

BACIAS DE RETENÇÃO EM REDES DE DRENAGEM URBANAS. FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO.

MARTA ALEXANDRA RODRIGUES LÍRIO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente

Coorientador: Professora Doutora Elsa Maria da Silva Carvalho

MARÇO DE 2022

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Família

*Se o teu sol é verdadeiro, não tenhas medo das nuvens que o encobrem, pois um dia elas
dissipar-se-ão e o brilho do Sol voltará.*

Augusto Cury

AGRADECIMENTOS

Um trabalho de mestrado é uma longa caminhada que se permeia por inúmeros desafios, tristezas, incertezas, alegrias e muitos percalços pelo caminho, mas apesar do processo solitário a que qualquer estudante está destinado, reúne contributos de várias pessoas, indispensáveis para encontrar o melhor rumo em cada momento da caminhada.

Assim, começo por agradecer ao Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente e à Professora Doutora Elsa Maria da Silva Carvalho, a visão crítica e oportuna, o empenho inexcedível e saudavelmente exigente, a amizade e disponibilidade ao longo deste percurso e pelo privilégio da partilha do vosso vasto saber e experiência na orientação deste trabalho.

Agradeço também ao Professor Doutor Francisco Manuel de Oliveira Piqueiro e à Professora Doutora Cristina Maria Monteiro dos Santos, pela também constante disponibilidade e predisposição na partilha de conhecimentos e aptidões relativamente ao *software* utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

No entanto, trilhar este caminho só foi possível com o apoio, energia e força de várias pessoas, a quem dedico especialmente este projeto de vida.

À minha amiga de infância e de todas as horas Leonor, e àquelas que a FEUP me deixa para a vida, Márcia e Armandina. Obrigada pela amizade, confiança e carinho.

A toda a minha família que me viu crescer, aprender e a ser alguém, sempre de olhar atento e disponíveis para mim. À minha madrinha, Susana Lírio, por me ensinar a importância do caráter, entre tantas outras coisas. À minha Avó, pelos valores mais sábios e por estar sempre comigo.

Ao meu namorado, Wilson Vieira, a quem agradeço, acima de tudo, a sua existência na minha vida. Obrigada pelo apoio, confiança, coragem, paciência, calma, cumplicidade e amor.

Por fim, e principalmente, aos meus pais, Arminda e Arlindo, e ao meu irmão, Ricardo. Obrigada pelo investimento em mim, pela força do querer, pela paciência e carinho que nunca me faltou.

Sou eu graças a vocês, e por isso, isto é para todos vocês.

A todos, o meu profundo e sincero agradecimento.

RESUMO

Nos dias de hoje, as alterações climáticas que afetam o Planeta, têm implicações várias e, de modo muito particular, nos sistemas públicos de drenagem de águas residuais. O aumento dos níveis médios do mar, os eventos meteorológicos extremos, que se caracterizam pelas tempestades, e as alterações dos eventos pluviométricos são fenómenos que descaracterizam o ciclo hidrológico da água tal qual até hoje, é conhecido.

O balanço hidrológico - que consiste na relação entre o volume de água afluído e efluído de um sistema, surge como complemento ao ciclo hidrológico. O escoamento é uma variável essencial na análise deste balanço, sendo também indispensável no dimensionamento de redes de drenagem.

Deste modo, e uma vez que a principal função de um sistema de drenagem é dirigir o escoamento até ao destino final que lhe é concedido, entende-se que a mudança do comportamento hidrológico tem implicações nas respostas destes sistemas de drenagem. Isto porque, se o sistema é dimensionado tendo em conta um determinado escoamento que se associa a um evento pluviométrico, uma vez alterado esse comportamento hidrológico, o sistema torna-se ineficaz ou menos eficaz.

Um outro aspeto visível que contribui para o mau funcionamento dos sistemas de drenagem em funcionamento, diz respeito ao crescimento urbanístico na área de influência dos sistemas. Este aumento da construção, e consequente ocupação de uma determinada quantidade de solo, altera as condições de escoamento uma vez que reduz a área permeável e altera as condições naturais de escoamento (infiltração, velocidades de escoamento entre outras).

Como consequência dos acontecimentos mencionados, ocorrem frequentemente inundações derivadas de extravasamentos vários dos sistemas de drenagem e, consequentemente, problemas ambientais e sociais.

Na presente dissertação, é estudado um caso real que padece com os eventos precedentemente referidos. Este estudo tem como principal objetivo ajudar a solucionar os problemas decorrentes de precipitação recorrendo ao dimensionamento de engenhos hidrológicos de regularização de caudal, as bacias de retenção.

Estas estruturas têm um enorme interesse hidrológico uma vez que apresentam variados tipos (conseguindo ajustar-se às características da zona pretendida) e funções (desde a utilização da água retida até a criação de espaços de lazer e paisagísticos) não descurando do seu principal objetivo, amortecer os caudais a jusante.

Deste modo, na realização deste estudo conclui-se que mesmo adotando uma bacia de retenção de elevada capacidade de regularização, o trecho só assume um funcionamento adequado com o incremento dos diâmetros dos últimos 600m do trecho.

Palavras-Chave: Drenagem urbana, Precipitação, Escoamento, Volume de Retenção, Bacia de Retenção.

ABSTRACT

Nowadays, the climate changes that affect have several implications and, in a very particular way, on public wastewater drainage systems. The increase in average sea levels, extreme meteorological events characterized by storms, and changes in rainfall events are phenomena that change the character of the hydrological cycle of water as it is known today.

The hydrologic balance - which consists of the balance between the volume of inflow and outflow of a system, appears as a complement to the hydrologic cycle. Runoff is an essential variable in the analysis of this balance, and is also indispensable in the design of drainage networks.

In this way, and since the main function of a drainage system is to direct runoff to its final destination, it is understood that changing hydrological behavior has implications on the responses of these drainage systems. This is because, if the system is designed according to a certain runoff that is associated with a rainfall event, once this hydrological behavior changes, the system becomes ineffective or less effective.

Another visible aspect that contributes to the malfunction of drainage systems in operation, concerns the urban growth in the area of influence of the systems. This increase in construction, and consequent occupation of a certain amount of land, changes the drainage conditions as it reduces the permeable area and changes the natural drainage conditions (infiltration, runoff velocities, among others).

As a consequence of the aforementioned events, floods frequently occur as a result of overflows from different drainage systems and, consequently, environmental and social problems.

In this dissertation, a real case is studied that suffers from the aforementioned events. The main goal of this study is to solve its problems by designing hydrological devices for flow regulation, the retention basins.

These structures have an enormous hydrological interest since they have several types (adjusting to the characteristics of the intended area) and functions (from the use of the retained water to the recreation of leisure and landscape spaces), not forgetting their main goal, to dampen downstream flows.

Keywords: Urban drainage, Precipitation, Runoff, Retention Volume, Retention Basin.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	1
Resumo	3
Abstract.....	5
1.	1
ENQUADRAMENTO.....	1
1.1. Apresentação do Tema.....	1
1.2. Âmbito e Objetivos	2
1.3. Estrutura da dissertação	2
2.	3
ESTADO DA ARTE	3
2.1. Descrição do Problema	3
2.1.1. Generalidades	3
2.1.2. Escoamento Superficial	4
2.2. Possíveis Soluções	5
2.3. Conceito de Bacias de Retenção	7
2.4. Funções de uma Bacia de Retenção.....	8
2.4.1. Regularização dos Caudais de Ponta e Redução dos Riscos de Inundação.....	8
2.4.2. Criação de espelhos de água com Interesse Paisagístico e Recreativo.....	10
2.4.3. Proteção do Meio Ambiente	10
2.4.4. Criação de Reservas de Água para Fins Diversos	11
2.5. Diversidade de Bacias de Retenção	12
2.5.1. Posicionamento no Sistema de Drenagem	12
2.5.2. Implantação no Terreno.....	13
2.5.3. Comportamento Hidráulico ou Regime de Armazenamento	16
2.6. Dimensionamento de uma Bacia de Retenção	20
2.6.1. Método Simplificado	21
2.6.2. Método do Hidrograma Triangular Simplificado	22
2.6.3. Método de Regressão de Pagan.....	23
2.6.4. método de Wycoff & Singh.....	24
2.6.5. Método de Puls.....	25
2.6.6. Integração Numérica	26
2.7. Manutenção de uma Bacia de Retenção	27
2.8. Contextualização do Caso de Estudo.....	30
3.	31

