

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA INFILTRAÇÃO NO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Adriana CARDOSO¹; Maria do Céu ALMEIDA²; Sérgio Teixeira COELHO²

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Av. Brasil, 101 – 1700-066-Lisboa
Email: macardoso@lneec.pt

RESUMO

Algumas das principais deficiências funcionais que ocorrem em sistemas de drenagem urbana resultam de afluências indevidas que diminuem a eficácia (i.e. o cumprimento da sua finalidade) e a eficiência (i.e. a melhor utilização dos recursos necessários) destas infra-estruturas.

A ocorrência de infiltração nos sistemas de águas residuais prejudica o seu desempenho não só por resultar em sobrecarga e extravasamento dos sistemas mas, também, por afectar a exploração quer dos sistemas de drenagem quer das estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e provoca, frequentemente, a redução da eficiência nos processos de tratamento. Este problema pode tornar-se crítico a médio ou longo prazo, tendo importantes consequências na gestão dos sistemas, quer a nível técnico quer económico. Os custos associados à infiltração são elevados, justificando só por si o investimento na sua redução e a utilização de indicadores de eficiência do serviço de águas residuais relativamente à sua ocorrência.

A infiltração ocorre através de deficiências estruturais nos colectores, nas juntas, ligações e câmaras de visita. Não sendo possível eliminar totalmente esta afluência é desejável que estes caudais sejam mantidos em valores baixos.

Na presente comunicação são focados os principais aspectos associados aos caudais de infiltração nomeadamente, os factores propiciadores, o impacto que poderá ter no desempenho funcional dos sistemas e a sua quantificação e controlo. É feita uma reflexão sobre possíveis indicadores adequados, que permitam quantificar de uma forma sistemática o desempenho dos sistemas no que respeita aos caudais de infiltração. Finalmente ilustra-se a aplicação de alguns dos indicadores num caso de estudo.

Palavras-chave: infiltração, avaliação de desempenho, gestão técnica de sistemas de águas residuais

¹ Assistente de Investigação do LNEC, Núcleo de Engenharia Sanitária

² Investigador Auxiliar do LNEC, Núcleo de Engenharia Sanitária

1. INTRODUÇÃO

A avaliação do desempenho técnico de sistemas de drenagem urbana deve ter em conta uma análise em diferentes domínios (hidráulico, sanitário, ambiental, estrutural e sócio-económico) considerando vários aspectos específicos de desempenho. Em termos hidráulicos, estes aspectos incluem a entrada em carga de colectores, inundações, velocidades excessivas, assoreamento, redução da capacidade de escoamento e ocorrência de infiltrações. No domínio sanitário, os mais relevantes são a contaminação microbiológica (resultante de, por exemplo, descargas sem tratamento adequado e exfiltração nas redes de colectores) e a ocorrência de concentrações excessivas de gás sulfídrico. Relativamente ao domínio ambiental, destacam-se a ocorrência de descargas não tratadas para o meio receptor e de exfiltração. No que respeita à condição estrutural, podem ser considerados aspectos como o assentamento dos colectores, a ocorrência de fendilhação, falhas, deformações e colapsos. Finalmente, no domínio sócio-económico podem ter-se em conta a ocorrência de odores, interrupções de tráfego e custos unitários de exploração.

Algumas das principais deficiências funcionais que ocorrem em sistemas de drenagem urbana resultam de aflúncias indevidas que diminuem a eficácia (i.e. o cumprimento da sua finalidade) e a eficiência (i.e. a melhor utilização dos recursos necessários) destas infra-estruturas. Em sistemas separativos domésticos, a ocorrência de infiltração e de aflúncias pluviais causa a sobrecarga hidráulica do sistema de transporte e de tratamento de águas residuais e, frequentemente, a redução da eficiência nos processos de tratamento. Para aflúncias significativas, relativamente à capacidade existente, podem verificar-se inundações, descargas através dos descarregadores de emergência e entrada em funcionamento de *by-pass* à estação de tratamento. Existindo instalações elevatórias e de tratamento, estas aflúncias terão um impacto directo em termos de aumento dos custos de exploração. Este problema ocorre também em sistemas unitários, onde a capacidade de tratamento é geralmente limitada a três a seis vezes o caudal médio de tempo seco, pois a infiltração resultará no aumento dos custos de tratamento e elevação.

A infiltração, entendida como a entrada de água subterrânea nas infra-estruturas enterradas, através de deficiências estruturais nos colectores, nas juntas, ligações e câmaras de visita, ocorre inevitavelmente, em maior ou menor escala. Caracteriza-se por ter variações de caudal relativamente lentas, ao contrário das aflúncias pluviais que resultam num incremento muito rápido conducente a caudais de ponta muito elevados. Estas últimas diferenciam-se também na sua causa, já que se devem maioritariamente à ligação indevida de ramais pluviais de edificações e de sumidouros.

Não sendo possível eliminar totalmente a infiltração, e na falta de dados experimentais locais, atribui-se um valor de projecto no dimensionamento dos sistemas, com base no estipulado regulamentarmente, em função do diâmetro e da extensão da rede a montante. No entanto, na prática, os valores dos caudais de infiltração podem exceder significativamente os valores de projecto, sendo frequentemente subestimados, e são um indicador do estado estrutural dos

sistemas. De facto, o bom estado estrutural dos sistemas, sendo uma condição chave para garantir que o transporte das águas residuais se faz de forma estanque, tem um papel muito importante no seu bom desempenho.

O problema da infiltração tende a agravar-se com a idade dos sistemas, podendo tornar-se crítico a médio ou longo prazo, tendo importantes consequências no seu desempenho quer a nível técnico quer económico. Assim, a quantificação da magnitude dos caudais de infiltração, quer para avaliar a sua relevância num sistema em particular, quer para quantificar o efeito de intervenções mitigadoras deste problema, deverá ser feita recorrendo a um conjunto de indicadores que quantifiquem de forma objectiva os caudais com origem na infiltração, entrem em linha de conta com os factores relevantes para a ocorrência da infiltração e permitam a comparação entre diferentes sistemas.

2. INFILTRAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM: A ESCALA DO PROBLEMA

2.1. Factores que influenciam a infiltração

Os caudais de infiltração são tipicamente variáveis quer espacial quer temporalmente. A infiltração pode verificar-se nas ligações domésticas ao colector, ao longo dos colectores ou nas câmaras de visita, quer ao nível da ligação com o colector, quer no próprio corpo da câmara. A sua magnitude depende de factores como (WHITE *et al.*, 1997; GAMBOA *et al.*, 2000):

- a posição dos elementos das redes relativamente ao nível freático, que apresenta variações sazonais (pressão hidrostática sobre o elemento);
- a percentagem do tempo em que o nível freático está acima da soleira dos elementos da rede de drenagem;
- o estado de conservação das redes de drenagem, particularmente dos colectores e câmaras de visita (dependente dos materiais usados, da idade do sistema, da presença de raízes, entre outros);
- o comprimento das redes, diâmetro dos colectores e número das câmaras de visita;
- a densidade de ramais de ligação;
- o tipo de solo e condições de assentamento dos colectores;
- a ocorrência de precipitação, pois esta induz um acréscimo da infiltração devido ao escoamento sub-superficial, que normalmente apresenta uma resposta mais rápida que a infiltração resultante do nível freático, e ainda contribui para a elevação do nível freático (Figura 1);
- as fugas das condutas de abastecimento público e dos colectores separativos pluviais.

