{inf}}{Q_{res, \text{médio}, ts}}$	$\frac{Q_{inf}}{L_{coletor}}$ [l/(s·km)]	$\frac{Q_{inf}}{P_{coletor}}$ [l/(s·km·cm)]
2005	33.4	39.4	118%	0.26	0.004	32.6	97%	0.21	0.003	36.2	108%	0.23	0.004
2006	33.2	44.4	134%	0.29	0.004	39.7	120%	0.26	0.004	44.5	134%	0.29	0.005
2007	33.0	45.7	139%	0.30	0.005	39.0	118%	0.25	0.004	42.7	130%	0.28	0.004
2008	32.7	49.0	150%	0.32	0.005	41.7	127%	0.27	0.004	46.4	142%	0.30	0.005
2009	31.9	50.6	158%	0.33	0.005	38.0	119%	0.25	0.004	45.2	142%	0.29	0.005
2010	32.9	49.5	151%	0.32	0.005	38.7	118%	0.25	0.004	48.9	149%	0.32	0.005
2011	32.5	49.4	152%	0.32	0.005	38.7	119%	0.25	0.004	46.5	143%	0.30	0.005
2012	30.6	45.7	149%	0.30	0.005	39.8	130%	0.26	0.004	44.4	145%	0.29	0.004
2013	32.3	41.4	128%	0.27	0.004	38.9	120%	0.25	0.004	44.6	138%	0.29	0.005
2014	31.0	45.8	148%	0.30	0.005	45.4	147%	0.29	0.005	52.1	168%	0.34	0.005

No caso dos indicadores de desempenho apresentados, utilizou-se apenas o caudal de infiltração, tanto de origem direta como indireta, em vez do caudal das afluições indevidas na sua globalidade e optou-se por trabalhar na ordem de grandeza de litros em vez de metros cúbicos, conforme sugerido, uma vez que os valores obtidos eram bastante reduzidos. Outro aspeto importante a ser mencionado é o de que, apesar de estarem definidos indicadores de desempenho, não foi possível reunir informação, na bibliografia, acerca dos intervalos de valores destes parâmetros, aos quais possa corresponder um “bom comportamento da rede”.

Como se pode observar, as maiores taxas de infiltração são obtidas nos casos de Mirandela e Vila Real, apresentando valores de uma magnitude mais preocupante, ou seja, os caudais de infiltração excedem, na grande maioria dos anos, o caudal residual médio de tempo seco (*i.e.* caudal residual doméstico). Também, os valores dos caudais de infiltração por quilómetro de coletor apresentam valores, nos casos de Mirandela e de Vila Real, cerca de duas vezes superiores aos verificados na rede de Vila Nova de Foz Côa, que é uma rede que apresentam valores de afluições indevidas relativamente controlados.

#### 4.7 Estudo do impacto financeiro da ocorrência de afluições indevidas

De modo a se poder ter uma ideia das consequências financeiras das afluições indevidas às redes de drenagem, procurou-se quantificar os custos para duas situações distintas: uma primeira constituída pela situação verificada na realidade em que as afluições às ETAR incluem os caudais residuais domésticos e industriais, em conjunto com as afluições indevidas, e uma segunda situação, à qual corresponderia o panorama ideal em que, apenas, se verificassem as afluições dos caudais domésticos e industriais, ou seja, sem afluições

---

indevidas. Assim, para que este estudo pudesse ser efetuado seria necessário conhecer os custos de manutenção, operação e de investimento/reinvestimento nas infraestruturas.

Os custos operacionais decorrem do processo de tratamento (reagentes, areias e gradados, óleos e gorduras, lamas, desodorização, etc.), de gastos com o consumo de água da rede, custos de operações de limpeza e desobstrução, custos devido ao controlo analítico e, principalmente, custos energéticos, aos quais corresponde a maior fatia dos custos operacionais. Os custos de manutenção devem-se a obras de reparação das instalações, devido à aquisição/substituição de ferramentas, materiais elétricos ou eletrónicos, equipamentos ou peças de maquinaria, entre outros. Nos custos de investimento têm-se em conta os custos de primeiro investimento e também os custos de reinvestimento ao longo do tempo de vida útil das infraestruturas.

