

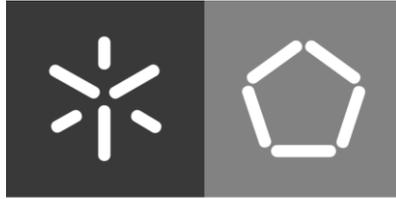


Universidade do Minho

Escola de Engenharia

André Filipe Dias Brochado

**Modelação hidráulica de sistema interceptor de
drenagem de águas residuais**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

André Filipe Dias Brochado

**Modelação hidráulica de sistema intercetor
de drenagem de águas residuais**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Urbana

Trabalho realizado sob a orientação do
Professor Doutor José Luís Silva Pinho

janeiro de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor José Silva Pinho, orientador científico desta dissertação, por todo o seu apoio, pela sua disponibilidade e pela partilha de conhecimento.

À TRATAVE pela disponibilização de toda a informação necessária à concretização deste trabalho.

À minha pessoa favorita por todo o seu apoio e carinho.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

As entidades gestoras de sistemas de drenagem de águas residuais, cientes das dificuldades em implementar estratégias para gerir as aflúncias indevidas nos sistemas de drenagem de águas residuais, têm vindo a desenvolver e aplicar metodologias de gestão operacional para recursos hídricos, com o objetivo de evitar a entrada em carga da rede, a ocorrência de descargas para o meio recetor, a ocorrência de obstruções recorrentes e ainda a ocorrência de inundações.

É neste âmbito que a recolha de informação através de mecanismos de monitorização dos sistemas de drenagem de águas residuais assume cada vez mais importância na gestão eficiente da operação.

Partindo dos dados recolhidos pela entidade gestora do sistema de drenagem em alta do Médio Ave, o objetivo desta dissertação consiste na modelação hidráulica de um sistema intercetor em alta, de modo a avaliar o seu comportamento hidráulico e quantificar as descargas no meio recetor, bem como quantificar as infiltrações ocorridas nos coletores.

Nesse sentido, recorre-se ao *software* SOBEK para se proceder à avaliação do sistema intercetor através da definição de três cenários, cada um com diferentes dinâmicas associadas: um caracterizado pelo tempo seco e restantes dois marcados pela ocorrência de períodos de precipitação.

Palavras-chave

Aflúncias indevidas, Drenagem de águas residuais, Modelação hidráulica, Gestão operacional, SOBEK.

ABSTRACT

Management entities of wastewater drainage systems, aware of the difficulties in implementing strategies to manage undue inflows into wastewater drainage systems, have been developing and applying operational management methodologies for water resources, with the aim of preventing entry of network load, the occurrence of discharges, the occurrence of recurrent obstructions and even the occurrence of flooding.

It is within this scope that the collection of information through monitoring mechanisms of wastewater drainage systems assumes increasing importance in the efficient management of the operation.

Based on the data collected by the managing entity of the drainage system of the Médio Ave region, the main goal of this dissertation consists of the hydraulic modelling of an interceptor sewer system, in order to assess its hydraulic behaviour and quantify overflow, as well as to quantify the inflows that occurred in the interceptor sewer system.

In this sense, the SOBEK software is used to assess the interceptor sewer system through the definition of three scenarios, each with different associated dynamics: one characterized by dry weather and the remaining two marked by the occurrence of precipitation periods.

Keywords

Inflows, Wastewater, Interceptor sewer, Modelling, systems management, SOBEK.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	IV
RESUMO.....	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS.....	XIV
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	XV
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	4
2.2 SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS EM PORTUGAL.....	4
2.2.1 Revisão do conceito	4
2.2.2 Componentes das Redes de Drenagem de Águas Residuais	6
2.2.3 Modelo de organização dos serviços de águas em Portugal	8
2.2.4 Regulamento Nacional para o Dimensionamento de Redes de Drenagem de Águas Residuais	8
2.3 AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	9
2.3.1 Definição	9
2.3.2 Infiltração direta.....	11
2.3.3 Infiltração indireta.....	13
2.3.4 Impacto das afluições indevidas nos sistemas de drenagem e nos meios recetores	
13	
2.4 DESCARGA DE ÁGUAS RESIDUAIS EM EXCESSO (SANITARY SEWER OVERFLOW – SSO)	14
2.5 MODELAÇÃO COMPUTACIONAL DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	16
2.5.1 Contextualização da modelação computacional	16

2.5.2	Princípios da formulação dos modelos hidrológicos e hidráulicos	17
2.5.3	Softwares para a modelação de sistemas de drenagem urbana	22
2.5.4	Descrição sumária do software SOBEK	24
3	CASO DE ESTUDO: SISTEMA INTEGRADO DE DESPOLUIÇÃO DO VALE DO AVE.....	27
3.1	METODOLOGIA	27
3.2	DESCRIÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE DESPOLUIÇÃO DO VALE DO AVE (SIDVA).....	28
3.2.1	Caracterização das frentes de drenagem em estudo.....	31
3.2.2	Sistema de mediação e monitorização desenvolvido pela TRATAVE.....	32
3.2.3	Otimização operacional implementada	37
3.3	INFORMAÇÃO DE BASE AO FUNCIONAMENTO DO MODELO HIDRÁULICO	38
3.4	MODELO HIDRÁULICO DO SISTEMA INTERCETOR COM O SOFTWARE SOBEK.....	46
3.4.1	Processo de caracterização dos nós.....	47
3.5	CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	55
4.2	CENÁRIO 1 – ANÁLISE ÀS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA INTERCETOR EM TEMPO SECO 58	
4.3	CENÁRIO 2 – ANÁLISE ÀS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA INTERCETOR NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE OS DIAS 1 E 31 DE MARÇO DE 2018.....	63
4.3.1	Processo de calibração	63
4.3.2	Avaliação das descargas no meio recetor nos intercetores de Nespereira e Vizela (FD4) 66	
4.3.3	Análise as afluências indevidas no intercetor de Vizela (FD6)	70
4.4	CENÁRIO 3 – ANÁLISE ÀS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA INTERCETOR NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE OS DIAS 1 AO DIA 31 DE JANEIRO DE 2019.....	72
4.4.1	Processo de calibração	72
4.4.2	Avaliação das descargas no meio recetor nos intercetores de Nespereira e Vizela (FD4) 76	
4.4.3	Análise das afluências indevidas no intercetor de Vizela (FD6)	79
4.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS E PROPOSTA DE SOLUÇÕES	80
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84

5.1 CONCLUSÕES.....	84
5.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS.....	90
ANEXO 1	90
ANEXO 2	93
ANEXO 3	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Modelação nas diferentes fases do ciclo de vida um de empreendimento (adaptado de David, 2005 citado por Ensinas, 2009).	17
Figura 2 – Ambiente gráfico do SOBEK-Urban de uma rede de drenagem urbana (Deltares, 2020).	25
Figura 3 – Fluxograma da metodologia aplicada no estudo do SIDVA.....	27
Figura 4 – Esquema do Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave (SIDVA) gerido pela TRATAVE (TRATAVE, 2020).....	29
Figura 5 – FD do SIDVA (adaptado de Silva, 2020).....	30
Figura 6 – Planta de localização das FD 4 e 6 do SIDVA.....	31
Figura 7 – Localização dos medidores de caudal (adaptado de Silva, 2020): a) Medidores de caudal das indústrias; b) Medidores de caudal dos municípios.	34
Figura 8 – Implementação das Zonas de Monitorização e Controlo (adaptado de Silva, 2020): a) Fase inicial do projeto; b) Após a definição do sistema de monitorização.	36
Figura 9 – Planta esquemática da câmara repartidora de caudal entre a FD4 e a FD6 (adaptado de Silva, 2020).....	38
Figura 10 – Planta de localização do sistema de monitorização da EG.....	40
Figura 11 – Localização de sensores intermédios do sistema interceptor: a) Planta de localização; b) Sensor 6AVE061; e c) Sensor 6VIZ004.	41
Figura 12 – Registo das medições de caudal e de precipitação ao longo do interceptor de Nespereira da FD4 (municípios e indústrias) referente à campanha de 2018.	42
Figura 13 – Registo das medições de caudal e de precipitação dos sensores intermédios referente à campanha de 2018.	43
Figura 14 – Registo das medições de caudal e de precipitação ao longo do interceptor de Nespereira da FD4 (municípios e indústrias) referente à campanha de 2019.	44
Figura 15 – Registo das medições de caudal e de precipitação referente à campanha de 2019.	44
Figura 16 – Processo de introdução automática de objetos gráficos no SOBEK.....	47
Figura 17 – Tipo de câmara de visita: <i>closed</i> , <i>reservoir</i> ou <i>loss</i> (adaptado de Deltares, 2020)..	48
Figura 18 – Modelação da câmara repartidora de caudal no SOBEK.	50

Figura 19 – Definição das condições de funcionamento da EE da ETAR de Lordelo: a) Funcionamento dos grupos eletrobomba; b) Tabela de funcionamento dos grupos eletrobomba; e c) gráfico de funcionamento dos grupos eletrobomba.	52
Figura 20 – Discretização espacial do modelo hidráulico das FD4 e FD6 do SIDVA.	53
Figura 21 – Locais de calibração do modelo hidráulico no SOBEK.	54
Figura 22 – Localização dos locais de medição em ambiente gráfico de modelação do sistema interceptor.	57
Figura 23 – Perfil longitudinal do interceptor de Vizela FD4: a) Modelo de hidráulico; e b) Perfil de escoamento do interceptor de Vizela.	59
Figura 24 – Nível do caudal em câmara de visita no interceptor de Vizela (FD4).	60
Figura 25 – Perfil longitudinal do interceptor de Nespereira FD4.	61
Figura 26 – Velocidade de escoamento do sistema interceptor em período de tempo seco.	62
Figura 27 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto A referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.	63
Figura 28 – Relação entre os níveis simulados e modelados no ponto A para o período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.	64
Figura 29 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto B referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.	65
Figura 30 – Relação entre os níveis simulados e modelados no ponto B para o período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.	65
Figura 31 – Esquema para definição dos locais de descarga do caudal em excesso para o período de 1 e 31 de março de 2018.	66
Figura 32 – Perfil de escoamento no interceptor de Vizela (FD4) para o período de 1 a 31 de março de 2018.	67
Figura 33 – Perfil de escoamento no interceptor de Nespereira (FD4) para o período de 1 a 31 de março de 2018.	68
Figura 34 – Comparação entre o caudal medido no Sensor 4NES002 e os caudais medidos nos sensores municipais e industriais.	69
Figura 35 – Planta esquemática para identificação da ZMC para aferição de aflúências indevidas.	70
Figura 36 – Caudais observados no Sensor 6VIZ117 e no modelo de cálculo nos dias 1 a 31 de março de 2018.	71

Figura 37 – Caudais observado no Sensor 6VIZ004 e no modelo de cálculo nos dias 1 ao dia 31 de março de 2018.....	72
Figura 38 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto A referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.....	73
Figura 39 – Relação entre os níveis simulados e modelados no ponto A para o período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.....	74
Figura 40 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto B referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.....	75
Figura 41 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto B referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.....	75
Figura 42 – Esquema para definição dos locais de descarga do caudal em excesso para o período de 1 a 31 de janeiro de 2019.	76
Figura 43 – Perfil de escoamento no interceptor de Vizela (FD4) para o período de 1 a 31 de janeiro de 2019.	77
Figura 44 – Perfil de escoamento no interceptor de Nespereira (FD4) para o período de 1 a 31 de janeiro de 2019.....	78
Figura 45 – Comparação entre o caudal medido no Sensor 4NES002 e os caudais medidos nos sensores municipais e industriais.....	78
Figura 46 – Caudais observados no Sensor 6VIZ117 e no modelo de cálculo nos dias 1 a 31 de janeiro de 2019.....	79
Figura 47 – Caudais observados no Sensor 6VIZ004 e no modelo de cálculo nos dias 1 a 31 de janeiro de 2019.....	80
Figura 48 – Planta esquemática para implantação de reservatório temporário de águas residuais.	81
Figura 49 – Planta esquemática com o local crítico para aumento da secção dos coletores.	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos de cálculo utilizados pelos programas de simulação de sistemas de drenagem urbana adaptado de (Ferreira, 2006 citado por Figueiredo, 2014).	23
Tabela 2 – Características da FD4.	32
Tabela 3 – Características da FD6.	32
Tabela 4 – Balanço hídrico utilizado para estimativa de caudal tratado na ETAR de Lordelo.	51
Tabela 5 – Localização dos locais de calibração do modelo hidráulico.	54
Tabela 6 – Volume de caudal descarregado no meio recetor no período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.	69
Tabela 7 – Volume de caudal descarregado no meio recetor no período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.	78

LISTA DE ACRÓNIMOS

CAD – Computer Aided Design

DSS – Decision support system [Sistemas de suporte à decisão]

EE – Estação Elevatória

EG – Entidade Gestora

EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, SA

ETA – Estações de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FD – Frentes de Drenagem

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

RTC – Real Time Control [Controlo em tempo real]

SAR – Sistemas de águas residuais

SIDVA – Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SSO – Sanitary Sewer Overflow

TRATAVE – Tratamento de Águas Residuais do Ave, S.A

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

ZMC – Zona de Monitorização e Controlo

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e enquadramento do tema

O ciclo urbano da água corresponde a todas as etapas de utilização da água em meios urbanos, sendo o seu início determinado pela captação de água e o seu fim pela devolução ao meio recetor. A água captada passa, normalmente, por um processo de tratamento em Estações de Tratamento de Água (ETA), para posterior utilização pelas diversas atividades humanas, sendo, seguidamente, transportada até aos locais de consumo. Devido à utilização da água nas diversas atividades urbanas, há uma alteração das suas propriedades, dando origem às águas residuais. Assim, face a esta deficiente qualidade da água para consumo, é necessário transportá-la, através de um sistema intermédio de coletores e emissários, até uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Nessa infraestruturas é reposta a qualidade da água original e, por fim, esta é devolvida ao meio recetor (Marques *et al.*, 2011). No âmbito do ciclo urbano da água, a rede de drenagem é o sistema responsável pelo transporte das águas rejeitadas pelas atividades urbanas, designadamente pelas habitações, comércio, serviços e indústrias, até às ETAR, para consequente tratamento.

Segundo Cardoso *et al.* (2017), os problemas que ocorrem devido a aflúncias indevidas são: entrada em carga da rede, ocorrência de descargas para o meio recetor, ocorrência de obstruções recorrentes e ainda ocorrência de inundações. Neste âmbito, as Entidades Gestoras (EG) têm vindo a investir e a adotar estratégias para mitigar estas aflúncias indevidas nos sistemas de drenagem de águas residuais. Como resultado, poderá obter-se um custo de operação menor, permitindo melhorar a qualidade do serviço prestado aos clientes, bem como diminuir os custos de exploração e impactos ambientais. Contudo, a implementação destas medidas está sempre dependente de fatores como o tipo de sistema existente, bem como da região onde este se insere.

Não obstante serem conhecidos os efeitos negativos das aflúncias indevidas nos sistemas de drenagem, a sua quantificação e localização é difícil de determinar. Cientes da necessidade de otimizar estes sistemas, verifica-se um interesse crescente das EG em desenvolver e aplicar metodologias de gestão operacional para recursos hídricos (Bernat *et al.*, 1969; Pinho e Vieira, 2014; Lowe *et al.*, 2016 citados em Pereira *et al.*, 2019), utilizando sobretudo ferramentas de controlo em tempo real (RTC) (Fuchs e Beeneken, 2005; Puig, 2009; Cembrano *et al.*, 2011; Lowe *et al.*, 2016; Van Daal-Rombouts *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2018; Shishegar *et al.*, 2018).

Segundo Pereira *et al.*, (2019), diferentes ferramentas hidroinformáticas foram já desenvolvidas, mas as partes interessadas são relativamente resistentes à adoção destas plataformas tecnológicas para apoiar e melhorar a eficiência da gestão da água e o desempenho operacional das infraestruturas de água.

É neste contexto que a implementação de sistemas de suporte à decisão (DSS), compostos por elementos de monitorização dos sistemas de águas residuais, bases de dados de eventos, modelos hidrodinâmicos e de qualidade da água, ferramentas RTC e relatórios de instalações para a apresentação dos resultados da produção, pode garantir uma melhor avaliação da variação do caudal escoado e ajudar na definição de soluções inovadoras para gestão de afluências excessivas em sistemas de drenagem (Pereira *et al.*, 2020).

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo a análise das condições de escoamento das FD 4 e da FD 6, inseridas no Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave (SIDVA), com o recurso à modelação hidráulica através do *software* SOBEK, para definição de soluções de otimização da gestão de afluências excessivas no sistema de drenagem em estudo.

De forma a resolver este problema associado às afluências indevidas, é efetuada uma avaliação às condições de funcionamento do sistema interceptador nas FD4 e 6. Para o efeito, são levadas a cabo as seguintes tarefas:

- i. Desenvolvimento de um modelo hidráulico;
- ii. Análise de dados históricos relativos à exploração do caso de estudo;
- iii. Realização de análise ao comportamento das condições de funcionamento do sistema interceptador.

A razão deste estudo prende-se com o facto de o sistema interceptador apresentar problemas no transporte de efluentes em eventos de precipitação, ocorrendo a descarga das águas residuais em excesso. Estas ocorrências podem ser atribuídas à incapacidade do sistema de drenagem de águas residuais em conseguir transportar todos os caudais provenientes das afluências indevidas.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, pelo que se apresenta abaixo um breve resumo dos mesmos.

No capítulo 1 é feita uma introdução ao tema em estudo, fazendo o enquadramento do mesmo e da sua importância e apresentada a estrutura do trabalho realizado.

O capítulo 2 diz respeito à revisão bibliográfica. Neste capítulo são referidos os sistemas de drenagem existentes e as suas funcionalidades e são apresentados o conceito de afluências indevidas nos sistemas de drenagem de águas residuais e de descarga de águas residuais em excesso. São identificados os diferentes tipos de afluências indevidas e os respetivos impactos negativos associados. São ainda apresentados os aspetos gerais de alguns modelos utilizados na modelação de sistemas de drenagem de águas residuais, assim como alguns dos *softwares* comerciais existentes e o seu âmbito de aplicação, tendo em conta as características que se pretende estudar. Por último, identifica-se o *software* – SOBEK – que será utilizado na análise ao sistema de drenagem de águas residuais, referindo os seus principais princípios e formulações, características e capacidades de modelação.

Ao longo do capítulo 3 é apresentado o caso de estudo referente ao Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave (SIDVA), no qual é realizada uma descrição detalhada de todo o sistema, e, em particular, apresentando-se as FD as quais incide o estudo. Ainda neste capítulo é apresentado com detalhe o modo de funcionamento do sistema, bem como o sistema de monitorização e recolha de informação desenvolvido pela EG. Por último, procede-se à descrição da construção do modelo hidráulico no *software* SOBEK, identificando os elementos escolhidos e a sua função. É ainda ao longo deste capítulo que se explica o processo de calibração do modelo e a validação dos cenários simulados.

Posteriormente, no capítulo 4, é efetuada a análise dos resultados obtidos, no que concerne a cada cenário simulado, onde se confrontam os resultados medidos com os resultados simulados.

O Capítulo 5 compila as conclusões finais da dissertação. Neste faz-se no qual se faz uma avaliação final dos resultados obtidos e das limitações do trabalho, bem como de são apresenta sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

Ao longo do presente capítulo pretende-se apresentar os elementos relevantes da literatura para o desenvolvimento deste trabalho, através da contextualização da drenagem urbana, bem como das suas problemáticas.

Neste sentido, apresenta-se inicialmente no capítulo 2.2 os tipos de sistemas de drenagem existentes, as suas características de funcionamento e a evolução da sua aplicação ao longo do tempo. No mesmo capítulo, faz-se a classificação dos sistemas de drenagem em alta e em baixa, bem como se procede à caracterização dos componentes do sistema. Atendendo à avaliação das condições de funcionamento do sistema de drenagem de águas residuais, abordam-se ainda os critérios de dimensionamento, tendo em conta a legislação nacional.

No capítulo 2.3 descreve-se com detalhe o fenómeno das afluências indevidas nos sistemas de drenagem de águas residuais, bem como as suas implicações no meio recetor.

Por fim, no capítulo 2.4 é apresentado o fenómeno de *Sanitary Sewer Overflow* (SSO), que consiste na descarga de águas residuais em excesso no meio recetor.

2.2 Sistemas de drenagem de águas residuais em Portugal

2.2.1 Revisão do conceito

A utilização da água por parte das comunidades tem como consequência a produção de águas residuais, sendo que as características dessas águas são significativamente diferentes da água que fora inicialmente captada. Normalmente, caracterizam-se por transportarem grandes quantidades de matéria orgânica, facilmente biodegradável, e/ou outras matérias poluentes, nocivas à saúde pública. Sendo assim, é necessário efetuar a sua recolha e transporte, para a realização de tratamentos, com o objetivo de as devolver ao meio recetor em condições aceitáveis.

Conforme o guia técnico elaborado pela Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. (EPAL) (David e Barroso, 2017), os sistemas de drenagem contemplam três grandes objetivos:

- i. Ter capacidade para recolher e transportar as águas residuais até à ETAR e de efetuar a descarga final;

- ii. Construção e implementação correta da rede, de modo a conduzir as águas pluviais provenientes de escoamentos superficiais à rede apropriada, diminuindo assim o risco de inundações;
- iii. Assegurar o cumprimento das condições regulamentadas da descarga final no meio hídrico recetor.

De acordo com o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), aprovado pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, os sistemas de drenagem compreendem classificações diferentes, tendo em conta a qualidade das águas residuais que transportam, podendo ser classificados da seguinte forma:

- separativos, constituídos por duas redes de coletores distintas, uma destinada às águas residuais domésticas e industriais e outra à drenagem das águas pluviais ou similares;
- unitários, constituídos por uma única rede de coletores, onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais;
- mistos, constituídos pela conjugação dos dois tipos anteriores, em que parte da rede de coletores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo;
- separativos parciais ou pseudoseparativos, em que se admite, em condições excecionais, a ligação de águas pluviais, por exemplo, de pátios interiores, aos coletores de águas residuais domésticas.

Por motivos económicos, inicialmente optou-se pela utilização de sistemas unitários, em que todas as águas eram recolhidas para a mesma rede de drenagem. Apesar de serem aparentemente os mais económicos, os sistemas unitários estão associados a baixa eficiência e a diversos problemas de funcionamento das redes.

Por conseguinte, por serem os mais aconselhados para o meio ambiente, mais tarde optou-se pela utilização de sistemas separativos, em que numa rede são transportadas as águas residuais e noutra as águas pluviais, sendo descarregadas no meio hídrico recetor sem qualquer tratamento. Este tipo de sistema surgiu da necessidade de reduzir os problemas de poluição

aquando das descargas de água não tratada no meio recetor, decorrentes da sobrecarga do sistema (Eddy *et al.*, 2004).

O dimensionamento e conceção destes dois tipos de sistemas de drenagem são diferentes. Por exemplo, enquanto os coletores domésticos são dimensionados para o caudal de ponta instantâneo, considerando as contribuições de águas residuais domésticas, industriais, comerciais e de infiltração, os coletores de águas pluviais são dimensionados a partir das precipitações médias máximas com uma duração igual ao tempo de concentração da bacia e com determinado período de retorno (RGSPDADAR). Mais ainda, os sistemas separativos permitem que os efluentes sejam sujeitos a tratamentos diferentes no final do ciclo urbano, pois as águas residuais são encaminhadas para uma ETAR, para posteriormente serem descarregadas no meio recetor, enquanto as águas pluviais poderão ser descarregadas diretamente no meio ambiente (Vieira, 2014).

Os sistemas mistos agregam os dois tipos de sistemas anteriormente referidos, sendo que parte da rede funciona como sistema unitário e outra como sistema separativo.

Por último, os sistemas separativos parciais ou pseudoseparativos são aqueles em que se admite, em condições excepcionais, a ligação de águas pluviais ao coletor de águas residuais domésticas. Hoje, nos novos sistemas, na conceção de sistemas de drenagem pública de águas residuais em novas áreas de urbanização, deve, em princípio, ser adotado o sistema separativo, conforme o artigo 119.º do RGSPDADAR. Em Portugal, à semelhança de outros países, apesar de os sistemas serem tendencialmente concebidos como separativos, acabam por tender a funcionar como pseudo-separativos (Rodrigues, 2013).

2.2.2 Componentes das Redes de Drenagem de Águas Residuais

No que se refere aos seus componentes, os sistemas de drenagem de águas residuais podem ser desagregados em três grandes grupos, designadamente (Marques e Sousa, 2011):

- Rede de coletores;
- Instalações e condutas elevatórias;
- Órgãos acessórios gerais e especiais.

Ora, relativamente ao primeiro grupo, esta infraestrutura é responsável pela recolha e transporte dos efluentes até ao local de tratamento, sendo que o escoamento deve ser, sempre

que possível, gravítico. Quanto ao ponto terminal da rede, este pode ser outra infraestrutura, como, por exemplo uma instalação elevatória, uma ETAR ou ainda uma descarga no meio recetor. É de referir ainda que os coletores possuem habitualmente uma geometria transversal circular, são implantados por trechos retilíneos e ligados entre órgãos acessórios, cuja função é primordial nas ações de inspeção, manutenção e limpeza.

A segunda categoria compreende as estações elevatórias. A sua utilização é promovida quando não é tecnicamente viável efetuar o transporte dos efluentes de forma gravítica. Com efeito, procede-se à utilização de instalações elevatórias de forma a induzir a energia necessária ao escoamento (elevação da cota piezométrica). Resumidamente, uma instalação elevatória é constituída por um conjunto de grupos de bombagem (bombas hidráulicas e motores), condutas elevatórias, equipamento de controlo (válvulas) e comando (quadros elétricos) e outros equipamentos auxiliares (postos de transformação), sendo instalados numa estrutura física (Marques e Sousa, 2011)

No que diz respeito à terceira categoria, consideram-se como órgãos acessórios:

- Câmaras de visita – são os órgãos mais numerosos em redes de drenagem e têm como função a inspeção e limpeza dos coletores, a remoção de obstruções e verificação das características de escoamento e da qualidade das águas residuais;
- Câmara de corrente de varrer – são dispositivos que têm com objetivo a remoção de sedimentos depositados nas tubagens onde os caudais escoados são pouco significativos e/ou com declives pouco acentuados;
- Descarregadores de tempestade – são órgãos acessórios tanto dos sistemas unitários, bem como dos sistemas mistos, cujo objetivo é descarregar caudais que excedam a capacidade de transporte, provenientes de águas pluviais ou até de ligações indevidas;
- Sifões invertidos – tratam-se de trechos de coletores instalados abaixo da linha piezométrica, realizando escoamento sob pressão gravítica, por forma a realizar travessias sob obstáculos, como, por exemplo, linha de caminho de ferro, um canal, etc., sem recurso a uma solução de passagem superior ou com recurso a bombagem, evitando-se desta forma custos em energia e manutenção.

2.2.3 Modelo de organização dos serviços de águas em Portugal

Os serviços de águas têm sido classificados segundo as designações de alta e baixa, em função das atividades realizadas pelas várias EG, a partir da publicação do Decreto-Lei n.º 379/93, de 5 de novembro. Os sistemas multimunicipais são, em grande parte, responsáveis pela gestão em alta e os sistemas municipais são, normalmente, responsáveis pela gestão em baixa, que correspondem, respetivamente, às atividades grossista e retalhista dos setores de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2019).

A atividade de saneamento de águas residuais urbanas compreende a descarga, a drenagem, a elevação, o transporte e o tratamento das águas residuais de origem urbana, bem como a sua rejeição no meio hídrico.

Apresentam-se as funções de cada sistema:

- Sistemas em alta: são responsáveis pelo transporte dos efluentes, através de interceptores e/ou emissários, que permitem a ligação do sistema em baixa ao ponto de rejeição.
- Sistemas em baixa: são responsáveis pela recolha de águas residuais, rejeitando-as depois num sistema em alta.

Esta estruturação do setor conduziu a vantagens no que se refere a economias de escala e, simultaneamente, à divisão da cadeia de valor da prestação dos serviços considerando as fases do processo produtivo (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2019).

2.2.4 Regulamento Nacional para o Dimensionamento de Redes de Drenagem de Águas Residuais

O dimensionamento dos sistemas de drenagem de águas residuais em Portugal é definido pelo RGSPDADAR. Tendo em conta todos os pressupostos e bibliografia associados ao dimensionamento dos sistemas, no contexto do presente trabalho, pretende-se, acima de tudo, apresentar os valores de referência, de forma a avaliar os resultados decorrentes das simulações efetuadas e verificar se o funcionamento do sistema é adequado.

Como tal, apresentam-se os critérios de dimensionamento hidráulico-sanitário presentes no aludido regulamento:

- A velocidade máxima de escoamento ($V_{m\acute{a}xR}$), para o caudal de ponta no horizonte de projeto, não deve exceder 3 m/s para coletores domésticos e 5 m/s, para coletores unitários e separativos pluviais;
- O regulamento impõe uma velocidade mínima ($V_{m\acute{i}nR}$) de 0,6 m/s para coletores domésticos, e 0,9 m/s para coletores unitários e separativos pluviais;
- A altura máxima da lâmina líquida ($h_{m\acute{a}xR}$) deve ser de 0,5 do diâmetro do coletor. No caso de diâmetro superior a 500 mm deve ser considerado o coeficiente de 0,75;
- A inclinação máxima dos coletores é de 15% ($i_{m\acute{a}xR}$). Sempre que este limite é ultrapassado devem ser introduzidos dispositivos especiais de ancoragem que impeçam o deslizamento dos coletores;
- A inclinação mínima ($i_{m\acute{i}nR}$) é de 0,3 %, contudo deve ser assegurado, o efetivo nivelamento e as condições geotécnicas do terreno, de modo a evitar assentamentos e a garantir capacidade de arrastamento.

2.3 Afluências indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais

2.3.1 Definição

O caudal que circula nos sistemas de drenagem, tendo em conta a sua origem e características, pode classificar-se em águas residuais domésticas, industriais e pluviais. As águas residuais domésticas são provenientes de edifícios de habitação, comércio ou serviços e são caracterizadas pela grande quantidade de matéria orgânica, facilmente biodegradável, que se mantém constante ao longo do tempo. As águas residuais industriais resultam de atividades industriais e caracterizam-se por conterem grandes quantidades de compostos físicos e químicos, alterando-se ao longo do tempo e diferindo consoante o tipo de indústria.

As águas pluviais são provenientes do escoamento superficial causado não só pelos fenómenos de precipitação, mas também por atividades como lavagens de arruamentos ou regas, sendo estes caudais recolhidos pelos sumidouros e sarjetas.

As afluências indevidas, apesar de não fazerem parte desta classificação, representam um aumento considerável do caudal escoado na rede de drenagem. Estas dizem respeito à parcela de água que entra indevidamente no sistema de drenagem, de forma direta ou indireta, como é determinado mais adiante (França, 2018).

Assim, as afluências indevidas correspondem ao caudal de água que, de uma forma imprópria, entra nos sistemas de drenagem, proveniente de diferentes origens. Estas ocorrências verificam-se ao longo da rede de drenagem e condicionam o seu funcionamento (Ramos, 2018).

As afluências indevidas, normalmente, ocasionam problemas operacionais da rede e, em situação limite, a ocorrência de inundações (Cahoon e Hanke, 2017). De acordo com Amorim *et al.* (2007), podem ser elencados os seguintes problemas:

- Aumento de custos operacionais e necessidade de maior investimento nas redes de drenagem e nas ETAR devido ao maior volume de água a tratar;
- Redução da capacidade de transporte dos coletores e das ETAR, provocando descargas de excedentes no meio recetor sem qualquer tipo de tratamento, o que contribui para a poluição no meio hídrico recetor;
- Arrastamento de solos, provocando problemas operacionais e estruturais na rede de drenagem.

A nomenclatura I/A (Infiltração/Afluxo) representa duas das formas de entrada de águas indevidas nos sistemas de drenagem, sendo usualmente utilizada na sua versão anglo-saxónica I/I (Infiltration/Inflow), respeitante à entrada de água nos coletores resultante de eventos de precipitação ou dos níveis freáticos (David e Barroso, 2017). As afluências indevidas em redes de drenagem de águas residuais estão dependentes dos seguintes fatores (Amorim, 2007; Bonito, 2014; Paixão, 2017; Rodrigues, 2017; Marquez *et al.*, 2021):

- i. Pluviosidade;
- ii. Existência de ligações pluviais às redes de drenagem;
- iii. Proximidade de aquíferos;
- iv. Estado de conservação da rede;
- v. Modo de construção e colocação das condutas;
- vi. Frequência de passagem de cargas pesadas sobre tubagem;
- vii. Topografia;
- viii. Ataques químicos.

As ligações de águas residuais industriais não autorizadas ou com características inadequadas aos sistemas de drenagem são consideradas como uma afluência indevida com significativo impacto ao nível do desempenho da infraestrutura (David e Barroso, 2017).

Como tal, as ligações não licenciadas são uma fonte importante de aflúências indevidas. Contudo, como possuem proveniências desconhecidas e difíceis de prever, não se procede à sua distinção no que se refere à análise da sua tipologia. A existência de ligações indevidas, decorrentes da ligação da rede predial pluvial à rede pública doméstica, são, porém, um exemplo comum de ligações não licenciadas (Mortinho, 2011; Bonito, 2014)

As aflúências indevidas apresentam uma grande variabilidade temporal e espacial, o que torna o processo da sua quantificação bastante complexo. Ora, se no caso das infiltrações provenientes de eventos de precipitação a sua deteção é relativamente simples, uma vez que ocorrem imediatamente após o evento de precipitação e normalmente implicam grandes volumes de caudal, no caso de outras origens, como ligações ilegais, a sua identificação torna-se mais difícil, por poder ocorrer aleatoriamente no tempo e envolverem, em geral, pequenos volumes de águas residuais (Silva, 2020).