CASO DE ESTUDO.....	31
3.1. Caracterização do Caso de Estudo – Rio Selho	31
3.2. Município de Guimarães	32
3.3. Apresentação do Software SWWM	33
3.4. Situação de Referência – O Intercetor do Rio Selho-Prolongamento	35
4.	45
RESULTADOS.....	45
4.1. Dados Iniciais. Situação de Referência	45
4.2. Análise de Funcionamento em Função do Volume da Bacia de Retenção	46
4.2.1. Hipótese I – Volume de Retenção de 40.000m ³	46
4.2.2. Hipótese II – Bacia de Retenção de 14.000 m ³	49
4.2.3. Hipótese III – Bacia de Retenção de 2.600 m ³	52
4.2.4. Hipótese IV – Bacia de Retenção de 2.600m ³ e Alteração dos Diâmetros a jusante do nó AV431CV0343	57
4.2.5. Hipótese V – Bacia de Retenção de 2.600m ³ , Alteração dos Diâmetros a jusante do nó AV431CV0343 e Alteração da Inclinação do Nó AV431CV0344 ao Nó AV431CV0324.....	59
4.3. Análise Comparativa	63
4.3.1. Análise Comparativa do Nó AV431CV0342	63
4.3.2. Análise Comparativa do Nó AV431CV0341	64
4.3.3. Análise Comparativa do Nó AV431CV0340	64
4.3.4. Análise Comparativa do Nó AV431CV0333	65
4.3.5. Análise Comparativa do Nó AV431CV0332	66
4.3.6. Análise Comparativa do Nó AV431CV0320	67
4.4. Caracterização Física da Bacia de Retenção	68
5.	71
CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	71
5.1. Conclusões	71
5.2. Desenvolvimentos Futuros.....	71
Referências Bibliográficas	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Precipitação no Mundo anualmente e no verão (2013 EU climate change adaptation strategy)	1
Figura 2 – Ciclo hidrológico [1].....	3
Figura 3 – Evidências do aquecimento global no ciclo hidrológico (adaptado de Maia, 2022)	4
Figura 4 – Coberturas verdes [2].....	6
Figura 5 – Pavimento permeável [3]	6
Figura 6 – Bacia de retenção na ausência de pluviosidade - Rio Horto – Vila Nova de Gaia [4].....	8
Figura 7 – Bacia de retenção na ausência de pluviosidade - Guimarães [5]	9
Figura 8 – Bacia de retenção em situação de cheia [6]	9
Figura 9 – Parque da cidade – Porto [7].....	10
Figura 10 – Bacia de retenção de Tanner Springs Park, Portland, Oregon, EUA [8]	11
Figura 11 – Bacia de retenção impermeabilizada [9].....	11
Figura 12 – Bacia em série (Matias,2006)	12
Figura 13 – Bacia em paralelo (Matias,2006)	13
Figura 14 – Bacia superficial em Benthemplein [10].....	14
Figura 15 – Bacia superficial em Santo Tirso [11]	14
Figura 16 – Exemplo de bacia subterrânea [12].....	15
Figura 17 – Bacia superficial seca (Avilez-Valente, 2020).....	16
Figura 18 – Tomadas de água de uma bacia superficial seca (Avilez-Valente, 2020).....	17
Figura 19 – Perfil transversal tipo de uma bacia seca, de acordo com os aspetos construtivos previstos no RGSPDADAR (Avilez-Valente, 2020)	17
Figura 20 – Bacia superficial de água permanente (Avilez-Valente, 2020).....	18
Figura 21 – Tomadas de água de uma bacia superficial de água permanente (Avilez-Valente, 2020).	19
Figura 22 – Perfil transversal tipo de uma bacia de água permanente, de acordo com os aspetos construtivos previstos no RGSPDADAR (Avilez-Valente, 2020).....	20
Figura 23 – Representação do volume de armazenamento necessário através do método do hidrograma triangular simplificado. (VDOT, 2002).....	23
Figura 24 – Parâmetro de armazenamento, SP. (VDOT, 2002).....	24
Figura 25 – Rio Selho, em Guimarães [13] [14]	31
Figura 26 – Poluição no rio Selho resultante de descargas de efluentes domésticos e industriais e lixo nas margens [15] [16].....	32
Figura 27 – Mapa hidrográfico do concelho de Guimarães (adaptado de Câmara Municipal de Guimarães, 2015)	33
Figura 28 – Representação esquemática do trecho do intercetor do Selho-Prolongamento em investigação, bem como dos seus intercetores subsidiários e das respetivas sub-bacias drenantes (referência)	36
Figura 29 – Representação das sub-bacias subsidiárias do trecho do Intercetor em estudo (Baptista, Diogo 2021)	37
Figura 30 – Sistema de precipitação da chuvada de 19 de dezembro de 2019	38
Figura 31 – Simulação da resposta do trecho em estudo, em tempo seco.....	39
Figura 32 – Resposta do intercetor sem bacia de retenção, após 1 hora de chuvada	41
Figura 33 – Extravasamento no intercetor do Selho-Prolongamento [17].....	41
Figura 34 – Representação das sub-bacias subsidiárias do intercetor incluindo uma bacia de retenção	42
Figura 35 – Resposta do intercetor com bacia de retenção de 2.000 m ³ , após 1 hora da chuvada.....	43
Figura 36 – Resposta do intercetor com bacia de retenção de 2.000 m ³ , após 21 horas da chuvada	44

Figura 37 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e extravasamento após 21 horas da chuvada com uma bacia de retenção de 2.000m ³	46
Figura 38 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese I.....	47
Figura 39 – Capacidade de transporte dos trechos e do alagamento dos nós após 21 da chuvada e com uma bacia de retenção de 40.000m ³	47
Figura 40 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento das câmaras de visita após 21 horas da chuvada com uma bacia de retenção de 40.000m ³	48
Figura 41 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese II.....	49
Figura 42 – Capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento nas câmaras de visita após 21 horas da chuvada com uma bacia de retenção de 14.000m ³	50
Figura 43 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento nas câmaras de visita após 21 horas da chuvada com uma bacia de retenção de 14.000m ³	51
Figura 44 – Posicionamento topográfico da bacia de retenção de 2.600 m ³ (comportamento após 21 horas de precipitação).....	53
Figura 45 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese III	54
Figura 46 – Capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento das câmaras de visita após 21 horas da chuvada com uma bacia de retenção de 2.600m ³	55
Figura 47 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento das câmaras de visita após 21 horas da chuvada e com uma bacia de retenção de 2.600m ³	56
Figura 48 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese IV	57
Figura 49 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e de extravasamento de câmaras de visita após 21 horas de chuvada, com uma bacia de retenção de 2.600m ³ e aumento do diâmetro	58
Figura 50 – Capacidade de transporte dos trechos e do de extravasamento de câmaras de visita após 21 da chuvada com uma bacia de retenção de 2.600m ³ e aumento do diâmetro	59
Figura 51 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e de extravasamento de câmaras de visita após 21 horas de chuvada, com uma bacia de retenção de 2.600m ³ e aumento do diâmetro.....	61
Figura 52 – Capacidade de transporte dos trechos e do de extravasamento de câmaras de visita após 21 da chuvada com uma bacia de retenção de 2.600m ³ e aumento do diâmetro	62
Figura 53 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese V	62
Figura 54 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0342	63
Figura 55 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0341	64
Figura 56 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0340	65
Figura 57 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0333	66
Figura 58 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0332	67
Figura 59 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0320	68
Figura 60 – Implantação da bacia de retenção.....	69
Figura 61 – Exemplo de revestimento da bacia de retenção [19].....	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos de manutenção em bacias de retenção secas (adaptado de Ballard et al., 2015)	28
Tabela 2 - Requisitos de manutenção em bacias de retenção permanentes (adaptado de Ballard et al., 2015).....	29
Tabela 3 – Altura de água máxima nas câmaras de visita características às 21 horas.....	46
Tabela 4 – Hipótese II - Variação do Volume de retenção da Bacia de Retenção	52

SÍMBOLOS E ACRÓNIMOS

A – Área da bacia de drenagem [ha];

a – Parâmetro do cálculo de I , em função do tempo de retorno da chuvada e da região;

b – Parâmetro do cálculo de I em função do tempo de retorno da chuvada e da região;

C – Coeficiente;

h – Altura de água [m];

I – Intensidade [mm/min];

q – Caudal específico [mm/min];

q_s – Caudal específico efluente [mm/min];

Q_0 – Caudal máximo efluente em função da capacidade das estruturas de drenagem a jusante [m^3/s];

Q_0 – Caudal máximo admissível (geralmente tomado como o caudal de ponta para a situação de pré-urbanização) [m^3/s];

Q_0 – Caudal de ponta para as condições de pré-urbanização [m^3/s];

Q_{0e} – Caudal máximo admissível debitado pela bacia de retenção [m^3/s];

Q_i – Caudal de ponta na situação pré-urbanização [m^3/s];

Q_i – Caudal de ponta na situação pós-urbanização [m^3/s];

Q_p – Caudal efluente [m^3/s];

Q_s – Caudal máximo efluente [m^3/s];

SP – Parâmetro de armazenamento [s];

t – Tempo [h];

t^b – Tempo base [min];

t_{b0} – Tempo de base do hidrograma para as condições de pré-urbanização [s];

t_i – Tempo de base do hidrograma de entrada para as condições de pós-urbanização [h];

T_b – Tempo de base do histograma [s];

tm – Tempo máximo de armazenamento [h];

t_p – Tempo de crescimento do hidrograma de entrada para as condições de pós-urbanização [h]

V_a – Volume de armazenamento necessário [m^3];

V_e – Volume de entrada [m^3];

V_R – Volume total do escoamento [m^3];

V_s – Volume de saída [m^3];

Δt – Intervalo de tempo;

ΔV – Variação do volume de armazenamento;

AEA – Agência Europeia do Ambiente;

APA – Agência Portuguesa do Ambiente;

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;

RDII – *Rainfall-Dependent Infiltration/Inflow*;

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

SUDS – Sistemas de Drenagem Sustentáveis;

SWMM – *Storm Water Management Model*.

