

AVALIAÇÃO DE AFLUÊNCIAS INDEVIDAS COM RECURSO À ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS E SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

Miguel Marques^{a,}, Pedro Leite^a, Marco Costa^b, Alberto Roque^b, Daniel Sampaio^c, Vítor Vinagre^c*

^a H2OPT, Lda., Rua do Monte Cativo, 313, 4050-402, Porto, Portugal

^b AdRA – Águas da Região de Aveiro, Tv. R. Paz, 3800- 587 Aveiro, Portugal

^c AdCL – Águas do Centro Litoral, Av. Dr. Luís Albuquerque, 3030-410, Coimbra, Portugal

RESUMO

A avaliação de afluências indevidas em redes de drenagem de águas residuais envolve habitualmente a implementação de pontos fixos e/ou temporários de medição de caudal, com o objetivo de definir zonas de intervenção prioritárias. No caso de redes de menor dimensão, tipicamente, o custo de implementação de um plano de monitorização detalhado poderá não ser economicamente justificável, especialmente numa fase inicial. O presente artigo apresenta uma metodologia baseada exclusivamente na informação disponível para estimar os padrões de afluências domésticas e indevidas em bacias da rede de drenagem da Murtosa. É realizado o cruzamento dos registos de consumo de água potável, com o cadastro da rede de saneamento e com os dados de funcionamento de quatro estações elevatórias. A informação é agregada através do desenvolvimento de um modelo hidráulico em regime permanente, desenvolvido em linguagem de programação *Python*. Adicionalmente, foi possível realizar a simulação hidráulica do funcionamento da rede, com vista a avaliar os caudais máximos transportados e a capacidade disponível. Os resultados permitiram identificar condicionantes de natureza hidráulica e apoiar a priorização de ações futuras para controlo e redução das afluências indevidas.

Palavras-Chave: Sistemas de águas residuais, afluências indevidas, modelação hidráulica, Python

doi: 10.22181/aer.2025.0404

* Autor para correspondência
E-mail: miguel.marques@h2opt.pt

INFLOW AND INFILTRATION (I&I) ASSESSMENT USING TIME SERIES AND HYDRAULIC SIMULATION

Miguel Marques^{a,*}, *Pedro Leite*^a, *Marco Costa*^b, *Alberto Roque*^b, *Daniel Sampaio*^c, *Vítor Vinagre*^c

^a H2OPT, Lda., Rua do Monte Cativo, 313, 4050-402, Porto, Portugal

^b AdRA – Águas da Região de Aveiro, Tv. R. Paz, 3800- 587 Aveiro, Portugal

^c AdCL – Águas do Centro Litoral, Av. Dr. Luís Albuquerque, 3030-410, Coimbra, Portugal

ABSTRACT

The assessment of infiltration and inflows (I/I) in a sanitary sewer network typically requires the installation of flow measurement equipment to identify critical areas and prioritize corrective actions. For smaller networks, the financial outlay required to implement a comprehensive monitoring plan may not be economically viable, particularly at the outset. This paper presents a methodology based exclusively on available operational data to estimate the inflow and infiltration patterns in the subcatchments of Murtosa's network. The dataset includes drinking water consumption records, cross-referenced with the sewerage network data and the operational data from four pumping stations. The information was combined using a steady-flow hydraulic model developed in Python. Furthermore, a hydraulic simulation of the network's operation was carried out to estimate peak flows and evaluate the system capacity. The results enable the identification of critical hydraulic points and guided recommendations for inflow/infiltration control and reduction plans.

Keywords: Sewage drainage network, infiltration and inflow (I&I), hydraulic modelling, Python

doi: 10.22181/aer.2025.0404

* *Corresponding author.*
E-mail: miguel.marques@h2opt.pt

1 Introdução

A rede de drenagem de águas residuais no concelho da Murtosa (excluindo a Torreira) corresponde ao serviço em “baixa”, sob gestão da Águas da Região de Aveiro, S.A., servindo uma população de 6930 habitantes.

A área em estudo é maioritariamente plana, com cotas próximas ao nível da Ria de Aveiro, e abrange uma rede de coletores com 86.5 km de extensão. No total, existem 36 subsistemas, aos quais correspondem 36 estações elevatórias que encaminham, através de uma série de elevações sucessivas, os efluentes recolhidos para 4 estações elevatórias principais. Estas infraestruturas apresentam dados de monitorização e permitiram dividir o sistema em 4 bacias de drenagem (Figura 1).