Apesar de não se conhecerem, separadamente, todos os valores de cada uma das parcelas anteriormente referidas, nos presentes estudos de caso, a entidade gestora Águas do Norte forneceu os custos unitários operacionais e os custos unitários energéticos, tornando possível o seu cálculo. Como já foi referido em 2.2.8, os custos operacionais são os únicos custos que são direta e inequivocamente afetados pelas afluições indevidas, bem como, por consequência, a maior parcela dos custos operacionais, à qual correspondem os custos energéticos.

Convém recordar que, nos casos das redes de Bragança, Mirandela e Vila Real, as afluições indevidas correspondem a infiltrações (diretas e indiretas) e a escoamento direto, por serem de natureza separativa ou pseudo-separativa, enquanto que, no caso da rede de Vila Nova de Foz Côa, devido ao facto de esta ser de tipologia unitária, o escoamento direto não deve ser considerado uma afluição indevida. Assim sendo, apenas foram contabilizadas as infiltrações (diretas e indiretas) como sendo afluições indevidas.

Nos casos de Bragança, Mirandela e Vila Real, os valores dos volumes de afluições indevidas totais (infiltração e escoamento direto) obtidos por ambos os métodos são idênticos na sua totalidade, sendo por isso, praticamente, irrelevante a escolha método que fornecia este parâmetro. Assim, optou-se por utilizar os valores de afluições indevidas obtidos pelo método do triângulo. No caso de Vila Nova de Foz Côa, uma vez que apenas se utilizaram os volumes das infiltrações (diretas e indiretas), estes variam conforme o método utilizado. Deste modo, optou-se por se efetuar o estudo para os valores obtidos por ambos os métodos.

Deste modo, nos quadros 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20 e na figura 4.23, apresentam-se os custos anuais operacionais excedentários (diferença entre os custos anuais com os volumes totais, incluindo as afluições indevidas, e entre os custos anuais com os volumes que afluem devidamente aos coletores, isto é, os volumes excluindo as afluições indevidas), bem como da parcela excedentária energética, que como é perceptível, corresponde a uma grande fatia dos custos operacionais.

Quadro 4.17 – Comparação dos custos anuais médios operacionais e energéticos, com e sem a ocorrência de afluências indevidas, na ETAR de Bragança.

Bragança	Custo unitário operacional [€/m <sup>3</sup> ]	0.200
	Custo unitário energético [€/m <sup>3</sup> ]	0.078
	Volume anual médio afluente [m <sup>3</sup> ]	1 762 569
	Custo anual operacional [€]	352 685
	Custo anual energético [€]	138 072
	Volume anual médio de AI [m <sup>3</sup> ]	929 658
	Custo anual excedentário operacional [€]	186 022
	Custo anual excedentário energético [€]	72 825

Quadro 4.18 – Comparação dos custos anuais médios operacionais e energéticos, com e sem a ocorrência de afluências indevidas, na ETAR de Mirandela.

Mirandela	Custo unitário operacional [€/m <sup>3</sup> ]	0.150
	Custo unitário energético [€/m <sup>3</sup> ]	0.059
	Volume anual médio afluente [m <sup>3</sup> ]	996 916
	Custo anual operacional [€]	149 414
	Custo anual energético [€]	58 608
	Volume anual médio de AI [m <sup>3</sup> ]	616 794
	Custo anual excedentário operacional [€]	92 443
	Custo anual excedentário energético [€]	36 261

Quadro 4.19 – Comparação dos custos anuais médios operacionais e energéticos, com e sem a ocorrência de afluências indevidas, na ETAR de Vila Real.

Vila Real	Custo unitário operacional [€/m <sup>3</sup> ]	0.106
	Custo unitário energético [€/m <sup>3</sup> ]	0.023
	Volume anual médio afluente [m <sup>3</sup> ]	2 793 376
	Custo anual manutenção [€]	295 385
	Custo anual energético [€]	63 053
	Volume anual médio de AI [m <sup>3</sup> ]	1 772 748
	Custo anual excedentário operacional [€]	187 459
	Custo anual excedentário energético [€]	40 015

Quadro 4.20 – Comparação dos custos anuais médios operacionais e energéticos, com e sem a ocorrência de afluências indevidas, na ETAR de Vila Nova de Foz Côa.