1.

ENQUADRAMENTO

1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA

Atualmente, têm-se tornado inegáveis as alterações climáticas que todos os ecossistemas e a sociedade têm sofrido. Os níveis médios do mar têm aumentado por efeito do degelo dos polos e dos glaciares, dos eventos meteorológicos extremos (como, por exemplo, tempestades) e das alterações dos eventos pluviométricos, como observável na figura 1.

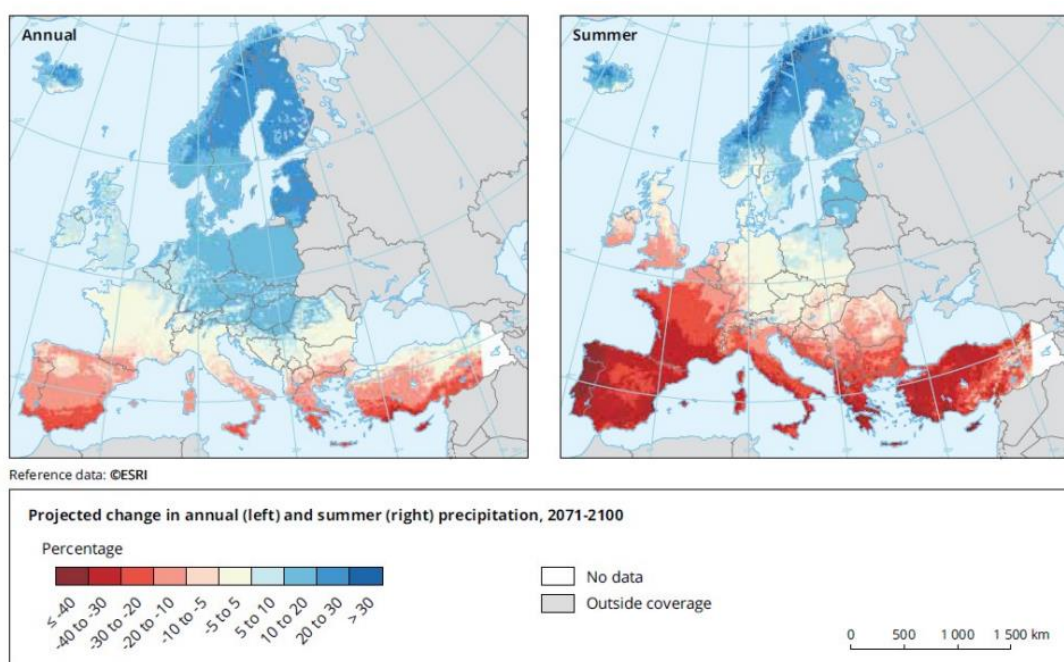


Figura 1 – Precipitação no Mundo anualmente e no verão (2013 EU climate change adaptation strategy)

As diferenças no regime de precipitação e o aumento da urbanização são aspetos que intervêm, significativamente, no comportamento dos sistemas de drenagem pluviais, tornando-o pouco eficiente ou ineficiente.

É também conhecido que, devido à ocorrência de influências indevidas, que decorrem direta ou indiretamente de fenómenos de precipitação, e ao aumento da urbanização, que incrementou o aumento da taxa de zona impermeável, resultaram fenómenos de cheias e alagamentos nos meios citadinos.

Estes fenómenos decorrem uma vez que a eficiência dos sistemas é condicionada, dado o aumento de volume que é excedente àquele para o qual foi dimensionado. Assim sendo, torna-se imperativo adotar-se medidas que atenuem as consequências destes fenómenos através da definição de um plano de renovação e adequação direcionado (Almeida e Cardoso, 2010).

Uma das medidas que podem ser implementadas como solução aos eventos de cheias que resultam da inadequada resposta do sistema de drenagem pluvial é a construção de uma bacia de retenção. Este engenho hidrológico é um forte candidato à solução destes problemas e apresentam, para além da sua eficiência, uma vasta gama de funções e tipologias que promete beneficiar a comunidade envolvente.

1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS

Nesta dissertação, o objetivo primordial passa por estudar os efeitos das bacias de retenção quando implementadas em trechos que apresentam deficiências no seu funcionamento. Especificando o tipo de bacias de retenção existentes e as suas diferentes funções, será dimensionada uma bacia de retenção num trecho com problemas relativos ao seu eficiente escoamento pluvial. A solução sugerida deverá ser aquela que potencia o melhor funcionamento do trecho em estudo, isto é, não se observar, através da simulação realizada, situações de alagamentos das câmaras de visita ou sobrecarga nos trechos que constituem o sistema de drenagem em questão.

Para este fim, recorrer-se-á ao *software* de simulação *Storm Water Management Model* (SWMM) para simulação de várias hipóteses propostas, correspondentes a diferentes características da bacia de retenção e dos trechos de condutas em análise. Deste modo, é esperado chegar a uma solução que melhorará o funcionamento do intercetor do Selho-Prolongamento, explorado pela Águas do Norte, S.A..

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é composta por 5 capítulos que seguem uma ordem sequencial de acordo com o estudo feito.

Neste primeiro capítulo, apresentam-se o tema, a motivação e os objetivos do trabalho. No segundo capítulo é apresentado o estado de arte, que engloba a descrição dos problemas que se pretendem estudar, bem como os conceitos que serão desenvolvidos na dissertação. O capítulo 3 é dedicado à caracterização do caso de estudo e do *software* utilizado nas simulações, partindo de uma situação de referência. No capítulo 4 são apresentadas as soluções que se propõem e o estudo dos seus comportamentos. A terminar a tese, no capítulo 5, são apresentadas as principais conclusões do trabalho realizado e algumas sugestões de trabalho futuro.

2.

ESTADO DA ARTE

2.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

2.1.1. GENERALIDADES

Um sistema hidrológico diz respeito à totalidade de água que existe numa determinada área podendo-se encontrar em diferentes estados físicos e podendo, através dos cinco fenómenos hidrológicos, assumir um diferente estado físico.

Os fenómenos de precipitação, que ocorrem quando a condensação é suficientemente grande que torna a nuvem demasiado pesada e as gotas se precipitam sob a forma de chuva, neve ou outra forma, são uma das cinco fases que constituem o ciclo hidrológico da água (figura 2). Após a precipitação atingir o solo, uma parte da sua água é absorvida pelo solo, outra regressa ao oceano através dos rios. Por ação do calor solar, a água dos oceanos evapora-se e, por ação da gravidade, sobe para a atmosfera. O processo seguinte denomina-se evapotranspiração e consiste na transformação da água na superfície terrestre do seu estado líquido ao estado gasoso. Finalmente, o vapor de água na atmosfera condensa devido ao arrefecimento do meio transformando-se em gotas de água e formando as nuvens. O elemento responsável por este dinamismo hidráulico é a radiação solar (Maia, 2022).