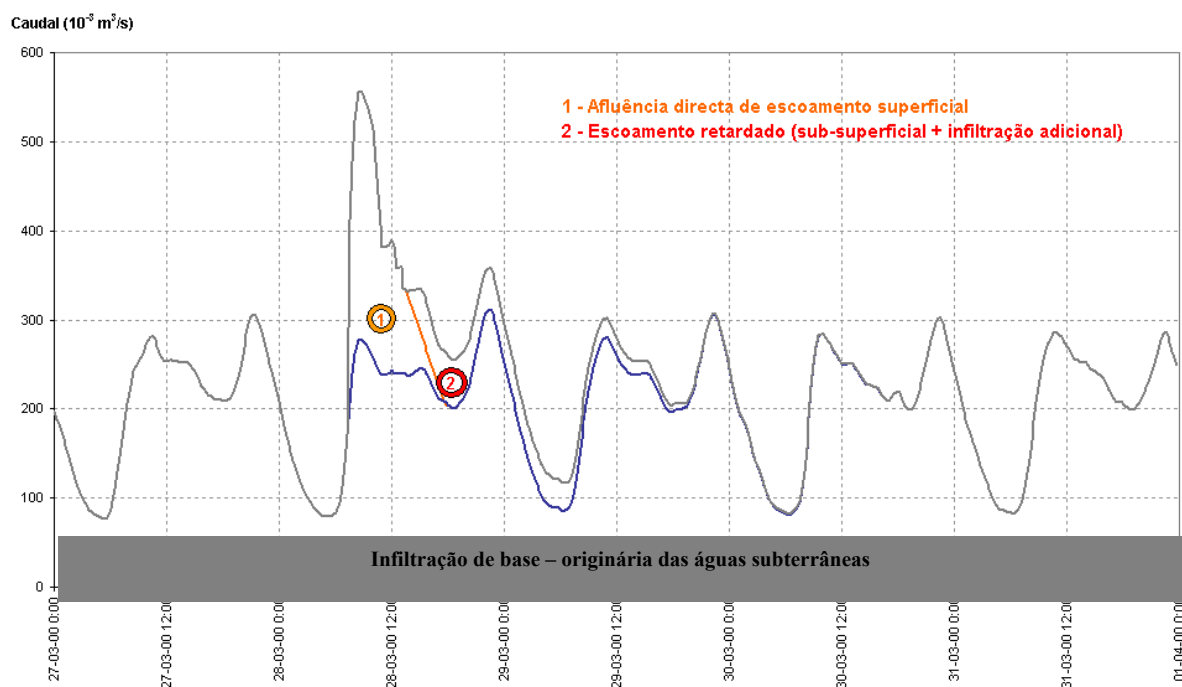


Figura 1 - Esquema ilustrativo da influência da precipitação na infiltração

Mesmo não ocorrendo aflúências pluviais directas a um sistema separativo doméstico, o que na realidade acontece em maior ou menor escala em consequência de ligação incorrecta de ramais pluviais e de sumidouros aos colectores separativos domésticos, o acréscimo da infiltração devido ao escoamento sub-superficial, relativamente à infiltração de base, pode ser também bastante significativo.

2.2. Impacto da infiltração no desempenho funcional dos sistemas

A água subterrânea que se infiltra nos sistemas de drenagem é geralmente de boa qualidade, com menor poluição até que os efluentes tratados das ETAR. Se atingirem valores significativos, estas aflúências podem originar diversos problemas, entre os quais se destacam (White *et al.*, 1997):

- o aumento dos custos de operação, manutenção e, eventualmente, de investimento, quer em colectores, quer na ETAR;
- a redução da capacidade útil de transporte e tratamento, que contribui para a ocorrência de maiores descargas (maior frequência, duração ou caudal descarregado), inundações e, conseqüentemente, poluição dos solos e meios hídricos;
- a diminuição da eficiência de tratamento na ETAR;
- impactos negativos devido ao eventual rebaixamento do nível freático;
- a possível entrada de sedimentos nos colectores, aumentando o fluxo de material sólido e potencialmente danificando as infra-estruturas e equipamentos.

De acordo com estudos realizados, ELLIS (2001) refere que, no Reino Unido, as ligações domiciliárias contribuem, em média, com cerca de 30% a 40% da infiltração nas redes. STEVENS (1998), num estudo realizado em Nova Iorque, estima que cerca de 50% do caudal afluente à ETAR tem origem em infiltração. A partir de estudos experimentais em França, BELHADJ *et al.* (1995) reportam valores de 42% do caudal em tempo seco. Em Portugal, embora a medição sistemática não seja ainda prática corrente, inspecções casuais dão indicação da sua ocorrência significativa, quer em colectores, quer em câmaras de visita. GAMBOA *et al.* (2000) referem valores de caudal de infiltração em diversas bacias de drenagem até 50% do caudal de tempo seco.

3. QUANTIFICAÇÃO E CONTROLO DA INFILTRAÇÃO

3.1. Quantificação da infiltração

O problema da quantificação da infiltração coloca-se em duas fases concretas: na fase de projecto, quando se calculam os caudais de dimensionamento, e durante a fase de exploração, para se avaliar o desempenho do sistema em termos técnicos e económicos. Em projectos de reabilitação, a quantificação da infiltração é importante para avaliar o desempenho antes e depois da intervenção.

Em termos de valores para dimensionamento, o Decreto Regulamentar n.º 23/95 estabelece que *“desde que não se disponha de dados experimentais locais ou de informações similares, o valor do caudal de infiltração pode considerar-se igual ao caudal médio anual, nas redes de pequenos aglomerados com colectores a jusante até 300 mm, e proporcional ao comprimento e diâmetro dos colectores, nas redes de médios e grandes aglomerados; neste último caso, quando se trate de colectores recentes ou a construir, podem estimar-se valores de caudais de infiltração da ordem de 0,5 m³/dia, por centímetro de diâmetro e por quilómetro de comprimento de rede pública, podendo atingir-se valores de 4 m³/dia, por centímetro de diâmetro e por quilómetro, em colectores de precária construção e conservação”*.