Não obstante as redes de emissários e interceptores – sistemas em alta – transportarem um caudal superior comparativamente às redes em baixa, uma vez que fazem a recolha e o transporte de todo o caudal proveniente das redes em baixa, é nesta última onde as ligações indevidas ocorrem com maior frequência. Como resultado, verifica-se um maior volume de caudais de aflúências indevidas à rede de drenagem e às ETAR (França, 2018).

Neste âmbito, a correta monitorização e controlo das condições de escoamento permite conhecer a propagação do fluxo nas tubagens, e como resultado identificar as aflúências indevidas. Para o efeito, é necessário a instalação de sensores que permitam quantificar caudais em diferentes trechos da rede (Pereira *et al.*, 2018).

A literatura mais recente sobre este tema aponta, sobretudo, para a classificação em dois eixos principais, nomeadamente: infiltração direta e infiltração indireta. Estas serão seguidamente detalhadas (Paixão, 2017).

2.3.2 Infiltração direta

A infiltração direta é definida como a entrada de água proveniente de fenómenos pluviométricos nas redes de drenagem. O escoamento superficial desta água pode ser dividido em (Amorim *et al.*, 2007):

- Escoamento direto;

➤ Drenagem rápida.

O escoamento direto exibe uma relação direta com os volumes afluentes que estão na sua origem, dissipando-se em pouco tempo após o fim da chuvada. Neste contexto, estes caudais permanecem pouco tempo na rede de drenagem após um evento pluviométrico, sendo que este pode durar alguns minutos ou até mesmo umas horas. Quanto maior for a duração e intensidade da precipitação, maior será o tempo de permanência destes caudais na rede.

A localização deste tipo de infiltrações é, grande parte das vezes, facilmente detetável, pois ocorre em pontos localizados e, normalmente, a sua causa deve-se à existência de ligações ilícitas de ramais de descarga de águas pluviais a coletores separativos de águas residuais domésticas (Almeida e Cardoso, 2010).

A drenagem rápida diz respeito ao fenómeno de percolação da água através do solo e à sua sequente condução até aos coletores. Normalmente, ocorre em situações de pluviosidade intensa, atingindo os coletores pelas juntas, fissuras ou câmaras de visita antes de contribuir para o enchimento dos aquíferos (Almeida e Cardoso, 2010). Nesta situação, o tempo de resposta dos caudais de infiltração relativamente à ocorrência de precipitação é mais longo, podendo durar desde algumas horas até alguns dias, em função não só das condições geológicas e dos fenómenos pluviométricos, mas também do estado de saturação do solo.

Tanto o escoamento direto como a drenagem rápida traduzem-se em caudais de ponta elevados, que podem ser quantificados nas ETAR, em períodos de precipitação.

Devido à entrada direta no sistema de drenagem, é possível identificar os três principais fatores que favorecem a ocorrência deste tipo de afluência indevida: topografia, estado da rede de drenagem e capacidade da rede de drenagem para transportar caudal (Ramos, 2018).

Este tipo de afluência apresenta maior taxa de ocorrência nas redes em baixa, pois é onde existe uma maior concentração de câmaras de visita, uma maior extensão de coletores e um maior número de ligações ilegais de ramais pluviais domiciliários e sumidouros à rede separativa doméstica (Amorim *et al.*, 2007).

2.3.3 Infiltração indireta

As infiltrações indiretas são as afluições que não resultam diretamente de fenômenos de pluviosidade. Isto é, este tipo de afluições tem origem subterrânea e drena para os coletores por efeito da subida do nível freático e pela fraca estanquidade das infraestruturas. A subida dos níveis freáticos depende de dois fatores:

- Eventos pluviométricos;
- Variação das marés.

A variação das marés poderá ter implicação nas infiltrações indiretas apenas nos casos em que a rede está próxima da costa ou de cursos de águas naturais. O nível freático apresenta uma variação tipicamente sazonal, isto é, caracteriza-se por variar lentamente, apesar de, por vezes, poder ser influenciado, indiretamente, por fenômenos de precipitação intensa e prolongada (Ramos, 2018).

Ao contrário da infiltração direta, este tipo de fenômeno, normalmente, está mais presente nas redes em alta, uma vez que os coletores estão situados a cotas mais baixas, como linhas de vale ou linhas de água (Amorim, 2007).

2.3.4 Impacto das afluições indevidas nos sistemas de drenagem e nos meios recetores

Segundo Cahoon e Hanke (2017), sabendo que os elementos de drenagem estão praticamente enterrados, a deteção de anomalias e avarias, em consequência das afluições indevidas, a quantificação dos volumes infiltrados e dos impactos ao nível no desempenho da infraestrutura em tempo útil pela EG são dificultados, pelo que a reabilitação da infraestrutura só é realizada após a ocorrência de falhas operacionais.

A existência de afluições indevidas nos sistemas de drenagem e nos meios recetores é um problema que afeta o funcionamento destes sistemas e cuja complexidade não possibilita determinar soluções concludentes, tendo em conta tanto a sua variabilidade temporal como a sua variabilidade espacial, em virtude das particularidades de cada local. Isto é, as afluições indevidas podem ser causadas pela existência de eventos pluviométricos ou devido ao estado de degradação da rede de drenagem, sendo variáveis de acordo com a localização do próprio sistema, pela existência de ligações ilícitas, bem como pela posição do nível freático, que poderá oscilar tendo em conta a estação do ano (Ramos, 2018).

Em função do seu carácter multidimensional, as aflúências indevidas têm um impacto em vários âmbitos dos sistemas de drenagem de águas, sendo que se consideram como os mais representativos e aqueles que poderão ditar consequências mais graves os seguintes: impactos de âmbito ambiental e de saúde pública, com efeitos adversos provocados pelo sistema de drenagem no meio ambiente e na saúde da população residente na área de afetação; impactos de âmbito técnico/estrutural, causados a vários níveis da estrutura dos sistemas de drenagem; e impactos de âmbito socioeconómico, cuja solução proposta implica custos às EG e tem consequências (Amorim, 2007).

Não obstante os elevados investimentos efetuados pelas EG nos sistemas de drenagem de águas residuais, o seu comportamento continua insatisfatório, sendo reconhecido que as aflúências indevidas têm uma grande influência neste resultado (David e Barroso, 2017).

Apesar de esta problemática não parecer preocupante, uma vez que as consequências não são visíveis, de ligação direta, local e imediata, pode, porém, levar a várias consequências indesejadas, tais como (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005; Cardoso *et al.*, 2005; Raynaud *et al.*, 2008; Karpf e Krebs, 2011; Paixão, 2017):

- Aumento dos custos operacionais;
- Deterioramento dos sistemas de drenagem;
- Entrada em carga da rede, pois as aflúências indevidas contribuem de forma não negligenciável para a entrada em carga hidráulica dos coletores;
- Redução da eficácia de tratamento de águas residuais;
- Ocorrência de descargas poluentes nos meios recetores;
- Maior número de horas de funcionamento das instalações elevatórias de águas residuais;
- Aumento dos custos de reparação;
- Possibilidade de exfiltração.

2.4 Descarga de águas residuais em excesso (*Sanitary Sewer Overflow – SSO*)

De acordo com referido no ponto 2.2 e conforme o RGSPDADAR, em Portugal os sistemas de drenagem de águas residuais são do tipo separativo. Assim, estes tipos de sistemas, normalmente, não são projetados para transporte de grandes quantidades de águas pluviais decorrentes de eventos de precipitação.

Neste sentido, quando os caudais transportados excedem a capacidade dos coletores dos sistemas de drenagem, podem verificar-se extravasamentos e descargas no meio recetor. Este fenómeno é designado por *Sanitary Sewer Overflow* (SSO) e pode ser definido como um extravasamento ou descarga de águas residuais do sistema de drenagem em excesso no meio recetor. Quando esta situação se verifica, o caudal excedente pode ser descarregado de forma controlada e autorizada no meio recetor. Por conseguinte, a descarga de águas residuais em excesso pode contaminar o meio recetor, causando sérios problemas na qualidade da água (Ferreira, 2014).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) (EPA – United States Environmental Protection Agency, 2020), os SSO podem, ocasionalmente, ocorrer em quase todos os sistemas de drenagem de águas residuais, apesar de aqueles sistemas estarem projetados para o transporte de caudal proveniente de infiltrações. Quando os SSO acontecem com frequência, significa que o sistema não está a dar respostas ao caudal afluente, pelo que devem ser analisadas e verificadas as suas condições de funcionamento.

Apresenta-se, resumidamente, os fatores que podem provocar SSO:

- Materiais inapropriados enviados para o esgoto, como gorduras, óleos e alguns produtos domésticos;
- Presença de raízes de árvores que entram por anomalias ao longo dos sistemas de drenagem;
- Afluência de águas pluviais diretas e por infiltração;
- Ligações indevidas;
- Manutenção e limpeza imprópria ou inadequada dos sistemas de drenagem de água residuais;
- Manutenção inadequada de grupos elevatórios;
- Sistemas de drenagem e/ou grupos elevatórios subdimensionados, devido a loteamentos recém-desenvolvidos, a definição de novas áreas comerciais ou à presença de água pluvial em excesso no sistema, etc.;
- Falhas e avarias de equipamentos – falta de energia, avaria de bombas elevatórias.

O transporte de efluentes em excesso nos sistemas de drenagem de águas residuais traduz-se na perda de eficiência dos sistemas, designadamente pela entrada em carga e assoreamento de coletores, inundações de câmaras de visita ou mesmo uma descarga do efluente

para o exterior sem tratamento adequado, por incapacidade das instalações de elevação e/ou tratamento (Ferreira, 2014).

Sendo o fator que mais contribui para as descargas de águas residuais em excesso, as afluições indevidas são consideradas como o maior constrangimento no funcionamento do sistema de drenagem de águas residuais e são, fundamentalmente, a maior causa do excesso de caudal verificado. Por conseguinte, este é um problema de âmbito multidimensional com que as EG se deparam, uma vez que não só provoca a sobrecarga hidráulica nos sistemas de drenagem de águas residuais, como também constrangimentos no funcionamento das ETAR.

2.5 Modelação Computacional de Sistemas de Drenagem de Águas Residuais

2.5.1 Contextualização da modelação computacional

Na década de 70, com o aparecimento da modelação computacional, foram encontradas novas ferramentas para o estudo dos sistemas de drenagem de águas residuais.

A simulação do funcionamento daqueles sistemas com recurso a ferramentas informáticas permite criar um modelo representativo da situação real, através da simulação do escoamento ao longo das infraestruturas, tendo em conta os algoritmos que foram desenvolvidos para o efeito. Neste contexto, foram desenvolvidos vários modelos para simular diferentes tipos de sistemas e de fenómenos, tais como o transporte de sedimentos, o comportamento de descargas e o efeito destas na qualidade do meio recetor (Ferreira, 2006).

Com o objetivo de garantir uma adequada gestão operacional durante o seu ciclo de vida (Figura 1), os modelos computacionais ganham importância, no que concerne à deteção de problemas e/ou avarias, bem como a minimizar os impactos no meio recetor de efluentes sem qualquer tratamento (Ensinas, 2009).



Figura 1 – Modelação nas diferentes fases do ciclo de vida um de empreendimento (adaptado de David, 2005 citado por Ensinas, 2009).

Deste modo, a modelação admite que se façam estudos para o devido planeamento de sistemas de drenagem de águas residuais, possibilitando a análise de soluções alternativas na expansão ou construção de um novo sistema. Por outro lado, nos casos de reabilitação, a modelação computacional é uma ferramenta útil na avaliação dos problemas hidráulicos e ambientais que o sistema de drenagem apresenta, bem como facilita o estudo de soluções para a sua correção (Pereira, 2016).

2.5.2 Princípios da formulação dos modelos hidrológicos e hidráulicos

Quando o objetivo passa por modelar um sistema de drenagem com recurso a ferramentas informáticas é importante, sobretudo, ter em consideração o modelo hidrológico, que permite avaliar a propagação do escoamento superficial, e o modelo hidráulico, que permite avaliar o escoamento em coletores. Ora, se o primeiro tem como objetivo transformar a precipitação em

escoamento superficial, o segundo está associado ao comportamento do escoamento na rede de coletores (Meller, 2004).

Os programas computacionais de modelação de sistemas de drenagem são constituídos, normalmente, por modelos hidrológicos e por modelos hidráulicos. Para além destes, existem programas que possuem módulos que permitem ainda modelar a qualidade da água.

O enfoque deste trabalho é, sobretudo, a modelação hidráulica de um sistema de drenagem em alta com base em campanhas de medição de caudais. No entanto, far-se-á uma abordagem daquilo que são os princípios de desenvolvimento dos modelos hidrológicos e hidráulicos.

2.5.2.1 Modelação hidrológica

Os modelos hidrológicos usados são, em regra, conceptuais ou empíricos para a simulação da precipitação e para a simulação do escoamento superficial nas bacias de drenagem. Permitem a determinação de hidrograma de cheias a jusante da bacia de drenagem, e consideram também os fenómenos de propagação (atraso na resposta), de atenuação e deformação (amortecimento da resposta) e de perdas ou desvio de caudal (Matos, 2006, citado por Cândido, 2013)

De acordo com Matos *et al.*, (1990) podem ser consideradas as seguintes fase no processo de modelação de precipitação-escoamento:

- i. Fase 1: Precipitação – caracterizada por uma variabilidade espacial e temporal;
- ii. Fase 2: Perdas – através dos processos de intercepção, armazenamento em depressões no terreno, infiltração e evaporação, resultando no conhecimento da precipitação efetiva;
- iii. Fase 3: Escoamento superficial – caracterizado através da variação temporal e espacial do caudal e/ou da velocidade e da altura de água nas diferentes superfícies do solo e canais superficiais;
- iv. Fase 4: Escoamento em coletores – caracterizado a partir da variação ao longo do tempo de caudal e/ou velocidade e do nível de água, nas diversas secções transversais da rede de coletores

Apresentam-se os principais modelos utilizados para simular a propagação do escoamento superficial (Ferreira, 2006):

- Curvas tempo-área – o modelo considera a evolução, no tempo, da área da bacia que contribui para o escoamento na secção de jusante. O hidrograma tem em consideração o início da chuvada até ao tempo de concentração, em função do declive e da forma da bacia.
- Modelo de reservatório linear – o presente modelo considera que a bacia de drenagem funciona como um reservatório, pelo que volume de armazenamento em cada instante é proporcional ao caudal na secção de jusante nesse instante. O hidrograma depende das constantes empíricas, previamente definidas. Este tipo de modelo permite representar adequadamente o comportamento de pequenas bacias urbanas.
- Modelo de reservatório não linear ou modelo cinemático – o escoamento é simulado como se se tratasse de um canal aberto, considerando apenas forças gravíticas e de atrito, cujo volume escoado é determinado tendo em conta as diversas perdas de carga e as dimensões da bacia. O hidrograma é obtido pelo comprimento, inclinação e rugosidade da superfície, através da equação de Manning-Strickler.
- Modelo do hidrograma unitário – corresponde ao hidrograma de escoamento superficial direto que resulta de uma precipitação útil unitária, de duração unitária, uniformemente distribuída no espaço e no tempo. Ora, este considera que a bacia é um sistema de resposta linear e, portanto, a duração do hidrograma depende apenas da duração da chuvada.

2.5.2.2 Modelação hidráulica

Para se proceder à simulação do escoamento nos coletores utilizam-se modelos hidráulicos assentes em dois princípios da hidrodinâmica, designadamente a lei da conservação da massa e a lei do equilíbrio de forças.

Enquanto a primeira se reflete na equação da continuidade (1), a segunda reflete-se na equação da conservação da quantidade de movimento, também conhecida por equação dinâmica (2).

Equação da continuidade (1):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial t} = qL$$

Equação da conservação da quantidade de movimento (2):

$$y \cdot A \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial x} - i \right) + y \cdot A \cdot J + \rho \cdot \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \beta QV}{\partial x} \right) = 0$$

Em que:

Q – Caudal (m³/s);

A – Secção do escoamento (m²);

x – Distância na direção do escoamento (m);

t – Tempo (s);

qL – Caudal unitário lateral (nos modelos de drenagem urbana a afluência de caudais é, em regra, concentrada nos nós, pelo que se admite qL=0) (m²/s);

γ – Peso volúmico da água (N/m³)

h – Altura do escoamento (m);

i – Inclinação do coletor (-);

J – Perda de carga unitária (-);

ρ – Massa volúmica da água (kg/m³);

β – Coeficiente da quantidade de movimento (que se admite igual a 1) (-);

V – Velocidade uniforme fictícia em cada secção transversal (m/s).

Para a resolução das equações diferenciais de Saint-Venant é necessária, ainda, a inclusão de um conjunto de equações adicionais, tendo em conta o cálculo da resistência ao escoamento (como Darcy-Weisbach, Colebrook-White, Hazen-Williams ou de Chézy) condições iniciais (como volume e altura do escoamento), e condições de fronteira (variações de caudal ou de altura de

escoamento nas fronteiras, câmaras de visita, descarregadores e eventuais níveis de maré) (Ferreira, 2006).

Em grande parte do tempo, o escoamento nos sistemas de drenagem é efetuado em regime de superfície livre. Todavia, devido a fenómenos de precipitação ou subdimensionamento dos coletores, estes entram em carga e para a sua modelação, através da aplicação das equações de Saint-Venant, é necessário recorrer à técnica da fenda de Preissmann. Com a utilização desta técnica é possível adaptar um escoamento sob pressão a um modelo de escoamento em superfície livre (Akan e Yen, 1999). Este conceito compreende a introdução de uma fenda artificial ao longo do extradorso do coletor.

Por conseguinte, existe um conjunto de modelos de propagação do escoamento baseado nas equações de Saint-Venant, podendo estes ser mais simples ou mais completos, tendo em consideração os elementos da equação da conservação da quantidade do movimento. Assim, enumeram-se os principais modelos utilizados para modelação do escoamento em sistemas de drenagem (Ferreira, 2006):

- Modelo cinemático – modelo que considera apenas equação de continuidade (1) e apenas o termo das forças gravitacionais e de atrito relativo à equação da conservação da quantidade de movimento (2). Contempla os efeitos de armazenamento e permite a simular fenómenos de atenuação e atraso por técnicas numéricas;
- Modelo difuso – modelo que considera apenas as forças de gravidade e atrito e a pressão da equação da conservação da quantidade de movimento (2). Admite a possibilidade de simular os efeitos de propagação das ondas dinâmicas para jusante e considera escoamentos em pressão e efeitos de regolfo;
- Modelo dinâmico: é o modelo considerado completo, uma vez que compreende a equação da continuidade (1) e todos os termos da equação da conservação da quantidade de movimento (2). Deste modo, inclui todos os efeitos básicos e hidrodinâmicos, nomeadamente: i) efeitos de propagação das ondas dinâmicas para jusante e para montante; ii) efeitos de amortecimento; iii) efeitos de regolfo; iv) atraso e v) deformação nas variações de caudal e na altura do escoamento ao longo dos coletores. Permite ainda a inversão do sentido do escoamento nos coletores (sendo o único que representa a propagação do escoamento para montante), devido à consideração completada de todos os termos de ambas as equações. Os resultados obtidos por este modelo serão mais

fiáveis, dado conseguir representar com exatidão os fenómenos associados ao escoamento em canais.

2.5.3 *Softwares* para a modelação de sistemas de drenagem urbana

Existem diversos *softwares* comerciais no mercado que permitem modelar as redes de drenagem urbana, sendo que se deve escolher o que se adequa melhor ao caso de estudo, considerando alguns dos principais aspetos (Cândido, 2013):

- i. Determinação dos objetivos do caso de estudo;
- ii. Seleção do modelo mais simples e que garante obter os objetivos determinados;
- iii. Utilização do método compatível com o tipo de informação de base disponível;
- iv. Informação que se pode obter com base no modelo em estudo;
- v. Nível de detalhe da análise a ser efetuada.

Com efeito, os modelos de sistemas de drenagem urbana são aplicados tendo por base pressupostos desfasados dos que foram considerados na base da sua conceção. Por conseguinte, os resultados obtidos podem ser desajustados do que realmente acontece, pelo que é evidente a necessidade de se proceder à calibração do modelo. Neste contexto, pode-se afirmar que os modelos não podem substituir a informação recolhida no campo ou até na própria observação do funcionamento da rede de drenagem e dos eventos que aí acontecem. Ora, a utilização de modelos, quando ajustados à realidade, permite auxiliar na gestão operacional dos sistemas de drenagem, designadamente na identificação de infiltrações, de avarias ou até ligações indevidas, bem como na determinação do tipo de intervenção a realizar.

Apresentam-se alguns dos *softwares* comerciais disponíveis para a modelação de sistemas de drenagem urbana:

- i. **FLUPOL** – desenvolvido pela Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN), pelo Syndicat des Eaux d'Ile-de-France (SEDIF) e pela Compagnie Générale des Eaux (CGE);
- ii. **InfoWorks CS (atualização do Hydroworks)** – pertencente ao pacote de *software* Wallingford do Reino Unido;
- iii. **MIKE URBAN CS (antigamente conhecido por MOUSE)** – desenvolvido pelo Danish Hydraulic Institute (DHI);
- iv. **SOBEK** – produzido pelo instituto de pesquisa da WL/Delft Hydraulics sediado na Holanda,

- v. **SWMM** – desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), e;
- vi. **SewerGEMS** – desenvolvido pela Bentley Systems Incorporated.

Tabela 1 – Modelos de cálculo utilizados pelos programas de simulação de sistemas de drenagem urbana adaptado de (Ferreira, 2006 citado por Figueiredo, 2014).

Processos	Tipos de modelo	Programas					
		FLUPOL	InfoWorks CS	MIKE URBAN CS	SOBEK	SWMM	SewerGEMS
Perdas hidrológicas	Perdas iniciais fixas	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Perdas contínuas: coeficiente escoamento volumétrico	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Humedecimento do solo			✓	✓	✓	✓
	Retenção superficial			✓	✓	✓	✓
	Infiltração: Fórmula de Horton		✓	✓	✓	✓	✓
	Fórmula de Green-Ampt					✓	✓
	Número de escoamento (CN)				✓	✓	✓
	Evapotranspiração			✓	✓	✓	✓
	Outras fórmulas de perdas contínuas		✓				✓
Propagação do escoamento superficial (modelo hidrológico)	Curvas tempo-área			✓	✓		✓
	Modelo do reservatório linear	✓	✓	✓	✓		✓
	Modelo hidrograma unitário		✓				✓
Propagação	Modelo cinemático/modelo reservatório não linear			✓		✓	✓
Propagação do escoamento na rede de coletores (modelo hidráulico)	Modelo de Muskingum-Cunge	✓					
	Modelo cinemático/modelo reservatório não linear	✓		✓		✓	✓
Perdas	Modelo difusivo	✓		✓		✓	✓
	Equações completas de Saint-Venant		✓	✓	✓	✓	✓

Os *softwares* elencados na Tabela 1 utilizam processo semelhantes para modelar quer os processos hidráulico, quer os processos hidrológicos. No que se refere à componente hidráulica, quase todos, excetuando o FLUPOL, permitem descrever o comportamento hidrodinâmico completo no sistema de drenagem, através da resolução completa das equações de Saint-Venant. Tendo em conta o caráter de avaliação de desempenho de um sistema existente e em funcionamento, deve-se utilizar os modelos mais complexos.

Tendo em conta os objetivos preconizados no ponto 1.2, utilizou-se o programa SOBEK uma vez que garante um nível de detalhe elevado no que concerne à avaliação hidrodinâmica, mas também por tratar-se de um *software* já utilizado em trabalhos no âmbito do Mestrado em Engenharia Urbana.

2.5.4 Descrição sumária do *software* SOBEK

Conforme referido no ponto 2.5.3, o *software* SOBEK foi produzido pelo instituto de pesquisa da WL/Delft Hydraulics em consorcio com o Inland Water Management e Waste Water Treatment (RIZA), na Holanda, sendo uma ferramenta utilizada por EG, empresas de consultoria, institutos de pesquisa e universidades na previsão e controlo de inundações.

Em termos técnicos, é um programa computacional que tem por base as equações de *Saint-Venant*, unidimensionais no plano horizontal (1D) utilizado em diferentes aplicações e estudos: previsão de cheias, resolução de problemas de modelação hidrodinâmica, reabilitação de sistemas fluviais e de drenagem, controlo de sistemas de irrigação, projeto de redes de SAR, morfologia de leitos de rios, intrusão salina e qualidade de águas superficiais (Silva, 2020).

Não obstante o SOBEK ser um programa de modelação unidimensional, é possível realizar simulação com efeitos bidimensional (2D). Ora, se, por um lado o SOBEK garante a construção de modelos complexos por integração dinâmica a 1D, por outro o programa Delft-FLS permite a simulação em 2D, tendo em consideração a utilização de uma matriz retangular e a resolução de equações em tudo semelhante ao SOBEK 1D.

O SOBEK oferece um pacote de sete módulos que permite uma abordagem integrada para simular e resolver problemas de gestão da água: hidrologia, hidrodinâmica em canais/rios, redes de águas residuais, controlo em tempo real, qualidade da água e modelação bidimensional no plano horizontal (2D) de inundações. Para cada tipo de análise que se pretenda realizar existe um

módulo disponível. No entanto, podem ser utilizados juntos num ambiente completamente integrado.

Não obstante a utilização das equações de Saint-Venant, o programa considera, na construção de modelos unidimensionais expressões, adaptadas ao cálculo das características de escoamento em estruturas, entre as quais pontes, passagens hidráulicas, bombas, sifões, açudes, etc. Nestas estruturas o escoamento está dependente quer dos níveis a montante e a jusante quer das suas dimensões quer de parâmetros intrínsecos a cada uma delas (Pinho e Vieira, 2006).

O SOBEK-Urban, utilizado na construção do modelo, está parametrizado para a modelação de grandes e complexos sistemas de drenagem urbanos. Permite a definição de secções transversais, bem como de vários tipos de câmaras de inspeção. É possível, ainda, definir o controlo de qualquer estrutura hidráulica, como bombas e comportas. Esta ferramenta pode ser utilizada durante todo o ciclo de vida de um sistema de drenagem de águas residuais, desde a conceção à renovação/reabilitação.

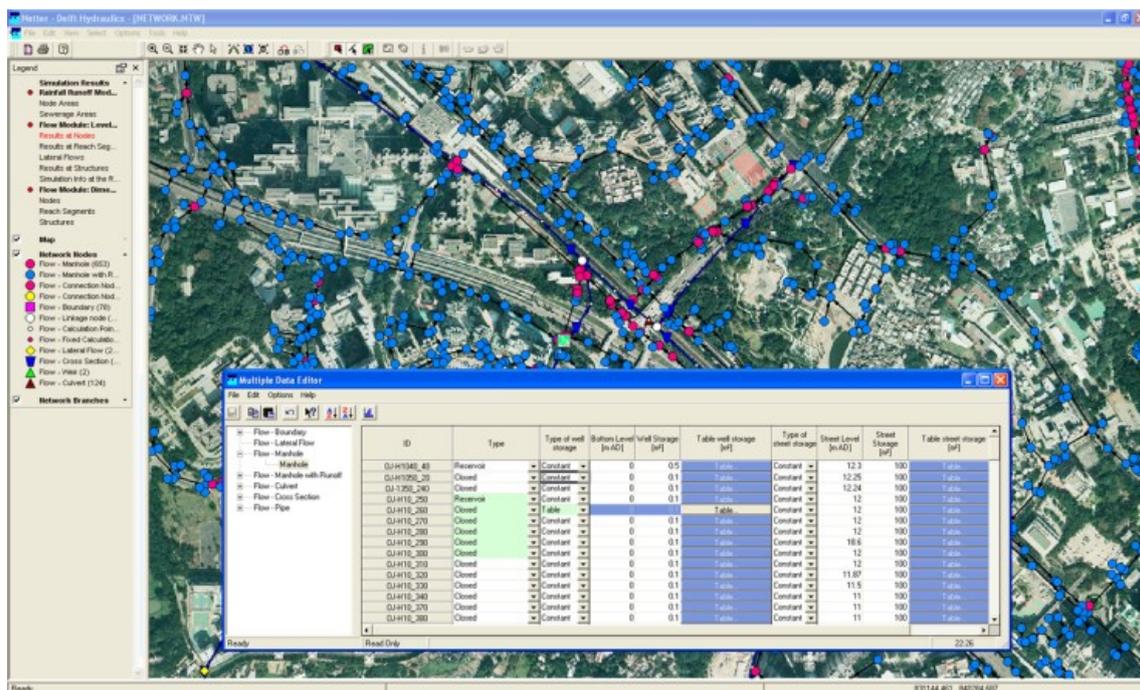


Figura 2 – Ambiente gráfico do SOBEK-Urban de uma rede de drenagem urbana (Deltares, 2020).

Para além do já referido, o SOBEK é um *software* que permite a integração e interoperabilidade com outras ferramentas, tais como o Excel, programas de CAD – Computer Aided Design e de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esta facilidade garante uma automatização no processo de construção e edição do modelo, bem como na análise dos *outputs* das simulações efetuadas.

3 CASO DE ESTUDO: SISTEMA INTEGRADO DE DESPOLUIÇÃO DO VALE DO AVE

3.1 Metodologia

O presente caso de estudo tem como base a modelação hidráulica de um sistema de drenagem em alta, através dos dados operacionais recolhidos em contexto de gestão operacional.

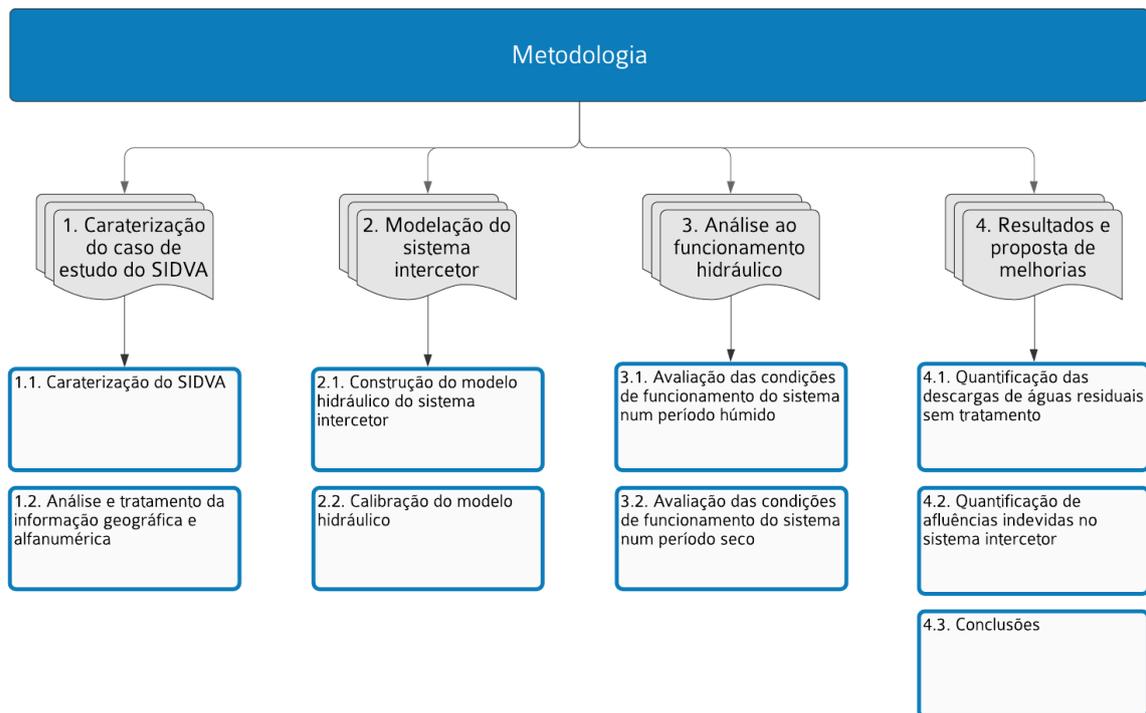


Figura 3 – Fluxograma da metodologia aplicada no estudo do SIDVA.

A primeira fase do trabalho visa, sobretudo, a caracterização física do sistema de águas residuais em estudo, que passa pela caracterização, através de ferramentas de SIG, das características das câmaras de visita (cotas topográficas, dimensões e tipos de tampa), das características dos coletores (materiais, diâmetros, comprimento e cotas topográficas) e de todos os acessórios que compõe o sistema.

Para o desenvolvimento deste estudo foi de extrema importância todo o trabalho desenvolvido pela EG, no que se refere ao levantamento do cadastro do sistema de águas residuais, bem como o fornecimento dos dados recolhidos pelo sistema de monitorização operacional instalado. Estes encontram-se devidamente atualizados e catalogados, o que permite uma maior fiabilidade na sua análise e estudo.

A segunda fase inicia-se com a construção do modelo de simulação do SIDVA, com recurso a um *software* comercial disponível no mercado para estudo do comportamento hidráulico do sistema de drenagem. Este processo define-se, numa primeira fase, pela introdução dos elementos físicos do sistema, neste caso, as câmaras de visita ou os coletores. Posteriormente, procede-se à introdução dos caudais afluentes ao sistema de drenagem de águas residuais, tendo em conta os valores observados no sistema de monitorização. Deste modo, são introduzidos os caudais nas câmaras de visita onde se localizam os pontos de recolha do sistema em baixa e das indústrias, assim como nos pontos de fonteira das várias Zonas de Monitorização e Controlo (ZMC).

Concluída a construção do modelo, procede-se à calibração e validação do mesmo com o objetivo de aproximar os valores observados aos valores simulados, a fim de garantir uma representação aproximada da realidade.

Conforme referido no ponto 2.5.2, não é objetivo deste trabalho a modelação hidrológica do sistema de drenagem de águas residuais. Logo, a calibração do modelo será efetuada tendo em consideração os dados observados no sistema de monitorização, em contexto das campanhas de medição realizadas pela EG nos pontos estratégicos para o efeito. Este é um processo iterativo, que envolve a necessidade de alterar alguns parâmetros previamente definidos adaptando os valores simulados aos valores observados.

Finalizada a calibração do modelo, inicia-se a terceira fase do trabalho, que corresponde à avaliação do comportamento do sistema de drenagem de águas residuais e à quantificação dos volumes das descargas. Neste processo, realizam-se corridas no modelo de cálculo para a simular os diversos cenários programados.