Vila Nova de Foz Côa	Custo unitário operacional [€/m <sup>3</sup> ]	0.216	
	Custo unitário energético [€/m <sup>3</sup> ]	0.081	
	Volume anual médio afluente [m <sup>3</sup> ]	320 315	
	Custo anual operacional [€]	69 296	
	Custo anual energético [€]	26 088	
	Método do triângulo	Volume anual médio de infiltração [m <sup>3</sup> ]	121 944
		Custo anual excedentário operacional [€]	26 381
		Custo anual excedentário energético [€]	9 932
	Método do mínimo móvel	Volume anual médio de infiltração [m <sup>3</sup> ]	72 197
		Custo anual excedentário operacional [€]	15 619
Custo anual excedentário energético [€]		5 880	

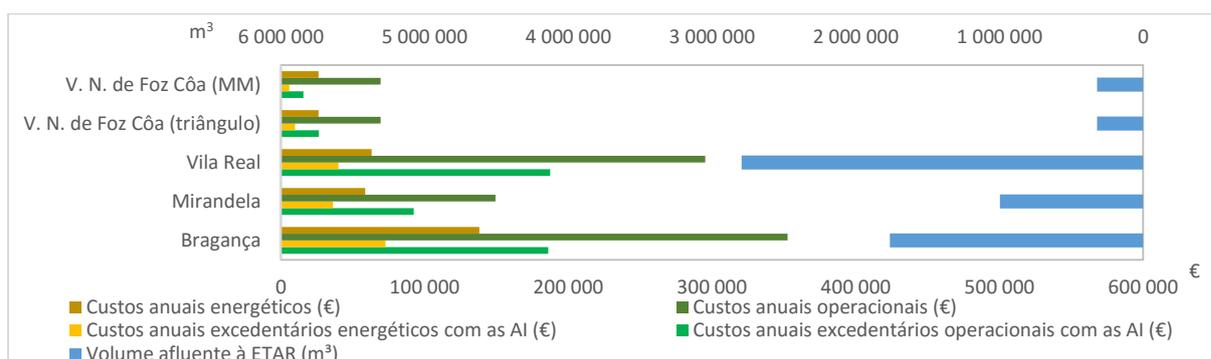


Figura 4.23 – Resultados obtidos para os custos excedentários anuais, operacionais e energéticos, e volumes anuais afluentes às ETAR.

Apesar de a questão das afluências indevidas se encontrar relativamente controlada em Bragança, os custos acabam por não o refletir (186 022 € em custos anuais excedentários de operação, sendo que desses 72 825 € correspondem a custos anuais excedentários energéticos) pois apesar de as afluências indevidas representarem, em média, 53% das afluências totais, os custos unitários operacionais e energéticos são elevados, quando comparados com os estudos de caso de Vila Real e Mirandela.

No estudo de caso de Vila Real, apesar de se verificarem volumes de afluências indevidas algo elevados, os custos unitários são os mais reduzidos dos quatro estudos de caso, sendo que, apesar de no total dos caudais apresentar cerca de mais de um milhão de metros cúbicos que a ETAR de Bragança, os custos anuais excedentários de exploração são, apenas, superiores em pouco mais de um milhão de euros, observando-se, inclusive, que os custos anuais excedentários energéticos, e os custos totais anuais, energéticos e operacionais, são inferiores (187 459 € em custos anuais excedentários de operação, sendo que desses 40 015 € correspondem a custos anuais excedentários energéticos). Tal deve-se aos reduzidos custos unitários verificados.

O caso de Mirandela merece, também, uma reflexão face aos valores apresentados, pois em, última análise, apesar de apenas receber um terço dos volumes anuais de afluências totais verificadas no caso de Vila Real, esta apresenta cerca de metade dos custos anuais excedentários operacionais (92 443 € em custos anuais excedentários de operação, sendo que desses 36 261 € correspondem a custos anuais excedentários energéticos). Tal explica-se pelo facto de os custos unitários, operacionais e energéticos, serem superiores, aos verificados em Vila Real.

No estudo de caso de V. N. de Foz Côa os valores são de uma magnitude bastante mais reduzida, em que os volumes de afluências indevidas apresentam um peso muito menor e tal observa-se nos custos (26 381 € e 15 619 € em custos anuais excedentários de operação, sendo que desses 9 932 € e 5 880 € correspondem a custos anuais excedentários energéticos, pelo método do triângulo e do mínimo móvel, respetivamente). No entanto, os custos unitários operacionais e os custos unitários energéticos são os mais elevados dos quatro estudos de caso, tal facto apenas não é preocupante devido aos reduzidos volumes anuais de afluências indevidas.