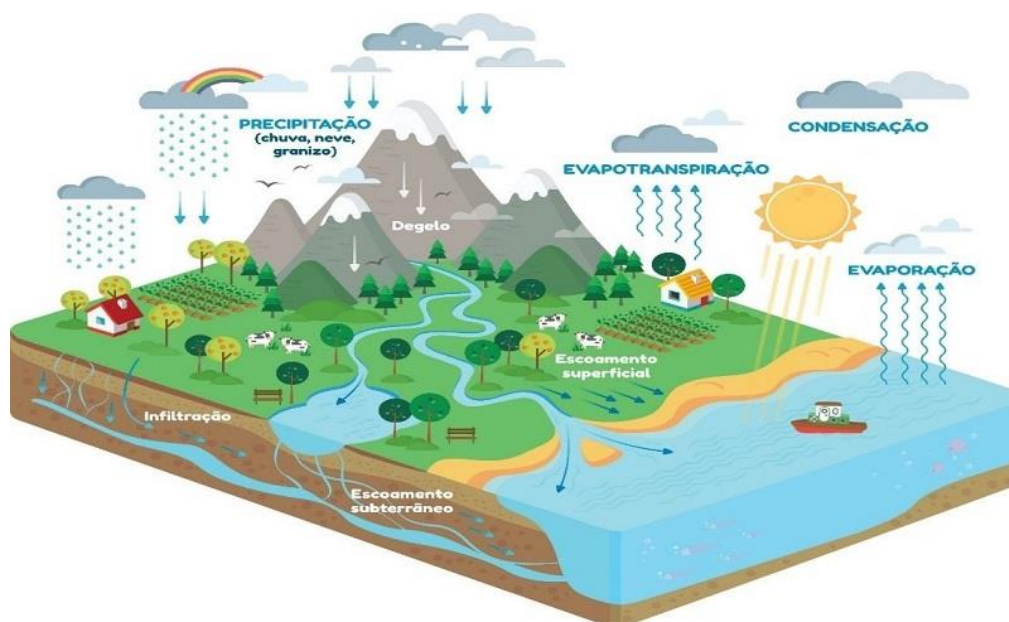


Figura 2 – Ciclo hidrológico [1]

À relação entre as afluições (volume de água que entra no sistema) e efluências (volume de água saída no sistema) de água num sistema, denomina-se balanço hidrológico. Este balanço permite determinar a quantidade de água que está armazenada no sistema e, por isso, pode ser captada, tratada e consumida.

O ciclo hidrológico não é inalterável. Observam-se mutações no ciclo hidrológico (e consequente balanço hidrológico), que incluem a modificação dos padrões e intensidade de precipitação bem como as incidências de secas, o degelo, o aumento do vapor de água na atmosfera e da temperatura da água e, também, modificações da humidade do solo, como representado na figura 3 (Maia, 2022).

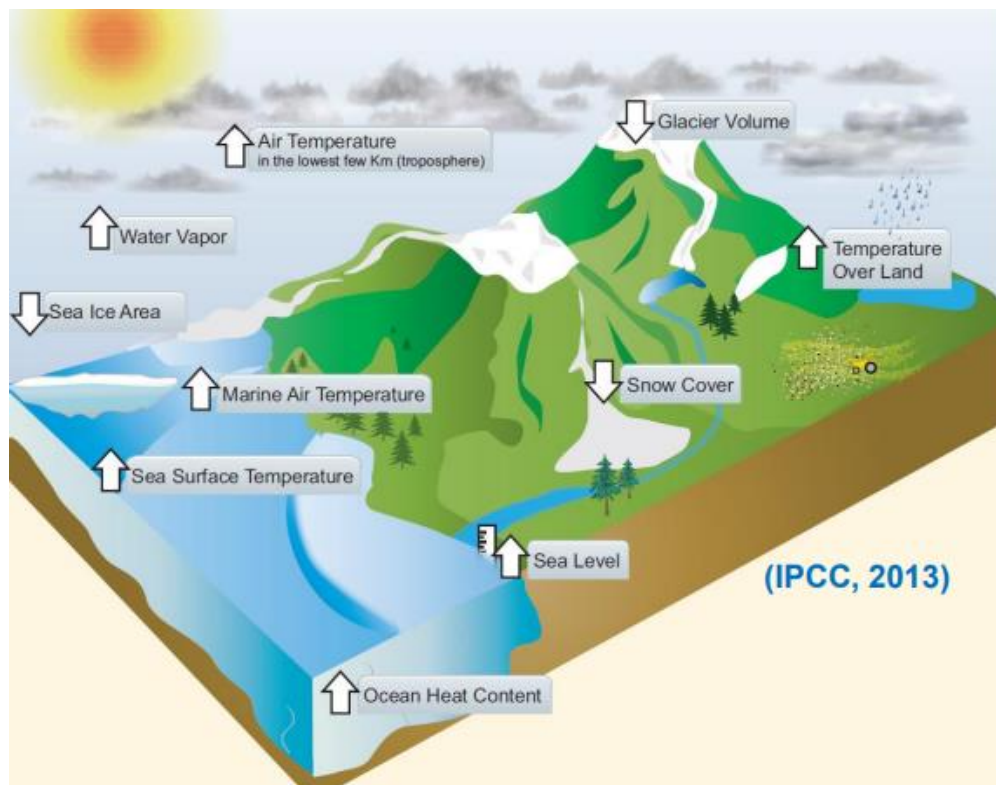


Figura 3 – Evidências do aquecimento global no ciclo hidrológico (adaptado de Maia, 2022)

2.1.2.ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O volume do escoamento superficial deve-se, maioritariamente, a fenómenos de precipitação. O escoamento resultante deste fenómeno meteorológico necessita de uma área permeável adequada, que permita a infiltração do mesmo e crie um escoamento subterrâneo. Uma vez estando perante uma fase de forte urbanização, e por isso, um aumento de estruturas que ocupam a área permeável que é essencial a este escoamento, é evidente que as infiltrações no solo, até aí permeável, se tornem impossíveis. Tendo em conta este cenário, é espetável que este escoamento agora não infiltrado se converta num escoamento superficial.

Pelas razões acima mencionadas, enfrenta-se um aumento de volume de escoamento superficial das bacias drenantes e dos correspondentes caudais. Estas novas condições de escoamento não correspondem às consideradas no dimensionamento da rede de drenagem implementada. Esta discrepância de volumes de escoamento torna necessário redefinir as condições do sistema.

O dimensionamento desatualizado das redes de drenagem tem consequências nefastas para a sociedade uma vez que, na ocorrência de uma chuvada mais intensa ou de um aumento do nível freático, não é capaz de encaminhar a água na sua rede. Por este motivo, durante alguns anos, a solução proposta foi proceder à substituição dos coletores que constituíam as redes por outros de maior diâmetro, e por isso, com maior capacidade de transporte. Uma outra possível solução passa, também, pela adoção de um mecanismo de drenagem das águas pluviais e controlo de inundações. Esta solução terá de reunir as condições do planeamento e ordenamento do território, tendo em consideração as condições e os recursos e serviços existentes.

Para que se possa responder a esta necessidade, cumprindo com todos os requisitos mencionados, é imperativo adotar soluções não convencionais, alterar conceitos de dimensionamento e explorar equipamentos urbanos de drenagem (designadamente, através da aplicação de SUDS – Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis) e, também, desenvolver soluções estruturais preventivas ou corretivas. Com este compromisso, é possível conviver com a expansão urbana e com a ocupação crescente do solo, e ainda promover a sustentabilidade simultaneamente com a melhoria da eficiência dos sistemas de drenagem já existentes.

Neste sentido, é espetável que as medidas mais indicadas para o controlo, isto é, amortecimento dos caudais de cheia, bem como a gestão mais sustentável dos sistemas de drenagem urbana já existentes, passem, nomeadamente, por uma bacia de retenção.

2.2. POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Estando perante uma situação climática diferente, onde são sentidos os aumentos nos níveis freáticos, aumento da temperatura atmosférica e diferentes comportamentos pluviométricos, o ciclo da água sofreu grandes alterações. Uma vez conjugados estes fatores com o crescente e significativo desenvolvimento urbanístico, é fácil perspetivar um aumento do escoamento superficial.

A nível europeu, a Agência Europeia do Ambiente (AEA) é a entidade responsável por estabelecer parâmetros e objetivos a cumprir de modo a que o desenvolvimento social e económico possa decorrer de um modo sustentável. De acordo com a AEA, são várias as soluções possíveis para atenuar o incremento do escoamento que circula nas cidades após um evento pluviométrico. Uma solução para este efeito passa por aplicar medidas naturais de retenção, que são divididas nas seguintes categorias: áreas urbanas, florestais, naturais e agrícolas. Possíveis soluções de retenção de água em áreas urbanas podem passar segundo a AEA, por: telhados verdes (figura 4), captação de água da chuva, pavimentação permeável (figura 5), sistemas de drenagem sustentáveis (valas, valas de drenagem, valas de infiltração), jardins pluviais, bacias de detenção, bacias de retenção e restauração de canais urbanos. Relativamente a medidas de retenção de água ao nível florestal, a AEA sugere o florestamento de áreas de cabeceira / áreas montanhosas / bacias hidrográficas de reservatório, plantio direcionado para "captura" de precipitação, conversão do uso da terra para melhorias na qualidade da água, manejo florestal de cobertura contínua, manutenção de barreiras ribeirinhas, projeto apropriado de estradas e travessia de riachos, bem como florestas urbanas. As retenções de água naturais que sugerem, alteram o ecossistema de um modo direto, no entanto, sustentável. Estes tipos de retenções passam pela restauração e manutenção de rios, bacias, lagoas e pântanos; reconexão e restauração de várzea, reconexão de anexos hidráulicos e eliminação da proteção da margem dos rios. Também sugerem a restauração de aquíferos e lagos. Finalmente, podem ser adotadas medidas como a restauração e manutenção de prados e pastagens, faixas de proteção, práticas de conservação do solo (rotação de culturas, consórcio, lavoura de conservação ...), cobertura verde e cobertura morta no que diz respeito a medidas de retenção de água a nível da agricultura.