Nos EUA, as orientações da ASCE-WEF (American Society of Civil Engineers-Water Environment Federation), para projecto de sistemas gravíticos domésticos, diferem de local para local, podendo variar desde 0,05 até 1,39 m³/dia por cm de diâmetro e por km de colector (EPA, 2001). Segundo METCALF e EDDY (1991), a quantidade de infiltração que entra nos colectores pode variar entre 0,094 a 9,4 m³/dia por cm de diâmetro e por km de colector, podendo mesmo atingir valores superiores. Estes autores referem que, segundo a agência reguladora dos EUA, a infiltração é considerada excessiva se ultrapassar 7,5 m³/dia por cm de diâmetro e por km de colector e expressam também a variação da infiltração entre 0,2 a 28 m³/(ha.dia).

WHITE *et al.* (1997) indicam que, para a prática de projecto no Reino Unido, 10% da capacidade do colector deve ser reservada para a infiltração em colectores domésticos, de acordo com WAA (1989).

A norma alemã ATV118 considera, para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana, um caudal de infiltração igual a 100% do caudal doméstico podendo, em casos justificados, assumir outra magnitude ou ser calculado numa base diferente, tal como em função da área drenada. Refere também que, em sistemas unitários, o caudal de infiltração pode ser negligenciado no dimensionamento dos colectores mas deve ser considerado no dimensionamento de estruturas especiais e estações de tratamento. No caudal de infiltração é também incluído o caudal proveniente de ligações incorrectas.

Quando existem medições locais de caudal, a quantificação da infiltração de base que ocorre num sistema de drenagem, não induzida rapidamente pela precipitação, pode ser estimada a partir da análise dos registos de medição de caudal diário em tempo seco, nomeadamente o valor de caudal mínimo registado, que ocorre geralmente no período entre as 0:00 e as 6:00 horas. Estudos onde foi feita a análise detalhada dos caudais mostram que o caudal nocturno é, em média, cerca de 8 a 12% do caudal médio diário sem ocorrência de precipitação para bacias urbanas (COHEN, 1998), embora esta proporção possa ser superior por efeito de caudais industriais ou outras afluições com alguma constância no tempo. No entanto, é necessário verificar especificamente o comportamento do método de medição durante o período nocturno, já que podem ocorrer erros significativos derivados dos menores caudais e alturas de água e ainda da ocorrência de baixas concentrações de sólidos em suspensão. Este tipo de problemas na medição de caudais em superfície livre pode resultar na sub-estimativa dos caudais nocturnos e, conseqüentemente, dos caudais de infiltração que ocorrem realmente nos sistemas.

Adicionalmente, em redes de grande extensão, ocorre um efeito de atenuação do padrão diário, de montante para jusante, devido principalmente ao desfasamento entre o padrão diário do escoamento principal e o dos afluentes (Gamboa *et al.*, 2000).

3.2. Controlo da infiltração

Em certos casos a ocorrência de infiltração é evidente e facilmente detectável. No entanto, em geral, a ocorrência da infiltração não é uniforme ao longo do sistema, pelo que é necessário proceder à localização das zonas mais críticas. Existem diferentes métodos possíveis, mas normalmente a redução/controlo dos caudais de infiltração envolve várias tarefas, como sejam:

- quantificação dos caudais de infiltração e detecção de zonas prioritárias;
- identificação das principais causas e dos elementos estruturais críticos;
- selecção das tecnologias apropriadas a cada patologia;
- reabilitação dos troços de acordo com as prioridades definidas.

WHITE *et al.* (1997) apresentam uma síntese dos métodos de localização, identificando as suas principais aplicações, vantagens e desvantagens. Indicam ainda algumas das técnicas disponíveis para renovação dos troços ou elementos críticos.

Dado serem intervenções morosas e dispendiosas, é fundamental identificar os elementos estruturais críticos responsáveis por uma maior contribuição para o caudal de infiltração. RAAB e AGBODO (1997) apresentam um caso de estudo onde 80% da totalidade do caudal de infiltração e aflúncias pluviais directas são originárias de cerca de 40% da área da bacia associada. As prioridades devem ser estabelecidas após identificação das áreas com maior contribuição.

De acordo com WEISS *et al.* (2002) será mais fácil reduzir a infiltração do que uma aflúncia pluvial com caudal equivalente. Assim, intervenções de reabilitação conducentes à redução da infiltração deveriam ser efectuadas antes de outras destinadas a remover aflúncias pluviais indevidas, em particular se forem adoptadas soluções de infiltração no solo (por exemplo, recorrendo a poços ou valas de infiltração).

Nos EUA, a taxa limite admissível de infiltração é de 1,39 m³/dia por cm de diâmetro e por km de colector, devendo ser eliminada toda a infiltração acima deste valor (WHITE *et al.*, 1997).

4. INDICADORES DE DESEMPENHO TÉCNICO PARA A INFILTRAÇÃO

4.1. Abordagem tradicional

Tradicionalmente o problema da infiltração nos sistemas de drenagem urbana não tem sido encarado como prioritário. Por um lado, os investimentos realizados eram aplicados maioritariamente na expansão e construção de novos sistemas. Por outro lado, a inexistência de uma quantificação dos caudais reais de infiltração nos sistemas não permitia ter uma percepção objectiva da dimensão do problema. No entanto, os efeitos do envelhecimento dos sistemas têm vindo a sensibilizar os gestores para a necessidade de investir na sua reabilitação e, conseqüentemente no conhecimento do seu desempenho a nível técnico e económico, tendo a infiltração um papel importante em ambos os aspectos.

A informação relativa à infiltração que vem estipulada no Decreto Regulamentar n.º 23/95, atrás apresentada e tradicionalmente aplicada, não se revela suficientemente objectiva. Uma breve análise foi realizada com base nesses valores. Representa-se na Figura 2 a razão entre o caudal de infiltração que ocorre num km de colector e a capacidade desse colector (Q_{inf}/Q_{SC}), em função do seu diâmetro.

Pode observar-se que a percentagem da capacidade do colector que é ocupada pelo caudal de infiltração se reduz à medida que o diâmetro e o declive aumentam. Assim, os casos mais desfavoráveis ocorrem para os diâmetros e declives mais baixos. Considerando um colector com declive 0,3%, Q_{inf}/Q_{SC} pode variar entre 1% e 6% para um diâmetro de 350 mm ou entre 0,1% e 0,3% para diâmetros acima dos 1500 mm. Para declives de 15%, Q_{inf}/Q_{SC} pode variar entre 0,8% e 1% para um diâmetro de 350 mm ou entre cerca de 0,01% para diâmetros acima dos 1500 mm. No caso de um colector de 500 mm com problemas de construção e conservação,

Q_{inf}/Q_{sc} pode variar entre 0,4% e 3,8%, se o declive for, respectivamente, 15% ou 0,3%.