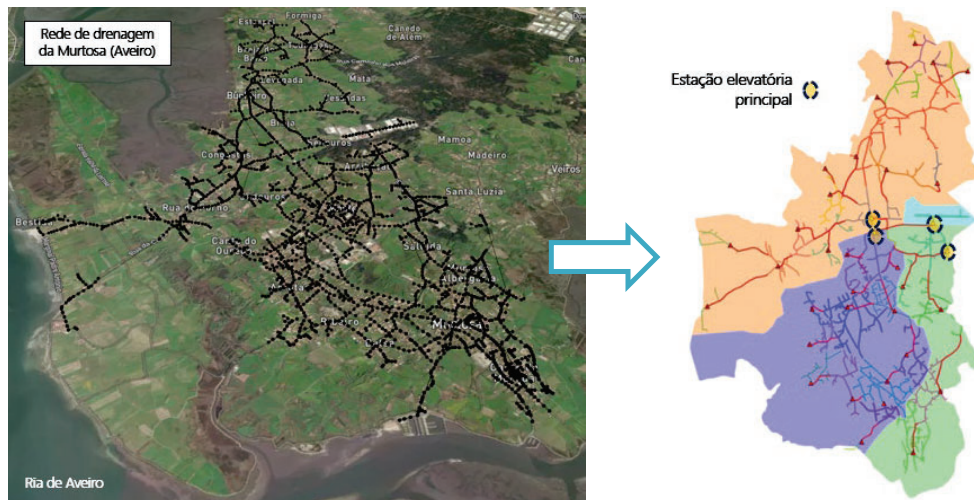


Figura 1. Representação da rede de drenagem e divisão do sistema em 4 bacias de drenagem

A metodologia desenvolvida para avaliação das afluências indevidas reúne os seguintes objetivos e potencialidades:

- Agregação e cruzamento dos dados disponíveis: o cadastro, os consumos de água potável e os registos de funcionamento de 4 estações elevatórias;
- Desagregação dos volumes transportados por origem, considerando as diversas componentes de afluências indevidas (doméstica, infiltração e afluência pluvial);
- Produção de mapas com a indicação dos locais da rede de drenagem com funcionamento em carga devido ao impacto das afluências indevidas;
- Cruzamento dos resultados hidráulicos com os registos operacionais no terreno;
- Priorização da pesquisa de ligações indevidas e realização de campanhas de inspeção vídeo (CCTV);
- Aplicação de indicadores de desempenho por bacia;
- Possibilidade de conversão para modelos hidráulicos de simulação mais avançados (e.g. SWMM).

No presente estudo, é feita uma quantificação inicial dos volumes de afluências indevidas por bacia, com a distinção entre o tempo seco e húmido. Numa segunda fase, é realizada a simulação do comportamento hidráulico da rede de drenagem, utilizando um modelo hidráulico em regime permanente. Este modelo foi desenvolvido internamente em linguagem *Python*, de forma a avaliar a capacidade de transporte dos coletores, em função da georeferenciação, do padrão e do tipo de caudal afluente.

2 Diagnóstico e quantificação das afluições indevidas

A avaliação das componentes de afluições indevidas foi realizada com base nos registos de funcionamento das quatro estações elevatórias principais, distinguindo entre o tempo seco (meses de Verão) e tempo húmido (meses chuvosos do ano).

Na Figura 2 é representado o volume total diário, decomposto por estação elevatória, e a precipitação (“a azul-escuro”) ao longo do ano 2023. Realçam-se os valores máximos no evento assinalado, com destaque para as contribuições das bacias EE04 (“a castanho”), EE03 (“a verde”) e EE01 (“a rosa”). A EE02 (“a amarelo”) possui um peso mais residual.