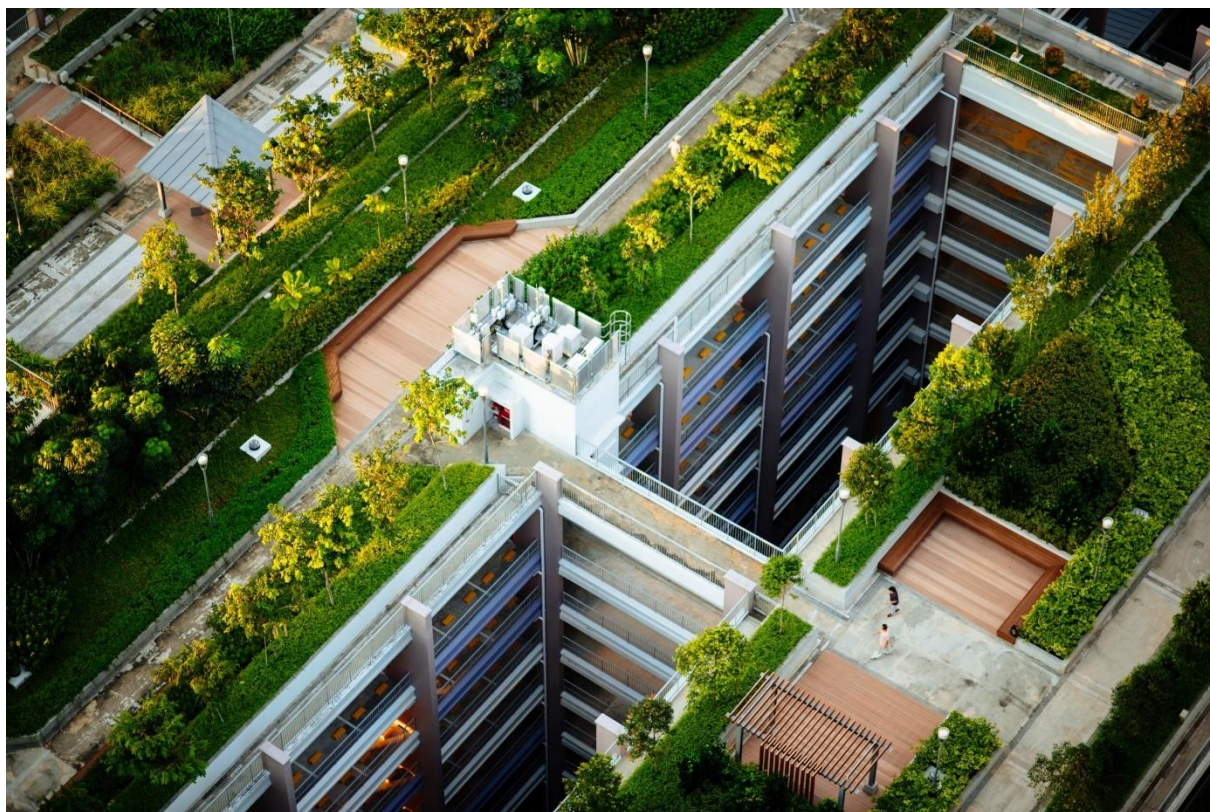


Figura 4 – Coberturas verdes [2]



Figura 5 – Pavimento permeável [3]

De acordo com a AEA, podem ainda ser aplicadas outras medidas para a gestão das águas pluviais, tais como:

- Infraestrutura de drenagem de sistema fechado e aberto;
- Melhores práticas de gestão de águas pluviais (BMP);
- Revitalização de construções antigas (*Retrofits*) - adaptações estruturais da prática de águas pluviais;
- Restauração de fluxo;
- Avaliações hidrológicas e hidráulicas;
- Avaliações de emissários e canais;
- Estabilização do emissário;
- Estudos e modelagem de várzea;
- Análises de controle de inundação;
- Passagens de peixes;
- Restauração ecológica / habitat.

2.3. CONCEITO DE BACIAS DE RETENÇÃO

As bacias de retenção, também conhecidas como bacias de amortecimento, têm como função recolher os caudais de tempestade que excedem os considerados no dimensionamento dos sistemas de drenagem, armazenando-os em pequenas bacias e lagos, regularizando, assim, os caudais a jusante.

No Capítulo VI do Título IV do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), no que diz respeito às instalações complementares em sistemas de drenagem públicos, encontra-se a Secção II, que se dedica às bacias de retenção.

De modo a explicar o conceito e finalidade de bacia de retenção, encontra-se no Artigo 176.º do RGSPDADAR (MOPTC, 1995) o seguinte:

“1 – As bacias de retenção são estruturas que se destinam a regularizar o escoamento pluvial afluente, amortecendo os caudais de ponta e permitindo compatibilizar o seu valor com limites previamente fixados.

2 – Para além do aspeto fundamental de regularização dos caudais afluentes, as bacias de retenção podem ainda, segundo os seus tipos, apresentar as seguintes vantagens:

- a) Contribuir para o melhoramento da qualidade das águas pluviais;*
- b) Contribuir para o melhor comportamento do sistema de drenagem global onde se encontram integradas, quando da ocorrência de precipitações excecionais;*
- c) Possibilitar a constituição, quando se trate de bacias de água permanente, de polos de interesse turístico e recreativo, especialmente quando integradas no tecido urbano ou em zonas verdes;*
- d) Constituir reservas contra incêndios ou para fins de rega.”*

Assim sendo, é possível concluir que de facto, uma bacia de retenção, que se exemplifica na figura 6, constitui um mecanismo de gestão do escoamento, uma vez que tem a capacidade de reter na sua estrutura os caudais de ponta, amortizando, assim, os caudais, de modo a restabelecer o escoamento para o qual a conduta foi previamente dimensionada. Esta restituição do escoamento é essencial para evitar

inundações e afluições de maiores dimensões. A prevenção destas perturbações é extremamente importante uma vez que também promove o controlo da erosão e afastam potenciais cargas poluentes.

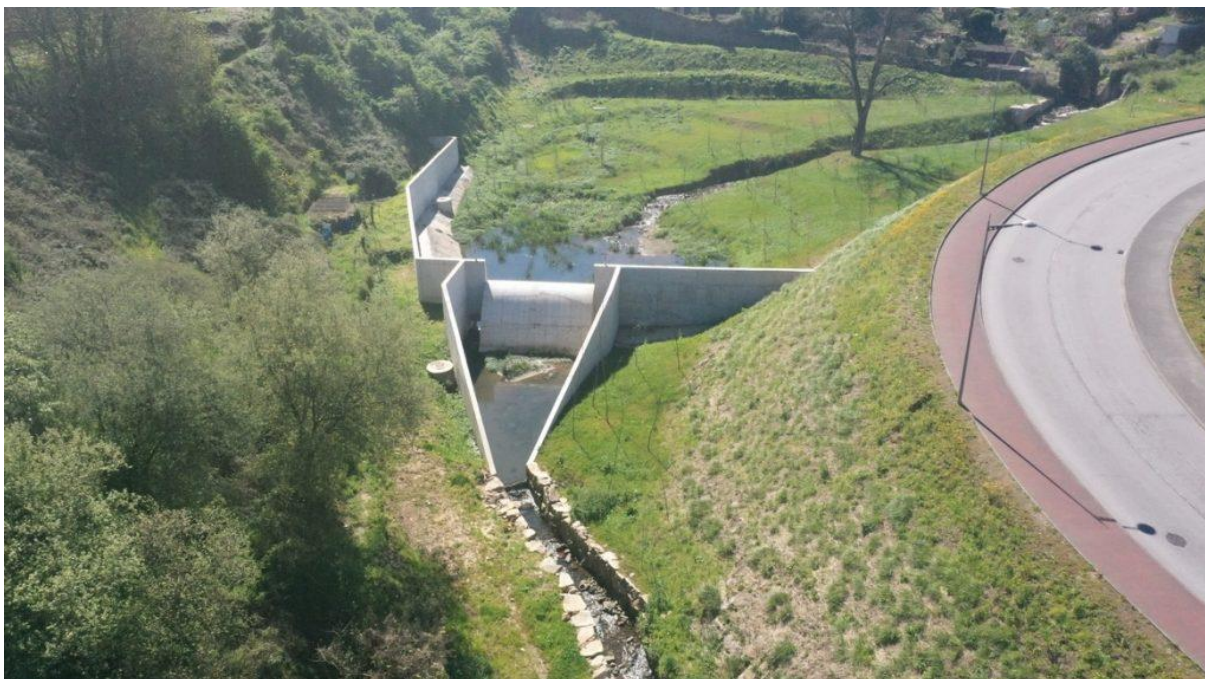


Figura 6 – Bacia de retenção na ausência de pluviosidade - Rio Horto – Vila Nova de Gaia [4]