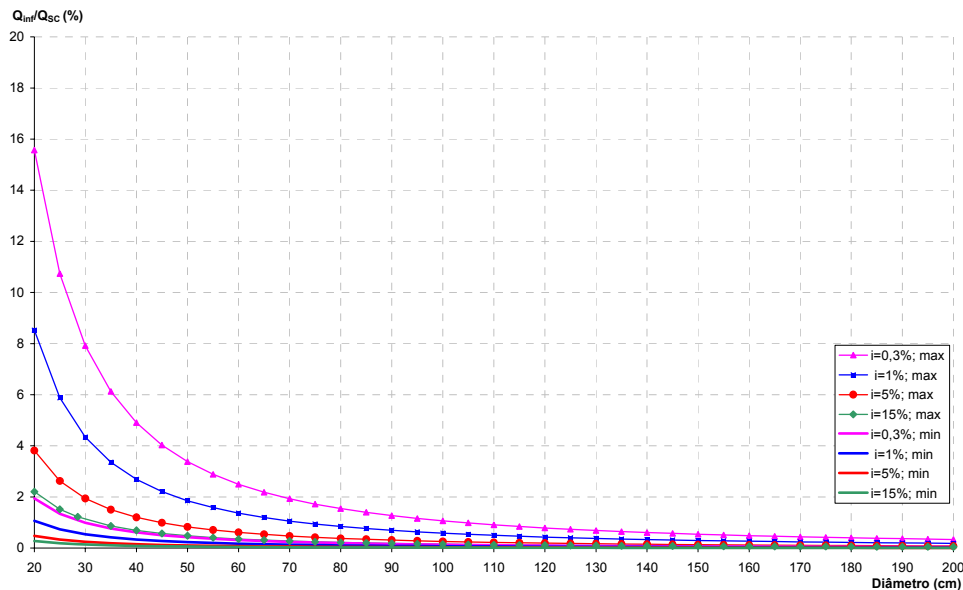


Figura 2 – Variação do caudal de infiltração de acordo com os valores regulamentares

Na Figura 3 representa-se o comprimento de coletor que seria necessário para que o caudal de infiltração atingisse a capacidade total de escoamento do coletor, em função do diâmetro. Assim, um coletor com 0,3% de declive e 500 mm de diâmetro, no caso de estar em bom estado, necessitaria de 2 km de comprimento para que o caudal de infiltração ocupasse a capacidade do coletor; se estivesse em mau estado de conservação seriam necessários 0,5 km. No caso de o diâmetro ser de 2000 mm, seriam necessário 3 km no primeiro caso e 24 km no segundo. Para um coletor com 15% de declive e 50 mm de diâmetro já seriam necessários 16 km para um coletor novo e 2 km para um coletor em mau estado de conservação. A variação para os colectores novos com baixos declives (0,3%) é muito próxima da variação dos colectores em mau estado e declives elevados (15%).

Os diâmetros mais baixos apresentam claramente maior possibilidade de ocorrência de problemas relacionados com a capacidade de escoamento, tais como entrada em carga, inundações e descargas. Assim, com base nos valores regulamentares e tendo em conta as características dos sistemas, os gráficos apresentados fornecem uma indicação da sobrecarga no sistema relativamente à infiltração, permitindo identificar quais os colectores em que é expectável o aparecimento de problemas relacionados com a infiltração. No entanto, o acompanhamento quer através de inspecção quer de monitorização mostra-se fundamental em sistemas com problemas.

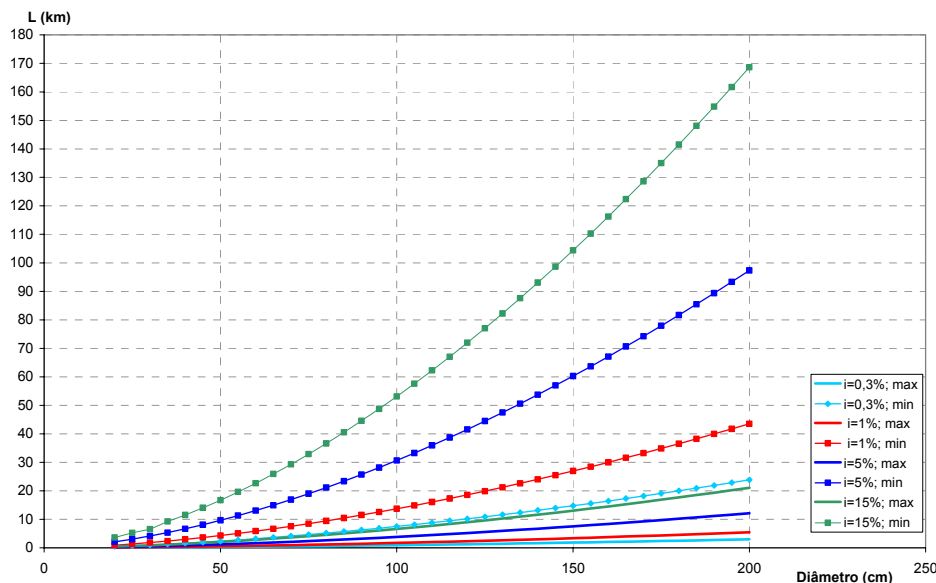


Figura 3 – Comprimento de colectores necessário para atingir a secção cheia.

4.2. Proposta de indicadores de desempenho para a infiltração

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. Esta medida pode ser obtida com base em dados de monitorização ou de modelação da rede em análise, variando espacialmente (de elemento para elemento da rede) e temporalmente (em função das solicitações ao sistema). Uma vez definidos os indicadores poderá ser usada uma *função de desempenho* para transformar os valores que eles tomam em valores de desempenho (COELHO e ALEGRE, 1999 e CRADOSO *et al.*, 1999).

Na presente comunicação, propõem-se os seguintes indicadores de desempenho técnico para avaliar o impacto da infiltração no desempenho dos sistemas de separativos domésticos ou unitários:

$\frac{Q_{inf}}{Q_{sc}}$ (%) - **Utilização da capacidade da secção cheia:** *esta medida indica qual é a percentagem do caudal de infiltração relativamente ao valor do caudal de secção cheia do colectores, que representa a sua capacidade. Permite avaliar a percentagem da capacidade do colectores que é utilizada em consequência da ocorrência de infiltração. Este indicador não entra em conta com nenhuma das origens possíveis da infiltração acima referidas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num colectores), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no colectores de jusante do sistema). Neste caso é necessário conhecer a capacidade do colectores a avaliar, o que não apresenta dificuldade uma vez conhecida a topologia, a geometria e o material do colectores em análise. Este indicador fornece informação sobre o desempenho hidráulico, dando um valor relativo à capacidade do colectores em análise mas não traduzindo qualquer informação sobre a quantidade absoluta de infiltração ocorrida. Por exemplo, ao longo de um troço de rede, com três colectores*

sucessivos de capacidade crescente, o valor absoluto da infiltração mantinha-se, não havendo acréscimo de infiltração ao longo de todo o troço. Este indicador tomava os valores de 60%, 30% e 10% em cada colector de montante para jusante, significando que a capacidade de cada colector era ocupada naquela percentagem, respectivamente, por caudal de infiltração. No entanto, o valor real da infiltração era o mesmo nos três colectores.