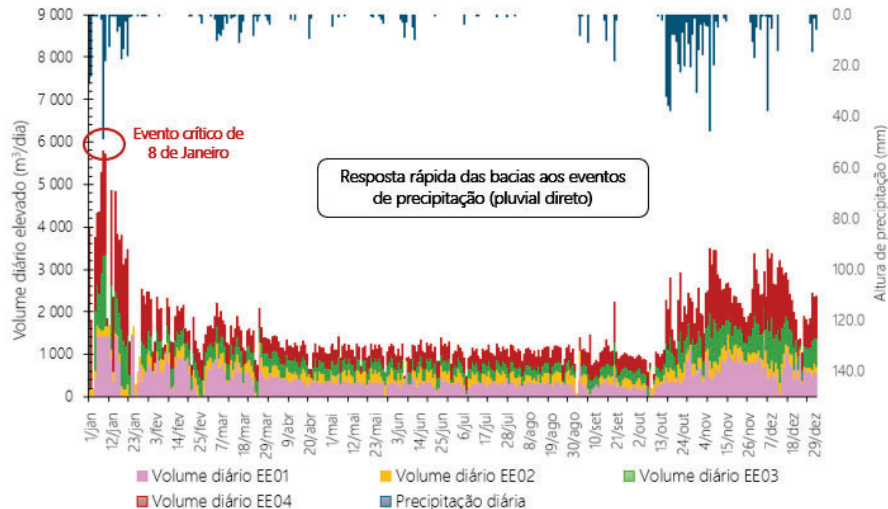


Figura 2. Volumes diários elevados em cada EE e altura de precipitação diária em 2023

A componente doméstica e industrial em cada bacia foi determinada a partir da agregação dos consumos mensais de água potável com o cadastro da rede.

Na Figura 3 é apresentada a discretização dos caudais horários na EE04, incluindo a indicação da capacidade instalada (“a amarelo”) e a variação da infiltração mínima em tempo seco (“a verde”) e da infiltração máxima em tempo húmido (“a vermelho”).

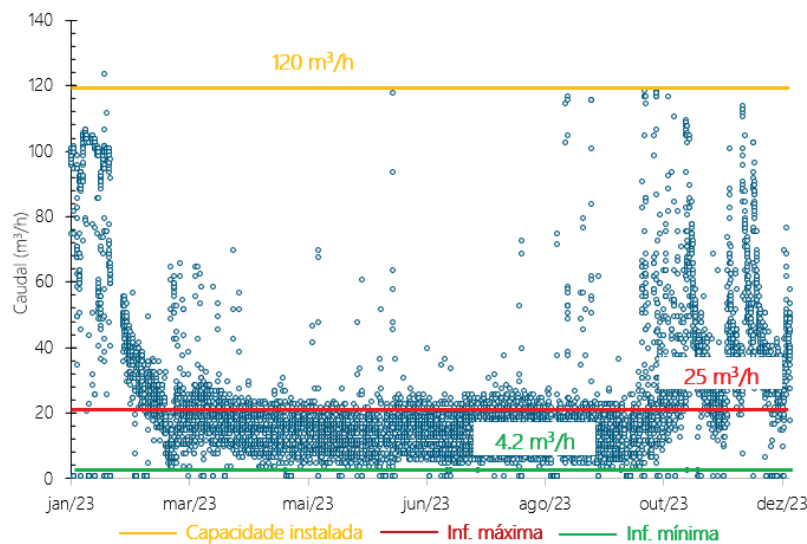


Figura 3. Registo dos caudais horários, capacidade instalada e a variação da infiltração na EE04

Conforme se observa, a infiltração varia sazonalmente ao longo do ano, aumentando no Inverno para um valor máximo de 25 m³/h (considerando 7 dias sem precipitação após o último evento), e reduzindo no Verão para um valor mínimo de 4.2 m³/h.

A Figura 4 sistematiza os valores da infiltração mínima e máxima por estação elevatória, bem como os volumes totais (obtidos pela soma com o caudal doméstico) em tempo seco e húmido. Verifica-se que, nas bacias EE04 e EE03, os valores de infiltração máxima são superiores à componente doméstica.