2.4. FUNÇÕES DE UMA BACIA DE RETENÇÃO

A importância das bacias de retenção é inegável uma vez que funcionam como uma estrutura corretiva de um escoamento que, por ser superior ao considerado no dimensionamento do sistema, não é corretamente escoado. Provida de características que lhe permitem armazenar o volume necessário para controlar o caudal a jusante, uma bacia de retenção funciona como solução em situações de extravasamentos de caixas de visita, sobrecarga de condutas, inundações, entre outras.

Para além das significativas melhorias que estas estruturas podem provocar num sistema de drenagem, a versatilidade de funções que estas bacias podem assumir é notável. Além de poderem adotar diferentes características geométricas, que as permite integrar em soluções paisagísticas, recreativas, ambientais e de potencializador de biodiversidade, a água que nelas é armazenada pode ser usada para inúmeros fins. Esta última função é de extrema importância uma vez que a água se tem tornado um bem cada vez mais escasso.

2.4.1. REGULARIZAÇÃO DOS CAUDAIS DE PONTA E REDUÇÃO DOS RISCOS DE INUNDAÇÃO

Como já referido, a principal função destas estruturas hidráulicas é amortecer o escoamento excedente à capacidade de transporte do sistema de drenagem de modo restabelecer o caudal que efluirá a jusante.

A capacidade de armazenamento destas estruturas, que deve corresponder à quantidade de volume que se prevê ser excedente à capacidade máxima do sistema de drenagem instalado, permite que se restaure um escoamento a jusante. Com o restabelecimento do escoamento é possível evitar cheias que surgem da sobrecarga da rede de drenagem.

A regularização do escoamento a jusante é facilmente observável nas figuras 7 e 8, que representam o funcionamento de uma bacia de retenção, em Guimarães, respetivamente nas situações de seca (ausência do evento pluviométrico) e de cheia (ocorrência do evento pluviométrico).



Figura 7 – Bacia de retenção na ausência de pluviosidade - Guimarães [5]



Figura 8 – Bacia de retenção em situação de cheia [6]

2.4.2. CRIAÇÃO DE ESPELHOS DE ÁGUA COM INTERESSE PAISAGÍSTICO E RECREATIVO

A urbanização dos espaços tem sido combatida com a recriação de ambientes verdes nas áreas dos aglomerados populacionais. As bacias de retenção adotam papéis paisagísticos, que convidam a comunidade a práticas desportivas e de lazer, bem como potencia a biodiversidade. Como observado na figura 9, o parque da cidade do Porto é um excelente exemplo desta iniciativa uma vez que se encontra munido de um vasto espaço verde e embelezado por uma bacia de retenção.



Figura 9 – Parque da cidade – Porto [7]

2.4.3. PROTEÇÃO DO MEIO AMBIENTE

As composições químicas e as impurezas atmosféricas que se associam à água precipitada devem ser consideradas no momento em que se procede ao descarregamento das mesmas. Para combater o carácter poluente que estas águas representam, as bacias de retenção providas de vegetação servem como um ambiente onde os sedimentos transportados por estas águas possam sedimentar e, posteriormente, serem decantados.

O parque de Tanner Springs, representado na figura 10, é um excelente exemplo desta medida.



Figura 10 – Bacia de retenção de Tanner Springs Park, Portland, Oregon, EUA [8]

2.4.4. CRIAÇÃO DE RESERVAS DE ÁGUA PARA FINS DIVERSOS

A importância da água deve ser reconhecida por todos, uma vez que é um bem essencial ao desenvolvimento do país e indispensável à vida. No entanto, considerando a diversidade de necessidades a que este bem responde, é fácil entender que o requisito relativamente à qualidade da água varia consoante o propósito que esta vai responder.

Considerando os casos onde a qualidade da água não assume um papel fundamental, é possível propor o uso da água retida nas bacias. Exemplo do armazenamento destas águas encontra-se representado na figura 11. Como exemplares de usos das águas retidas nas bacias de retenção consideram-se as águas para a rega de terrenos agrícolas e combate a incêndios.

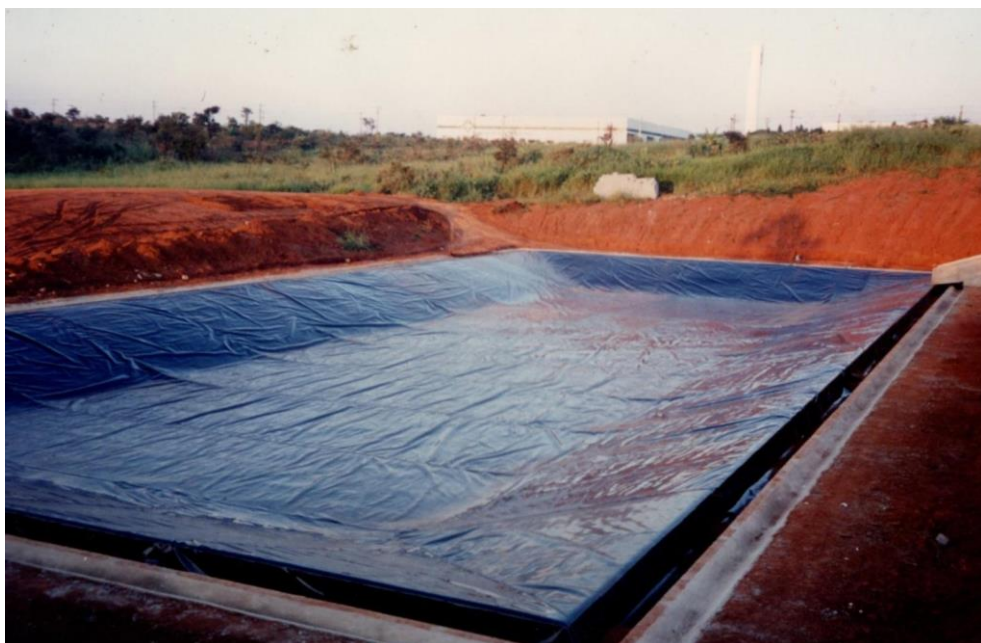


Figura 11 – Bacia de retenção impermeabilizada [9]

2.5. DIVERSIDADE DE BACIAS DE RETENÇÃO

Uma vez apresentadas as diferentes funções, é natural que esta diversidade esteja relacionada com os diferentes tipos de bacia de retenção existentes. Assim, as bacias de retenção podem ser classificadas de acordo com diversos fatores (Matias, 2006):

- **Posicionamento no sistema de drenagem:**
 - Bacias em série ou *on-line*;
 - Bacias em paralelo ou *off-line*;
- **Implantação no terreno:**
 - Bacias superficiais ou a céu aberto;
 - Bacias subterrâneas ou enterradas;
- **Comportamento hidráulico ou regime de armazenamento:**
 - Bacias secas ou temporárias;
 - Bacias de água permanente ou de detenção.

2.5.1. POSICIONAMENTO NO SISTEMA DE DRENAGEM

2.5.1.1. Bacias em série ou *on-line*

Uma bacia de retenção caracteriza-se, quanto ao seu posicionamento no sistema de drenagem, como em série ou *on-line* quando a sua instalação se encontra no alinhamento do coletor ou intersetando o canal de drenagem afluente, como representa a figura 12.