---

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 Conclusões

Nesta dissertação procurou-se determinar a magnitude do problema das afluições indevidas em quatro casos de estudo. Esta problemática é de grande importância, uma vez que a sua ocorrência implica graves consequências funcionais, económicas e ambientais para os vários órgãos de gestão das redes de águas residuais. Tal conseguiu-se demonstrar através dos métodos do triângulo e do mínimo móvel, seguindo-se uma análise ao desempenho das redes e um estudo de impacto financeiro da ocorrência das afluições indevidas. Complementou-se, também, o trabalho desenvolvido com uma análise de sensibilidade a um dos parâmetros no qual se baseia o mínimo móvel, ou seja, testaram-se diferentes períodos para o número de dias, nos quais o método se baseia com vista à definição do número de dias após uma chuvada sem influência de precipitação. Procurou-se com isto, estudar a aplicabilidade deste método a localizações com padrões de precipitação diferentes das dos casos de estudo nos quais este foi baseado.

No estudo de caso de Mirandela, na média de todos os anos de registos completos, dos 996 916 m<sup>3</sup> anuais que afluem à ETAR de Mirandela, segundo o método do triângulo, 523 492 m<sup>3</sup> (53%) correspondem a infiltração direta e indireta, e apenas 93 302 m<sup>3</sup> (9%) correspondem a escoamento direto, pelo método do mínimo móvel 377 591 m<sup>3</sup> (38%) dizem respeito a infiltração direta e indireta, e 239 167 m<sup>3</sup> (24%) são originários de escoamento direto. Por qualquer um dos métodos, o problema das afluições indevidas tem uma dimensão preocupante, devendo-se, principalmente, à afluência de caudais de infiltração direta e/ou indireta, conforme apontam os resultados obtidos. No entanto, o método do triângulo indica os valores mais preocupantes para a infiltração, sugerindo a necessidade de se efetuarem inspeções e possíveis reparações ao longo da rede de drenagem, com o objetivo de mitigar esta problemática.

Na rede de drenagem de Vila Nova de Foz Côa, as infiltrações (diretas e indiretas) não apresentam valores muito elevados, sugerindo que o problema das infiltrações, diretas e indiretas, se encontra relativamente controlado. Tendo em conta os valores médios anuais, dos 320 315 m<sup>3</sup> anuais que afluem à ETAR local, segundo o método do triângulo, 121 944 m<sup>3</sup> (38%) correspondem a infiltração e 68 333 m<sup>3</sup> (21%) correspondem a escoamento direto, enquanto que pelo método do mínimo móvel 72 197 m<sup>3</sup> (23%) dizem respeito a infiltração e 120 098 m<sup>3</sup> (38%) terão origem no escoamento direto. Relativamente aos caudais originários do escoamento superficial, estes não podem ser considerados afluições indevidas, pois a rede, por ser unitária, prevê a sua inclusão. No entanto, estes volumes foram quantificados pelos métodos

---

utilizados e, apesar de não corresponderem a afluições indevidas, não deixam de ser indesejáveis.

Relativamente ao caso de estudo de Vila Real, na média de todos os anos de registos completos, dos 2 793 376 m<sup>3</sup> anuais que afluem à ETAR, segundo o método do triângulo, 1 454 670 m<sup>3</sup> (52%) correspondem a infiltração direta e indireta, e apenas 318 077 m<sup>3</sup> (11%) correspondem a escoamento direto, enquanto que pelo método do mínimo móvel 1 238 130 m<sup>3</sup> (44%) dizem respeito a infiltração direta e indireta, e 534 858 m<sup>3</sup> (19%) são originários de escoamento direto. Ambos os métodos coincidem num aspeto: a infiltração é, claramente, a parcela de afluições indevidas mais importante. Este é um indicador que sugere que o estado estrutural da rede possa não ser o melhor, uma vez que se verifica um grande peso deste tipo de afluição indevida, nos caudais totais afluentes à ETAR. A reduzida suscetibilidade da rede à precipitação, em conjunto com a menor afluição de escoamentos superficiais, ou diretos à rede, leva a crer que esta, tal como no estudo de caso de Mirandela, seja de tipologia separativa, embora tal não se possa afirmar com certeza, uma vez que esta informação é desconhecida.