Por fim, durante a quarta fase, procede-se à compilação dos resultados obtidos decorrentes das simulações efetuadas, bem como se apresentam propostas para a correção dos problemas observados.

3.2 Descrição do Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave (SIDVA)

A deterioração da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Ave, fenómeno que se acentuou a partir dos anos 80 do século XX, ocorreu devido ao aumento de descargas de efluentes domésticos e industriais nas massas de água superficiais sem qualquer tipo de tratamento.

A construção e desenvolvimento do Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave (SIDVA), gerido pela TRATAVE – Tratamento de Águas Residuais do Ave, S.A. (TRATAVE), teve como objetivo melhorar a qualidade de água do rio Ave, através de uma solução integrada de drenagem e tratamento conjunto de águas residuais industriais e urbanas.

A região do Médio Ave é a zona com maior densidade industrial, mais propriamente a indústria têxtil, que compreende municípios de Guimarães, Santo Tirso, Vila Nova de Famalicão, Vizela e Trofa, servindo uma população com cerca de 400.000 habitantes, cuja área de intervenção está quantificada em cerca de 677 km².

Atualmente, a TRATAVE tem contrato direto com cerca de 400 clientes industriais e ainda com a sua concedente Águas do Norte, a qual presta o serviço de drenagem e tratamento das águas residuais dos utilizadores domésticos dos municípios de Guimarães, Vila Nova de Famalicão, Santo Tirso, Vizela e Trofa (TRATAVE, 2020).

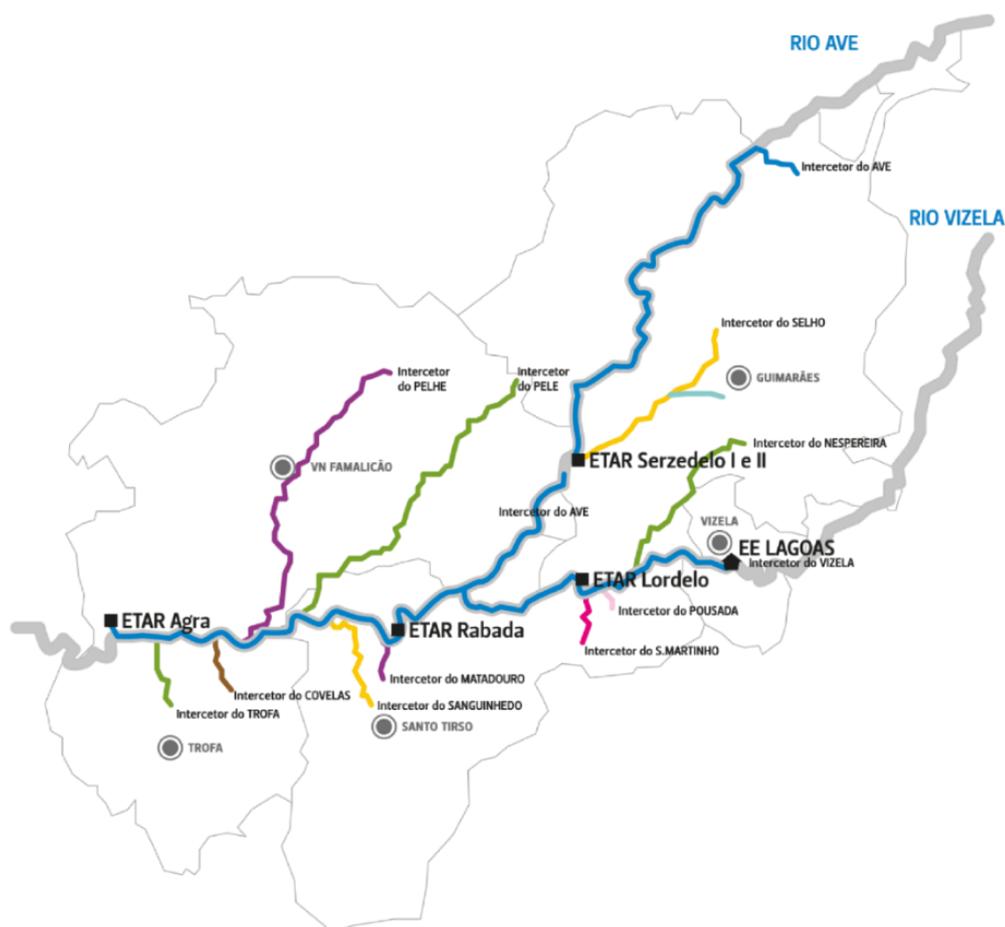


Figura 4 – Esquema do Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave (SIDVA) gerido pela TRATAVE (TRATAVE, 2020).

A implementação do SIDVA correspondeu a uma solução integrada de drenagem e tratamento conjunto de águas residuais industriais e urbanas da região do Médio Ave. Este é um sistema de drenagem em alta essencialmente gravítico, constituído por quatro ETAR e 126 km de coletores. A sua organização está segmentada em quatro frentes de drenagem (FD), conforme Figura 5, nomeadamente:

- i. A FD4 com coletores ao longo dos rios Vizela, Nespereira, Sá, Passos, Pousada e S. Martinho, sendo que os seus efluentes são tratados na ETAR de Lordelo, Guimarães;
- ii. A FD5 com coletores ao longo dos rios Ave e Selho, com ETAR em Serzedelo, Guimarães;
- iii. A FD6 com coletores ao longo dos rios Ave, Vizela, Negrelos, com ETAR em Rabada, Santo Tirso;
- iv. A FD9 que engloba os rios Ave, Pele, Pelhe, Sanguinhedo, Matadouro, Covelas e Trofa, Ervosa, Bairros e Gerém, cujos efluentes são tratados na ETAR localizada em Agra, Famalicão.

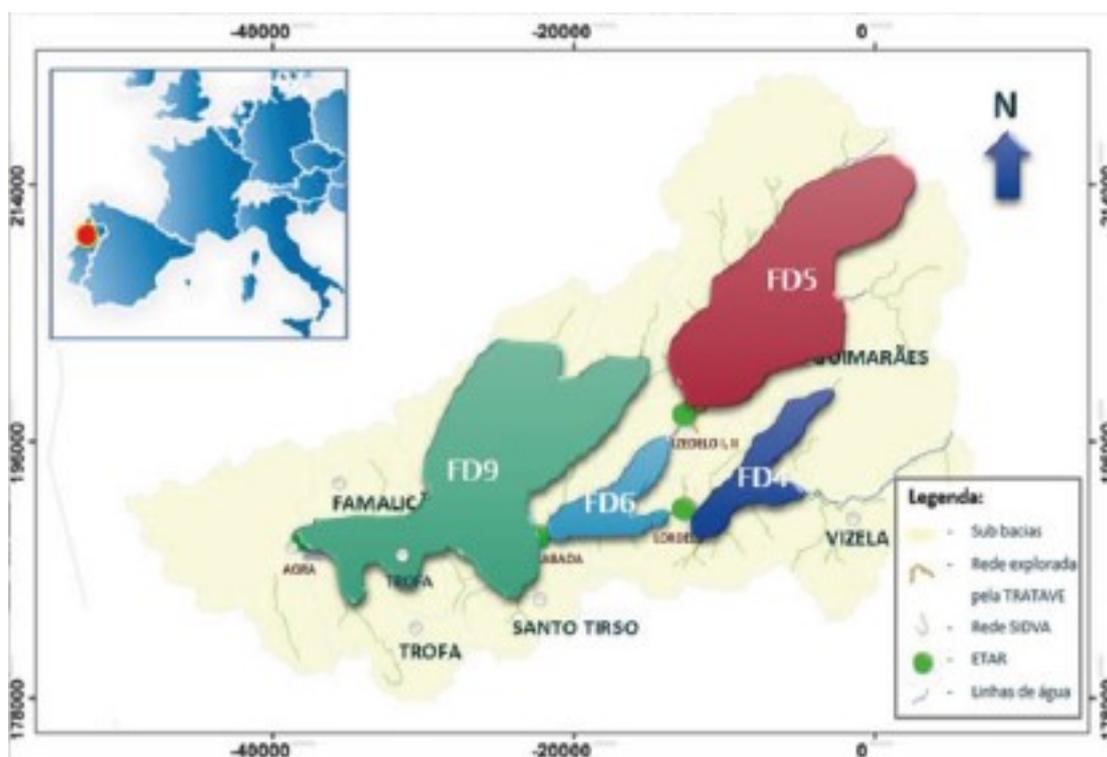


Figura 5 – FD do SIDVA (adaptado de Silva, 2020).

As quatro ETAR que constituem o SIDVA estão divididas pelas quatro FD, conforme enunciado, e têm uma capacidade diária de tratamento total na ordem de 140.000 m³.

De acordo com o referido no ponto 1.2, o enfoque deste trabalho é o de proceder à modelação hidráulica do SIDVA das FD4 e FD6 com o recurso ao *software* SOBEK, com o objetivo de quantificar as descargas no meio recetor sem tratamento, bem como propor soluções para mitigar os impactos ambientais. Para o efeito é necessário analisar o comportamento hidráulico do sistema de drenagem de águas residuais e identificar os pontos críticos, sendo estes os locais onde podem ocorrer extravasamentos.

3.2.1 Caracterização das frentes de drenagem em estudo

Conforme o mencionado no ponto 3.2, a o subsistema referente à FD4 é constituída por quatro intercetores: o intercetor de Nespereira, de Vizela, de Pousada e de S. Martinho, cujos efluentes são drenados para a ETAR de Lordelo. O transporte dos efluentes é gravítico e desenvolve-se ao longo das linhas de água.

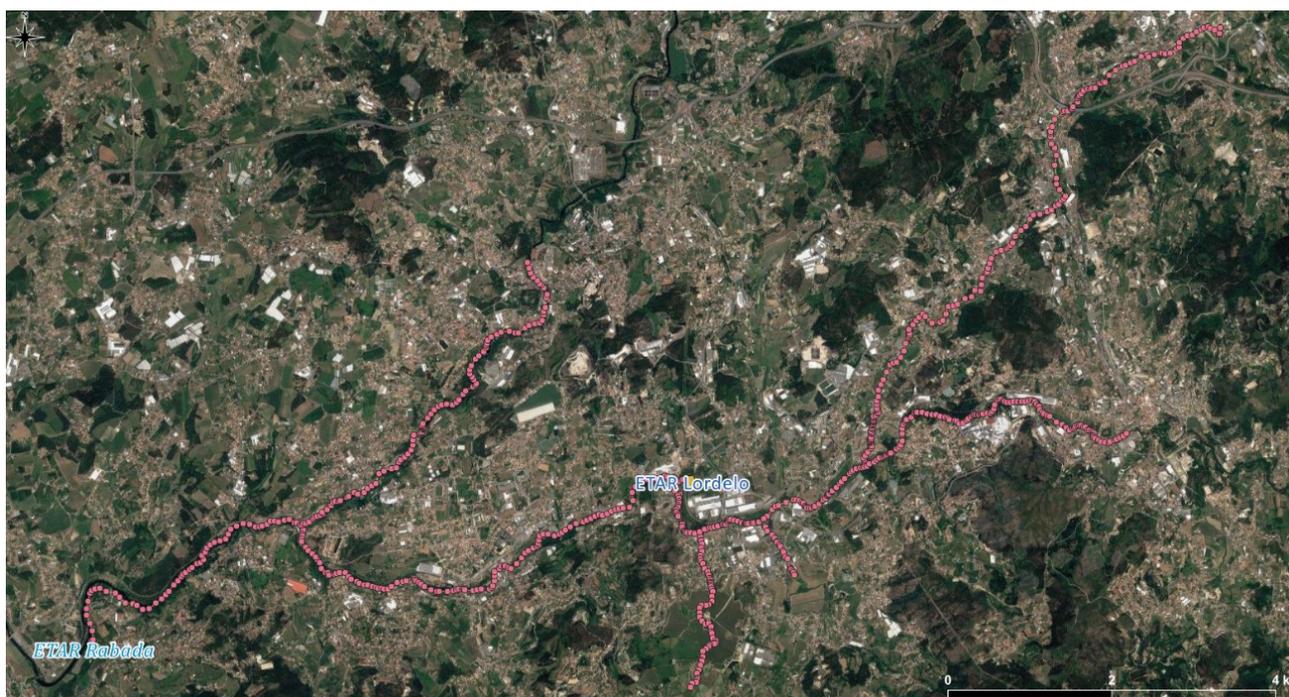


Figura 6 – Planta de localização das FD 4 e 6 do SIDVA.

Tabela 2 – Características da FD4.

Designação do Intercetor	Extensão aproximada (m)	Material	Diâmetros (mm)
Nespereira	9000 metros	PEAD	Ø250mm a Ø450mm
Vizela (FD4)	7500 metros	PEAD	Ø500mm a Ø900mm
Pousada	810 metros	PEAD	Ø320mm a Ø400mm
S. Martinho	2400 metros	PEAD	Ø200mm a Ø250mm

A ETAR de Lordelo está dimensionada tendo em conta 50% do projeto inicial, a que corresponde a 28.063 m³/dia e 187.087 habitantes equivalentes e é responsável pelo tratamento dos efluentes da FD4.

O subsistema da FD6 é constituído pelos intercetores de Vizela e do Ave, conforme Tabela 6, sendo os seus efluentes tratados na ETAR de Rabada. Tal como na FD4, transporte dos efluentes é gravítico e desenvolve-se ao longo do rio Vizela e do Rio Ave.

Tabela 3 – Características da FD6.

Designação do Intercetor	Extensão Aproximada (m)	Material	Diâmetros (mm)
Vizela (FD6)	6100 metros	PEAD	Ø800mm
Ave	9100 metros	PEAD	Ø900mm a Ø1500mm

A ETAR de Rabada tem uma capacidade de tratamento instalada de acordo com o projeto de 24.881 m³/dia e 165.873 habitantes equivalentes, e é responsável pelo tratamento dos efluentes da FD6.

3.2.2 Sistema de mediação e monitorização desenvolvido pela TRATAVE

Em 2015, a TRATAVE procedeu à análise de diversos indicadores de desempenho, verificando que o indicador com piores resultados seria o que se refere às afluências indevidas.

No que concerne à avaliação das FD exploradas pela empresa, as FD4 e FD6, à data, apresentavam os piores resultados. Neste sentido, a monitorização do sistema de drenagem incidiu, sobretudo, nas FD com o menor desempenho e que prejudicavam a operação de transporte e tratamento. De referir, que, à data, a avaliação do comportamento do sistema de drenagem de águas residuais era efetuada apenas com os registos dos caudais provenientes das indústrias dos municípios, de forma agregada e sem possibilidade de avaliar rigorosamente a operação.

Nos pontos de recolha dos clientes municipais (Figura 7 a)), o sistema intercetor contemplava 68 medidores de caudal, enquanto nos pontos de recolha dos clientes industriais (Figura 7 b)) eram contabilizados 112 medidores de caudal. A medição era efetuada apenas com medidores de caudal localizados nos pontos de recolha dos clientes, deixando grande parte do sistema intercetor sem qualquer tipo de monitorização ou controlo, uma vez que só eram registadas novas medições do caudal escoado à entrada das ETAR.

Como resultado, os caudais médios diários eram estimados a partir dos caudais mensais acumulados, o que impossibilitava a deteção rápida e eficaz de anomalias ou avarias que tivessem ocorrido.

Reconhecendo este constrangimento, a EG procedeu à realização de trabalhos de campo para o levantamento cadastral e implementação de melhorias tecnológicas no sistema intercetor, com o objetivo de instalar e melhorar os meios tecnológicos de recolha de informação.

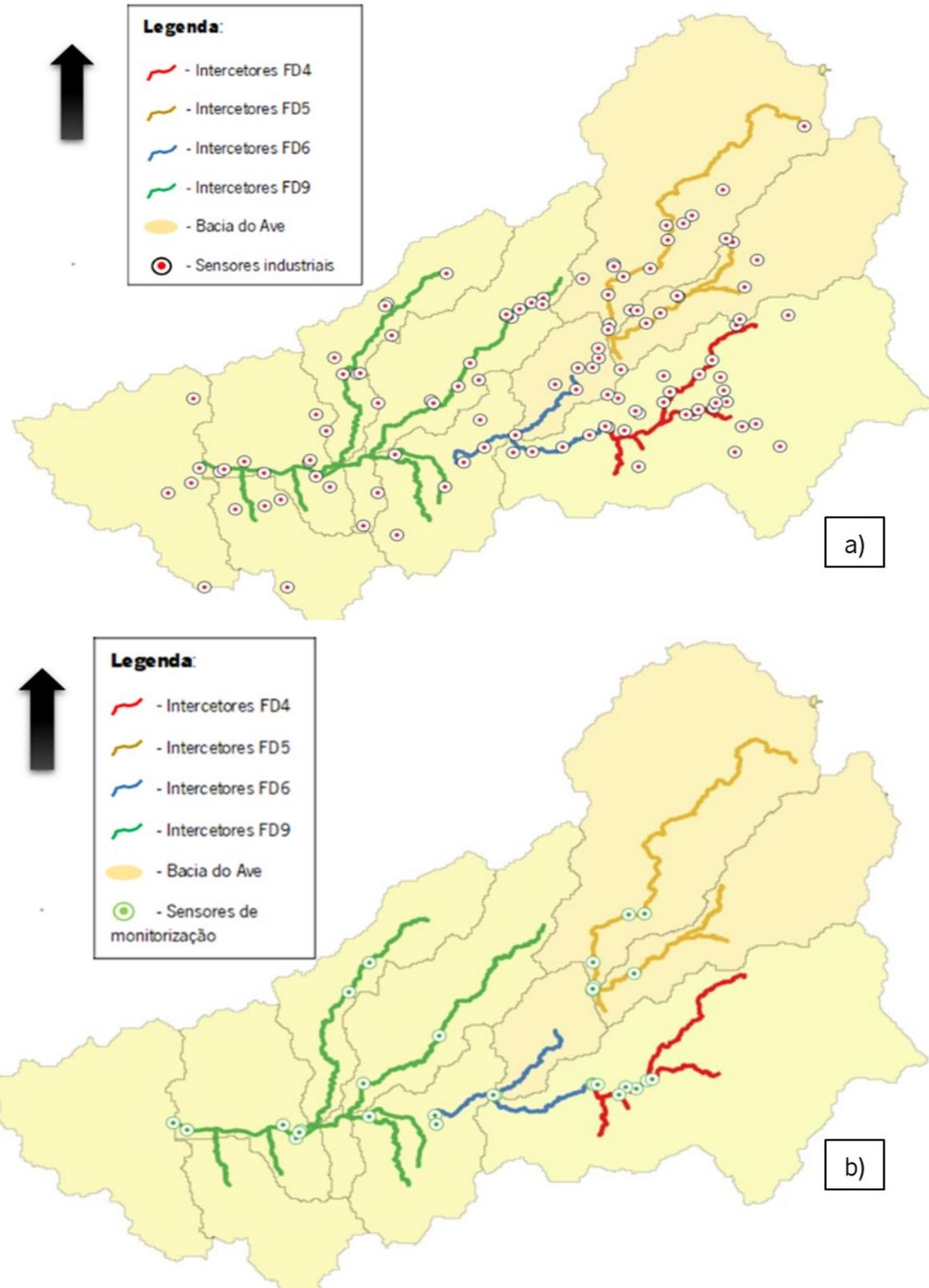


Figura 7 – Localização dos medidores de caudal (adaptado de Silva, 2020): a) Medidores de caudal das indústrias; b) Medidores de caudal dos municípios.

Foi ainda em contexto de realização dos trabalhos de campo que foram identificadas e corrigidas diversas anomalias infraestruturais.

Como tal, a EG corrigiu os problemas existentes, bem como dotou um conjunto de medidores de caudal com *dataloggers*, cujo objetivo passava por transmitir a informação em tempo real nos pontos de recolha dos clientes (municípios e indústrias).

Por outro lado, como não existiam medidores de caudal ao longo dos interceptores, não era possível avaliar as condições de drenagem. Nesse sentido, a empresa instalou 27 equipamentos fixos de medição intermédia.

A instalação dos novos equipamentos de monitorização intermédia ao longo do sistema interceptor melhorou a qualidade da informação obtida, levando à criação de um sistema de monitorização em tempo real e à obtenção de informação de base para a realização de estudos de otimização da gestão operacional.

Antes da implementação da medição intermédia, os balanços hídricos do sistema interceptor eram efetuados de forma agregada e com uma escala temporal mensal, uma vez que estavam apenas definidas apenas três ZMC (Figura 8).

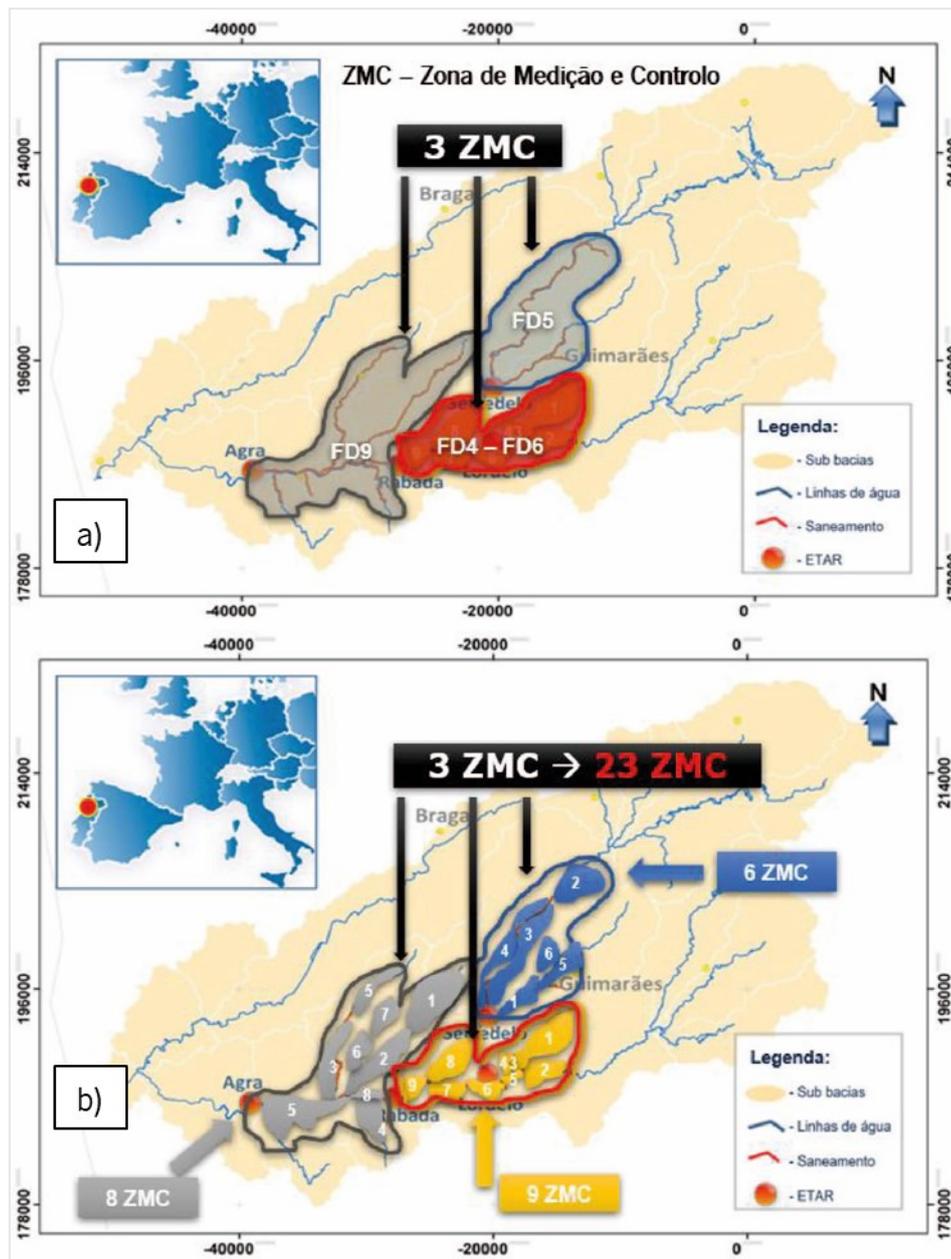


Figura 8 – Implementação das Zonas de Monitorização e Controlo (adaptado de Silva, 2020): a) Fase inicial do projeto; b) Após a definição do sistema de monitorização.

Sucedeu, porém, que com a implementação da sensorização no sistema intercetor foi possível definir um conjunto de 23 novas ZMC, permitindo a realização de balanços hídricos com maior resolução espacial, bem como com maior resolução horária. Foi no contexto do processo de melhoramento do sistema de monitorização, que as FD4 e FD6 foram desdobradas e passaram de 1 ZMC para 9 ZMC, repartidas entre ETAR de Lordelo e a ETAR de Rabada.

O caso de estudo deste trabalho de investigação incide sobre as FD4 e FD6 e pretende estudar as condições de escoamento do sistema interceptor com recurso a um modelo computacional, cujo objetivo é o de encontrar soluções para quantificar e mitigar as descargas sem tratamento no meio recetor.

Como pressuposto para o desenvolvimento deste trabalho estão as medições fornecidas pela EG do sistema em alta.

3.2.3 Otimização operacional implementada

Decorrente do desenvolvimento do sistema de monitorização pela EG, foram implementadas ferramentas de controlo em tempo real, mais propriamente no que se refere ao tratamento dos efluentes das FD 4 e 6, entre as ETAR de Lordelo e Rabada.

Para o efeito, como é sintetizado na Figura 9, a montante da ETAR de Lordelo encontra-se uma câmara repartidora de caudal que permite gerir as afluências dos caudais provenientes da FD4.

Deste modo, é possível realizar operações de gestão operacional do sistema interceptor, pelo que se pode tratar todo o efluente proveniente da FD4 na ETAR de Lordelo, se pode enviar parte do caudal para a ETAR de Rabada, bem como, em caso de emergência, devido a eventos de precipitação intensa, se pode proceder a descargas no rio Vizela.

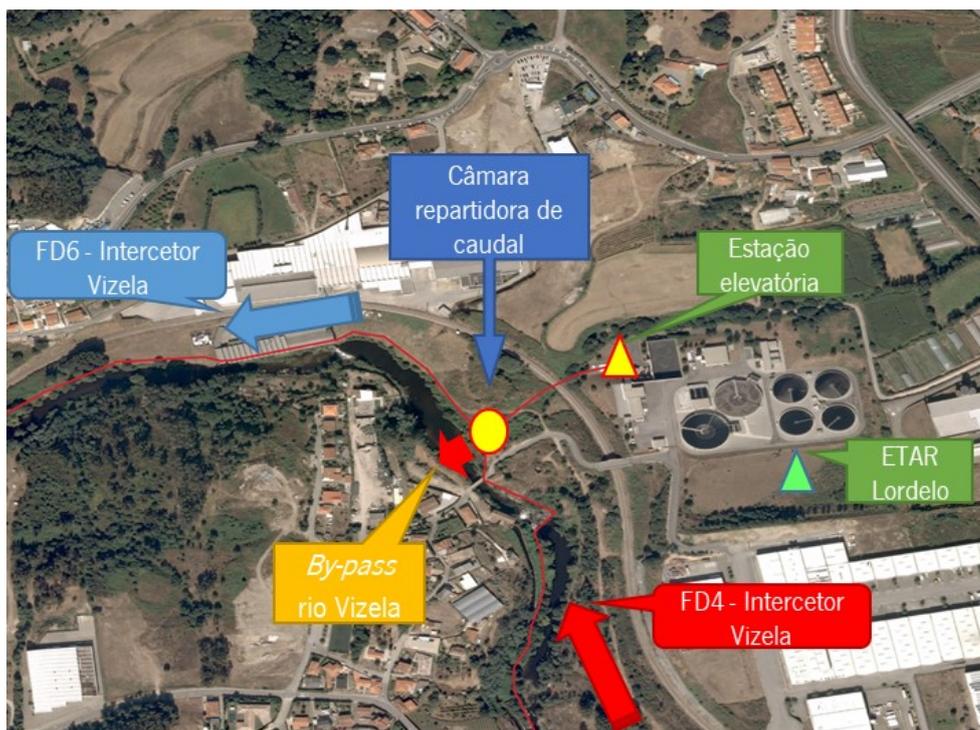


Figura 9 – Planta esquemática da câmara repartidora de caudal entre a FD4 e a FD6 (adaptado de Silva, 2020).

De acordo com Silva (2020), o tratamento dos efluentes na ETAR de Rabada é realizado de forma gravítica e com menores custos operacionais. Como tal, a implementação desta estrutura hidráulica permitiu que a EG conseguisse otimizar os custos operacionais na gestão do sistema de águas residuais.

No que diz respeito ao funcionamento desta estrutura, o envio dos caudais para a ETAR de Rabada depende do nível máximo permitido no tanque da ETAR de Lordelo. Ora, num cenário em que a capacidade de tratamentos da ETAR de Lordelo seja ultrapassada, os caudais são drenados para a ETAR de Rabada. Por outro lado, num cenário de emergência, como, por exemplo, devido a eventos de precipitação intensa, os caudais são descarregados na bacia hidrográfica.

3.3 Informação de base ao funcionamento do modelo hidráulico

Os dados de base considerados para efeito da construção do modelo hidráulico são:

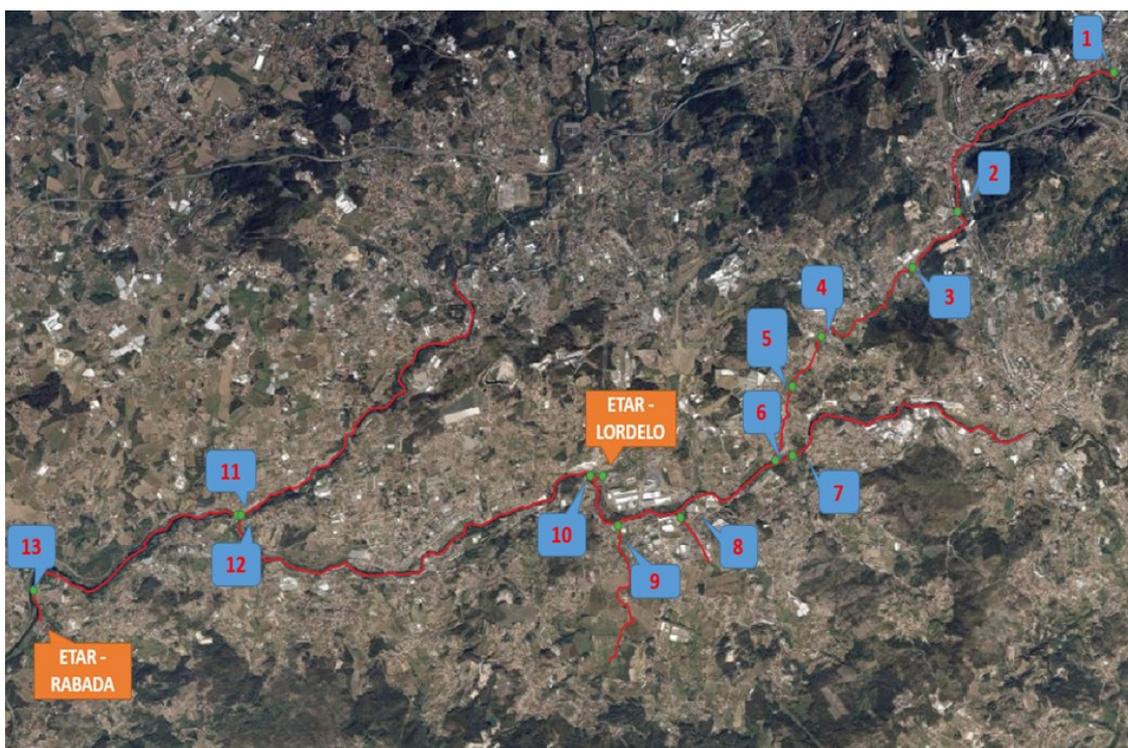
- i) A informação das características físicas do sistema de drenagem de águas residuais;

- ii) A informação proveniente do sistema de monitorização. A este respeito, os dados fornecidos pela EG foram fundamentais no que diz respeito à construção do modelo e à boa execução do presente estudo.

Com efeito, de forma a preparar a construção do modelo hidráulico no SOBEK foram organizados os dados do cadastro do sistema interceptor, com base no SIG, tendo em conta as características físicas e localização dos coletores e das câmaras de visita.

No mesmo sentido, foram utilizados os registos do sistema de monitorização das FD4 e FD6, obtidos através de duas campanhas de medição, realizadas nos períodos compreendidos entre os dias 1 e 31 de março de 2018 e entre os dias 1 de janeiro e 31 de janeiro de 2019, com uma resolução temporal de 1 em 1 hora.

Na Figura 10 é apresentada a localização dos sensores do sistema de monitorização da EG que forneceram os dados de base para a construção do modelo.



Legenda:

- 1 – Sensor 4NES155 “Portelinha dos Remédios”
- 2 – Sensor 4NES095 “LASA”
- 3 – Sensor 4NES078 “JFA”
- 4 – Sensor “Outras empresas”
- 5 – Sensor 4NES039 “Outeirinho”
- 6 – Sensor 4NES002

- 7 – Sensor 4VIZ112
- 8 – Sensor 4VIZ112
- 9 – Sensor 4SMA003
- 10 – Sensor 6VIZ117
- 11 – Sensor 6AVE061
- 12 – Sensor 6VIZ004
- 13 – Sensor 6AVE007

Figura 10 – Planta de localização do sistema de monitorização da EG.

Tendo em conta o sistema de monitorização implementado pela TRATAVE, os sensores intermédios – do tipo ultrassónico de medição de nível SOFREL LT US, da Lacroix – medem apenas a altura da lâmina (m) do escoamento, sendo que estes registos são posteriormente convertidos em caudal (m/s), em função das leis de vazão determinadas (Silva, 2020).