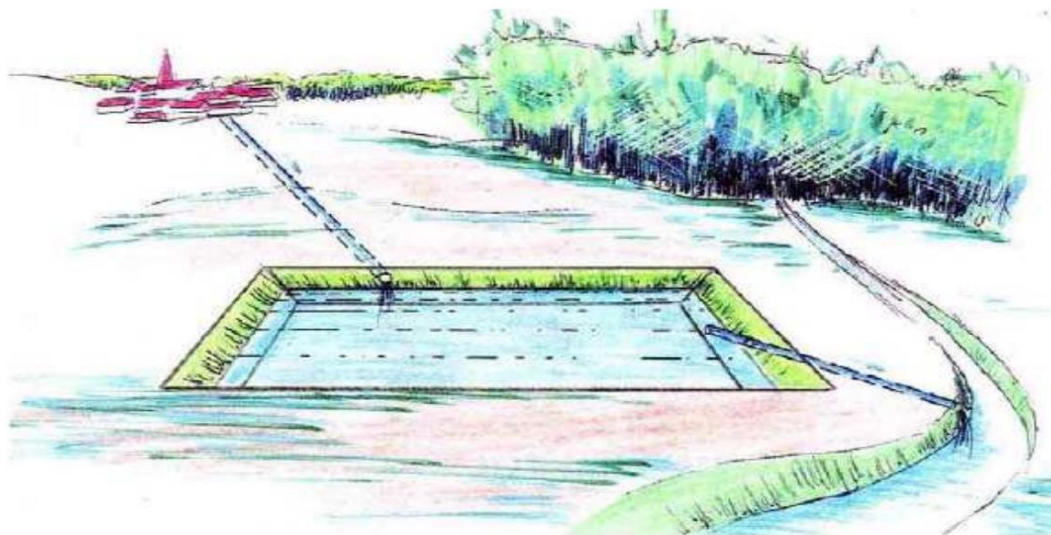


Figura 12 – Bacia em série (Matias,2006)

Uma vez que esta estrutura hidráulica interseta o canal de drenagem, é intuitiva a constatação que todo o escoamento circula na bacia.

No cenário onde o escoamento superficial é regular, a bacia de retenção apenas intersesta o mesmo não armazenando nenhum volume, uma vez que não há necessidade de amortecer nenhum caudal. Em momentos de elevado escoamento, a bacia armazena-o (isto é, a bacia entra no processo de enchimento) mantendo constante o caudal de descarga (Ballard *et al.*, 2015).

2.5.1.2. Bacias em paralelo ou *off-line*

As bacias em paralelo ou *off-line* têm um funcionamento contrário ao das bacias referidas anteriormente, uma vez que a sua instalação se encontra paralela ao canal de drenagem afluente, e não na sua interseção. Este posicionamento, que se observa na figura 13, faz com que apenas circule nesta estrutura o escoamento excedente ao da capacidade de transporte dos canais de drenagem. O escoamento que afluí à bacia de retenção chega até à mesma através de um descarregador lateral (assinalado na figura 13).

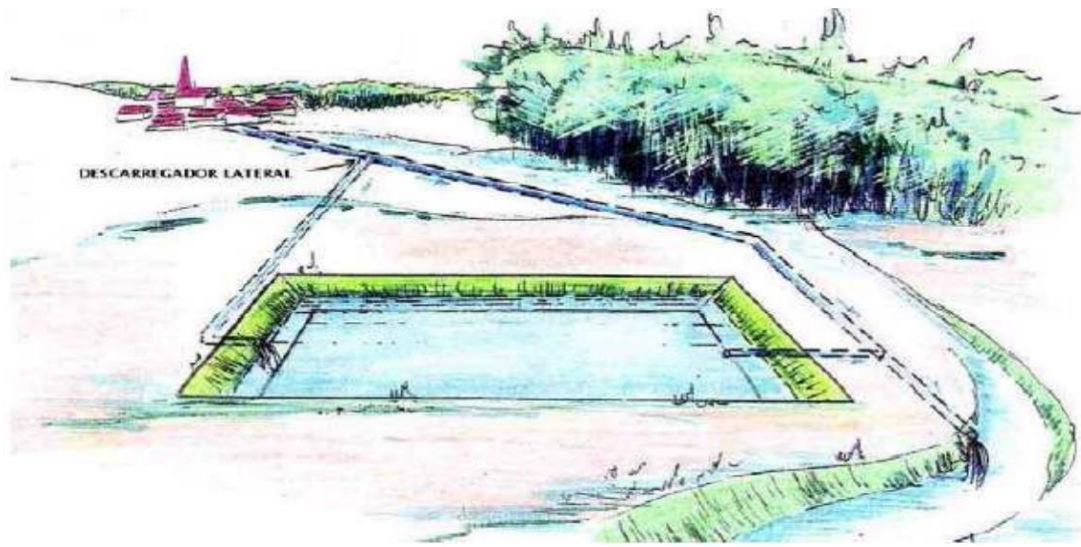


Figura 13 – Bacia em paralelo (Matias,2006)

Uma vez que o escoamento não circula integralmente neste tipo de bacia de retenção, será expectável que as dimensões desta sejam menores, comparativamente às bacias de retenção em série. De salientar que estas estruturas, uma vez que este tipo de estruturas é menos afetado pela acumulação de resíduos e sedimentos, requerem menos cuidados relativamente à sua manutenção e, por isso, menos custos associados (Matias, 2006).

2.5.2. IMPLANTAÇÃO NO TERRENO

2.5.2.1. Bacias superficiais ou a céu aberto

Uma vez que este tipo de bacias é, como o próprio nome indica, a céu aberto, pode assumir formas e funções que mais se adequem à situação em questão. Esta variedade permite que a estrutura sirva

propósitos naturalistas, desportivos/lazer, paisagísticos, recreativos ou de biodiversidade, sendo, por isso, comumente adotadas.

Nas figuras 14 e 15 é possível perceber a vasta gama de funções que este tipo de bacias de retenção pode assumir e, principalmente, o quão convenientes são em ambientes urbanos uma vez que têm a capacidade de recriar ambientes de lazer e de promoção à biodiversidade.



Figura 14 – Bacia superficial em Benthemplein [10]



Figura 15 – Bacia superficial em Santo Tirso [11]

Obedecendo, primordialmente, à topografia do local, estas estruturas hidráulicas surgem do aproveitamento de depressões naturais (desde que constituídas com solos de resistência adequada), escavação de novas depressões (com taludes reforçados ou proteções laterais), ou através da construção de aterros, podendo resultar da simples interceção do escoamento recorrendo a uma pequena barragem ou açude (Matias, 2006; Ballard et al., 2015).

2.5.2.2. Bacias subterrâneas ou enterradas

Como o próprio nome indica, estas estruturas caracterizam-se por se encontrarem abaixo do nível do solo funcionando como reservatórios de regularização subterrâneos. Recorre-se a este tipo de bacias de retenção quando não é possível instalar bacias a céu aberto, uma vez que não requerem área urbana. O facto deste tipo de bacias ser mais económico, também é, muitas vezes, motivo para a sua implantação (Bichanção, 2006).

Construídas no subsolo, muitas vezes subjacentes a parques de estacionamento, parques de lazer ou outros, estas estruturas caracterizam-se pela sua forma tubular, como demonstrado na figura 16. Construídas, usualmente, em PEAD, PP, betão ou aço, depois de instaladas, estes sistemas necessitam de órgãos de bombagem para que possam realizar o seu esvaziamento (Bichanção, 2006).

Para o seu esvaziamento, este tipo de bacias de retenção deve estar munida de um sistema de bombagem (Bichanção, 2006).



Figura 16 – Exemplo de bacia subterrânea [12]

2.5.3.COMPORTAMENTO HIDRÁULICO OU REGIME DE ARMAZENAMENTO

2.5.3.1. Bacias secas ou temporárias

Recorre-se a este tipo de bacias de retenção nas situações em que os problemas de escoamento do sistema ocorrem apenas aquando da ocorrência de episódios de precipitação. Deste modo, as bacias secas (figura 17) caracterizam-se por se encontrarem, na maioria do seu tempo, como o próprio nome indica, secas (Ballard *et al*, 2015).