No estudo de caso de Bragança, as infiltrações (diretas e indiretas) não apresentam valores muito elevados, sugerindo que o problema das infiltrações diretas e indiretas, se encontra relativamente controlado. Tendo em conta os valores médios anuais, dos 1 762 569 m<sup>3</sup> anuais que afluem à ETAR local, segundo o método do triângulo, 637 533 m<sup>3</sup> (36%) correspondem a infiltração e 292 125 m<sup>3</sup> (17%) correspondem a escoamento direto, enquanto que pelo método do mínimo móvel 394 250 m<sup>3</sup> (22%) dizem respeito a infiltração e 530 759 m<sup>3</sup> (30%) são originários de escoamento direto. Os resultados obtidos parecem indicar que os volumes de afluições indevidas à rede se encontram relativamente controlados, ainda assim, verificam-se volumes elevados de escoamento direto o que, no entanto, devido ao facto de a rede ser pseudo-separativa é aceitável, pois uma parcela desses volumes está prevista pela própria tipologia da rede (a componente de águas pluviais drenadas de áreas e pátios interiores de edificações não é desprezável, quando comparada com a drenagem da própria via pública, podendo contribuir com caudais significativos para a rede de drenagem).

Os resultados obtidos indicam também, que a tipologia da rede influencia, em grande medida, a natureza das afluições indevidas, bem como a sua preponderância perante a ocorrência de precipitação. Em redes separativas é de esperar que a maior fatia das afluições indevidas corresponda a infiltração (direta e indireta) e que, devido à menor preponderância do escoamento direto, este tipo de redes sejam muito menos sensíveis à precipitação. No caso de uma rede de drenagem unitária, verifica-se o oposto, ou seja, é exetável que o escoamento direto apresente volumes consideráveis (não sendo por isso, necessariamente a tipologia de afluição indevida, quanto à sua origem, mais preocupante) e verifica-se que apresentam uma sensibilidade bastante elevada à precipitação, devido à preponderância do escoamento direto nas suas afluições totais. As redes de drenagem pseudo-separativas correspondem a um caso

intermédio entre as redes separativas e as redes unitárias, sendo de esperar resultados ambíguos quanto à preponderância da natureza das afluições de diferentes origens, e uma sensibilidade à precipitação intermédia quando comparada com a verificada em redes separativas e unitárias. De qualquer das formas, em todos os casos, verificou-se, nas afluições totais à ETAR, uma maior percentagem de afluições indevidas nos anos com maior percentagem de dias de chuva.

Outra conclusão que se pode tirar é a de que, a presença de cursos de água, como rios com alguma dimensão, em zonas próximas à rede de drenagem, parecem induzir a uma maior preponderância das infiltrações nos coletores. Esta conclusão pode ser sustentada pelo facto de, essas áreas próximas dos cursos de água apresentarem níveis freáticos a cotas muito mais próximas das cotas do terreno, quando comparadas com zonas mais afastadas de cursos de água. Apesar de não se poder quantificar o tipo de infiltração (direta ou indireta) por nenhuma das metodologias utilizadas nesta dissertação, constata-se que no caso de Mirandela e de Vila Real são atravessadas pelos rios Tua e Corgo, respetivamente, podendo por isso ajudar a justificar os volumes de infiltração consideráveis, obtidos nesses casos. Pelo contrário, Bragança é atravessada pelo rio Fervença, passando numa zona mais periférica da sede de concelho e Vila Nova de Foz Côa encontra-se situada num planalto a cotas superiores, em algumas centenas de metros, das cotas da superfície dos rios Côa e Douro. Em ambos os casos, considera-se que a influência dos cursos de água nos níveis freáticos do solo é reduzida, não afetando, assim, em grande escala, os caudais de infiltração indireta, conforme os resultados parecem indicar.