Para a determinação das leis de vazão, a TRATAVE utilizou equipamentos do tipo LaserFlow, da Teledyne ISCO, para campanhas de medição simultânea de níveis e velocidade do escoamento. Esta tecnologia permite a medição do nível da lâmina do fluido, velocidade e temperatura com elevada precisão. É composto por um sensor de velocidade Doppler, cujo tipo de irradiação é o laser, permitindo aferir velocidades instantâneas em 15 pontos distintos distribuídos na secção do escoamento. O sensor utiliza tecnologia apropriada à medição da velocidade, através de um feixe de laser em pontos únicos ou múltiplos na superfície do escoamento a monitorizar. Não obriga ao contacto com o líquido e permite a medição tanto em canais abertos como fechados. Possui ainda um sensor ultrassónico para medição de nível (Silva, 2020).

Na sequência da visita de campo realizada, na Figura 11 apresenta-se o sensor 6AVE061 e o sensor 6VIZ004, inseridos na FD6 do sistema interceptor.



Figura 11 – Localização de sensores intermédios do sistema interceptor: a) Planta de localização; b) Sensor 6AVE061; e c) Sensor 6VIZ004.

Se, por um lado, o registo da informação da FD6 não oferece grandes constrangimentos de análise ou de interpretação, por outro, a informação referente à FD4 necessita de maior rigor e detalhe no que concerne à sua avaliação.

Deste ponto de vista, no interceptor de Nespereira, devido à existência de vários pontos de mediação (clientes industriais e municípios), é possível quantificar o volume da descarga por *overflow*.

Para além do registo do caudal escoado, foram fornecidos pela EG dados de precipitação tendo em conta o posto udométrico localizado em Vizela. Assim, poderá fazer-se uma correlação entre os níveis de escoamento no sistema de drenagem de águas residuais e os níveis de precipitação registados durante as campanhas de medição efetuadas. Por conseguinte, foram compilados e tratados os dados, com registo de informação de hora em hora, para os dois períodos em análise, e, subsequentemente, serão utilizados na construção da modelação hidrodinâmica do sistema de drenagem de águas residuais

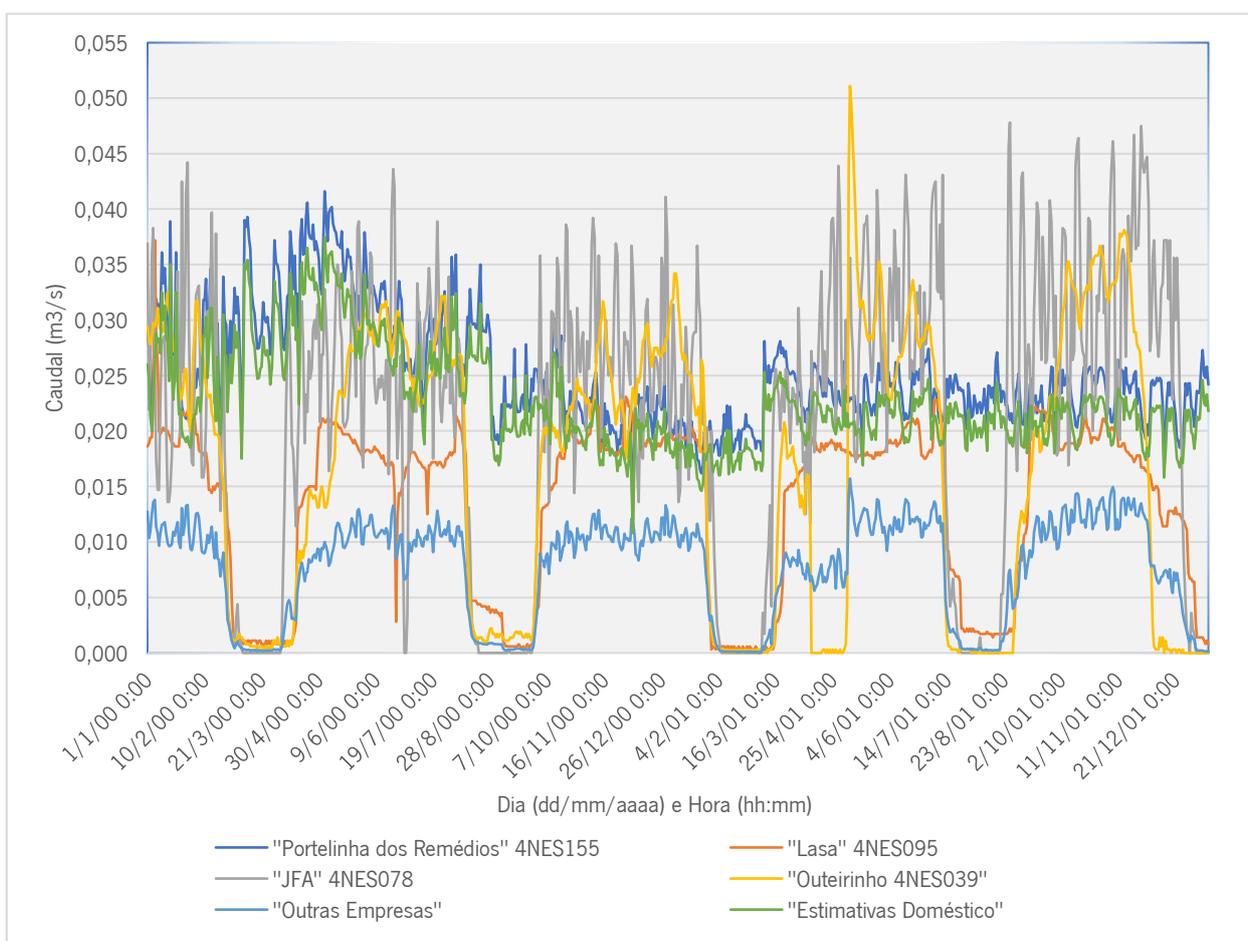


Figura 12 – Registo das medições de caudal e de precipitação ao longo do interceptor de Nespereira da FD4 (municípios e indústrias) referente à campanha de 2018.

Na Figura 12 estão representados os hidrogramas dos registos da mediação dos caudais ao longo do interceptor de Nespereira, localizado na FD4, durante a campanha realizada no período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018, cujos registos são provenientes dos pontos de entrega das indústrias e do município.

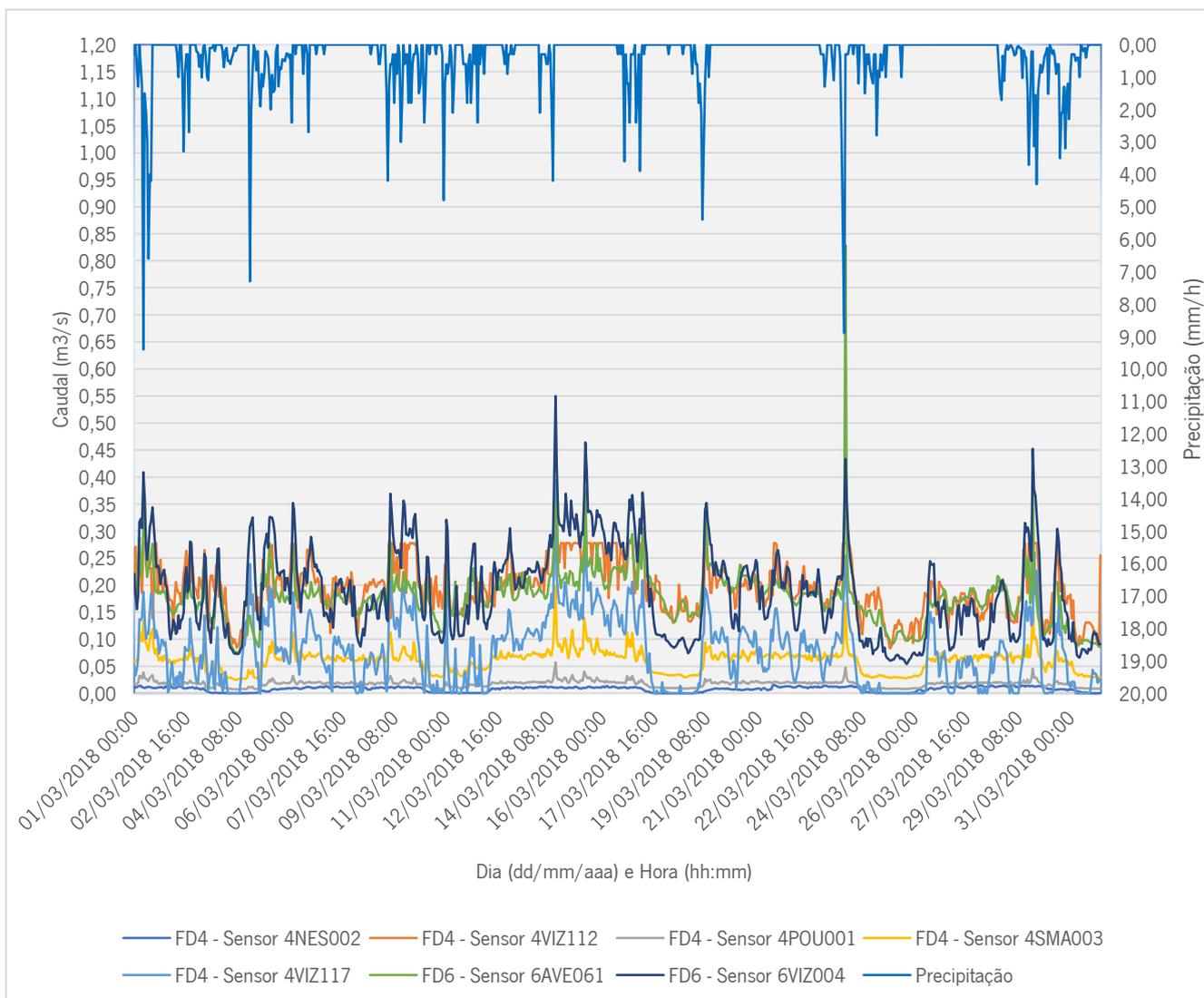


Figura 13 – Registo das medições de caudal e de precipitação dos sensores intermédios referente à campanha de 2018.

Na Figura 13 estão representados os hidrogramas dos registos da mediação dos caudais e da precipitação, provenientes do sistema de monitorização, durante a campanha realizada no período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018. Este registo diz respeito aos sensores intermédios que delimitam as ZMC do sistema de monitorização da TRATAVE.

Por sua vez, na Figura 14 estão representados os hidrogramas dos registos da mediação dos caudais ao longo do interceptor de Nespereira, localizado na FD4, durante a campanha realizada no período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019, cujos registos são provenientes dos pontos de entrega das indústrias e do município.

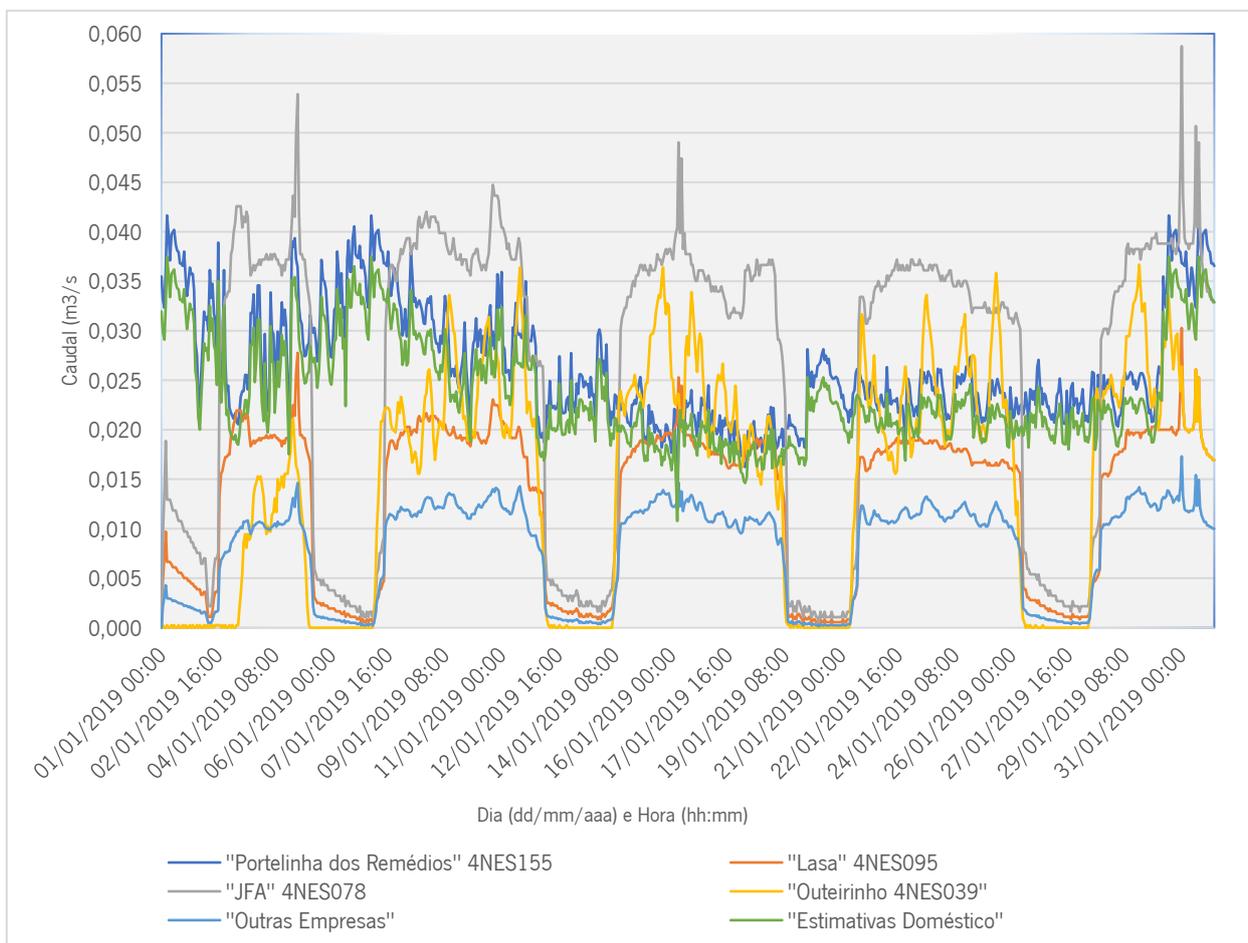
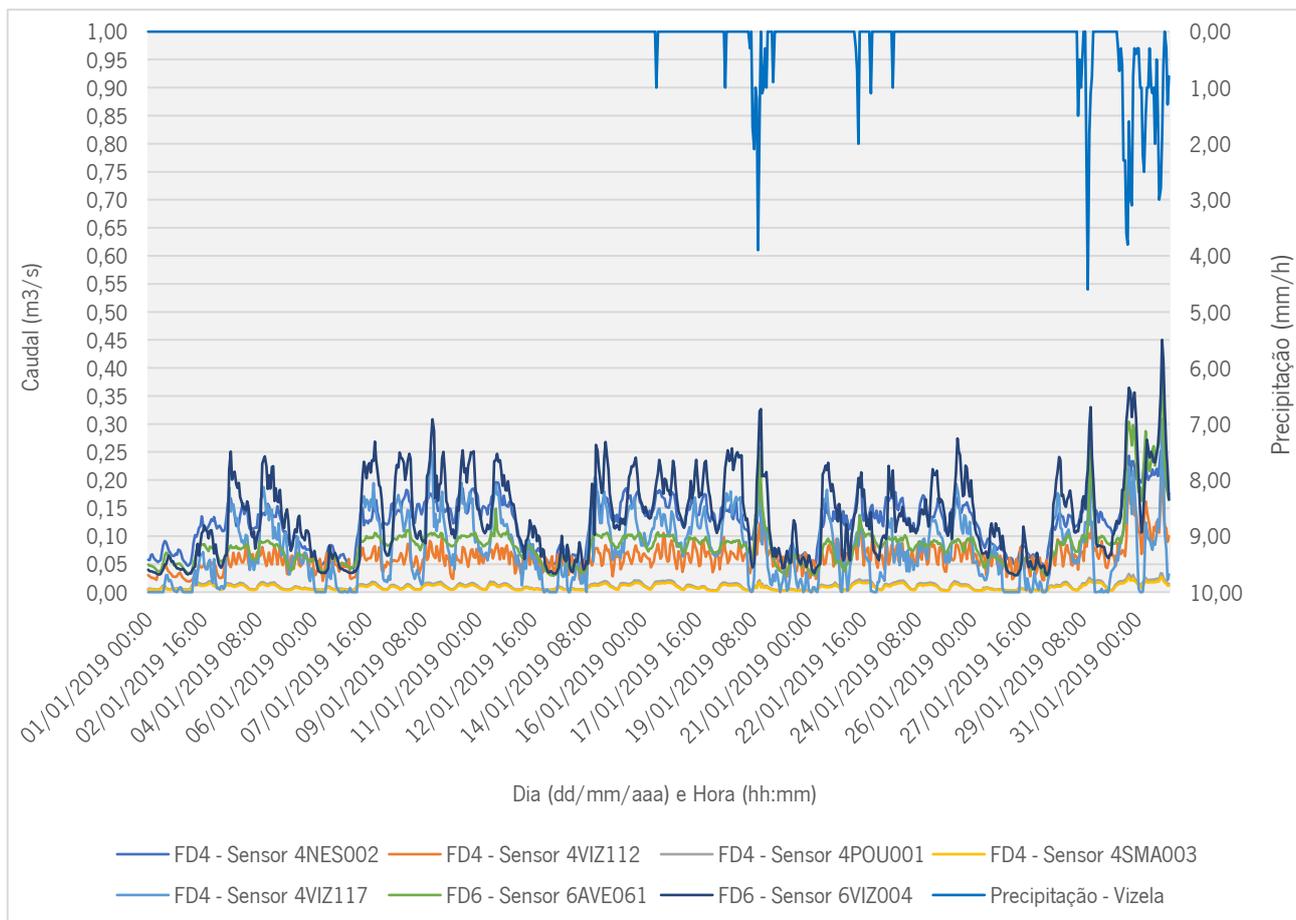


Figura 14 – Registo das medições de caudal e de precipitação ao longo do interceptor de Nespereira da FD4 (municípios e indústrias) referente à campanha de 2019.

Na Figura 15 apresentam-se os hidrogramas dos registos da mediação dos caudais e da precipitação provenientes do sistema da monitorização, durante a campanha realizada em 2019, entre os dias 1 e 31 de março de 2019. Tal como na Figura 13 este registo diz respeito aos sensores intermédios que delimitam as ZMC do sistema de monitorização da TRATAVE.

Figura 15 – Registo das medições de caudal e de precipitação referente à campanha de 2019.



De notar que, no âmbito deste estudo ao sistema interceptor, foram considerados dois períodos distintos no que diz respeito à quantificação dos níveis de precipitação.

Ora, se na campanha de 2018 os níveis de precipitação registados foram elevados, por outro lado, em 2019, o mês de janeiro foi tendencialmente seco, nomeadamente nas duas primeiras semanas.

Ainda de referir que não existe informação sobre os caudais afluentes à estação elevatória da ETAR de Lordelo. Neste sentido, o caudal tratado em Lordelo deve ser aferido de modo indireto, através da realização do balanço hídrico do sistema. Mais à frente, no ponto 3.4, será explicitado o processo de modelação do sistema interceptor em face deste constrangimento.

Por conseguinte, tendo em conta a informação de base registada no sistema de controlo da exploração, constata-se que estamos perante condições de funcionamento distintas. Como tal é possível estudar as condições de funcionamento do sistema interceptor quer num período de precipitação intensa (húmido) quer num período seco.

3.4 Modelo hidráulico do sistema interceptor com o *software* SOBEK

De forma a proceder à elaboração do modelo conceptual do sistema interceptor importa definir, em primeiro lugar, todos os elementos que o constituem, nomeadamente os coletores, as câmaras de visita, os medidores de caudal e eventuais locais de descarga de caudais em excesso, entre outros.

Para o efeito, a EG forneceu o levantamento cadastral do sistema interceptor, do qual consta o catálogo com as características das estruturas hidráulicas que o constituem: cotas de soleira e cotas das tampas das câmaras de visita e coordenadas de localização das câmaras de visita, características geométricas e físicas dos coletores.

Tendo em conta a sua organização e tratamento utilizaram-se ferramentas de SIG a partir das quais se materializou espacialmente o caso de estudo. No contexto do tratamento da informação espacial do sistema interceptor são utilizados nós nos locais onde existem estruturas hidráulicas ou na definição de zonas fronteira, e linhas para representação gráfica dos coletores. Terminado o processo de tratamento e organização da informação do sistema interceptor, importa agora transportar para o SOBEK – utilizando uma *shapefile* – todos os elementos necessários para a conceptualização do modelo de cálculo, através da interface gráfica que o programa dispõe.

Posto isto, na Figura 16 é apresentado o processo de introdução automática no SOBEK dos objetos gráficos do caso de estudo (nós e ligações entre nós).

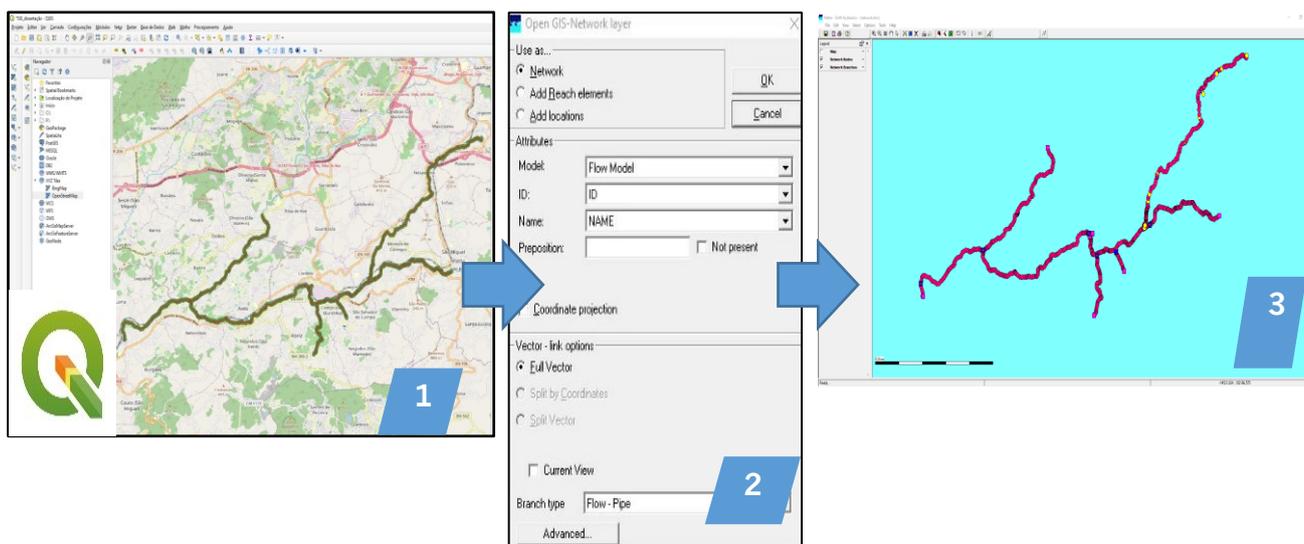


Figura 16 – Processo de introdução automática de objetos gráficos no SOBEK.

Ora, nesta primeira fase todos os elementos importados para o modelo são considerados como objetos gráficos, pelo que importa definir o seu comportamento no âmbito da modelação.

Deste modo, nas fases subsequentes procedeu-se à caracterização dos nós em função das estruturas hidráulicas simuladas, das ligações entre os nós e das condições fronteira, bem como à definição do conjunto de dados das simulações, designadamente: duração, condições iniciais ou parâmetros associados ao método numérico utilizado).

Importa ainda referir que a utilização do SOBEK, no que concerne à discretização espacial do modelo é relativamente simples, desde que o cadastro do sistema interceptor esteja devidamente organizado e completo.

Com efeito, após a organização da informação necessária numa folha de cálculo, procedeu-se ao seu carregamento no *software* a partir de uma consola de edição de dados.

3.4.1 Processo de caracterização dos nós

De uma forma geral, os nós representam as câmaras de visita e permitem a ligação entre os vários trechos. Neste caso, procedeu-se à utilização de nós do tipo *Flow – manhole* para caracterizar as câmaras de visita de passagem e/ou de queda guiada.

De referir que, ainda na configuração dos nós que representam as câmaras de visita, para além da definição das cotas da tampa e das cotas da soleira, foi também necessário identificar o tipo de câmara de visita: *closed*, *reservoir* ou *loss*.

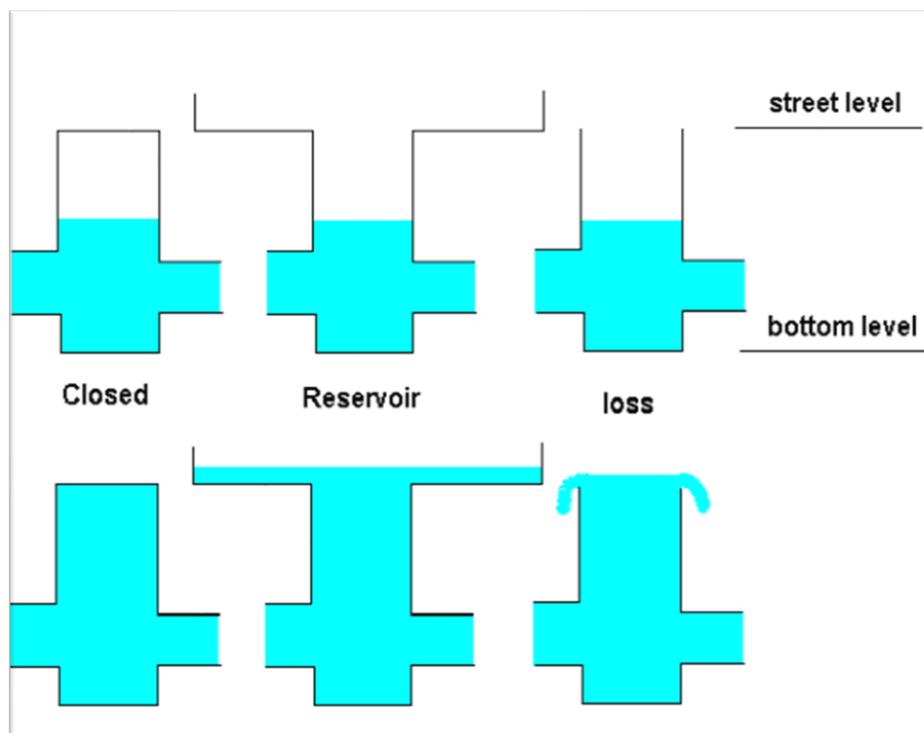


Figura 17 – Tipo de câmara de visita: *closed*, *reservoir* ou *loss* (adaptado de Deltares, 2020).

Este processo deve-se ao facto de, em contexto da simulação hidráulica, quando se incrementa o volume de caudal transportado, este poder entrar em carga, provocando extravasamentos logo que o nível do caudal atinga a cota da tampa da câmara de visita.

Neste sentido, deve-se prever e adaptar o comportamento do sistema aquando da ocorrência daqueles fenómenos. Como pressuposto deste trabalho, todas as câmaras de visita foram consideradas como *closed*, isto é, permitem que o sistema entre em carga, sendo possível identificar as zonas críticas, tal como controlar e quantificar as possíveis descargas de caudal em excesso.

Caracterização das ligações entre os nós:

Na conceptualização dos trechos que representam os coletores do sistema interceptor utilizaram-se as ligações do tipo *Flow – Pipe*. O SOBEK possui uma biblioteca com formas pré-definidas para a caracterização das secções transversais, podendo tomar configurações circulares, retangulares, elipses ou até em forma de arco. No âmbito deste estudo foram utilizadas secções circulares comerciais, em conformidade com o catálogo de cadastro partilhado pela EG.

Segundo o trabalho desenvolvido por Silva (2020), em contexto de mediação de velocidades de escoamento, foram estimados coeficientes de rugosidade para o sistema interceptor. Neste trabalho foi considerado o coeficiente de rugosidade de Manning com o valor médio de $0.013 \text{ m}^{(1/3)} / \text{s}$.

Caracterização de outros objetos para o correto funcionamento do modelo hidrodinâmico:

Ainda na formulação do modelo do sistema interceptor, foi necessário utilizar objetos com características especiais, de forma a conceptualizar o comportamento hidráulico dinâmico pretendido.

Assim, no caso das entradas de caudal no sistema interceptor, para simular os pontos de entrega das indústrias e dos municípios recorreu-se a nós do tipo *Flow - manhole with lateral flow*. A representação das condições e zonas de fronteira do modelo hidráulico, no que se refere aos limites determinados do sistema interceptor, foi efetuada através de nós do tipo *Flow – boundary*. Por conseguinte, quanto à conceptualização e quantificação das descargas de caudais utilizou-se nós do tipo *Flow - connection node with storage and lateral flow*.

Quanto à materialização do modelo, foi também necessário descrever as estruturas especiais do caso de estudo, de que é exemplo da câmara repartidora de caudal que fica a montante da ETAR de Lordelo, bem como a estação elevatória (EE) daquela ETAR.

No que respeita à câmara repartidora de caudal, foi considerado um nó do tipo *Flow - Flow manhole with level measurement*, que procede à medição da altura da lâmina do caudal escoado. A utilização deste tipo de nó é condição necessária para o correto funcionamento dos descarregadores fictícios utilizados pelos objetos gráficos do tipo *Flow – weir*.

Deste modo, com base no levantamento cadastral fornecido, a caixa repartidora de caudal apresenta como cota de soleira o valor de 84,65 m e como cota da tampa o valor de 86,97 m.

À vista disto, na conceptualização do modelo hidrodinâmico foram definidos dois descarregados, o primeiro à cota de 85,95 m e o segundo à cota de 86,20 m. Sucede que, quando a estação elevatória da ETAR de Lordelo não tem capacidade para tratamento de todo o caudal afluyente, a caixa repartidor vai enchendo. Dessa forma, quando chega ao primeiro nível – com a cota de 85,95 m, parte do caudal segue para ser tratado da ETAR de Rabada. No mesmo sentido, se o sistema interceptor não tem capacidade de transportar todo o caudal afluyente, a caixa repartidora continua enchendo até atingir o segundo nível – cota 86,20 m. Consequentemente, o caudal em excesso é desviado para o meio recetor, sem tratamento, através de um *by-pass*.

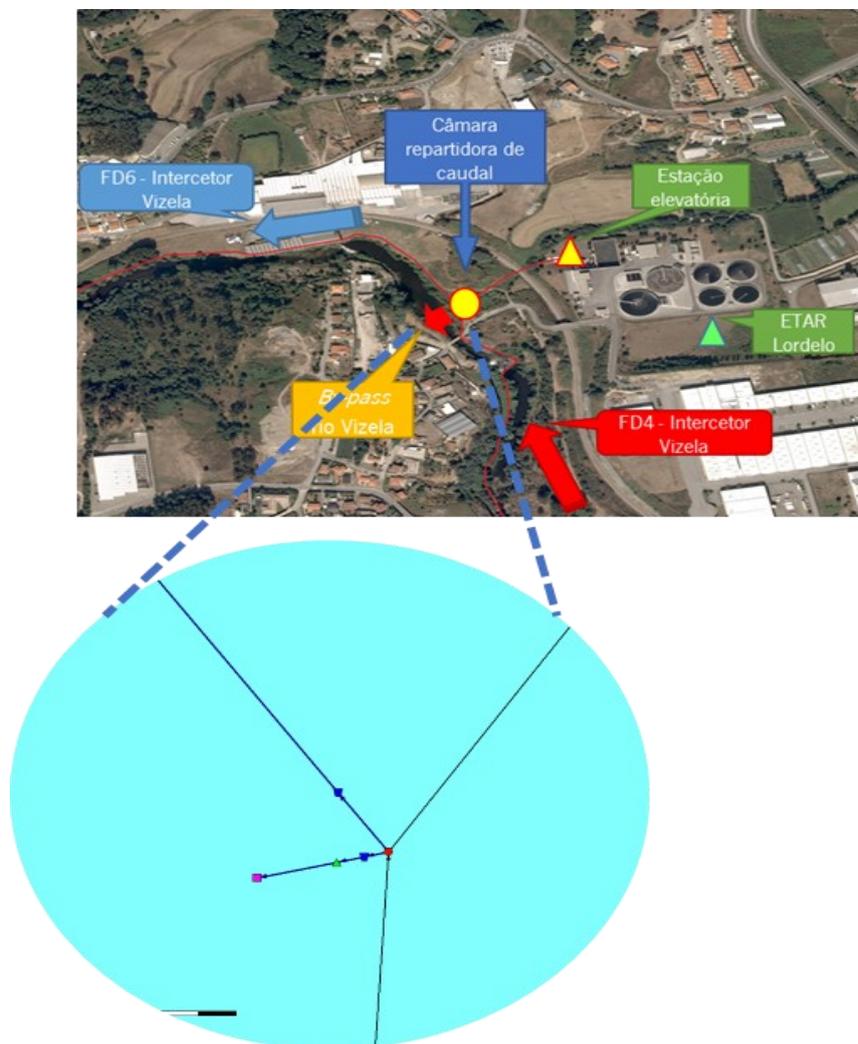


Figura 18 – Modelação da câmara repartidora de caudal no SOBEK.

No que tange à estação elevatória da ETAR de Lordelo, foi utilizado o nó do tipo *Flow - pump station* para simular o seu comportamento. Diante disto, foram previstas as condições de

funcionamento daquela estrutura, que passaram pela definição de: caudal bombado, níveis de funcionamento e serie temporal do caudal bombado.

Uma vez que a EG não disponibilizou o registo do caudal à entrada da ETAR de Lordelo, em função dos períodos em análise, foi por isso necessário quantificar o seu caudal através da elaboração do balanço de massa.

Deste modo, na aferição do caudal tratado na ETAR de Lordelo, procedeu-se à correlação entre o caudal escoado ao longo dos sensores intermédios da FD4 e o caudal escoado no primeiro sensor da FD 6. Na Tabela 4 apresenta-se a matriz do esquema do balanço de massa preconizado no domínio deste trabalho, de modo a aferir o caudal tratado na ETAR de Lordelo.