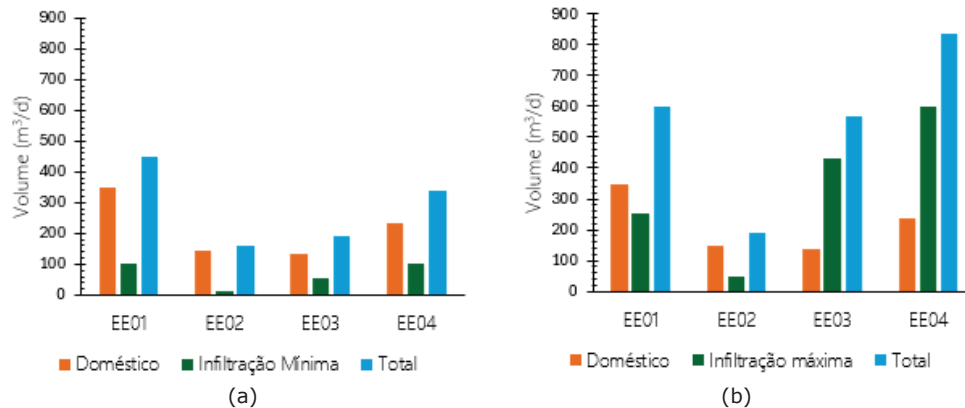


Figura 4. Estimativa das contribuições por estação elevatória: (a) infiltração mínima em tempo seco (b) infiltração máxima em tempo húmido

O Quadro 1 apresenta a relação entre a infiltração máxima e mínima ($Q_{INF\ MAX}/Q_{INF\ MIN}$), a relação entre a infiltração máxima e o caudal médio em tempo seco ($Q_{INF\ MAX}/Q_{MED\ TS}$) e a relação entre a infiltração mínima e máxima com a extensão da rede associada ($Q_{INF\ MIN}/L_{COLETOR}$ e $Q_{INF\ MAX}/L_{COLETOR}$), conforme proposto por Cardoso et al. (2002).

Os resultados obtidos indicam que a variação da infiltração ao longo do ano é mais significativa nas bacias EE03 e EE04 ($Q_{INF\ MAX}/Q_{INF\ MIN} > 4.5$). Além disso, a infiltração possui uma expressão superior na bacia da EE03, face ao caudal médio em tempo seco doméstico ($Q_{INF\ MAX}/Q_{MED\ TS}$), próximo dos 200%. Por outro lado, se analisarmos a infiltração máxima por extensão de rede ($Q_{INF\ MAX}/L_{COLETOR}$), os valores encontram-se abaixo dos limites de referência. Na verdade, os valores apontados no Manual de Saneamento Básico, variam entre 0.2 l/s/km para coletores situados acima do nível freático e 1.0 l/s/km para coletores situados abaixo do nível freático. Destaca-se, no entanto, a maior contribuição da bacia EE04, com valores mínimo e máximo de 0.07 l/s/km e 0.41 l/s/km, respetivamente.

Quadro 1. Análise da variação da infiltração e indicadores de desempenho por bacia de drenagem

Bacia/EE	Extensão da rede (km)	$Q_{INF\ MAX}/Q_{INF\ MIN}$	$Q_{INF\ MAX}/Q_{MED\ TS}$	$Q_{INF\ MIN}/L_{COLETOR}$ (l/s/km)	$Q_{INF\ MAX}/L_{COLETOR}$ (l/s/km)
EE01	35.4	2.5	56%	0.03	0.08
EE02	1.8	2.8	28%	0.08	0.30
EE03	32.3	4.6	188%	0.02	0.15
EE04	17.0	6.0	165%	0.07	0.41
Global	86.5	4.3	110%	0.04	0.18

Na Figura 5 apresenta-se a avaliação dos caudais máximos pluviais em cada bacia (“a azul”), considerando a decomposição dos volumes máximos registados em eventos de elevada precipitação. Para efeitos comparativos, são também apresentadas as

componentes doméstico e não doméstico (“a amarelo”) e a infiltração de base (“a castanho”) em tempo húmido e o respetivo peso no volume total.