$\frac{Q_{inf}}{Q_{mts}}$ (%) - **Proporção do caudal de tempo seco:** 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. No entanto, este indicador não entra em conta com nenhuma das origens possíveis da infiltração acima referidas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num colector), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no colector de jusante do sistema). Neste caso é necessário conhecer a o caudal médio de tempo seco escoado pelo colector a avaliar, dado obtido através de medições ou por estimativa. Este indicador tem o inconveniente de ser dependente da influência do caudal médio diário de tempo seco. Por exemplo, num troço de colector de 1 km com 1000 mm de diâmetro, um caudal de infiltração de 50 m³/dia é considerado um valor baixo segundo o Decreto Regulamentar 23/95 e corresponderia a 0,5% num sistema que transportasse um caudal médio diário de tempo seco de 8640 m³/dia e a 1,2% noutro sistema que transportasse um caudal médio diário de tempo seco de 4320 m³/dia. Este indicador, se aplicado ao caudal que chega à estação de tratamento, permite dar informação sobre o peso que o caudal de infiltração pode ter nos gastos do tratamento. Neste caso, além de ser usado em termos de volume pode ser aplicado em termos de percentagem de custos.

$\frac{Q_{inf}}{n^{\circ} C_{visita}}$ (m³/s) - **Caudal unitário por câmara de visita:** esta medida indica o caudal médio de infiltração por câmara de visita. Como foi anteriormente referido, as câmara 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 colector, 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 colector, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido, sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no colector de jusante do sistema). Neste caso, é necessário conhecer o número de caixas de visita que contribuem para a avaliação em causa, o que pode condicionar a aplicação deste indicador. Em sistemas onde a origem da infiltração ocorra com predominância nas câmaras de visita, este pode ser um indicador importante para avaliar os benefícios de reabilitação.

$\frac{Q_{inf}}{L_{colector}}$ (m³/s/km) – **Caudal unitário por comprimento do colector:** esta medida indica o caudal médio de infiltração que ocorre por km de comprimento do colector. 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 colector), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no colector de jusante do sistema). Neste caso, é necessário conhecer o comprimento total dos colectores que contribuem para a avaliação em causa, o que pode condicionar a aplicação deste indicador; no entanto, em sistemas onde a infiltração ocorra predominantemente ao longo do colector pode ser um indicador importante para avaliar os benefícios de reabilitação.

$\frac{Q_{inf}}{(L_{colector} \times P)}$ (m³/dia/(cm.km)) - **Caudal unitário por área de parede do colector:**

esta medida indica o caudal médio de infiltração em função da área de parede do colector 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 colector), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no colector de jusante do sistema). Neste caso, é necessário conhecer o valor total da área longitudinal dos colectores que contribuem para a avaliação em causa, o que pode condicionar a aplicação deste indicador; no entanto, em sistemas onde a infiltração ocorra predominantemente ao longo do colector, pode ser um indicador importante para avaliar os benefícios de reabilitação.

Uma avaliação de desempenho técnico rigorosa, baseada em medidas ou indicadores de desempenho, deve ser realizada com base numa clara definição dos objectivos que se pretendem avaliar, seleccionando, de acordo com esses objectivos, os indicadores mais apropriados. A escolha depende também das características do sistema, das suas principais deficiências e da informação disponível. Deve ter-se em atenção que os indicadores apresentados podem fornecer informação complementar, relativamente ao desempenho do sistema. Estes indicadores deverão ser exaustivamente discutidos, testados e aplicados a casos reais.

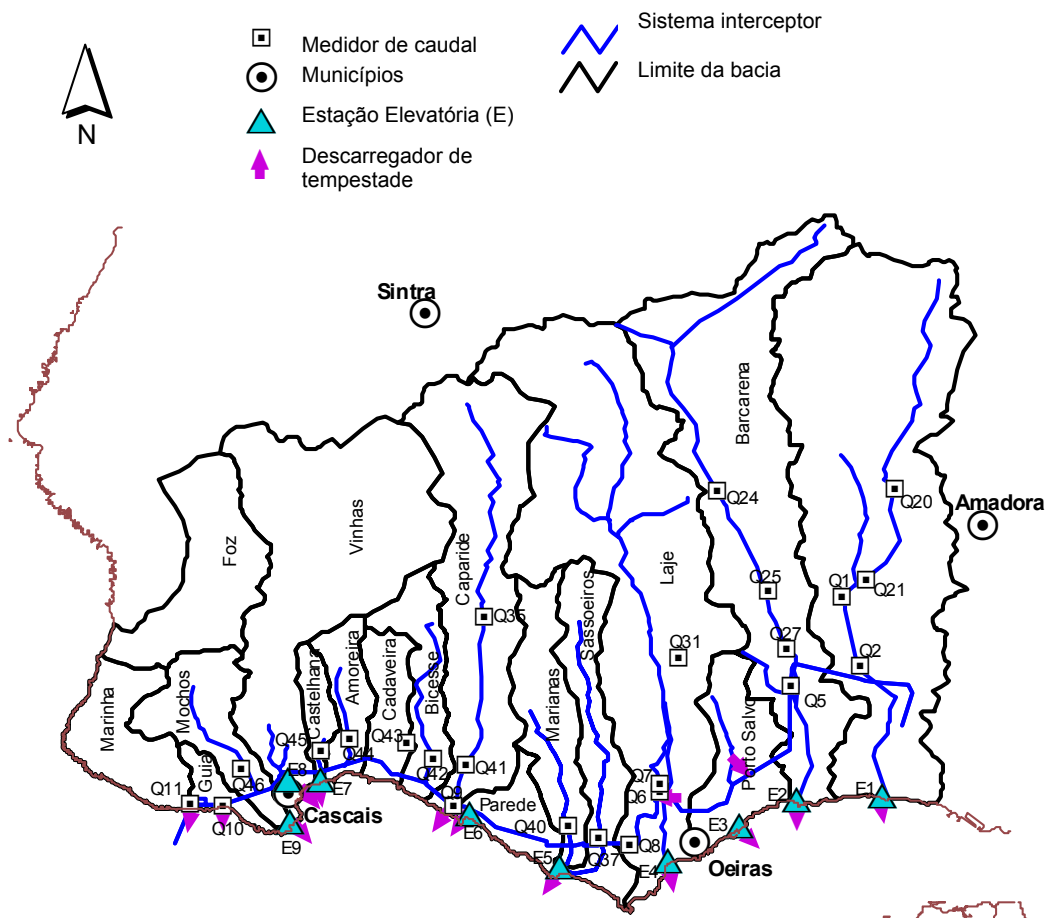
5. APLICAÇÃO A UM CASO DE ESTUDO

5.1. Descrição

O Sistema Interceptor da Costa do Estoril é um sistema separativo doméstico servindo actualmente cerca de 720 000 habitantes equivalentes, com uma área de atendimento de cerca de 240 km², cuja exploração está a cargo da SANEST S.A.. Este sistema inclui um interceptor principal, vários emissários gravíticos, diversos sistemas elevatórios e uma ETAR (Figura 4). Os emissários desenvolvem-se ao longo de linhas de água. A montante dos emissários concentram-se aglomerados populacionais bastante densos, com redes de drenagem municipais exploradas por outras entidades gestoras.