Tabela 4 – Balanço hídrico utilizado para estimativa de caudal tratado na ETAR de Lordelo.

Balanço hídrico para determinação de caudais	FD 4	<i>By-pass</i>	Caudal em excesso
		Sensor 4NES002	Caudal tratado na ETAR de Lordelo
		Sensor 4VIZ112	
		Sensor 4POU001	
	Sensor 4SM003		
FD 6	Sensor 6VIZ117	Caudal tratado na ETAR de Rabada	

Posto isto, para o devido funcionamento do modelo hidraulico foram consideradas as condições de funcionamento do grupo elevatório, de acordo com a Figura 19.

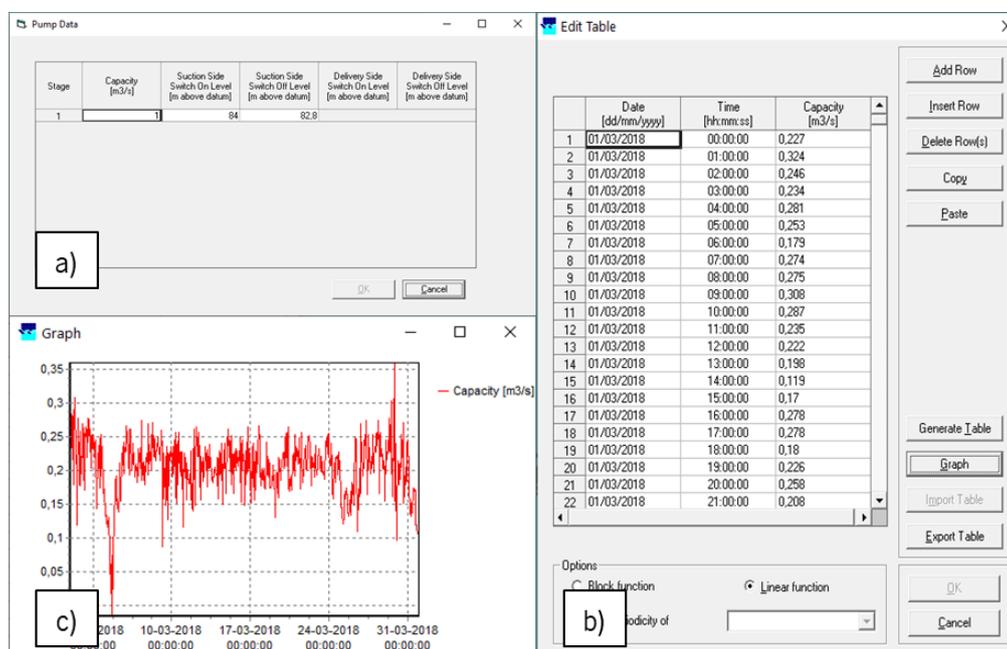


Figura 19 – Definição das condições de funcionamento da EE da ETAR de Lordelo: a) Funcionamento dos grupos eletrobomba; b) Tabela de funcionamento dos grupos eletrobomba; e c) gráfico de funcionamento dos grupos eletrobomba.

Por último, após a congregação de todos elementos e de toda a informação necessária no SOBEK, na Figura 20 apresenta-se a discretização espacial do modelo hidráulico das FD4 e FD6 do SIDVA.

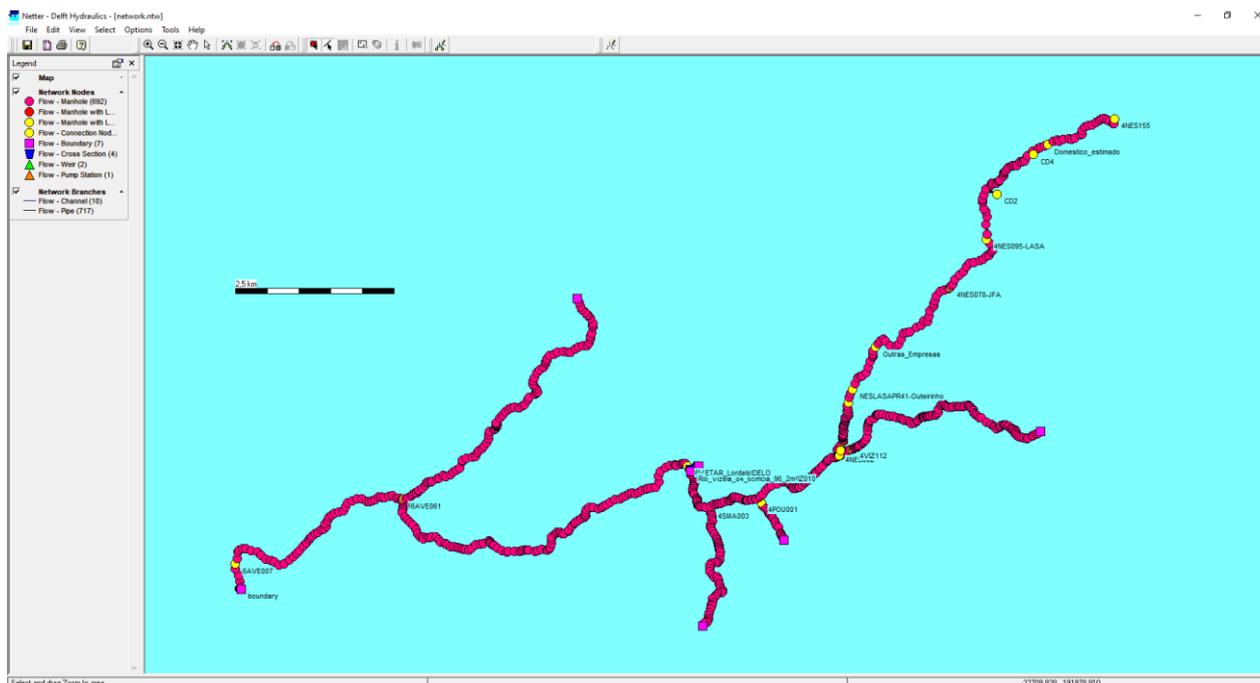


Figura 20 – Discretização espacial do modelo hidráulico das FD4 e FD6 do SIDVA.

3.5 Calibração do modelo hidráulico

Concluído o processo de construção do modelo hidráulico, no qual foi introduzido toda a informação necessária ao seu funcionamento, deve-se agora proceder à calibração do mesmo, de modo que a este possa reproduzir, com o grau de confiança necessária, o comportamento do sistema interceptor.

Entende-se por calibração um processo iterativo, que passa por ir ajustando os parâmetros de entrada do modelo computacional, e comparando os resultados observados com os resultados simulados, com o objetivo é obter uma correspondência aceitável entre os dois. Com efeito, no âmbito deste trabalho, a calibração do modelo realiza-se em função dos registos de medição fornecidos pela EG.

Assim, na Figura 21 apresentam-se os dois locais utilizados para a calibração do modelo hidráulico.



Figura 21 – Locais de calibração do modelo hidráulico no SOBEK.

Tabela 5 – Localização dos locais de calibração do modelo hidráulico.

Designação	Localização
Ponto A	A montante da confluência entre o interceptor de Nespereira e o interceptor de Vizela (FD4)
Ponto B	A jusante da ETAR de Lordelo, localizado no interceptor de Vizela (FD6)

A calibração do modelo hidráulico fez-se pelo ajustamento dos valores estimados dos caudais das indústrias e dos caudais provenientes dos municípios, pela retirada do caudal que provoca os extravasamentos e pelo ajustamento da estação elevatória da ETAR de Lordelo.

De modo a que o modelo possa assegurar um grau de confiança aceitável, foram utilizados como indicadores:

- i. A comparação gráfica entre os valores simulados;
- ii. O coeficiente de correlação entre os valores simulados e os valores observados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Considerações iniciais

Como tem vindo a ser referido ao longo dos capítulos anteriores, as afluências indevidas, bem com a descarga de águas residuais em excesso no meio recetor são um dos constrangimentos associados à exploração dos sistemas de drenagem pelas EG.

Neste caso particular, ao longo do presente capítulo serão apresentados e analisados os resultados decorrentes da aplicação da modelação hidráulica ao sistema interceptor explorado pela TRATAVE.

Em função dos objetivos preconizados no contexto deste trabalho, foi estabelecido um conjunto de cenários para estudo e análise das condições de funcionamento das FD4 e FD6, tendo sido considerados os seguintes cenários:

- i. Cenário 1 – Avaliação do desempenho hidráulico do sistema interceptor em período de tempo seco, durante uma semana;
- ii. Cenário 2 – Avaliação do desempenho hidráulico do sistema interceptor, em tempo húmido, para os dias compreendidos entre 1 e 31 de março de 2018;
- iii. Cenário 3 – Avaliação do desempenho hidráulico do sistema interceptor, em tempo húmido, para os dias compreendidos entre 1 e 31 de janeiro de 2019.

Com efeito, para a definição do perfil-tipo de escoamento do sistema interceptor em tempo seco, utilizou-se informação da monitorização fornecida pela EG, tendo por base uma semana em que não tenha havido ocorrência de precipitação. Deste modo, obtiveram-se os possíveis locais onde podem ocorrer constrangimentos no transporte dos efluentes, designadamente os coletores onde o sistema entra em carga, assim como as câmaras de visita mais vulneráveis com possibilidade de ocorrência de descargas no meio recetor.

Em sequência, e de acordo com o apresentado na descrição do caso de estudo no capítulo 3, foram analisadas as condições de funcionamento do sistema interceptor para os períodos compreendidos entre os dias 1 e 31 de março de 2018 e os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.

Para os dois períodos supramencionados, procedeu-se à análise do comportamento hidráulico do sistema interceptor, para o período de 30 dias, com resolução temporal de 60 minutos, em função da informação proveniente do sistema de monitorização da TRATAVE (registo dos caudais e dos eventos de precipitação). Através desta avaliação, foi possível representar,

através de um modelo computacional, o experimentado em ambiente real pela EG em contexto de exploração do sistema interceptor.

Como tal, os resultados obtidos permitem responder com soluções para gerir as afluências indevidas, através de descargas controladas no meio recetor, pela introdução de tanques de retenção ou ainda por intervenção na infraestrutura.

Em concreto, os resultados obtidos fornecem a identificação dos locais mais vulneráveis do sistema interceptor, onde o seu comportamento hidráulico é de pouca qualidade e, por consequência, pode entrar em carga, provocando extravasamentos. No mesmo sentido, é possível identificar troços do sistema interceptor onde se verifica a infiltração de água, provocando o aumento de caudal a transportar e, subseqüentemente, um aumento do volume de caudal a tratar pelas ETAR.

No âmbito da modelação hidráulica do sistema interceptor foram verificadas algumas limitações, designadamente a falta de informação à entrada das ETAR de Lordelo e de Rabada, bem como a falta de registos de caudal em locais de fronteira. Assim, foi necessário recorrer a processo interativos, através de balanços hídricos, cujo objetivo passou por aferir os caudais estimados que o sistema transporta.

Conforme o apresentado na Figura 22, não se procede à análise integral de alguns dos interceptores das FD4 e FD6. Neste caso, a modelação hidráulica do interceptor de Vizela (FD4) acontece a jusante do Sensor 4VIZ112, a modelação dos interceptores de Pousada e S. Martinho (FD4) acontece a jusante dos Sensor 4POU001 e Sensor 4SMA03, respetivamente. No que concerne ao interceptor do Ave (FD6) a modelação hidráulica acontece a jusante do Sensor 6AVE061.

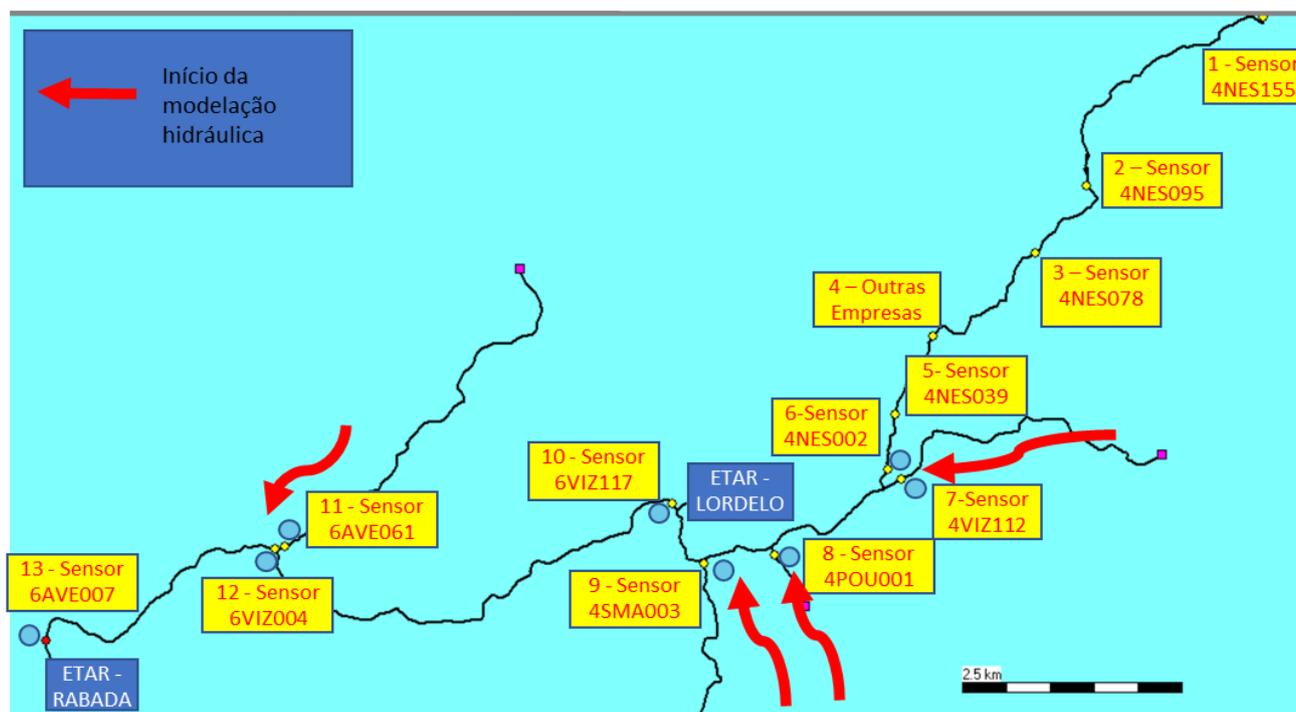


Figura 22 – Localização dos locais de medição em ambiente gráfico de modelação do sistema interceptor.

Com efeito, no processo de análise dos resultados foi considerado um conjunto de pressupostos, em concordância com o identificado no ponto 3.4.1.

Um desses pressupostos foi considerar que as câmaras de visita estão completamente estanques e as suas tampas lacradas (*closed*), isto é, do ponto de vista da modelação do sistema interceptor não existe entrada ou saída de caudal.

Tal pressuposto acontece em ambiente real de exploração do sistema interceptor, pelo que esta situação está identificada pelos técnicos da EG. É ainda referido por estes técnicos da EG que existem descargas controladas no meio recetor para evitar colapsos na infraestrutura. Uma vez

que esta informação é considerada segredo comercial, não pode ser utilizada para avaliar concretamente o local onde ocorrem tais descargas.

Portanto, não foi possível aferir uma correspondência entre o modelo hidráulico e os locais onde se efetuam as descargas. Porém, serão alvitados locais teóricos para quantificar o volume de caudal descarregado no meio recetor.

4.2 Cenário 1 – Análise às condições de funcionamento do sistema interceptor em tempo seco

Após o tratamento da informação de base fornecida pela TRATAVE procedeu-se à seleção de uma semana em que não tenha havido ocorrência de precipitação, com o objetivo de proceder a uma análise ao funcionamento do sistema interceptor, em tempo seco, de modo a compreender o seu comportamento hidráulico.

Esta primeira interação com o modelo de cálculo assenta, sobretudo, na necessidade de identificar os possíveis locais onde a infraestrutura entra em carga hidráulica, no horário em que ocorre o pico de caudal: quinta-feira, às 18:45.

Assim, nesta primeira avaliação ao funcionamento do sistema interceptor verifica-se que, na sua generalidade, em tempo seco, este funciona devidamente, com exceção de alguns locais, designadamente a jusante da reunião do interceptor de Nespereira com o interceptor de Vizela (câmara de visita NESLASAPR329), ambos na FD4, bem como noutros locais onde ocorreu uma deficiente conceção da infraestrutura.

Na Figura 23, mais propriamente a jusante da câmara de visita NESLASAPR329, encontra-se um dos locais críticos da infraestrutura, dado que neste local se verifica a entrada em carga dos coletores.

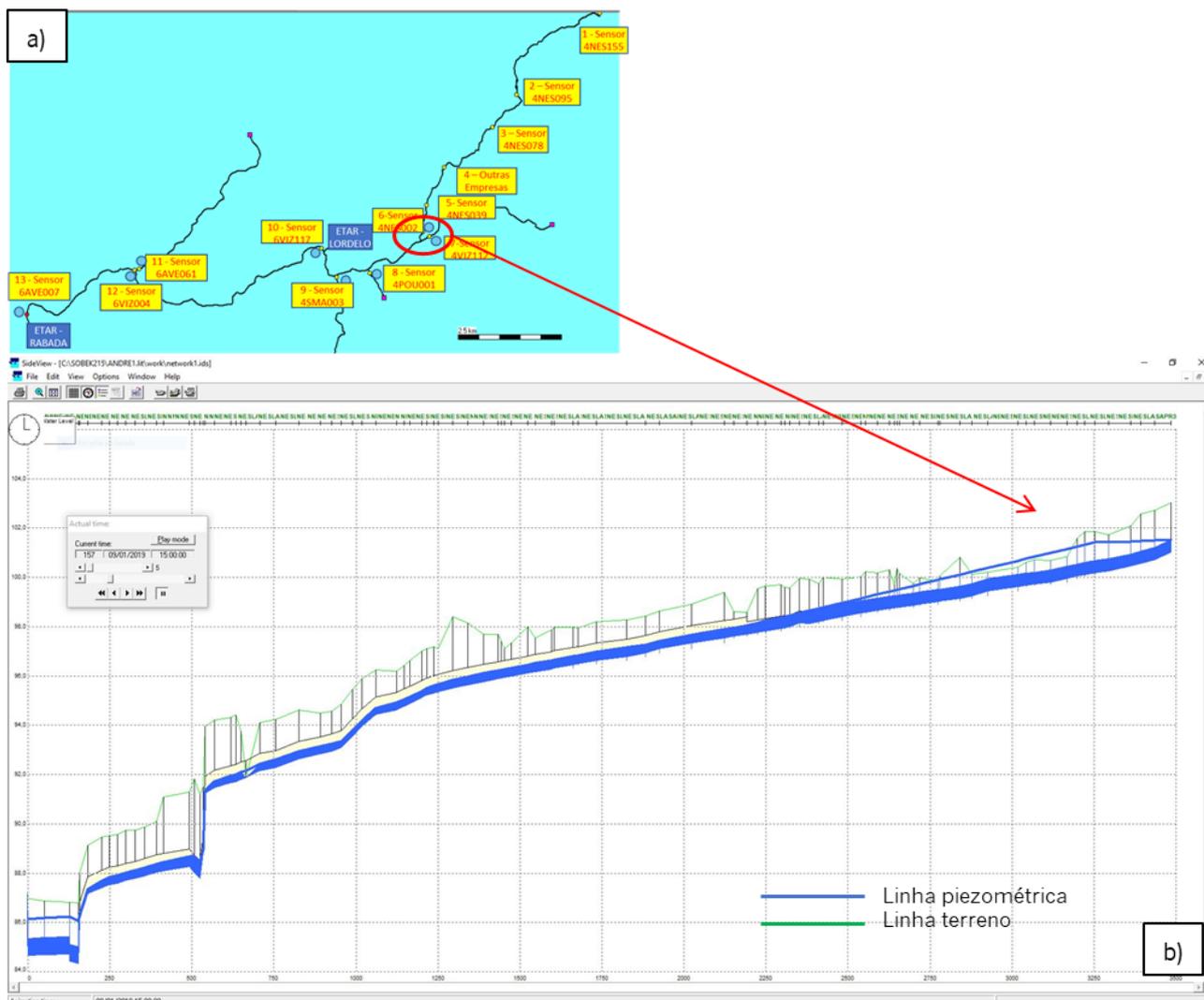


Figura 23 – Perfil longitudinal do interceptor de Vizela FD4: a) Modelo de hidráulico; e b) Perfil de escoamento do interceptor de Vizela.

É ainda de referir que coletores que constituem os interceptores podem entrar em carga por diversas causas, entre elas devido a processos de infiltração de águas pluviais ou ligações ilícitas, bem como devido à conceção defeituosa da rede, na qual os coletores se encontram instalados com inclinação contrária à pendente.

Ora, para transportar o caudal dos pontos mais altos para os pontos mais baixos é necessário que a cota piezométrica a montante seja superior à cota de soleira das cotas mais altas. Esta diferença de cotas pode originar a entrada dos trechos intermédios em carga – coletores entre o nó da carga piezométrica necessária, e o nó a jusante mais elevado –, fazendo com que o sistema funcione com um sifão invertido.

Analisado o nível do caudal na câmara de visita com a designação NESLASAPR322, que se localiza naquele local mais vulnerável, durante a semana em análise, observa-se que nível da linha piezométrica excede a cota da tampa, provocando a entrada em carga hidráulica do sistema, tal como indicado na Figura 23.

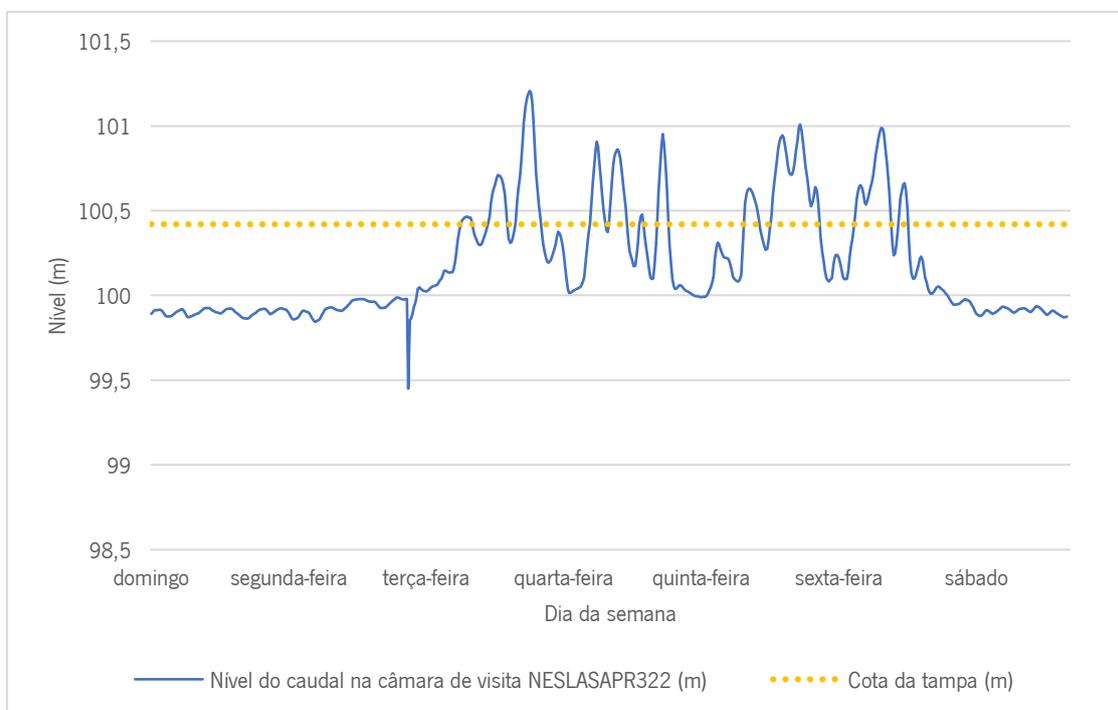


Figura 24 – Nível do caudal em câmara de visita no interceptor de Vizela (FD4).

Tomando como base a análise efetuada ao nível do caudal na câmara de visita NESLASAPR322, os principais constrangimentos no transporte do caudal efluente, em tempo seco, acontecem durante os dias úteis, diminuindo no fim de semana.

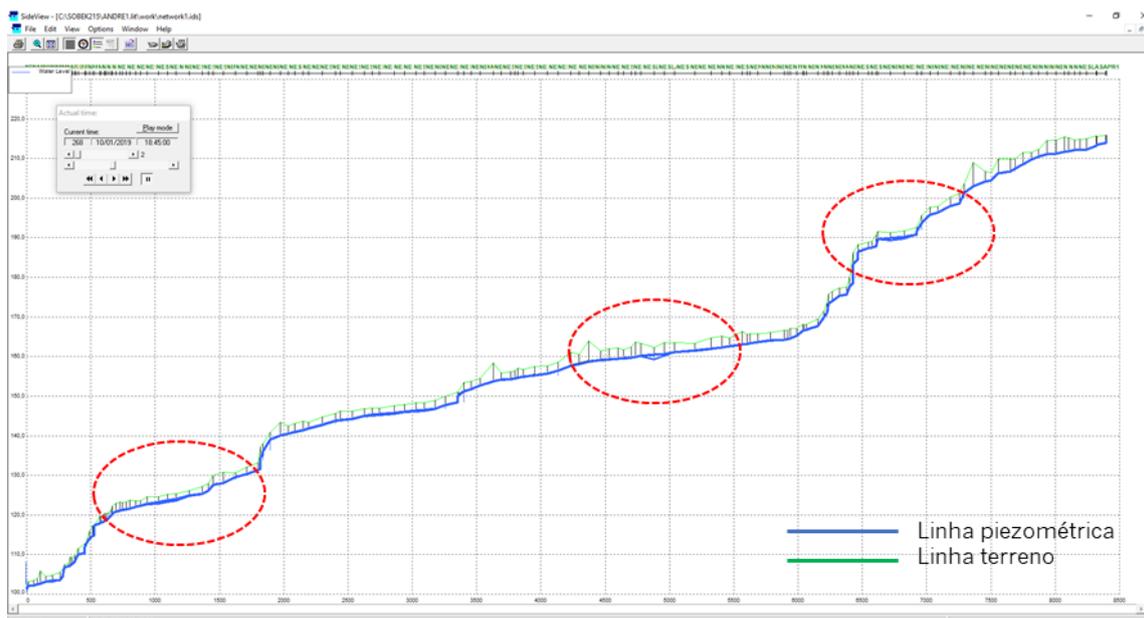


Figura 25 – Perfil longitudinal do interceptor de Nespereira FD4.

Ao longo do interceptor de Nespereira (FD4) são também encontrados problemas no transporte dos efluentes, pelo que podem ocorrer descargas no meio recetor sem qualquer tipo de tratamento, fenómeno este designado por SSO.

Neste caso, face ao retrato do perfil longitudinal representado na Figura 25 a entrada em carga deve-se, sobretudo, à existência de sifões invertidos, como também ao transporte de caudais provenientes de infiltrações de águas pluviais ou de ligações ilícitas das indústrias, sendo o número de empresas localizadas junto a este interceptor é elevada.

Relativamente aos restantes interceptores, para a simulação em análise não foram registados problemas, sendo que o seu funcionamento ocorre com a devida normalidade. Com efeito, apresenta-se em anexo os perfis de escoamento para um pico de caudal.

De salientar que em tempo seco não foi necessário recorrer à estrutura implementada pela TRATAVE para a gestão de afluências de caudais entre as FD4 e 6 (Figura 9), tendo os caudais efluentes sido tratados tanto na ETAR de Lordelo, como na ETAR de Rabada.

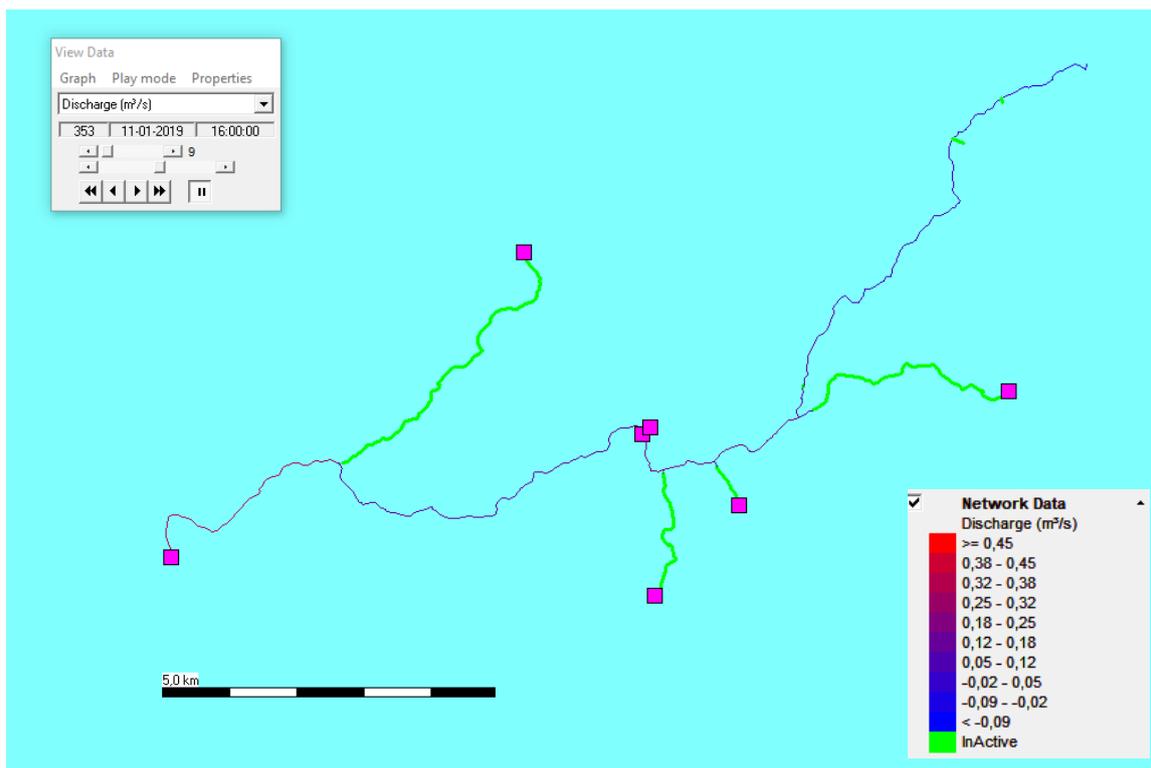


Figura 26 – Velocidade de escoamento do sistema interceptor em período de tempo seco.

Por fim, procede-se ainda à análise da velocidade de escoamento nos interceptores, na situação de tempo seco, em horário de pico de caudal.

De referir que a legislação nacional (Decreto Regulamentar n.º 23/95) determina velocidades mínimas e máximas de escoamento, pelo que o caudal de ponta no início de exploração não deve ser inferior a 0,6 m/s para coletores domésticos e a 0,9 m/s para coletores unitários e separativos pluviais, e o caudal de ponta no horizonte de projeto não deve exceder 3 m/s para coletores domésticos e 5 m/s para coletores unitários e separativos pluviais.

De acordo com o resultado obtido na Figura 26, e contexto da simulação efetuada aos limites impostos à velocidade de escoamento, observa-se que os limites impostos pelo decreto estão a ser cumpridos.

4.3 Cenário 2 – Análise às condições de funcionamento do sistema interceptor no período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018

4.3.1 Processo de calibração

Recolhidas as primeiras impressões sobre o funcionamento do sistema interceptor em tempo seco, procedeu-se à modelação da infraestrutura entre os dias 1 e 31 de março de 2018, em função da informação de base recolhida pelo sistema de monitorização da TRATAVE.

Este período em concreto, tal como indicado no ponto 3.3, é marcado por períodos de precipitação intensa, o que, do ponto de vista teórico, indica a ocorrência de infiltrações, bem como de descargas no meio recetor.

Após a introdução da informação do período em análise no modelo foi necessário proceder à sua calibração, relacionando o caudal medido em contexto real de exploração e o caudal simulado no *software* SOBEK.

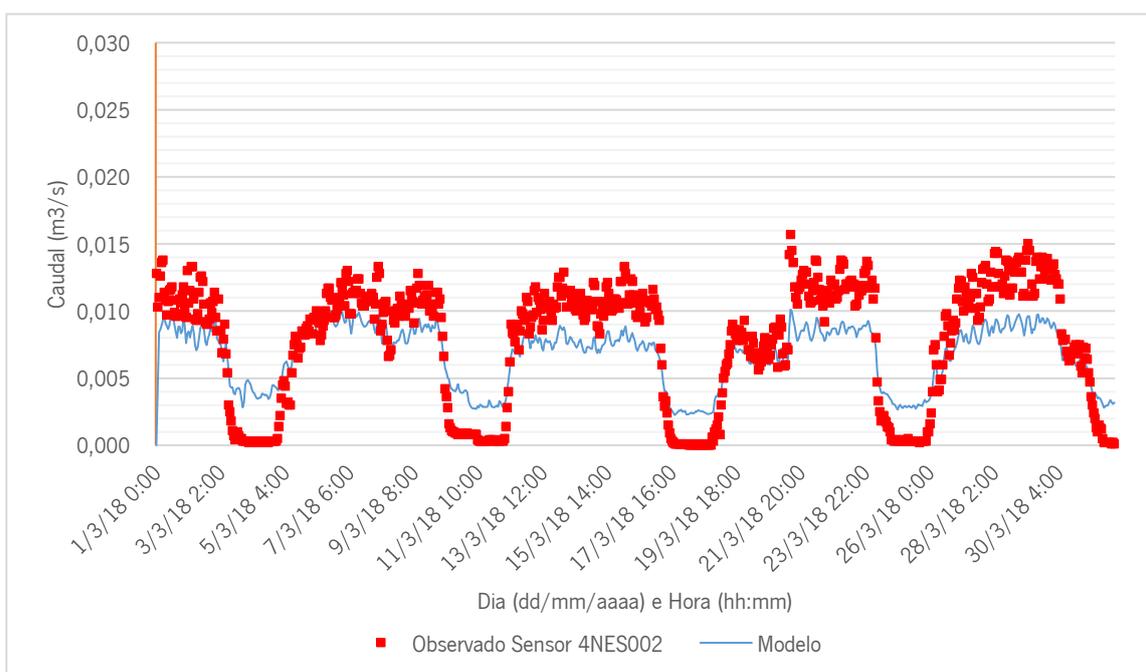


Figura 27 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto A referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.