Relativamente aos aumentos de caudais residuais domésticos afluentes às ETAR nos meses de verão, há que ter em conta que muitas das localidades do interior sofrem nesse período um grande aumento de população devido a movimentos migratórios, o que implica que será expectável o aumento do consumo de água, para abastecimento e por isso o aumento dos volumes de águas residuais domésticas, ainda que, tendo em conta a menor ocorrência de afluições indevidas, os volumes totais entregues nas ETAR sejam menos elevados.

No que diz respeito à análise de sensibilidade ao período do mínimo móvel, os resultados obtidos pelo método do mínimo móvel para o ano de 2009, com um período de 7 dias prévios, em detrimento do período de 21 dias, são muito mais semelhantes aos que foram obtidos pelo método do triângulo, que, por sua vez, tem em conta o número de dias de chuvas num ano, ao contrário do que acontece com o método do mínimo móvel. Tal facto leva a crer que a aplicação de um dado período, na busca do mínimo móvel, deve variar bastante de região para região, sendo que nos climas e regiões mais secos, com eventos pluviométricos mais concentrados ao longo do ano, como é o caso, será, porventura, aconselhável a aplicação de períodos mais curtos, conforme testado nos presentes casos de estudo. Pelo contrário, em regimes climáticos nos quais a precipitação seja mais constante ao longo do ano, devem ser utilizados períodos mais longos, tal como o mínimo móvel de 21 dias, conforme aconselhado por Weiß *et al.* (2002).

Relativamente ao estudo económico, observa-se que nem sempre um melhor controlo dos volumes de afluições indevidas corresponde a um melhor controlo de custos excedentes. Conforme demonstraram os custos anuais excedentários no caso de Bragança face aos obtidos no estudo de caso de Vila Real, contacta-se que para as entidades gestoras de sistemas em “alta” é igualmente importante que os custos unitários operacionais se mantenham a um nível reduzido, de modo a que o esforço efetuado por parte de entidades gestoras em “baixa” em manterem as redes de drenagem em boas condições seja acompanhado com a redução dos custos excedentários. No entanto, como é óbvio, os custos unitários operacionais estão dependentes de um conjunto de fatores, principalmente os custos energéticos, que dependem da topografia do terreno e da dispersão dos pontos de recolha, em “alta”, das águas residuais.

## 5.2 Trabalhos futuros

Relativamente aos indicadores de desempenho, seria aconselhável, até importante, existirem, a nível legislativo, intervalos de valores que permitissem classificar o desempenho das redes de drenagem em função destes parâmetros.

Ao nível de regulamentação em vigor, seria importante proceder-se a um estudo que permitisse quantificar, mais claramente, os caudais de infiltração em fase de projeto, sendo que, apesar de no ponto 2º do artigo 126º do DR 23/95 ser mencionado que o valor dos caudais de infiltração é função das características hidrogeológicas, não existe um claro conjunto de procedimentos de modo a ter essa influência em conta.

De igual modo, seria de grande interesse ter-se a hipótese de relacionar os volumes de precipitação (mensais ou anuais) com os volumes afluentes às ETAR. No entanto, a inexistência de registos de precipitação, em vários anos, e o desconhecimento das características das bacias urbanas complicam este procedimento. Em estudos de caso em que tal seja possível, será uma vertente do estudo que permitirá compreender mais objetivamente a influência da precipitação na ocorrência das afluições indevidas.

Na presente dissertação, a inexistência de registos diários para as concentrações de CQO impossibilitou a aplicação do método das séries temporais de cargas poluentes. No entanto, seria de grande importância verificar a fiabilidade dos métodos do triângulo e do mínimo móvel, comparando os seus resultados com os resultados obtidos pelo método das séries temporais, em estudos de caso em que tal fosse possível.

Para concluir esta dissertação, deixa-se, também, a sugestão para trabalhos futuros, do estudo ao efeito de descargas das águas residuais nos meios recetores, em períodos em que se verifiquem caudais elevados de afluições indevidas e caudais reduzidos de origem residual doméstica ou industrial, isto é, em condições em que as concentrações de poluentes presentes nas águas residuais, não ponham em causa as condições de auto depuração dos meios recetores, permitindo assim uma gestão mais económica do processo de tratamento das águas residuais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Addition Lda., (2015). ERSAR – Serviços de águas e resíduos em Portugal (Versão 1.0.4) [Android mobile application software]. Transferido de <https://play.google.com/store/apps/> em 3 de Novembro de 2015.