Relativamente ao estado de conservação do sistema interceptor em estudo, sendo de construção relativamente recente e tendo sido objecto de algumas inspecções, não são de esperar grandes infiltrações, embora as juntas das câmaras de visita possam não ser suficientemente estanques em alguns locais. No entanto, as redes

municipais ligadas ao sistema têm idade e qualidade de construção muito variáveis, podendo a sua deterioração estar na origem de caudais de infiltração bastante elevados. O facto de não ser conhecido o cadastro da rede municipal condiciona a análise em causa, não permitindo o cálculo de todos os indicadores acima



propostos.

Figura 4 – Esquema do sistema interceptor da Costa do Estoril e localização dos medidores de caudal

Embora do ponto de vista de intercepção das descargas seja adequada a localização estabelecida ao longo das ribeiras, a localização física dos colectores perto do leito das ribeiras, com frequentes atravessamentos, pode originar problemas futuros de exploração, não só por efeito de erosão do leito da ribeira, que potencialmente poderá vir a afectar as infra-estruturas, mas também por grandes extensões de colector estarem instaladas abaixo do nível freático, existindo à partida um potencial importante para a ocorrência de infiltrações.

5.2. Caracterização da infiltração

A área das bacias influencia o padrão diário (diagrama adimensional) dos caudais escoados, havendo uma tendência para a atenuação do hidrograma. Comparando o padrão diário de uma bacia de pequena área (Q₄₆) e a afluência à ETAR (Q₁₀) evidencia-se este efeito (Figura 5).

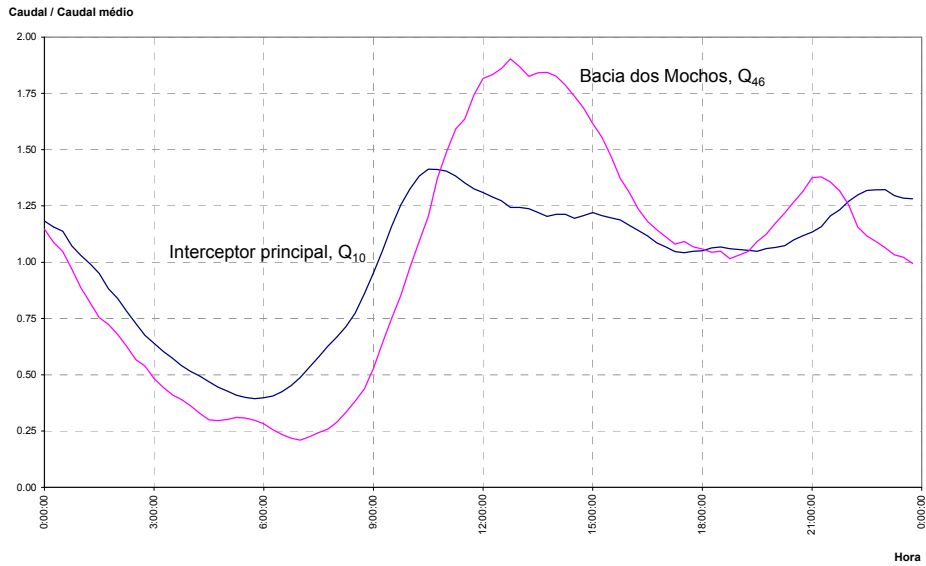


Figura 5- Padrão diário entre bacias de dimensão diferente (Área total Q₄₆= 7 km²; Área total Q₁₀≈ 221 km²)

A avaliação da atenuação que poderá ocorrer devido ao desfasamento dos diagramas diários foi feita através de simulação matemática para o caso do interceptor principal. Para se ter uma melhor percepção do efeito da atenuação, e por não estarem disponíveis dados simultâneos em todos os emissários, foi simulado o cenário relativo a uma afluência idêntica para todos os nós a que afluem os emissários, conforme representado na Figura 6.

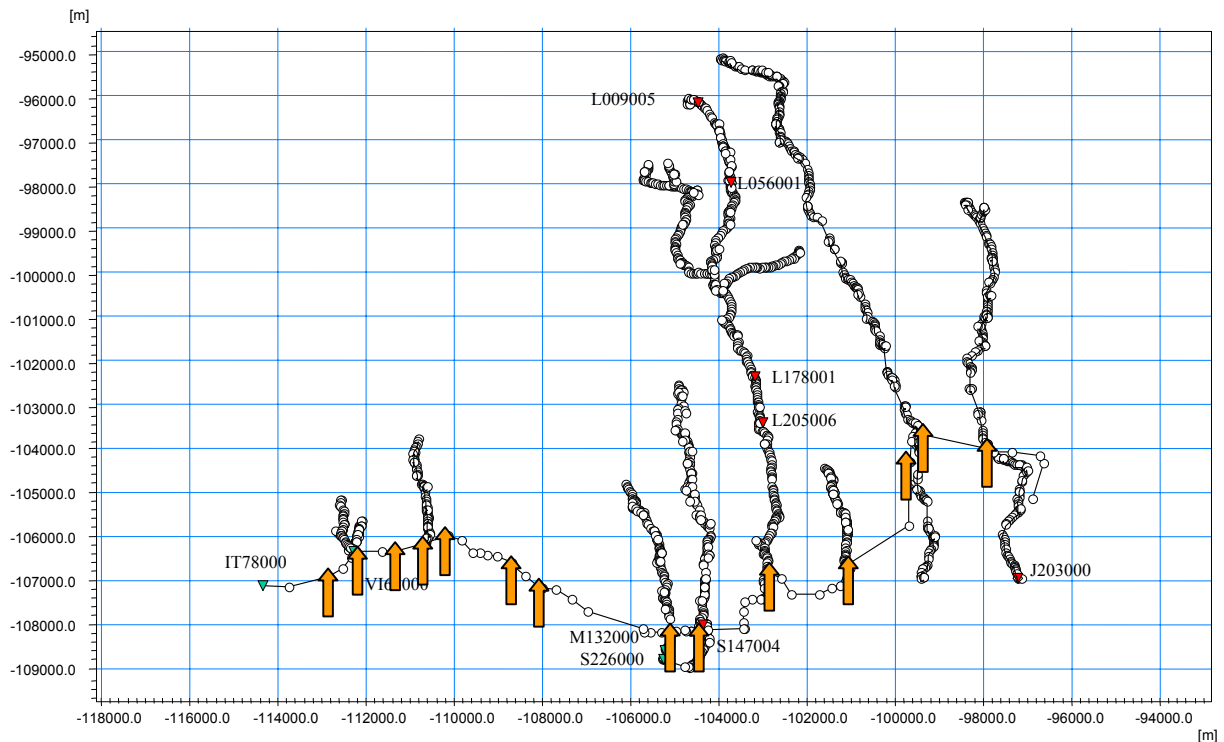


Figura 6- Representação do sistema no modelo matemático com os dados de cadastro disponíveis