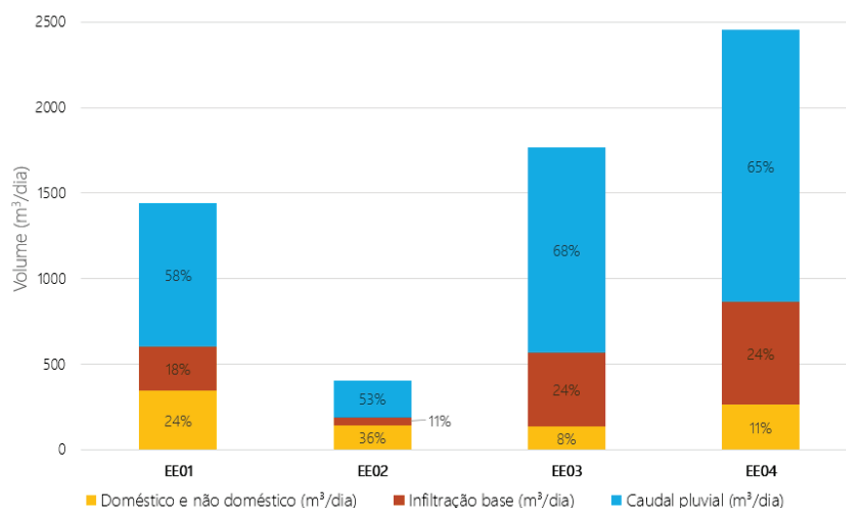


Figura 5. Decomposição dos volumes em eventos de elevada pluviosidade e respetivo peso

Os valores apresentados demonstram o impacto significativo das aflúncias pluviais nas bacias da EE03 e EE04, com valores de cerca 1200 m³/dia (68% do total) e 1600 m³/dia (65% do total), respetivamente. Na bacia EE01, onde a contribuição doméstica é mais significativa (equivalente a 24%), as aflúncias pluviais representam cerca de 840 m³/dia. A bacia EE02, associada a uma área industrial, apresenta um contributo residual para o conjunto. Tendo por base estes resultados, é recomendada a priorização da pesquisa de ligações indevidas nas bacias da EE03 e EE04.

3 Simulação hidráulica em regime permanente

O modelo hidráulico foi desenvolvido internamente em linguagem *Python* e assume que o escoamento é uniforme e permanente entre intervalos de cálculo consecutivos, ou seja, não existe atraso ou alteração da forma do hidrograma entre dois pontos da rede. Esta simplificação pressupõe que: (i) apenas existe uma saída em cada câmara de visita; e (ii) a acumulação ou o volume associado a extravasamentos não são relevantes.

Esta ferramenta permite determinar os caudais transportados em qualquer ponto da rede com base na georreferenciação do consumo de água potável e assumindo um coef. BWF de aflúncia à rede. A variação do consumo doméstico, também designada por *GW* *Wastewater Flow* (“BWF”), assume uma curva padrão e foi aplicada uniformemente a todos os pontos de consumo. Acrescentando a parcela da infiltração designada por *Groundwater Infiltration* (“GWI”), decomposta por câmara de visita, foi possível estimar os padrões em cada bacia, conforme ilustrado na Figura 6 para a EE04 em tempo seco.

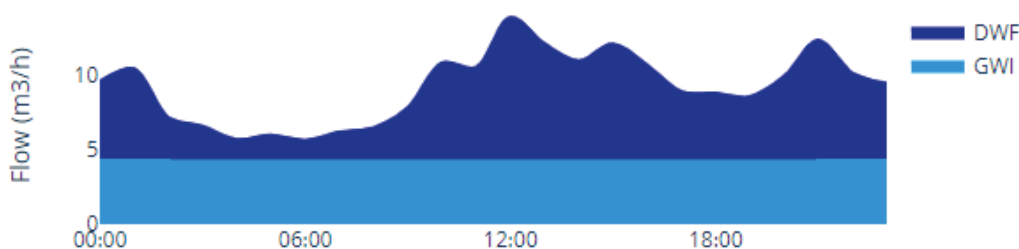


Figura 6. Padrão da componente doméstica (BWF) e da infiltração (GWI) na EE04 em tempo seco

Por forma a avaliar o comportamento da rede em eventos críticos, foi realizada a simulação hidráulica considerando a distribuição dos caudais máximos de infiltração e de afluência pluvial em tempo húmido. Em resultado, obteve-se um caudal máximo de 80.7 l/s (312 m³/h) no ponto de ligação com o sistema em alta, conforme assinalado na Figura 7.