No que diz respeito ao ponto ao ponto A – a montante da confluência entre o interceptor de Nespereira e o interceptor de Vizela (FD4) – foi possível conferir uma boa correspondência entre o caudal medido no Sensor 4NES002 e o caudal simulado.

No local identificado, para o período em análise, obteve-se um coeficiente de correlação (R^2) de aproximadamente 0,90.

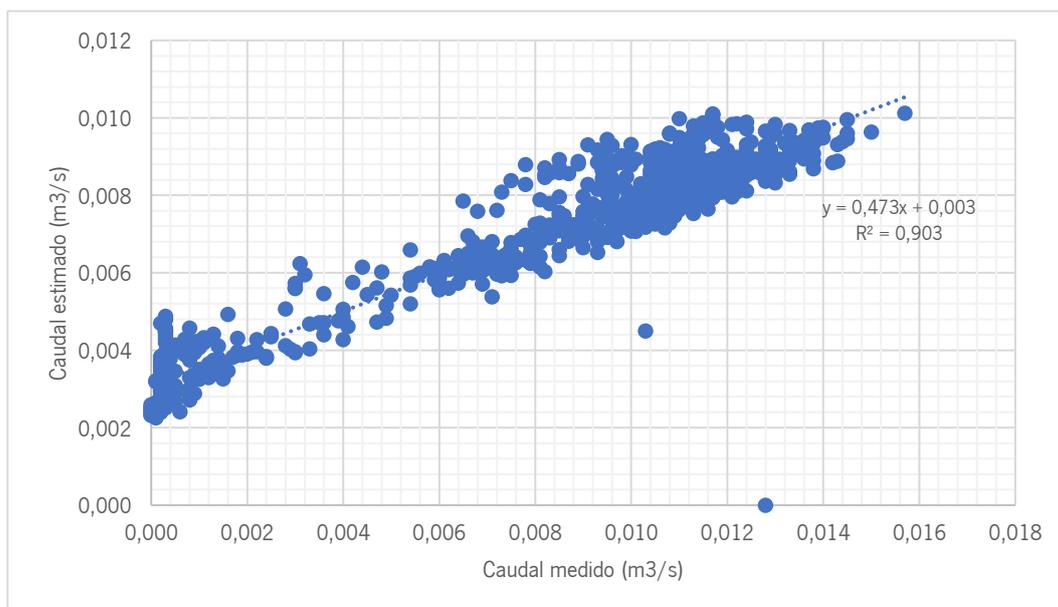


Figura 28 – Relação entre os níveis simulados e modelados no ponto A para o período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.

No que diz respeito ao ponto B – a jusante da ETAR de Lordelo, localizado no interceptor de Vizela (FD6) –, foi também possível conferir uma boa correspondência entre o caudal medido no Sensor 6VIZ117 e o caudal simulado.

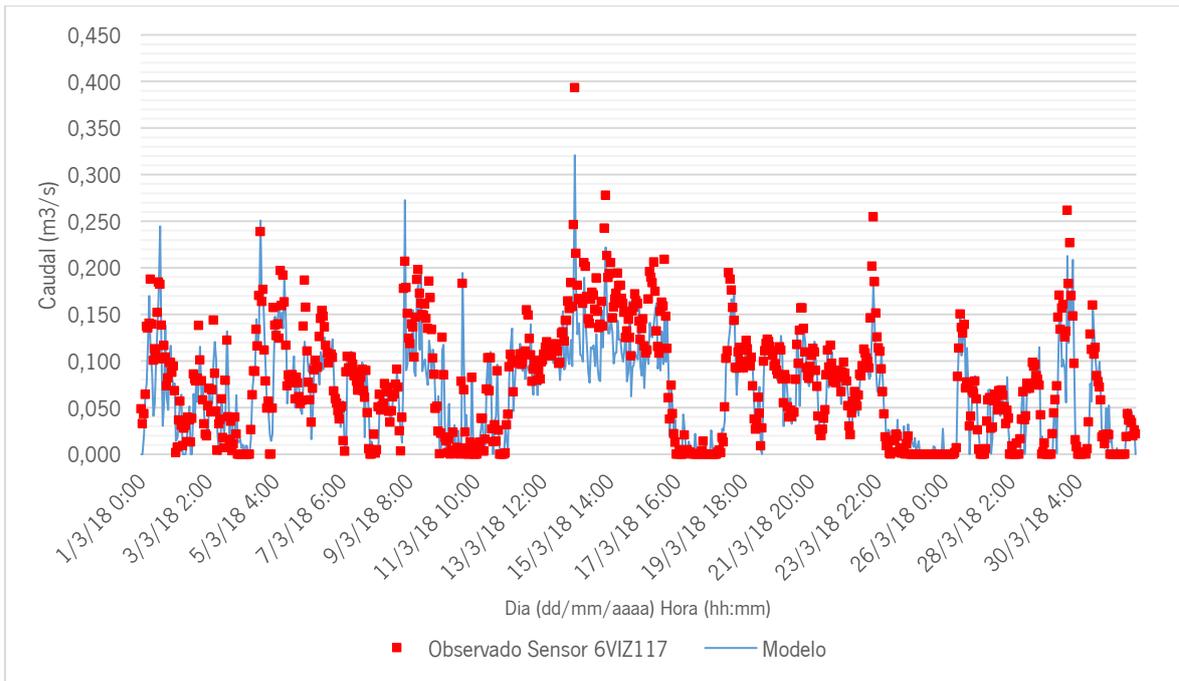


Figura 29 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto B referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.

No ponto B, para o período em análise, obteve-se um coeficiente de correlação (R^2) de 0,82.

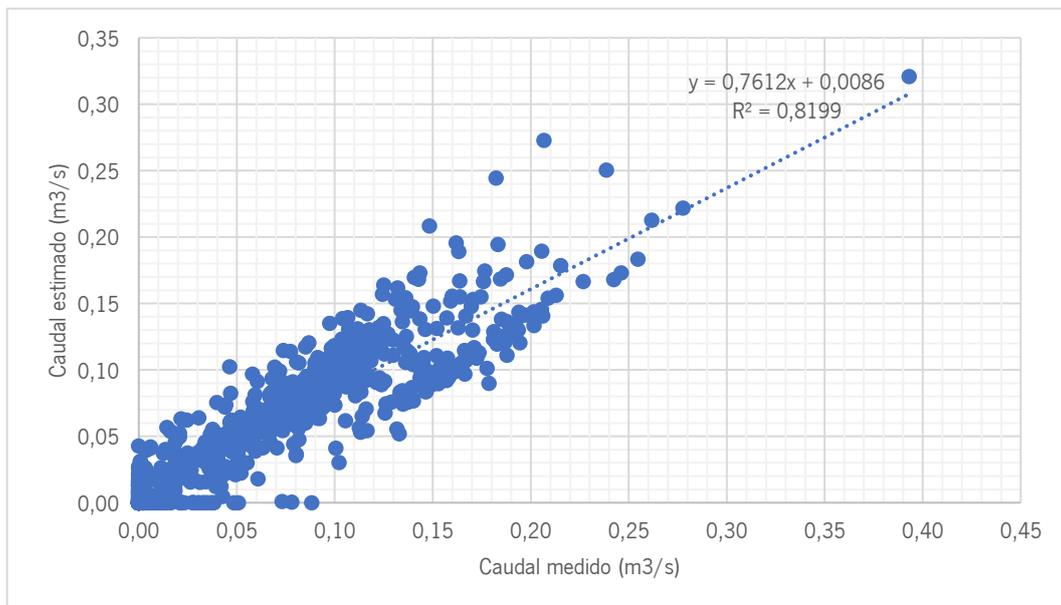


Figura 30 – Relação entre os níveis simulados e modelados no ponto B para o período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.

4.3.2 Avaliação das descargas no meio recetor nos interceptores de Nespereira e Vizela (FD4)

Tal como referido anteriormente, no processo de cálculo as tampas das câmaras de visita são consideradas do tipo *closed*, pelo que no processo de simulação, sempre que o caudal a transportar excede a capacidade do coletor, este entra em carga.

Com efeito, em contexto real de exploração, a EG selou as tampas do sistema interceptor, evitando os extravasamentos nos locais mais vulneráveis e controlando assim as descargas no meio recetor. Sendo desconhecido o local exato onde tais descargas acontecem, para efeito de simulação do período em análise, arbitraram-se dois locais, tal como apresentado no esquema da Figura 31.

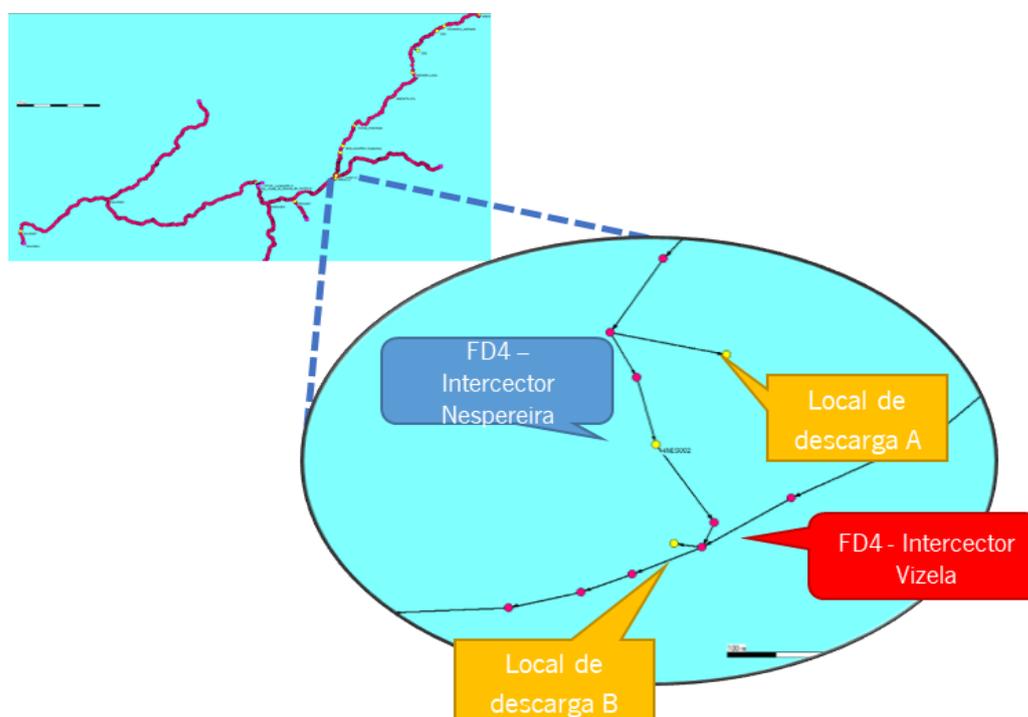


Figura 31 – Esquema para definição dos locais de descarga do caudal em excesso para o período de 1 e 31 de março de 2018.

Para o evento em análise, considera-se o modelo hidráulico calibrado após a inserção destes dois locais para descarga do efluente.

Com efeito, pretende-se assim aferir o volume de caudal que é descarregado ao longo do interceptor de Nespereira, bem como imediatamente a jusante da reunião deste com o interceptor de Vizela.

Através da simulação do evento com o *software* SOBEK, é possível constatar que na interseção entre Vizela e Nespereira os coletores entram em carga devido à fraca capacidade de transporte do sistema para tal solicitação (Figura 32).



Figura 32 – Perfil de escoamento no interceptor de Vizela (FD4) para o período de 1 a 31 de março de 2018.

No que concerne ao interceptor de Nespereira, através da simulação do evento é possível identificar vários locais onde o interceptor entra em carga hidráulica, pelo que o nível de caudal em algumas câmaras de visita é superior à sua altura. Contudo, a linha piezométrica não excede a linha do terreno (Figura 33). Tal fenómeno não acontece, dado ter sido considerado, para efeito de cálculo, uma descarga, melhorando assim as condições de funcionamento da infraestrutura.

Ora, nesta simulação compreendem-se algumas das limitações provenientes da informação de base, explicadas pelo facto de a EG não facultar os locais de descarga. Como tal, existe a possibilidade de ocorrência de descargas controladas ao longo do interceptor de Nespereira, amortizado o impacto na ligação com o interceptor de Vizela.

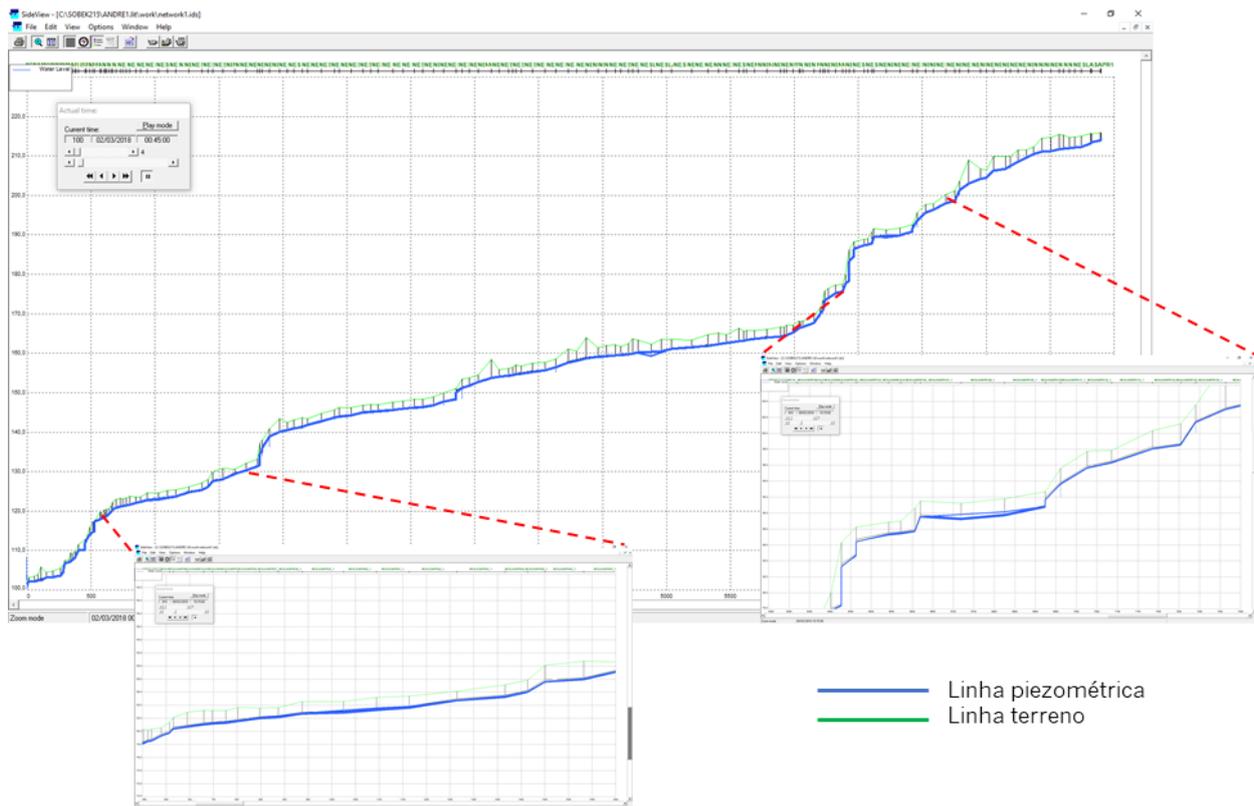


Figura 33 – Perfil de escoamento no interceptor de Nespereira (FD4) para o período de 1 a 31 de março de 2018.

Analisando ainda os dados recolhidos pelo sistema de monitorização da TRATAVE, verifica-se que, para o período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018, existiriam graves problemas no transporte dos efluentes em Nespereira.

Ora, na Figura 34 apresenta-se a comparação entre os caudais medidos nos sensores municipais e industriais e o caudal medido no Sensor 4NES002, pelo que é possível constatar que grande parte do caudal não chegou a ETAR nem foi registado no sensor da ZMC.

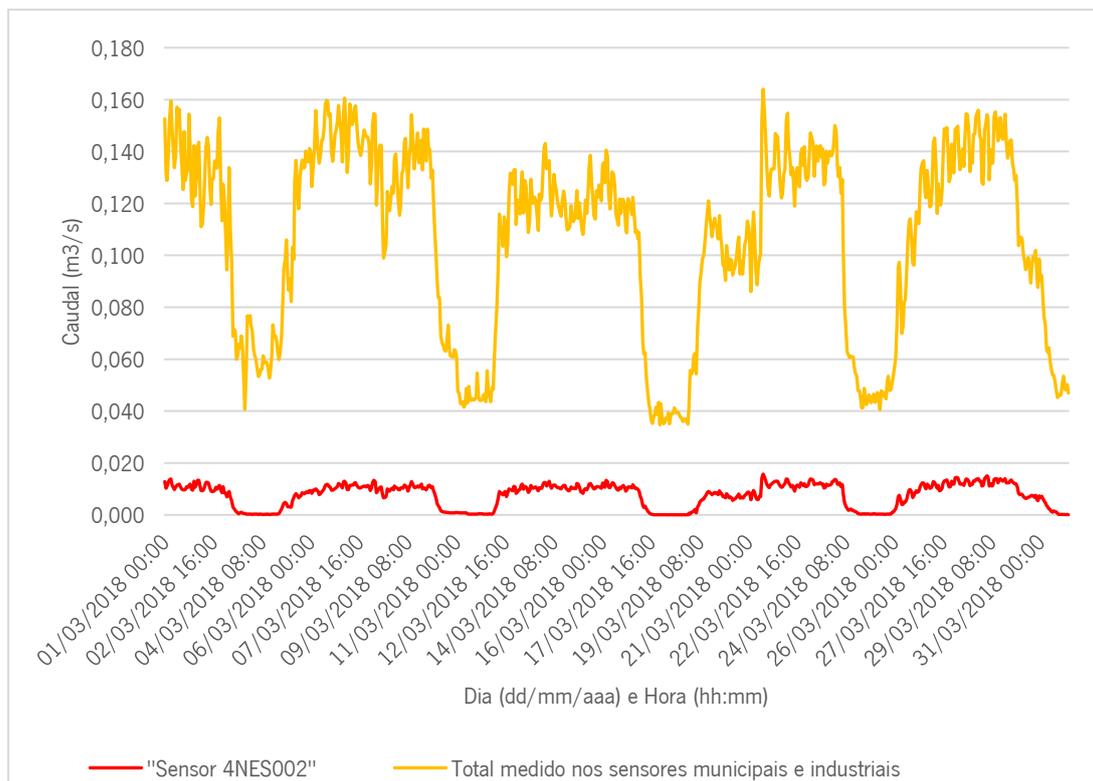


Figura 34 – Comparação entre o caudal medido no Sensor 4NES002 e os caudais medidos nos sensores municipais e industriais.

Deste modo, no processo de simulação do período em estudo, nos locais de descarga identificados em esquema na Figura 31, foram descarregados no meio recetor os seguintes volumes de caudal:

Tabela 6 – Volume de caudal descarregado no meio recetor no período compreendido entre os dias 1 e 31 de março de 2018.

Local	Volume (m³)
Local A	266.550,40
Local B	23.260,58
Total	289.810,98

No que respeita à FD4, os intercetores de Vizela e de Nespereira são os que apresentam maiores constrangimentos no transporte dos efluentes, sendo que ao longo destes vários trechos entram em carga hidráulica.

Quanto à FD6, não foram registados quaisquer problemas no transporte do caudal, estando a infraestrutura a responder às solicitações geradas.

Em anexo apresentam-se os perfis de escoamento dos interceptores de Nespereira, Vizela e Ave para um pico de caudal, registado a 29 de março de 2018, às 13:00.

Quanto à estrutura implementada pela TRATAVE para a gestão de afluência de caudais entre as FD4 e FD6 (Figura 9), não foi registada qualquer mediação na câmara repartidora de caudal.

4.3.3 Análise as afluências indevidas no interceptor de Vizela (FD6)

De acordo com o ponto 3.2.2, após a implementação de melhorias no sistema de monitorização, foram criadas novas ZMC (Figura 8), pelo que as FD4 e FD6 foram desdobradas e passaram de 1 ZMC para 9 ZMC, repartidas entre a ETAR de Lordelo e a ETAR de Rabada.

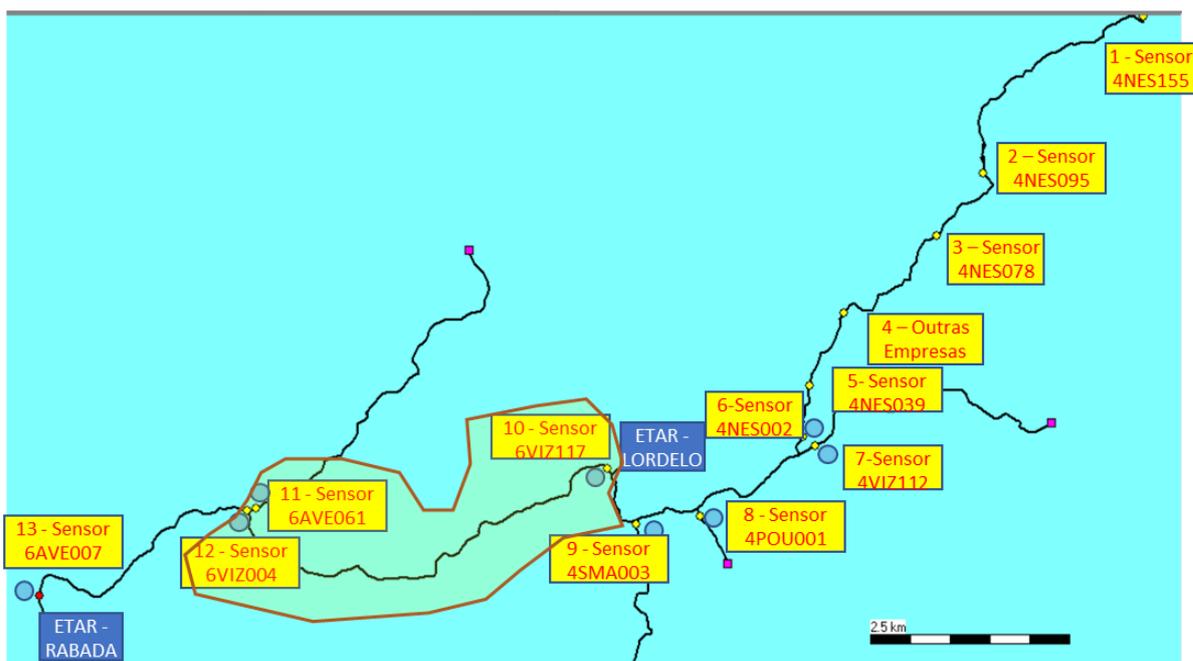


Figura 35 – Planta esquemática para identificação da ZMC para aferição de afluências indevidas.

Com efeito, entre a ETAR de Lordelo e reunião dos interceptores de Vizela (FD6) e Ave (FD6) foi concebida uma ZMC, tornando possível identificar o caudal que entra, através do Sensor 6VIZ117, e o caudal que saí, pela medição efetuada no Sensor 6VIZ004. Com recurso à planta esquemática do modelo de hidráulico Figura 35 é possível identificar os sensores do sistema de

monitorização utilizados para efeito de medição dos caudais no interceptor de Vizela, localizado na FD6.

Partindo do pressuposto que o modelo de cálculo no *software* SOBEK se encontra devidamente calibrado, pode-se observar que na Figura 36 existe uma boa relação entre os caudais observados no Sensor 6VIZ117 e no modelo de cálculo nos dias 1 ao dia 31 de março de 2018.

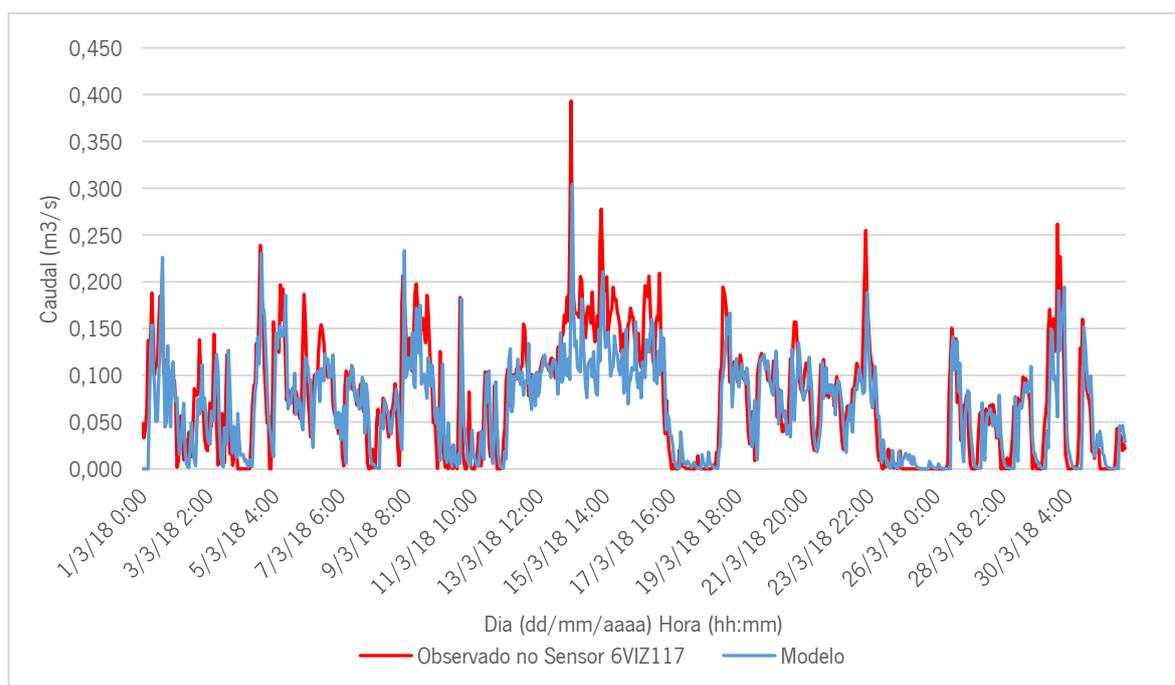


Figura 36 – Caudais observados no Sensor 6VIZ117 e no modelo de cálculo nos dias 1 a 31 de março de 2018.

Tendo em conta aquele pressuposto e sabendo que a infraestrutura foi considerada como estanque quanto a infiltrações, o caudal de entrada deveria ser igual ao caudal de saída na ZMC. Todavia, analisada a Figura 37, verifica-se que o caudal escoado em ambiente real de exploração é bastante superior ao do calculado através do modelo hidráulico.

Relacionando os dois hidrogramas – o caudal medido e o caudal estimado –, é possível aferir que existe uma variação na ordem dos 65% na ZMC em estudo.

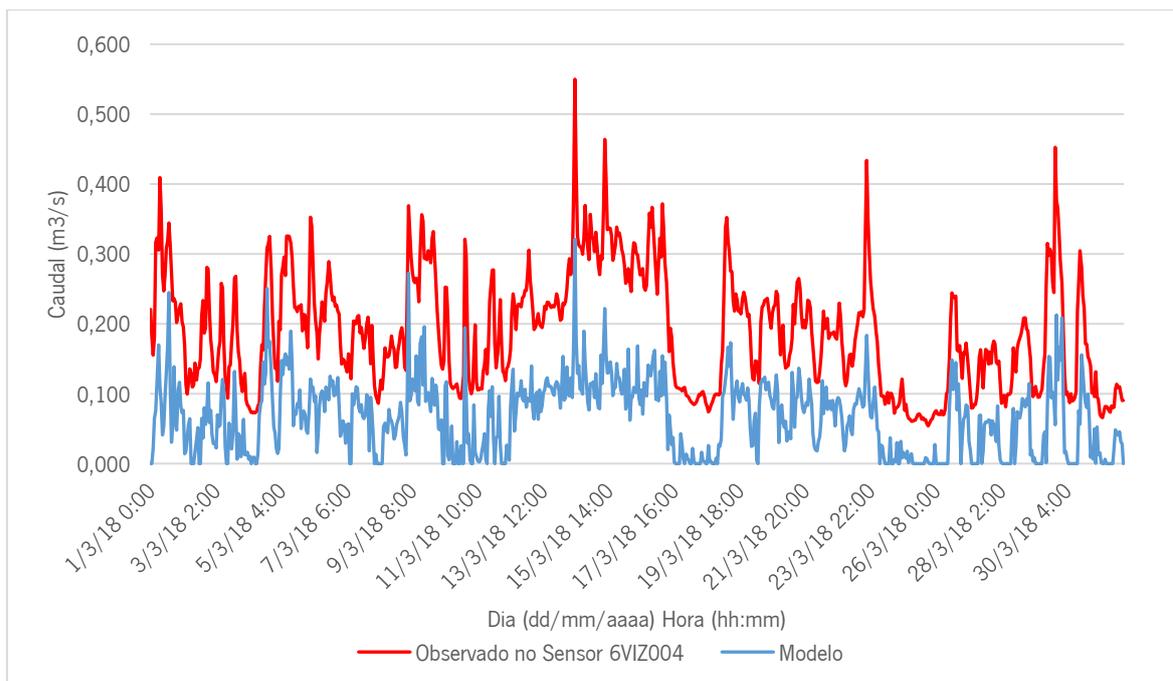


Figura 37 – Caudais observado no Sensor 6VIZ004 e no modelo de cálculo nos dias 1 ao dia 31 de março de 2018.

Durante o período em análise, entre os Sensores 6VIZ177 e 6VIZ004, o volume infiltrado proveniente de águas pluviais atingiu cerca de 176.114,00 m³, o que representou um custo adicional para a EG avaliado em 52.834,31 euros.

Como última nota, nesta ZMC não foi fornecida qualquer informação com medição de caudais provenientes de clientes municipais e/ou indústrias. Sabendo que os mesmo existem, os mesmo não foram considerados para efeito deste estudo, sendo desprezados.

4.4 Cenário 3 – Análise às condições de funcionamento do sistema interceptor no período compreendido entre os dias 1 ao dia 31 de janeiro de 2019

4.4.1 Processo de calibração

Na sequência da análise ao período de 1 a 31 de janeiro de 2018, procedeu-se à modelação do sistema entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019, em função da informação de base recolhida pelo sistema de monitorização da TRATAVE.

Neste período os caudais dos interceptores de S. Martinho e Pousada foram estimados, uma vez que a informação existente era de pouca qualidade. Em todo o caso, o volume de caudal transportado por estes interceptores tem pouco impacto naquilo que é a operação da EG.

Este período em concreto, tal como indicado no ponto 3.3, é marcado sobretudo pela ausência de precipitação ao longo do mês de janeiro, com exceção dos últimos dias do mês.

Após a introdução da informação do período em análise no modelo foi necessário proceder à sua calibração, relacionando o caudal medido em contexto real de exploração e o caudal simulado no *software* SOBEK.

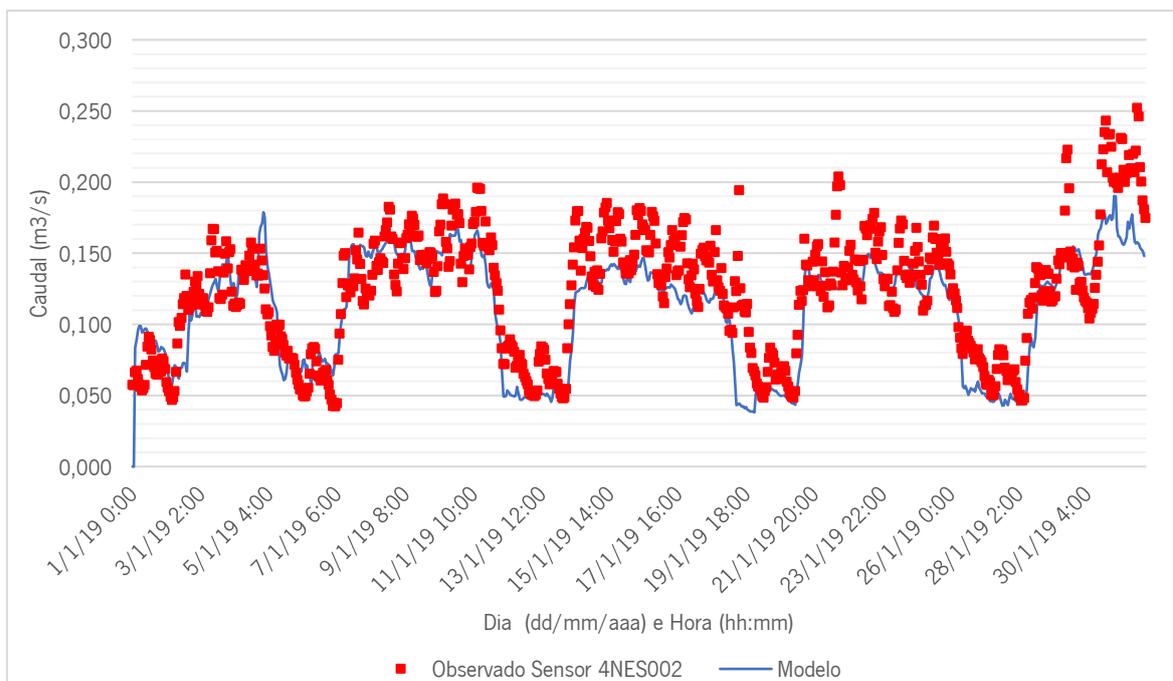


Figura 38 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto A referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.

No ponto A, para o período em análise, obteve-se um coeficiente de correlação (R^2) de 0,71.