O diagrama-padrão usado nas simulações apresenta-se na Figura 7. Na Figura 8 apresenta-se o resultado da simulação para a secção a montante da ETAR (Q10) .

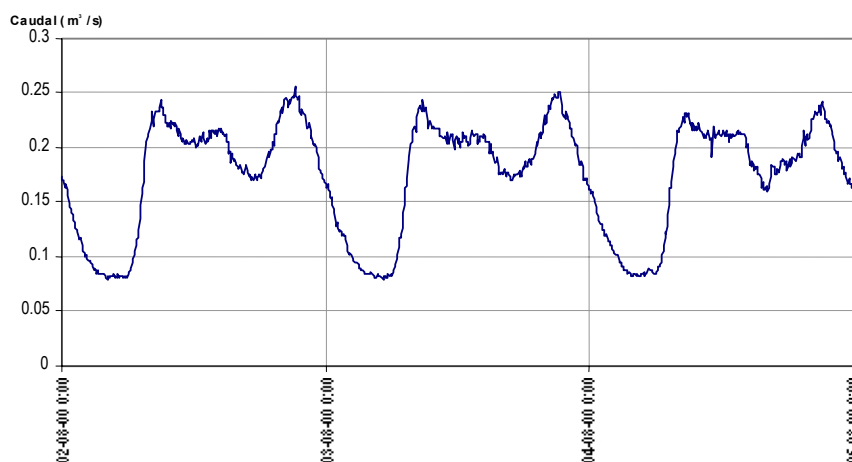


Figura 7- Diagrama-padrão afluente

O somatório dos caudais mínimos (em catorze afluentes) relativamente ao mínimo afluente ao ponto Q10 difere de 8 %, ou seja, o efeito da atenuação é pouco significativo no caudal mínimo para o cenário simulado.

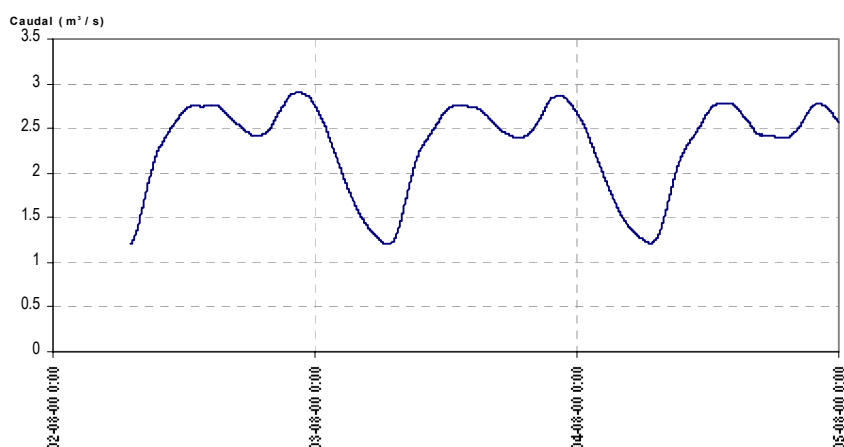


Figura 8- Resultados da simulação em Q10

A estimativa de infiltração a partir dos caudais mínimos registados nos medidores colocados em colectores directamente afluentes ao interceptor principal (somatório dos caudais mínimos nos medidores Q2, Q27, Q7, Q37, Q40, Q41, Q42, Q43, Q44, Q45 e Q46, sem ocorrência de precipitação), deduzida de 12% que se assume corresponder ao caudal doméstico mínimo, resulta num valor de 0,31 m³/s para o caudal de infiltração. Apesar de não estarem incluídas todas as aflúncias este valor é superior ao mínimo obtido para um período equivalente em Q10 (0,28 m³/s). Dado ser também considerável a diferença entre Q10 e Q11, seria necessário analisar com maior detalhe as medições nestes medidores no interceptor, em particular para os valores de caudal mínimo. Sem se contabilizar o eventual efeito de atenuação

durante o transporte no interceptor, poderá estimar-se que o caudal de infiltração global é da ordem de 0,31 m³/s, ou seja, da ordem de 36% do somatório dos caudais médios. A infiltração total é provavelmente superior devido às aflúncias que não foram contabilizadas neste cálculo.

Nos elementos de base para o projecto do sistema (Drena, 1985) foi estimado um caudal de infiltração correspondente a 25% do caudal médio de projecto de cada bacia. Nos estudos de beneficiação do sistema foi considerado um caudal de infiltração superior, da ordem de 50% do caudal médio.

5.3. Avaliação do impacto da infiltração no desempenho do sistema

Para o sistema em estudo foram calculados os indicadores anteriormente apresentados para os quais havia informação disponível. A parcela de infiltração associada a cada medidor e o valor dos indicadores obtidos para cada medidor são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1- Caudais de infiltração e indicadores de desempenho

Bacia	Medidor	Infiltração (88% do caudal mínimo) (10 ⁻³ m ³ /s)	Q _{inf} /Q _{mts} (%)	Q _{inf} /Q _{sc} (%)
Jamor	Q ₁	63	32	1.91
	Q ₂	70	29	1.42
	Q ₂₀	1	17	-
	Q ₂₁	5	24	-
Barcarena	Q ₂₄	46	40	4.88
	Q ₂₅	30	24	1.41
	Q ₂₇	77	48	5.38
Laie	Q ₂₉	69	34	7.21
	Q ₃₁	5	50	-
Sassoeiros	Q ₃₇	13	34	-
Marianas	Q ₃₈	15	34	-
Canaride	Q ₃₉	12	41	4.67
	Q ₄₁	23	48	4.79
Bicesse	Q ₄₂	15	34	-
Cadaveira	Q ₄₃	8	70	-
Amoreira	Q ₄₄	3	17	-
Castelhana	Q ₄₅	1	8	-
Mochos	Q ₄₆	2	12	-
Intercentor	Q ₅	179	35	-
	Q ₆	150	30	2.77
	Q ₈	224	30	3.71
	Q ₉	331	29	-
	Q ₁₀	278	31	3.68
	Q ₁₁	503	42	6.88