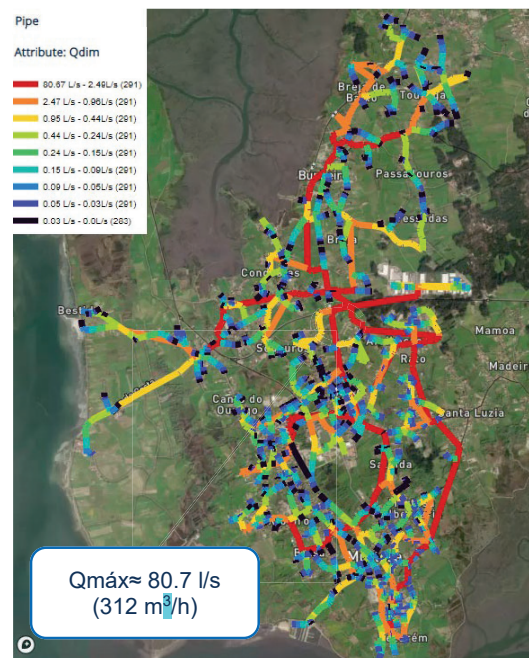


Figura 7. Mapa com a distribuição do caudal máximo em tempo húmido

Na Figura 8 é apresentada a relação h/D para o mesmo evento, de modo a avaliar a capacidade de transporte face aos caudais de ponta. Os 5 locais críticos de entrada em carga do sistema, assinalados “a amarelo”, coincidem com os reportados pela AdRA.

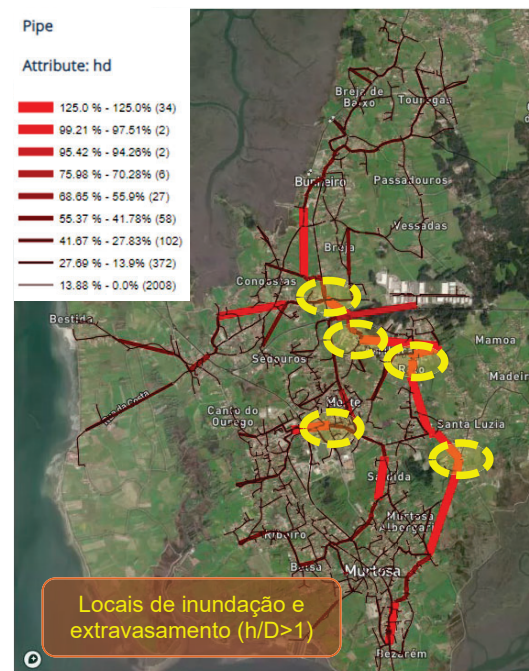


Figura 8. Mapa com a relação h/D em tempo húmido e pontos críticos identificados

4 Conclusões

Na presente comunicação apresentou-se uma metodologia de avaliação simplificada da rede de drenagem da Murtosa, que potencia e agrega a informação disponível, sem recurso a uma campanha de medição de caudal. Esta abordagem permitiu alcançar um nível de conhecimento substancialmente superior ao que resultaria da mera soma das partes.

Os resultados obtidos possibilitaram uma análise global e integrada da rede, permitindo reconhecer e quantificar as diversas componentes das aflúências indevidas por bacia de drenagem: i) a bacia EE01 representa 39% do consumo doméstico e não doméstico do sistema; ii) a variação da infiltração de base é mais significativa nas bacias da EE03 e EE04, com maior contribuição por extensão de rede na EE04; e iii) verifica-se um impacto significativo das aflúências pluviais diretas nas bacias EE03 e EE04, que representam mais de 65% do volume total gerado para o evento de precipitação crítico.

Com base nos resultados obtidos, foram definidas ações prioritárias para a gestão da rede, em função dos volumes indevidos, que incluem a realização de campanhas de monitorização nas bacias EE03 e EE04 (e.g., pesquisa e deteção de ligações indevidas e inspeções CCTV), o apoio à definição de locais para instalação de pontos de descarga e a identificação dos troços de rede prioritários para reabilitação.

A metodologia incluiu ainda a simulação hidráulica da rede de drenagem, o que permitiu comparar os caudais máximos com a capacidade de transporte instalada. Os 5 locais de sobrecarga hidráulica identificados no modelo coincidem com os pontos críticos de extravasamento e de inundação reportados pela AdRA.

Como desenvolvimentos futuros, propõe-se a expansão da metodologia às restantes estações elevatórias a montante, bem como a conversão do modelo para simulação hidráulica em regime variável. Este alargamento da análise permitirá a discretização da informação por sub-bacias de menor dimensão e o refinamento da localização de pontos críticos em situação de sobrecarga do sistema.

Referências

- Manual de Saneamento Básico, Volume 2. (1991), ed. Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa
- Barbosa, N. (1998), Apontamentos Didáticos de Hidráulica Aplicada, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- 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.