Almeida, S. e Monteiro, P. (2004). Incidência de caudais de águas pluviais em redes de drenagem de águas residuais - Dois casos de estudo em Municípios do Norte de Portugal. Associação Portuguesa dos recursos Hídricos. 7º Congresso da Água, Lisboa, LNEC, 8 a 12 de Março de 2004.

Amorim, H. (2007). Afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Baptista, J. e Escudeiro, M., (2008). Recomendações de 2005 a 2007. Instituto Regulador de Águas e Resíduos.

Bertrand-Krajewski, J.-L., Baer, E., Cardoso, M., de Bénédittis, J., Ellis, B., Franz, T., Frehmann, T., Giulianelli, M., Gujer, W., Karpf, C., Kohout, D., Kracht, O., Krebs, P., Metelka, T., Pliska, Z., Pollert, J., Prigiobbe, V., Princ, I., Pryl, K., Revitt, M., Rieckermann, J., Rutsch, M. e Vanecek, S. (2005). *Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems – Final Report. European Commission 5th R&D Framework Programme.*

Bonito, A. (2014). Infiltrações na rede de drenagem de águas residuais. Caso de Estudo da Bacia de Drenagem de Lanheses. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Butler, D. e Davies, J. W. (2011). "Urban Drainage". Spon Press, Abingdon, Oxon.

Cardoso, A., Almeida, M. e Coelho, S. (2002). Avaliação do impacto da infiltração no desempenho de sistemas de drenagem urbana. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Cardoso, M., Bertrand-Krajewski, J.-L., Ellis, B., Frehmann, T., Giulianelli, M., Gujer, W., Krebs, P., Pliska, Z., Pollert, J. e Pryl, K. (2005). Melhorar o conhecimento e a gestão da infiltração e da exfiltração em sistemas de drenagem urbana: o projecto APUSS. *International Conference on Urban Drainage*, Copenhaga.

---

Coelho, I. (2013). Variabilidade de afluências às redes de drenagem de águas residuais. Causas e efeitos *versus* sustentabilidade económica: um caso de estudo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Decreto Regulamentar 23/95 (1995). Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais.

Ellis, B. (2001). *Sewer infiltration/exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality*. INTERURBA II, Lisboa.

EPA (1991). *Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation*.

EPA (1995). *National sanitary conference on sewer overflows*. EPA/625/R-961007. Wasington DC.

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

Kaczor, G. (2011). *The effect of heavy precipitation on the infiltration and inflow into small sewage treatment plants in 2010, Commission of Technical Rural Infrastructure, Polish Academy of Sciences, Cracow Branch, Cracóvia*.

Karpf, C. e Krebs, P. (2011). *Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach*. Water Research, IWA, 45(10), 3129-36.

Kesik, T. (2015). *Best practices guide: management of inflow and infiltration in new urban developments. ICLR research paper series – number 54, Institute for Catastrophic Loss Reduction*.

Kracht, O. (2007). *Tracer-based hydrograph separation methods for sewer systems. A dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich for the degree of Doctor of technical sciences, Zurique*.

Marques, A. S. e Sousa, J. (2009). *Hidráulica Urbana - Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Metcalf & Eddy, Inc. (1995). *Wastewater engineering. Treatment, disposal, and reuse*. McGraw-Hill, Nova Deli.

Nasrin, T., Tran, H. e Muttill N. (2013). *Modelling impact of extreme rainfall on sanitary sewer system by predicting rainfall derived infiltration/inflow. 20<sup>th</sup> International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, 1 a 6 de Dezembro de 2013*.

Raynaud, O., Joannis, C., Schoefs, F. e Billard F. (2013). *A model-based assessment of infiltration and inflow in the scope of controlling separate sanitary overflows at pumping stations. 11<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage*, Edinburgo, 2008.

Rodrigues, V. (2013). Avaliação de infiltração em drenagem urbana recorrendo a métodos convencionais e não convencionais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Yoshikazu Shirakata, Bae Yoon Soo e Kunji Akinaga (2004). *Case study of inflow/infiltration analysis into separated sewer system in rainy days*.

Weiß, G., Brombach, H. e Haller, B. (2002). *Infiltration and inflow in combined sewer systems: long-term analysis. Water Science and Technology*, 45 (7), 11-19.