Os valores da infiltração nos emissários não ultrapassam os 77 l/s. No interceptor, o caudal de infiltração atinge os 500 l/s na secção de jusante. Analisando o indicador *Proporção do caudal de tempo seco* observa-se que, nos emissários, este é sempre inferior a 50%, à excepção do emissário da Cadaveira onde atinge 70%. Convém

salientar que os medidores onde este indicador apresenta maiores percentagens, é onde se observa um valor absoluto da infiltração mais baixo. Por exemplo, em Q31 este indicador é 50% e o caudal de infiltração é 5 l/s; também em Q42 o indicador toma o valor de 70% e o valor do caudal de infiltração é de 8 l/s. Este exemplo permite ilustrar a informação fornecida pelo indicador que não é traduzida pela análise do valor absoluto da infiltração. No que respeita ao interceptor, em todos os medidores o indicador apresenta valores próximos dos 30%, atingindo 42% na secção de jusante. Ao nível económico, este indicador informa sobre a percentagem do caudal originado pela infiltração que é conduzido ao tratamento, aumentando o seu custo.

Analisando agora o indicador *Utilização da capacidade da secção cheia*, pode observar-se que, em todos os medidores onde foi possível calculá-lo, os valores são inferiores a cerca de 7%, significando que, do ponto de vista técnico, a capacidade da secção não é significativamente ocupada por caudal de infiltração.

Não foi possível aplicar os outros indicadores propostos por não serem conhecidas todas as características do sistema a montante dos pontos de medição, nomeadamente o número de câmaras de visita, o comprimento dos colectores e a sua secção.

6. CONCLUSÕES

Tradicionalmente a problemática da infiltração nos sistemas de águas residuais não tem sido considerada como prioritária. No entanto, o envelhecimento dos sistemas, a sua expansão e deterioração têm conduzido a um aumento significativo dos volumes infiltrados, o que se reflecte no desempenho dos sistemas atingindo os vários aspectos hidráulico, sanitário, ambiental, estrutural e socio-económico. Neste contexto, é importante que os gestores dos sistemas tenham ferramentas para avaliar de uma forma quantificada e objectiva os caudais de infiltração e o seu impacto que no desempenho dos sistemas. A utilização de medidas ou indicadores de desempenho tem demonstrado ser uma forma robusta de avaliação em diversas áreas de actividade. Também se acredita que estas medidas têm um elevado potencial de aplicação na gestão dos sistemas de águas residuais, nomeadamente no acompanhamento do seu desempenho com vista ao estabelecimento de medidas pro-activas de manutenção e reabilitação. A presente comunicação pretende contribuir para a sua utilização propondo um conjunto de possíveis indicadores, que permitam quantificar de uma forma sistemática o desempenho dos sistemas no que respeita aos caudais de infiltração. Ilustra-se a aplicação de alguns dos indicadores com um caso de estudo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito dos projectos: "APUSS (Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems) com os seguintes parceiros: INSA de LYON (FR), EAWAG (CH), Technical University of Dresden (DE), Faculty of Civil Engineering at University of Prague (CZ), DHI Hydroinform a.s. (CZ), Hydroprojekt a.s. (CZ), Middlesex University (UK), LNEC (PT), Emschergerossenschaft (DE) and IRSA-CNR (IT), suportado pela Comissão Europeia no âmbito do 5º Programa Quadro, que contribui para a implementação das Acções Chave "Desenvolvimento sustentável e qualidade da água" sob o contrato n.º EVK1-CT-2000-00072 Energia, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, e "Uma Nova Abordagem para a Avaliação do Desempenho de Sistemas de Drenagem Urbana - Modelação de Indicadores de Desempenho Hidráulico e

Ambiental” co-financiado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, Programa PRAXIS XXI. Agradece-se ainda à SANEST S.A., pela disponibilização da informação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.C., CARDOSO, M.A. (2001). *Instrumentos de apoio à gestão técnica do sistema de saneamento da Costa do Estoril. Modelação matemática para simulação do comportamento hidráulico do sistema interceptor*. LNEC 168/01-NES, Lisboa.
- BELHADJ, N., JOANNIS, C., RAIMBAULT, G. (1995). “Modelling of rainfall induced infiltration into separate sewerage”. *Wat. Sci. Tech.* 32 (1), pp. 161-168.
- GAMBOA, M., ALMEIDA, M. C., MATOS, M. R., MATOS, J. S. (2000). - *Controlo da descarga de excedentes no sistema de saneamento da Costa do Estoril – Diagnóstico e formulação de recomendações estratégicas. 1º Relatório de Progresso - Caracterização e diagnóstico da situação actual*. LNEC 324/00-NES, Lisboa.
- CARDOSO, M.A.; COELHO, S.; MATOS, J.; MATOS, R. (1999). - “Indicadores de desempenho como instrumento para a avaliação e gestão técnica dos sistemas de drenagem urbanos”, *Indústria da Água* n.º 3, pp.17-25.
- COELHO, S.; ALEGRE, A. (1999)– Indicadores de Desempenho de Sistemas de Saneamento Básico. LNEC, Lisboa.
- COHEN, B.; ROZELMAN, S.; RYAN, T. (1998). - *Removing extraneous flow in new york city - a systematic approach yielding results*. ADS Corporation, Nova Iorque.
- ELLIS, J. B. (2001). – “Sewer infiltration/exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality”. In Anais da 2nd Int. Conf. Interactions Between Sewers, Treatment Plants and Receiving Waters in Urban Areas - INTERURBA II, Lisboa.
- EPA (2001) – Innovative urban wet-weather flow management systems. < <http://www.epa.gov/ednrmrl/publish/book/epa-600-r-99-029> (consultado em 7 de Julho de 2002)>.
- METCALF e EDDY (Eds.) (1991) – *Wastewater Engineering. Treatment, disposal reuse*. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series.
- RAAB, C., AGBODO, M. (1997). “Investigation of I/I using a computerised hydraulic model”. In Anais da conferência *Collection systems rehabilitation and O&M: Solving today's problems and meeting tomorrow's needs*. Kansas City, MO, USA, WEF.
- STEVENS, P. L. (1998) - Infiltration/inflow “rules of thumb”. ADS Corporation.
- WAA (1989) – *Sewers for adoption*. 3ª Edição, Water Authorities Association, UK.
- WEISS, G., BROMBACH, H., HALLER, B. (2002). “Infiltration and inflow in combined sewer systems.” *Wat. Sci. Tech.* 45 (7), pp.11-19.
- WHITE, M., JOHNSON, H., ANDERSON, G., MISSTEAR, B. (1997) – *Control of infiltration to sewers*. Report 175, CIRIA, UK.