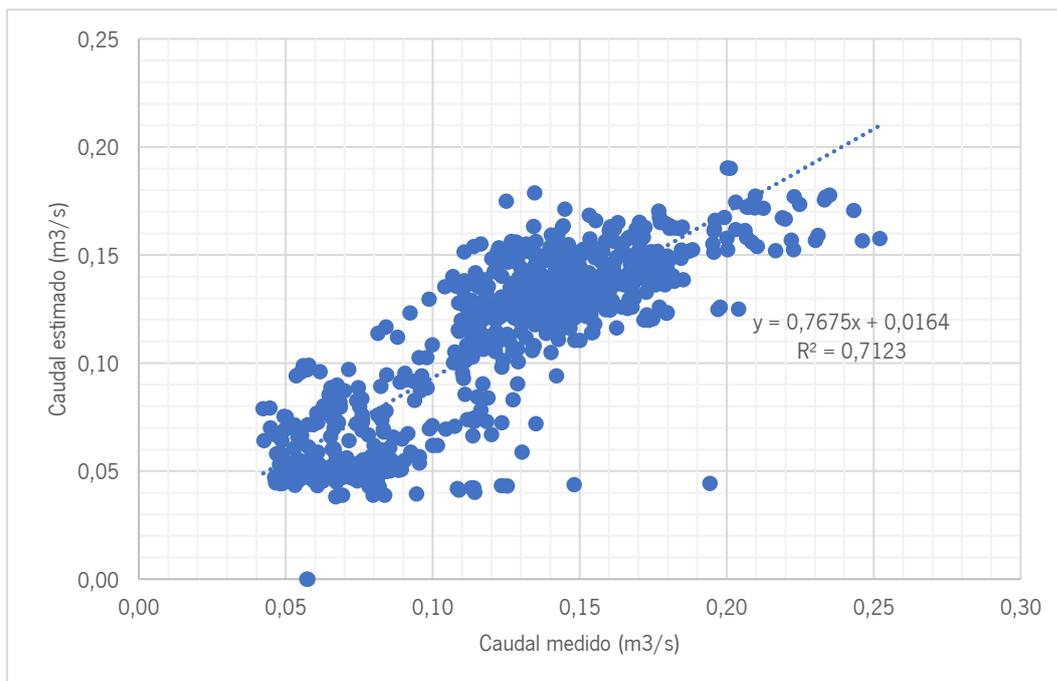


Figura 39 – Relação entre os níveis simulados e modelados no ponto A para o período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.

No que diz respeito ao ponto A – a montante da confluência entre o interceptor de Nespereira e o interceptor de Vizela (FD4) –, não foi possível obter uma correspondência tão boa entre o caudal medido no Sensor 4NES002 e o caudal simulado quanto o período de 1 a 31 de março de 2018, devido à qualidade da informação fornecida pela empresa. Contudo, considera-se que os valores estão ajustados para a simulação da infraestrutura e que possibilitam a concretização dos objetivos definidos no âmbito desta dissertação.

Em referência ao ponto ao ponto B – a jusante da ETAR de Lordelo, localizado no interceptor de Vizela (FD6) – foi possível conferir uma boa correspondência entre o caudal medido no Sensor 6VIZ117 e o caudal simulado.

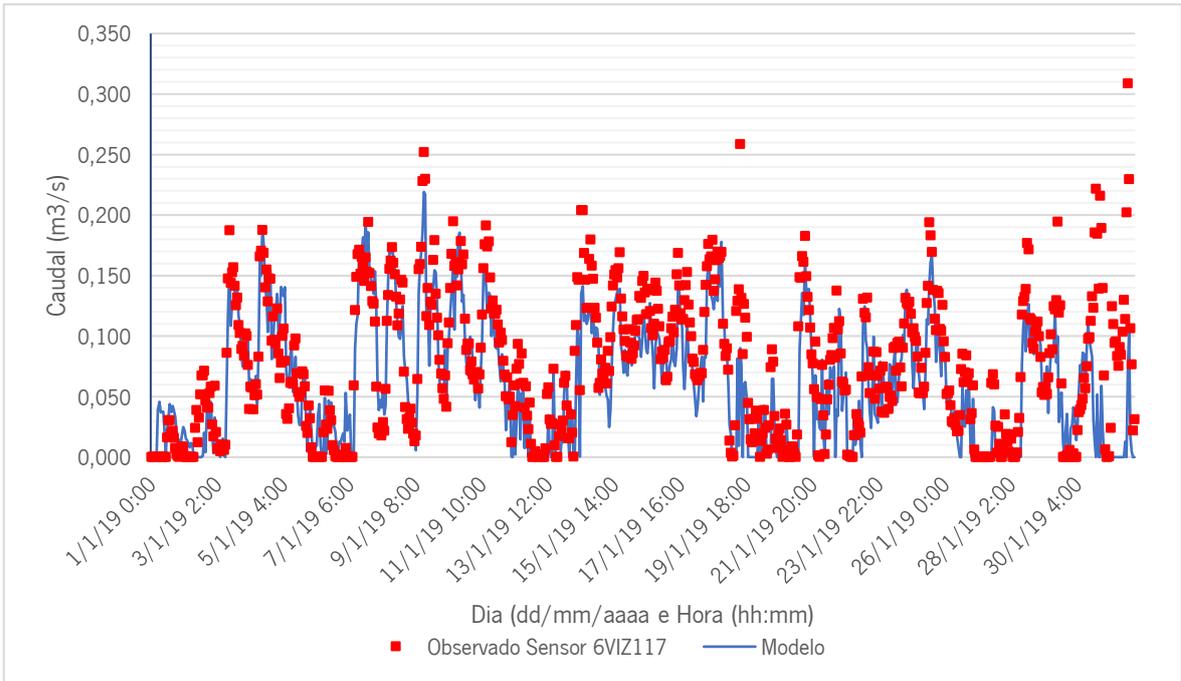


Figura 40 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto B referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.

No ponto B, para o período em análise, obteve-se um coeficiente de correlação (R^2) de 0,66.

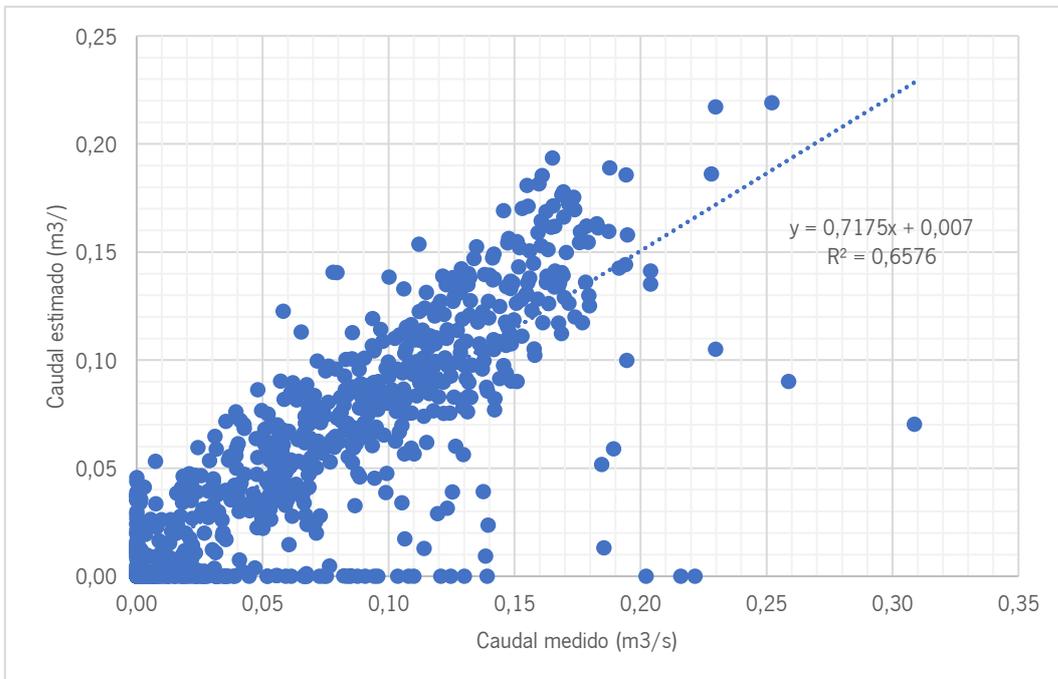


Figura 41 – Relação entre o caudal medido e o caudal simulado no ponto B referente ao período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.

Tal como no evento anterior, aquando de fenómenos de precipitação, a infraestrutura apresenta vulnerabilidades no transporte dos efluentes, pelo que tal constrangimento se encontra plasmado na Figura 43.

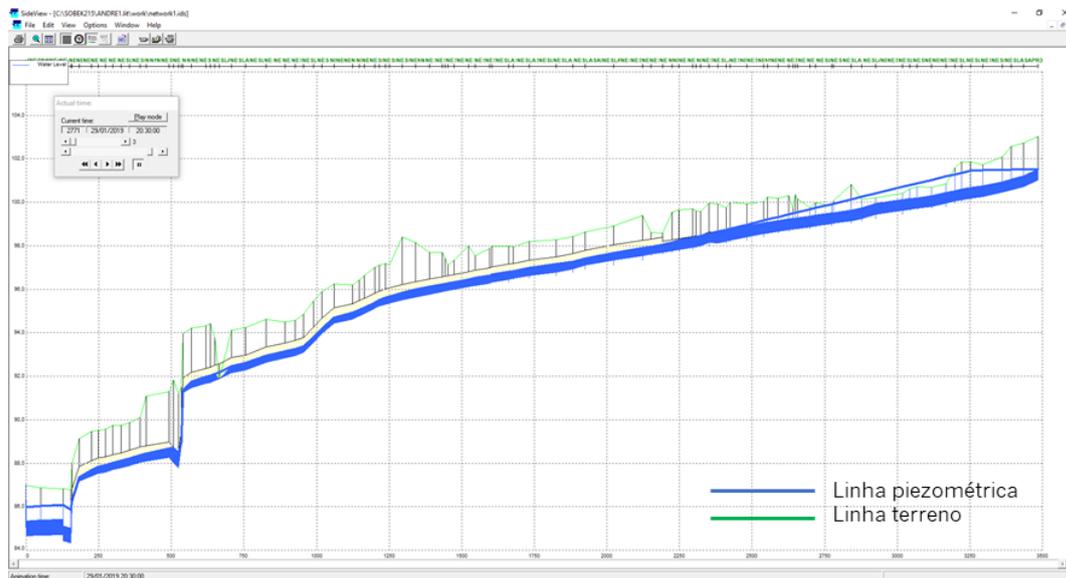


Figura 43 – Perfil de escoamento no interceptor de Vizela (FD4) para o período de 1 a 31 de janeiro de 2019.

No interceptor de Vizela (FD4) o local entre as câmaras de vista NESLASAPR304 e NESLASAPR329 é vulnerável, apresentando problemas no transporte no transporte de efluentes.

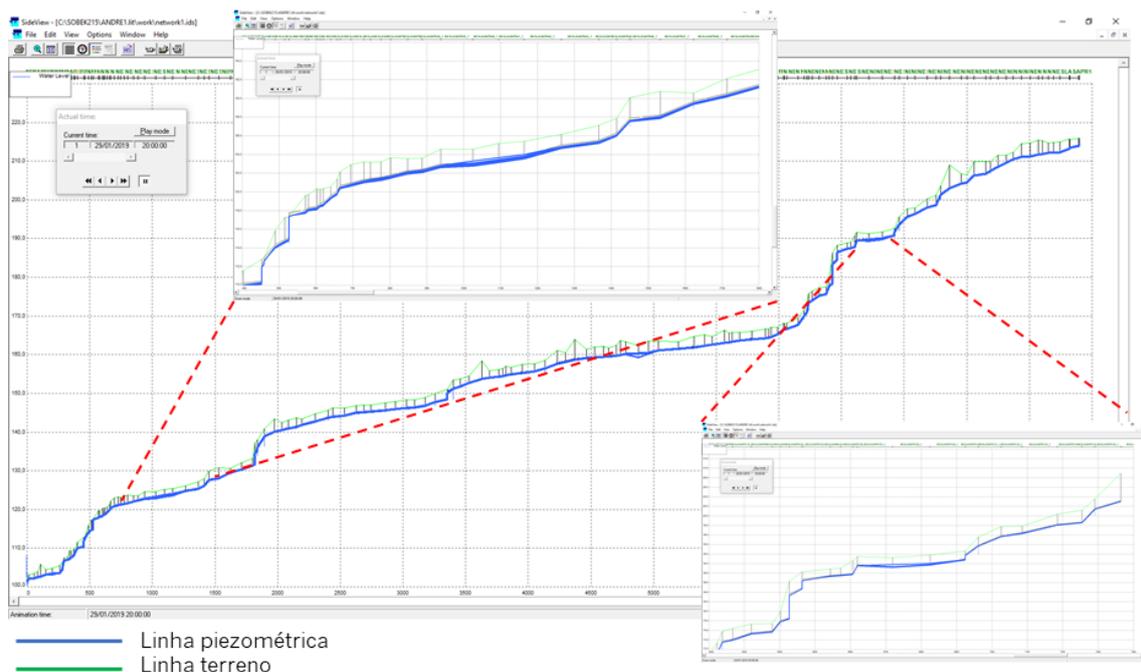


Figura 44 – Perfil de escoamento no interceptor de Nespereira (FD4) para o período de 1 a 31 de janeiro de 2019.

Não obstante os vários coletores que constituem o interceptor de Nespereira terem entrado em carga hidráulica, em janeiro de 2019, através do hidrograma apresentado na Figura 45 é possível constatar que não existiram graves problemas no transporte do efluente, designadamente por descargas no meio recetor ao longo deste interceptor.

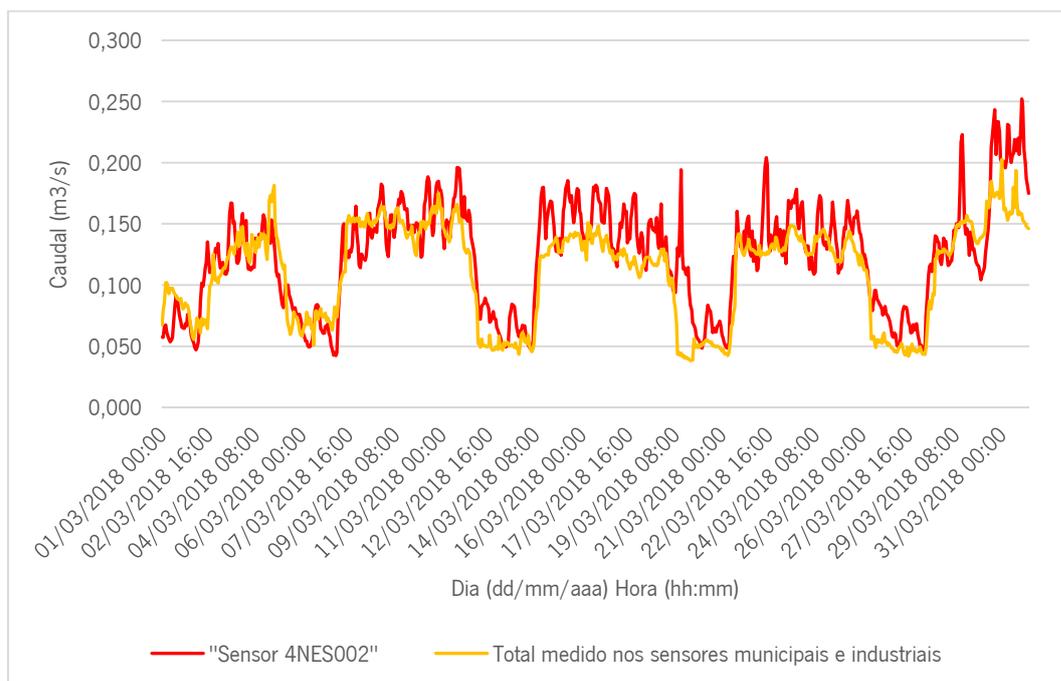


Figura 45 – Comparação entre o caudal medido no Sensor 4NES002 e os caudais medidos nos sensores municipais e industriais.

Porém, tal como no evento anterior, no processo de simulação do período em estudo foi quantificada uma descarga no interceptor de Vizela, como indica a Tabela 7:

Tabela 7 – Volume de caudal descarregado no meio recetor no período compreendido entre os dias 1 e 31 de janeiro de 2019.

Local	Volume (m3)
Local	9297,04
Total	9297,04

Em anexo apresentam-se os perfis de escoamento dos interceptores de Nespereira, Vizela e Ave para um pico de caudal, registado a 29 de janeiro de 2019, às 20:00.

De referir ainda que não se registou qualquer desvio de caudal para o rio Vizela pela caixa de repartidora existente entre as FD4 e FD6.

4.4.3 Análise das afluições indevidas no interceptor de Vizela (FD6)

Tal como no ponto 4.3.3, estudou-se o impacto das afluições indevidas entre a ETAR de Lordelo e reunião dos interceptores de Vizela (FD6) e Ave (FD6).

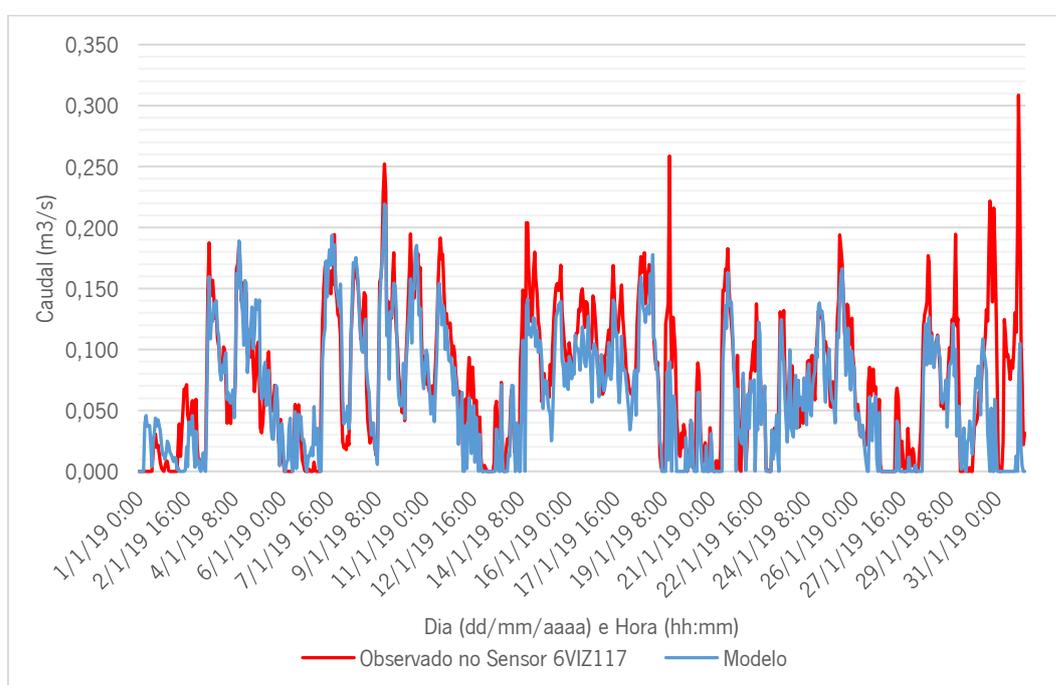


Figura 46 – Caudais observados no Sensor 6VIZ117 e no modelo de cálculo nos dias 1 a 31 de janeiro de 2019.

Tendo em consideração o pressuposto de que o modelo de cálculo no *software* SOBEK se encontra devidamente calibrado, pode-se observar que existe uma correspondência entre os caudais observado no Sensor 6VIZ117 e o modelo hidráulico do sistema interceptor no SOBEK (Figura 46).

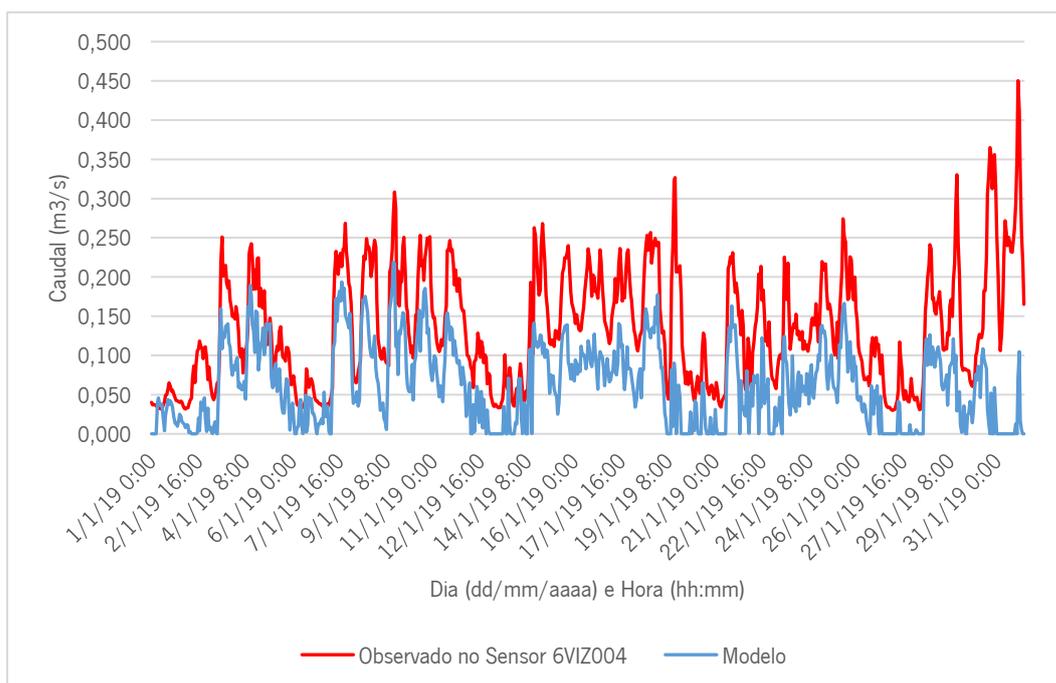


Figura 47 – Caudais observados no Sensor 6VIZ004 e no modelo de cálculo nos dias 1 a 31 de janeiro de 2019.

No gráfico apresentado na Figura 47 está plasmado o aumento do caudal transportado, o que denota a existência de infiltração na ZMC em referência.

Assim sendo, mais uma vez verifica-se uma variação de caudal na ordem dos 54%, confirmando-se que nesta ZMC o sistema interceptador não se encontra estanque, estando vulnerável a infiltrações por águas pluviais.

Durante este evento, entre os Sensores 6VIZ117 e 6VIZ004, o volume infiltrado proveniente de infiltrações atingiu cerca de 91.548 m³, o que representou um custo adicional para a EG avaliado em 27.464,34 euros.

4.5 Discussão dos resultados obtidos e proposta de soluções

De acordo com os resultados obtidos no desenvolvimento da modelação hidráulica do sistema interceptador, foi possível verificar a existência de várias anomalias no contexto da sua exploração pela EG.

Neste caso em particular, ao longo dos interceptores de Nespereira e de Vizela, na FD4, devido à sua orografia, bem como à sua conceção, os coletores entram em carga hidráulica, o que possibilita a ocorrência de extravasamentos e/ou descargas controladas pela EG. Sabendo que esta situação, em sede de exploração, é possível e tem sucedido, a sua operacionalização representa um custo ambiental, uma vez que estão a ser descarregados no meio ambiente efluentes sem qualquer tipo de tratamento. Esta situação, desde que devidamente autorizada pela Agência Portuguesa do Ambiente – entidade licenciadora –, é possível de ser considerada, sobretudo aquando da ocorrência de períodos de precipitação, tal como acontece nas simulações efetuadas nos Cenários 2 e 3.

Como proposta para a resolução desta problemática – a incapacidade de transporte de todos os efluentes – deve ser ponderada a implantação de reservatórios ao longo do interceptor de Nespereira, com o objetivo de amortecer o impacto do caudal aquando da inserção no interceptor de Vizela. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 48 uma planta esquemática:

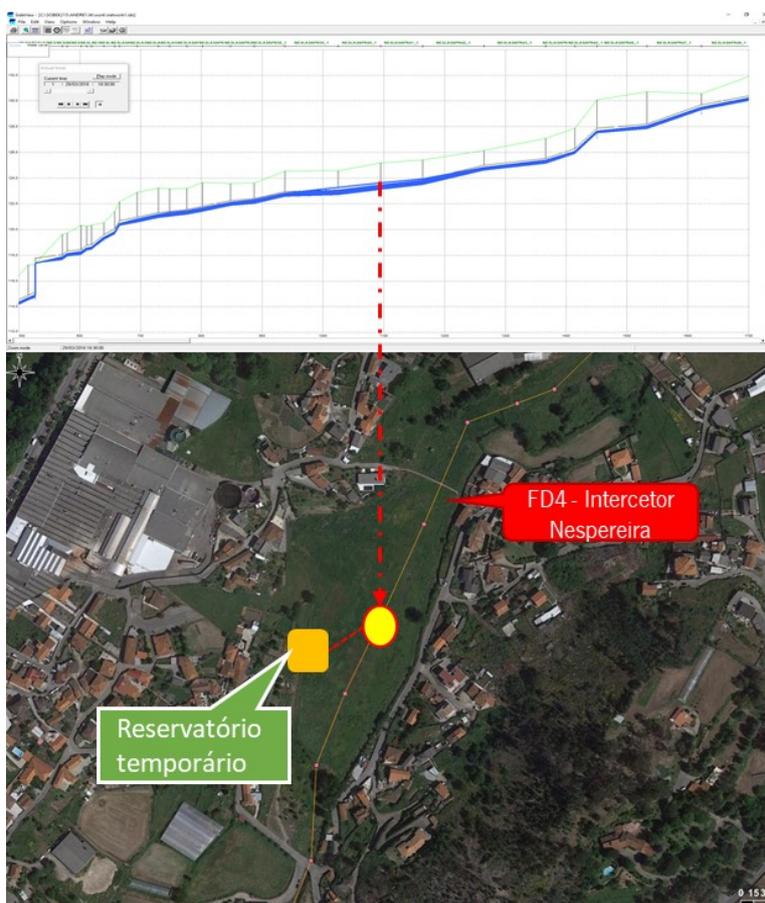


Figura 48 – Planta esquemática para implantação de reservatório temporário de águas residuais.

Com recurso a esta solução, parte dos caudais efluentes ficam retidos em reservatórios temporários, sendo posteriormente introduzidos na infraestrutura, para serem tratados nas ETAR do sistema interceptor. Porém, no período de 1 a 31 de março de 2018, foi descarregada no meio recetor uma quantidade significativa de caudal, o que leva a ponderar sobre a viabilidade desta solução, dada a necessidade de implantar reservatórios de elevadas dimensões. A utilização de reservatórios implica a necessidade de grandes investimentos inerentes à construção da infraestrutura, sendo que a mesma pode revelar-se inviável por razões espaciais, orográficas e/ou ambientais.

Para a resolução das anomalias verificadas também poderia ser considerado o aumento da secção transversal dos coletores, designadamente nas localizações mais vulneráveis, com o objetivo de aumentar a capacidade de transporte dos interceptores.

No contexto do trabalho realizado verificou-se que, a jusante da confluência entre Nespereira e Vizela, invariavelmente, os coletores entram em carga hidráulica. A solução preconizada poderia passar pela reabilitação da infraestrutura, através da substituição dos coletores existentes, aumentando a sua secção transversal. Apresenta-se na Figura 49 uma planta esquemática com a proposta referida.

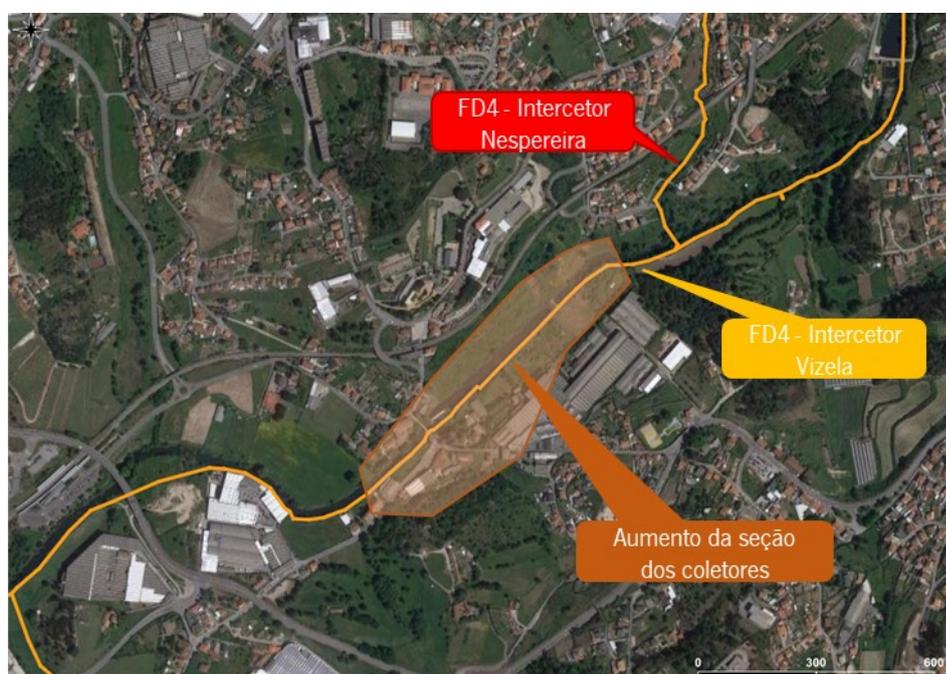


Figura 49 – Planta esquemática com o local crítico para aumento da secção dos coletores.

Ora, o aumento de capacidade de transporte do sistema de drenagem implica um aumento do caudal transportado, provocando constrangimentos no tratamento dos efluentes pelas ETAR, uma vez que estas podem não estar preparadas para dar resposta às solicitações. Como tal, esta solução deve ser estudada com o objetivo de garantir que o caudal máximo transportado não ultrapassa a capacidade de tratamento das ETAR do sistema de drenagem.

Outra das soluções a estudar seria a execução de câmaras de regulação do caudal, cujo objetivo é minimizar a entrada em carga quer do interceptor de Nespereira quer do interceptor de Vizela, pelo controlo do caudal a montante da confluência entre os dois interceptores. Como o caudal será variável em função do período – em tempo seco ou tempo húmido –, pretende-se que o mesmo seja ajustável, através da instalação de um conjunto de válvulas de controlo de caudal de atuação elétrica, como, por exemplo, uma válvula do tipo *EletroSlide*.

Uma outra solução também a considerar para fazer face a esta problemática seria a realização de descargas controladas no meio recetor. Pelos resultados obtidos verifica-se que os grandes constrangimentos no transporte dos efluentes acontecem em tempo húmido. Isto é, em tempo seco o sistema de drenagem consegue dar resposta às solicitações, sendo todos os efluentes tratados nas ETAR. Desta forma, em situações que ocorram fenómenos pluviométricos intensos será de considerar a realização de descargas controladas no meio recetor, com o objetivo de manter o sistema de drenagem em condições normais de funcionamento. Do ponto de vista económico, esta seria uma solução eficiente a utilizar pela EG, no que concerne à gestão de afluências indevidas. Do ponto de vista ambiental, teria de ser estudado o impacto gerado no meio recetor pelos efluentes não tratados, aferindo a capacidade de autodepuração do meio hídrico. Evidentemente, esta seria uma solução de recurso, uma vez que existem implicações diretas na qualidade da água.

Todas as soluções apresentadas carecem de uma análise que permita verificar a sua viabilidade económica, ambiental e social. No entanto, em qualquer um dos casos, estas soluções permitem melhorar o desempenho do sistema interceptor em contexto de gestão das afluências indevidas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

A gestão das aflúncias indevidas nos sistemas de drenagem de águas residuais em alta ou em baixa traduz-se num processo em contínuo, ao qual as EG afetam cada vez mais recursos, uma vez que a sua mitigação permite otimizar custos de exploração.

Para o efeito, a TRATAVE utiliza recursos informáticos e de monitorização que lhe permitem conhecer o comportamento dos sistemas de drenagem e, por sua vez, melhorar a eficiência da gestão da qualidade da água e do desempenho operacional das infraestruturas.

A presente dissertação teve com principal objetivo fazer a modelação hidrodinâmica das FD4 e FD6 do SIDVA, avaliando o seu comportamento em três cenários distintos. Fez-se a avaliação do sistema interceptor em tempo seco (Cenário 1) e, posteriormente, em março de 2018 (Cenário 2) e em janeiro de 2019 (Cenário 3). Neste âmbito, pretendeu-se fazer uma avaliação hidráulica ao sistema interceptor, quantificar as descargas que ocorrem durante os períodos em análise e, por fim, apresentar possíveis soluções de resolução de anomalias. No que concerne ao primeiro cenário, constatou-se que o sistema apresenta alguns pontos vulneráveis, designadamente pela entrada em carga de alguns trechos. Desde logo, aponta-se com principal ponto em análise o local a jusante da confluência do interceptor de Nespereira com o interceptor de Vizela. Para este período os dados de base existentes fornecem resultados positivos e consistentes, ainda que limitados, devido à falta de um conjunto de informação de base.

No que se refere aos resultados obtidos em março de 2018 (Cenário 2) e janeiro de 2019 (Cenário 3), a quantificação das descargas ocorridas, assim como das infiltrações, foi mais limitada. Neste âmbito, a falta de informação quanto aos locais das descargas controladas ocorridas, bem com a falta de informação quanto aos caudais tratados nas ETAR de Lordelo e Rabada, inviabilizaram um estudo mais aprofundado, podendo os resultados obtidos estarem enviesados. Como tal, na elaboração desta dissertação assumiram-se alguns pressupostos técnicos, diminuindo a certeza dos resultados obtidos no contexto dos cenários formulados. Ainda de referir que, devido à falta de informação de base, o enfoque deste trabalho consistiu sobretudo na modelação hidráulica, não sendo abordada a componente da modelação hidrológica.

Não obstante ser um *software* com custos de aquisição, o SOBEK mostrou ser uma ferramenta importante, de fácil utilização, que auxilia a estrutura técnica das EG e projetistas na elaboração de estudos, validação de soluções e otimização de recursos.

Conclui-se que, de facto, as aflúências indevidas provocam graves constrangimentos à gestão operacional pelas EG, sendo que no Cenário 2, o mais gravoso, o custo adicional para tratamento de águas residuais pode atingir 52.834,31 euros, enquanto no Cenário 3 é de cerca de 27.464,34 euros. Para além do custo monetário, existe também o custo ambiental, uma vez que para o Cenário 2 estimou-se que seriam descarregados no meio hídrico cerca de 290.000 m³ de águas residuais, e no cenário 3 na ordem dos 9.300 m³ de águas residuais.

5.2 Sugestão para trabalhos futuros

As soluções apresentadas têm como objetivo incrementar os estudos sobre a problemática das aflúências indevidas neste sistema interceptor.

Em função dos constrangimentos identificados, relacionados sobretudo com a falta de informação de base à caracterização do sistema interceptor, identificam-se algumas ações a promover pela EG no sentido de melhorar a gestão operacional da infraestrutura:

- Proceder a campanhas de monitorização em pontos intermédios dos interceptores para recolha de informação sobre o funcionamento efetivo dos mesmos, bem como a recolha de informação de base sobre eventos de precipitação;
- Elaborar um diagnóstico sobre as condições de manutenção do sistema interceptor;
- Elaborar um plano de intervenção para melhorar as condições de transporte do caudal efluente;
- Melhorar a informação de base sobre os caudais provenientes dos clientes municipais e industriais;
- Estudar a implementação de soluções inovadoras para a gestão das aflúências indevidas, mediante a utilização de reservatórios para recolha temporária de águas residuais e a implementação de câmaras de regulação de caudal;
- Avaliar o impacto no meio hídrico provocado pelas descargas controladas no meio recetor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akan, A. O., & Yen, B. C. (1999). Hydraulic Design of Urban Drainage Systems. In L. W. Mays (Ed.), *Hydraulic Design Handbook*. Nova Iorque: McGraw-Hill Education.
- Almeida, M. do C., & Cardoso, M. A. (2010). Gestão patrimonial de infra-estruturas de águas residuais e pluviais. Uma abordagem centrada na reabilitação. In *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Amorim, H. A. A. de. (2007). *Afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais*. [s. n.], Lisboa.
- Amorim, H., Valente-Neves, M., & Matos, J. S. (2007). Afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais. In FEUP (Ed.), *2.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente* (pp. 169–178). Retrieved from https://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_2as/20_HAmorim.pdf
- Bonito, A. J. C. (2014). *Infiltrações na rede de drenagem de águas residuais: caso de estudo da bacia de drenagem de Lanheses*.
- Cahoon, L. B., & Hanke, M. H. (2017). Rainfall effects on inflow and infiltration in wastewater treatment systems in a coastal plain region. *Water Science and Technology*, 75(8), 1909–1921. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.072>
- Cândido, J. R. S. (2013). *Modelação dinâmica de sistemas de drenagem em meio urbano*. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- Cardoso, M. A., Almeida, M. do C., Jorge, C., & Brito, R. S. (2017). iAFLUI – Iniciativa nacional para o controlo de afluências indevidas nos sistemas de drenagem urbana. In APDA - Associação Portuguesa de Drenagem de Água (Ed.), *ENEG 2017 - Encontro Nacional de Entidades Gestoras de Água e Saneamento*. Retrieved from afluências indevidas, avaliação de desempenho, drenagem urbana, iAFLUI, projeto colaborativo.%0A1
- Cembrano, G., Quevedo, J., Puig, V., Pérez, R., Figueras, J., Verdejo, J. M., ... Casas, M. (2011). LIO: a generic tool for real-time operational predictive optimal control of water networks. *Water Science and Technology*, 64(2), 448–459.
- David, L. M. (2005). *Descargas de excedentes de sistemas de drenagem urbana - estudo referenciado em resultados experimentais obtidos em Portugal*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- David, M., & Barroso, V. (2017). *Afluências Indevidas em Sistemas de Drenagem Urbana - Aspectos Gerais e Metodológicos*. Lisboa: EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres.
- Deltares. (2020). SOBEK 1DFLOW (urbano). Retrieved from <https://www.deltares.nl/en/software/module/sobek-1dflow-urban/>
- Eddy, M., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Nova Iorque: McGraw Hill.
- Ensinas, M. (2009). *Integração de Modelos Matemáticos de Simulação de Sistemas de Drenagem Urbana com Sistemas de Informação Geográfica* (Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico). Retrieved from

- <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139480805/Dissertação53448.pdf>
- Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (2019). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal 2019* (Vol. 1). Lisboa.
- EPA - United States Environmental Protection Agency. (2020). Sanitary Sewer Overflow (SSO) Additional Resources. Retrieved from <https://www.epa.gov/npdes/sanitary-sewer-overflow-ssso-additional-resources>
- Ferreira, F. M. S. (2006). *Modelação e Gestão Integrada de Sistemas de Águas Residuais*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.
- Ferreira, P. C. M. (2014). *Modelação Dinâmica de Sistemas de Drenagem Urbana. Aplicação a um caso de estudo* (Instituto Politécnico do Porto - Instituto Superior de Engenharia do Porto). Retrieved from <http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/6273>
- França, D. M. R. (2018). *Análise técnico-económica da importância das afluências indevidas nos sistemas de drenagem de água*. Universidade de Coimbra - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra.
- Fuchs, L., & Beeneken, T. (2005). Development and implementation of a real-time control strategy for the sewer system of the city of Vienna. *Water Science and Technology*, 52(5), 18–194.
- Joseph-Duran, B., Ocampo-Martinez, C., & Cembrano, G. (2014). Hybrid modeling and receding horizon control of sewernetworks. *Water Resources Research*, 50, 8497–8514. <https://doi.org/10.1002/2013WR015119>
- Löwe, R., Vezzano, L., Mikkelsen, P. S., Grum, M., & Madsen, H. (2016). Probabilistic runoff volume forecasting in risk-based optimization for RTC of urban drainage systems. *Environmental Modelling & Software*, 80, 143–158.
- Marques, J. A. A. de S., & Sousa, J. J. de O. (2011). *Hidráulica urbana: sistemas de abastecimento de águas e de drenagem de águas residuais* (3.ª edição). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Marquez, A., Jagroop, C., & Maharaj, C. (2021). Wastewater collection system failures in a capital city: Analysis and sustainable prevention. *Water Science and Technology*, 83(8), 1958–1972. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.105>
- Matos, J. S. (2006). Ambiente e Saneamento - Sistemas de Drenagem Urbana. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Matos, R., Silva, M., & Almeida, M. (1990). *Estudo de Drenagem das Águas Pluviais da Baixa Pombalina – Relatório Final*. Lisboa.
- Meller, A. (2004). *Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistemas de Drenagem em Santa Maria - RS*. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Mortinho, A. F. M. (2011). *Avaliação de Caudais de Infiltração em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais* (Instituto Politécnico de Coimbra - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra). Retrieved from http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/teses/Tese_Mest_Ana-Mortinho.pdf
- Paixão, J. P. S. R. B. (2017). *Afluências indevidas em sistemas de drenagem de águas residuais* (Universidade de Coimbra). Retrieved from

[https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/38721/1/Afluencias indevidas em sistemas de drenagem de aguas residuais.pdf](https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/38721/1/Afluencias_indevidas_em_sistemas_de_drenagem_de_aguas_residuais.pdf)

- Pereira, A., Pinho, J., Faria, R., & Vieira, J. (2018). A DSS for operational management of wastewaters under uncertain conditions. In G. La Loggia, G. Freni, V. Puleo, & M. De Marchis (Eds.), *HIC 2018. 13th International Conference on Hydroinformatics* (pp. 1616–1623). Palermo: Università degli Studi di Palermo.
- Pereira, A., Pinho, J. L. S., Faria, R., Vieira, J. M. P., & Costa, C. (2019). Improving operational management of wastewater systems. A case study. *Water Science and Technology*, *80*(1), 173–183. <https://doi.org/doi: 10.2166/wst.2019.264>
- Pereira, António, Pinho, J. L. S., Faria, R., & Vieira, J. (2018). *Avaliação do Impacto de Afluências Indevidas no Sidva suportada pela plataforma Delft-Fews*. (October).
- Pereira, M. A. F. (2016). *Simulação do desempenho hidráulico de infraestruturas de drenagem urbana*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Pinho, J. L. S., & Vieira, J. M. P. (2006). Aspectos da Aplicação do Delft Hydraulics ‘Sobek’ no Desenvolvimento de um Sistema de Gestão Operacional da Água em Alqueva. In Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (Ed.), *8.º Congresso da Água* (p. 13). Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Pinho, J., & Vieira, J. (2014). A web-based hydroinformatic platform for water quality modelling in a river basin. In City University of New York (CUNY) (Ed.), *11th International Conference on Hydroinformatics*. Nova Iorque: CUNY Academic Works.
- Puig, V. C. (2009). Predictive optimal control of sewer networks using CORAL tool: application to Riera Blanca catchment in Barcelona. *Water Science and Technology*, *60*(4), 869–878.
- Ramos, R. F. da S. P. (2018). *Desenvolvimento de metodologia para análise e priorização de intervenções de redução de afluências indevidas em redes de saneamento*. Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Rodrigues, I. M. R. C. (2017). *Aplicação do modelo Sanitary Sewer Overflow Analysis and Planning (SSOAP-EPA) para avaliação das afluências indevidas em coletores de águas residuais*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.
- Rodrigues, V. de A. T. (2013). *Avaliação de Infiltração em Drenagem Urbana Recorrendo a Métodos Convencionais e não Convencionais Engenharia Civil: Aplicação ao Caneiro de Alcântara, em Lisboa*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Shishegar, S., Duchesne, S., & Pelletier, G. (2018). Optimization methods applied to stormwater management problems: a review. *Urban Water*, *15*(3), 276–286.
- Silva, A. P. da. (2020). *Sistema de Apoio à Decisão para a Gestão Operacional de Redes de Drenagem de Águas Residuais em Condições de Incerteza*. Universidade do Minho - Escola de Engenharia, Braga.
- TRATAVE. (2020). TRATAVE - Tratamento de Águas Residuais do Ave, S.A. Retrieved from <http://www.tratave.pt/>
- van Daal-Rombouts, P. M. M., de Jonge, J., Langeveld, J. G., & Clemens, F. H. L. R. (2016). Integrated real time control of influent pumping station and primary settling tanks at WWTP

Eindhoven. In Delft University of Technology (Ed.), *SPN8: Proceedings of the 8th International Conference on Sewer Processes and Networks: Rotterdam, The Netherlands* (pp. 1–4). Delft: Delft University of Technology.

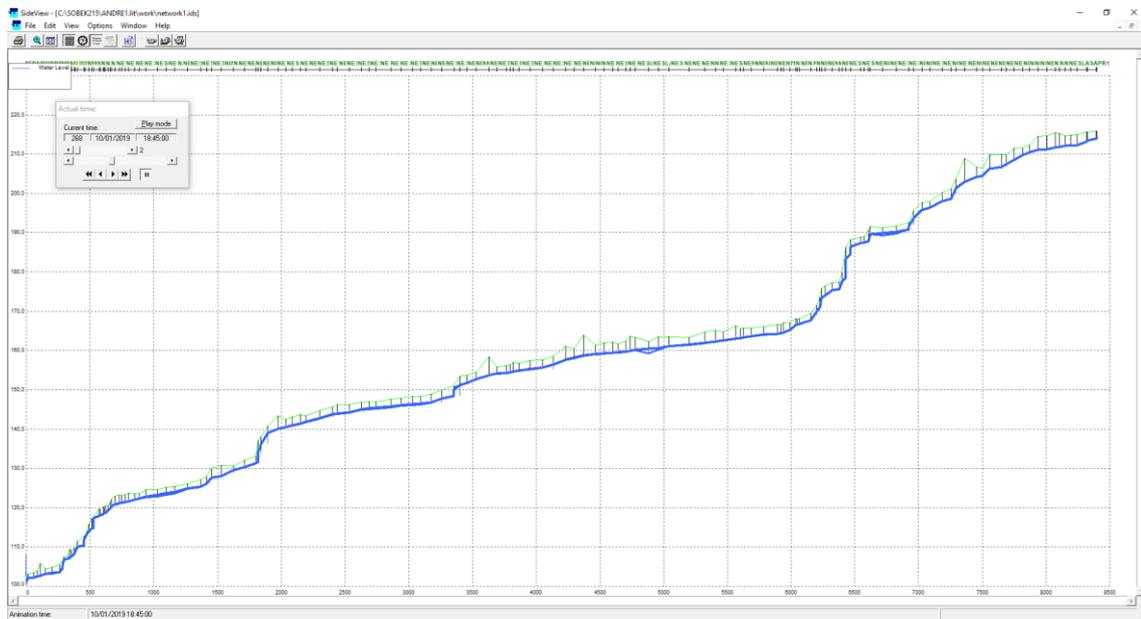
Vieira, I. M. S. P. (2014). *Avaliação de Infiltração em Sistemas de Águas Residuais por Aplicação de Método dos Isótopos Estáveis*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa.

ANEXOS

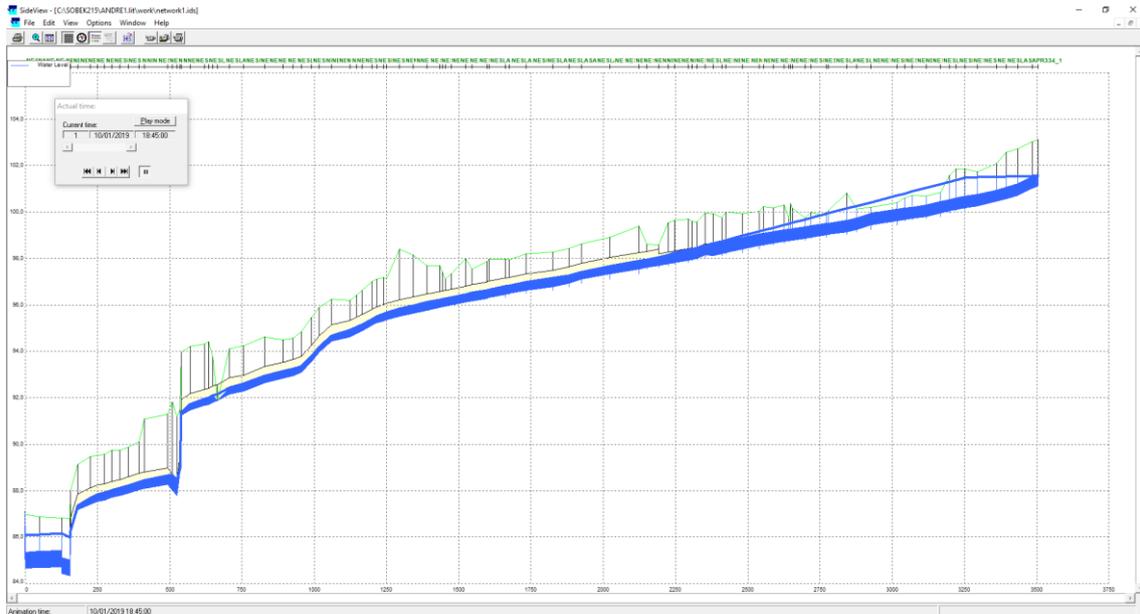
Anexo 1

Cenário 1: Avaliação do desempenho hidráulico do sistema interceptor em período de tempo seco

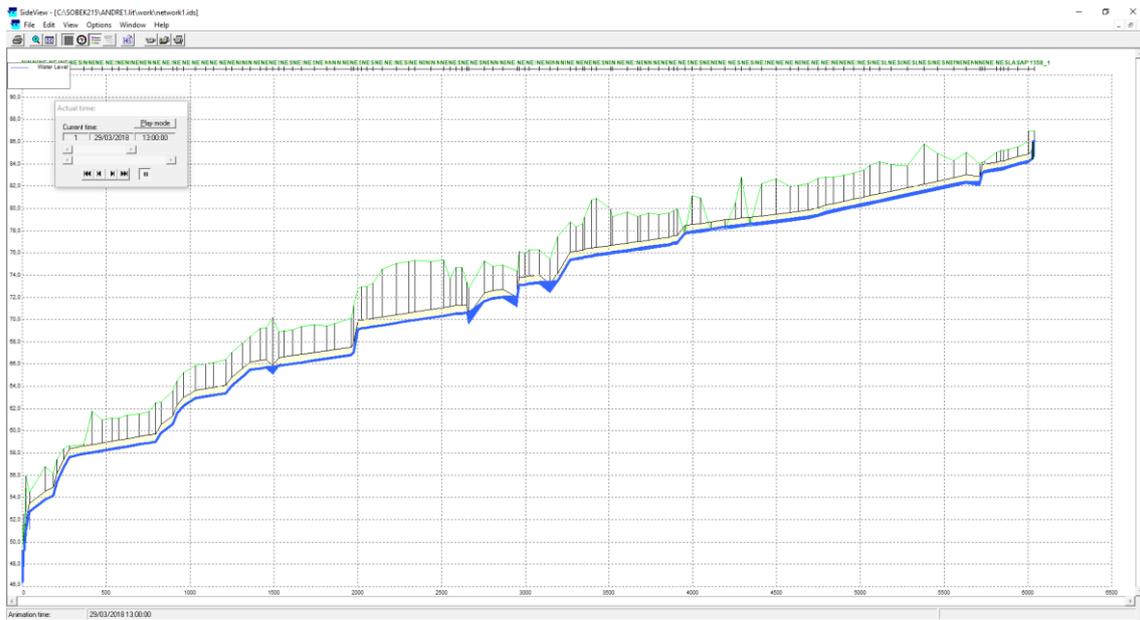
Interceptor de Nespereira (FD4)



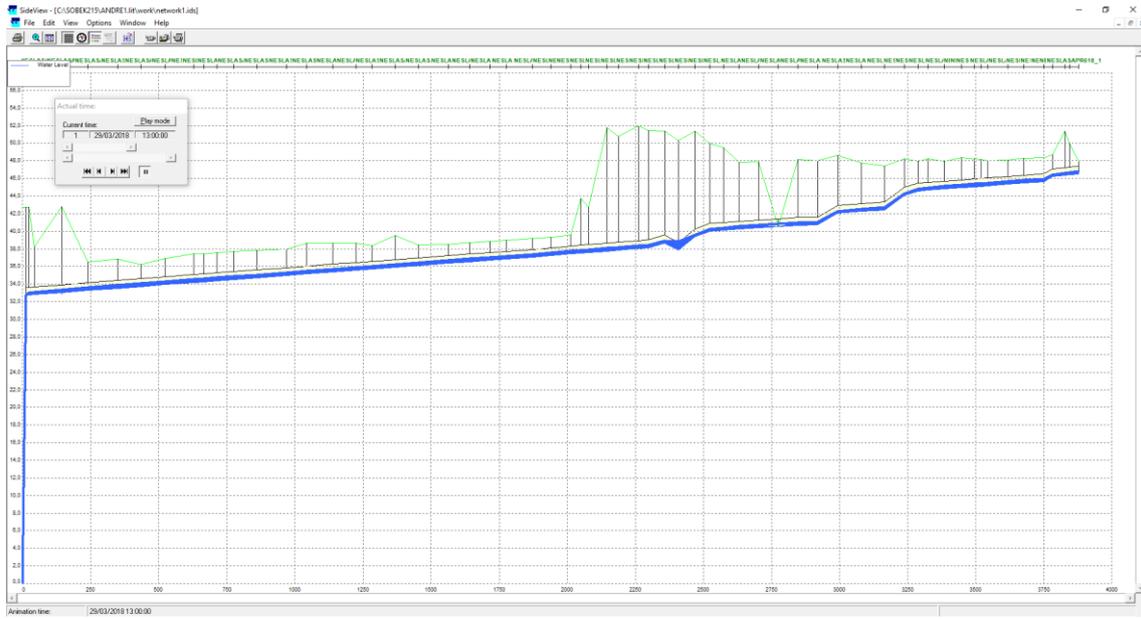
Interceptor de Vizela (FD4)



Intercetor de Vizela (FD6)



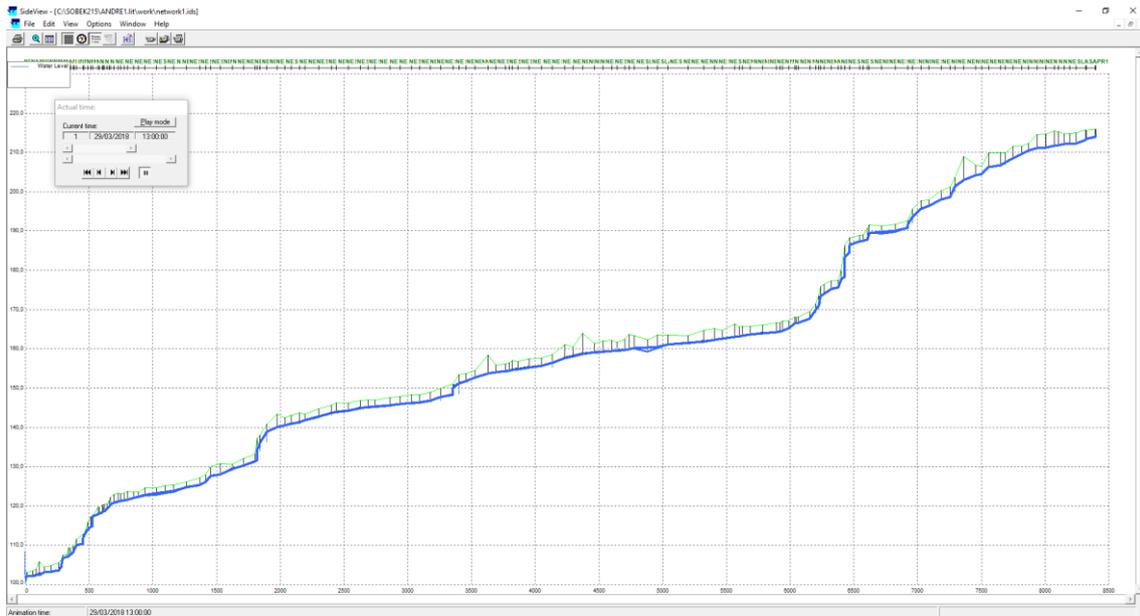
Intercetor do Ave (FD6)



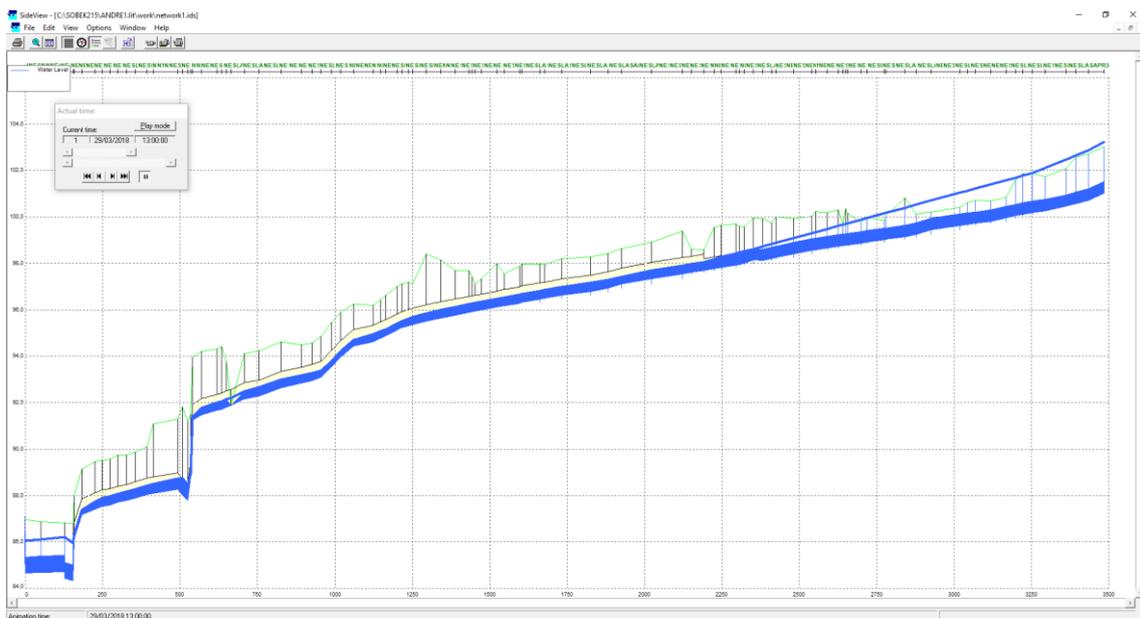
Anexo 2

Cenário 2: Avaliação do desempenho hidráulico do sistema interceptor, em tempo húmido, para os dias compreendidos entre 1 e 31 de março de 2018 (dia 29/03/2018, 18:00)

Interceptor de Nespereira (FD4)



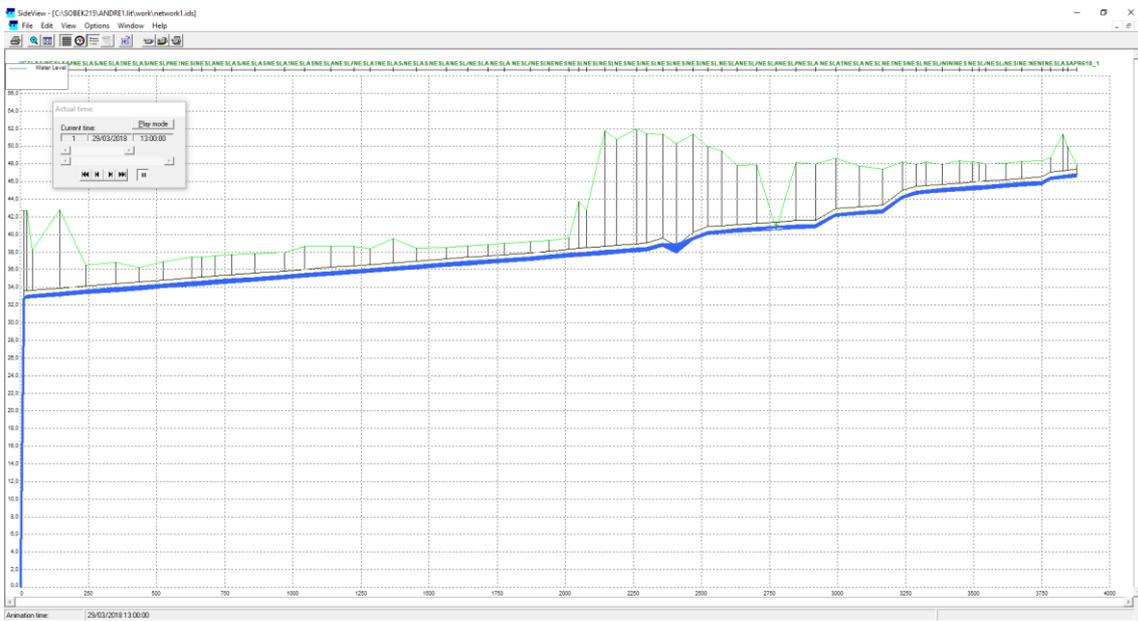
Interceptor de Vizela (FD4)



Interceptor de Vizela (FD6)



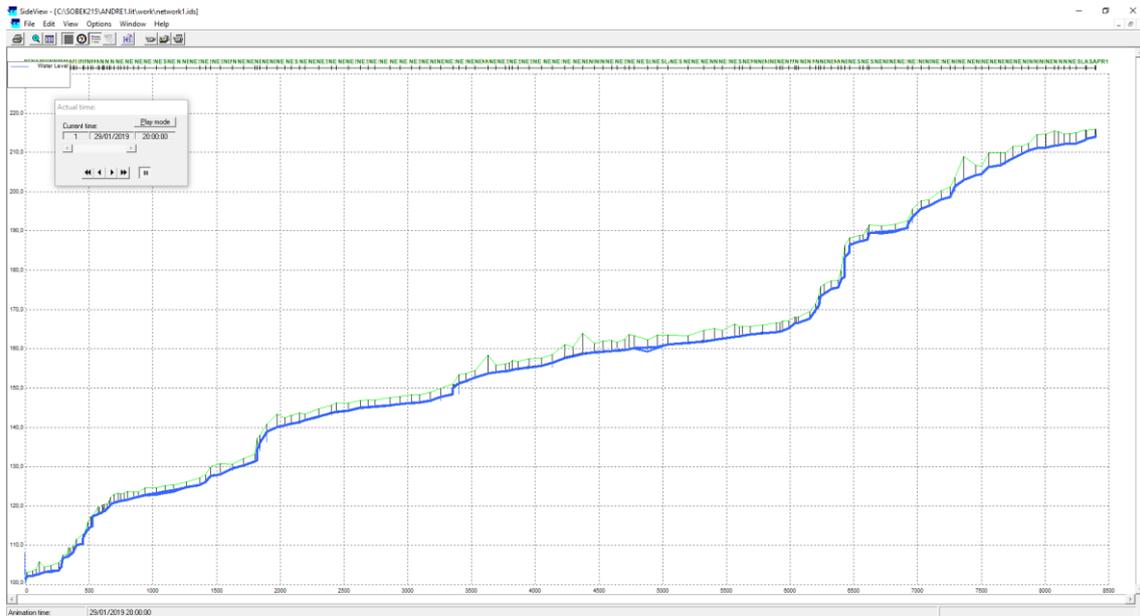
Intercetor do Ave (FD6)



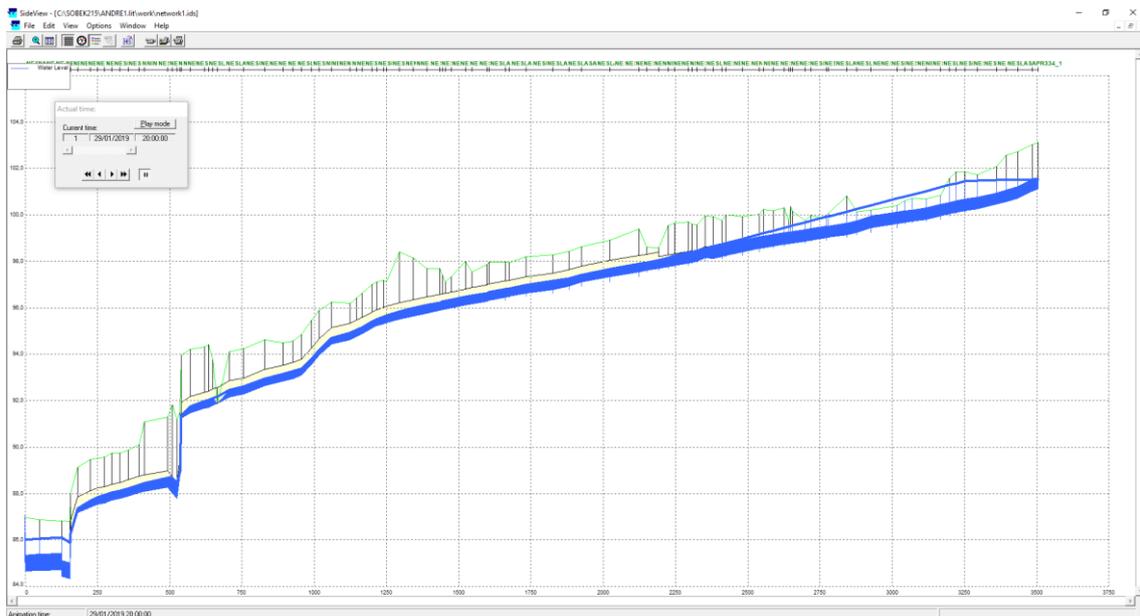
Anexo 3

Cenário 3: Avaliação do desempenho hidráulico do sistema interceptor, em tempo húmido, para os dias compreendidos entre 1 e 31 de janeiro de 2019 (dia 29/01/2019, 20:00)

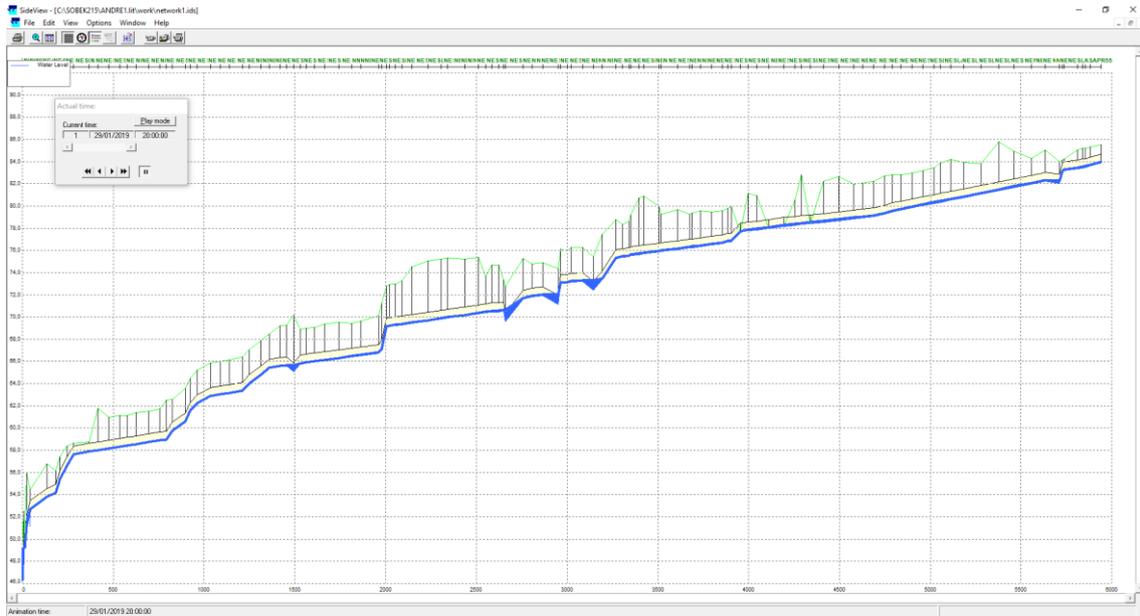
Interceptor de Nespereira (FD4)



Interceptor de Vizela (FD4)



Interceptor de Vizela (FD6)



Intercetor do Ave (FD6)