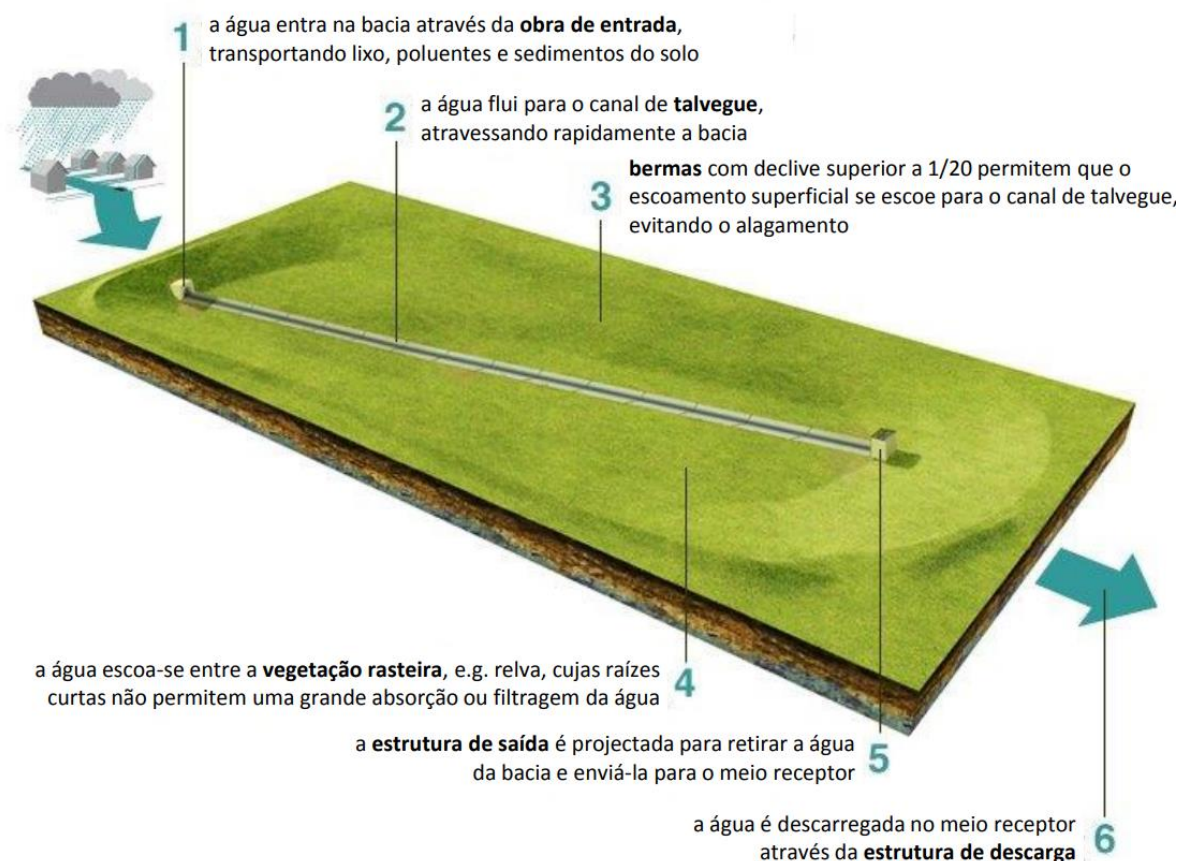


Figura 17 – Bacia superficial seca (Avilez-Valente, 2020)

Por outro lado, constata-se que as bacias de retenção contêm escoamento em momentos que correspondem a eventos de precipitação. Seja o evento pluviométrico pouco ou muito intenso, recomenda-se o esvaziamento destas estruturas em 72 horas (Matias, 2006; Avilez-Valente, 2020).

Não esquecendo que o principal objetivo da bacia de retenção é regularizar o caudal a jusante, neste tipo de bacias de retenção este aspeto é garantido por um órgão de tomada de água que assume um caudal de descarga máximo de Q_T , sendo Q_T o caudal do escoamento superficial afluyente (em condições de pré-urbanização) com o período de retorno T (Avilez-Valente, 2020).

Uma vez que um dos principais requisitos destas bacias é o seu esvaziamento, recorre-se, em muitas situações, a vários descarregadores que se instalam a diferentes níveis, como demonstrado na figura 18.

Os volumes de retenção destes dispositivos são calculados para tempos de retorno de 2 a 10 anos (Avilez-Valente, 2020).

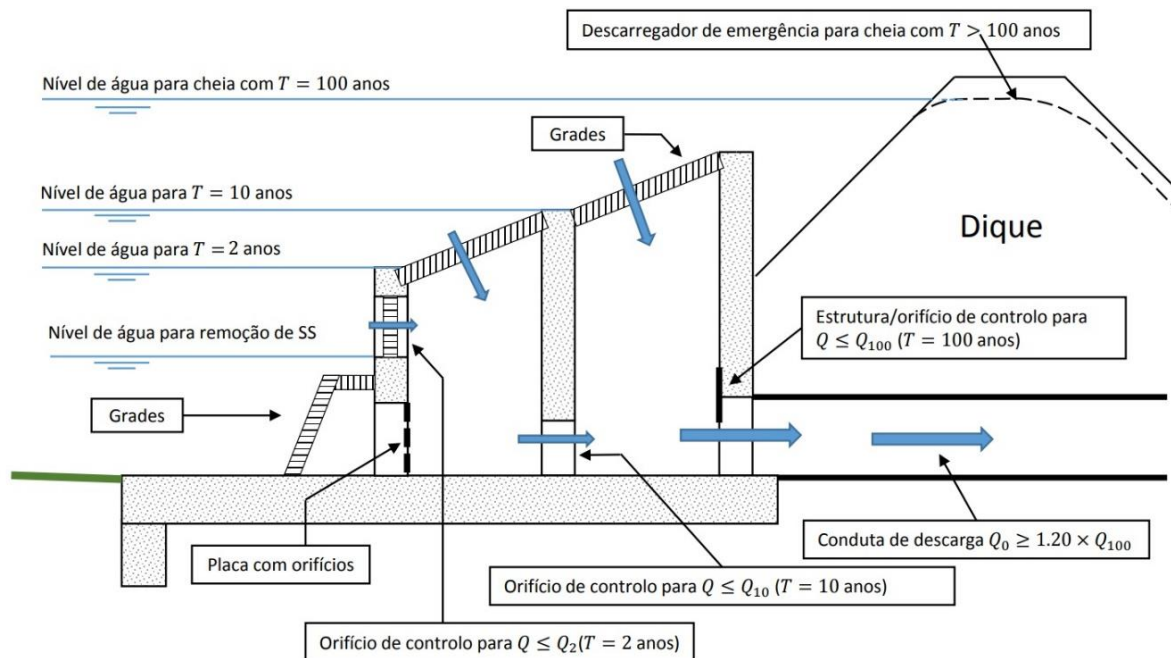


Figura 18 – Tomadas de água de uma bacia superficial seca (Avilez-Valente, 2020)

No momento que se decide adotar este tipo de bacias, é necessário cumprir alguns aspetos construtivos. De acordo com o primeiro poto do Artigo 180.º do RGSPDADAR (MOPTC, 1995):

“1 – Nas bacias secas, a inclinação do fundo não deve ser inferior a 1/20 para impedir a formação de zonas alagadas e as inclinações dos taludes das bermas não podem exceder 1/6 ou 1/2, consoante sejam ou não transitáveis.”

Observando a figura 19, constata-se como deverá ser o perfil transversal tipo de uma bacia seca de acordo com as regras estabelecidas no RGSPDADAR.

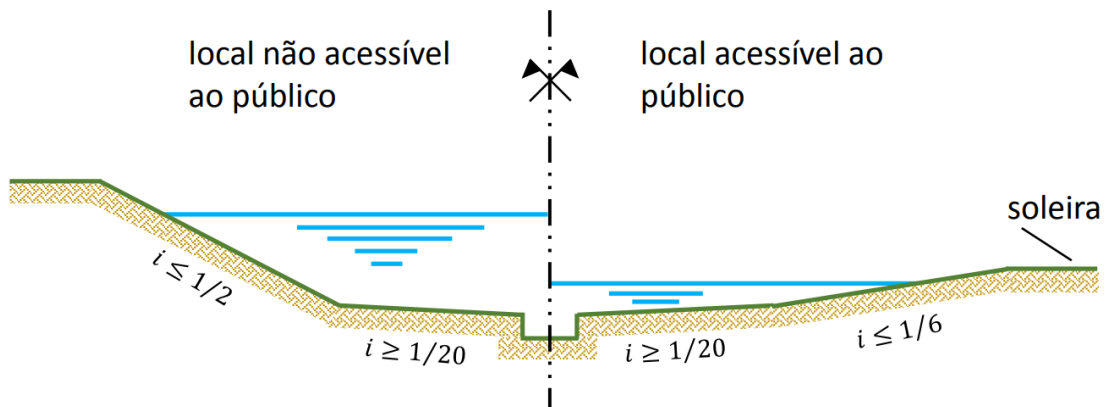


Figura 19 – Perfil transversal tipo de uma bacia seca, de acordo com os aspetos construtivos previstos no RGSPDADAR (Avilez-Valente, 2020)

Relativamente à máxima profundidade que deverá ser adotada neste tipo de estruturas, recomenda-se que este parâmetro geométrico não ultrapasse os 2 m no evento mais extremo considerado no seu dimensionamento (Ballard *et al.*, 2015).

2.5.3.2. Bacias de água permanente ou de detenção

Ao contrário das bacias referidas no ponto 2.5.3.1, as bacias de água permanente ou de detenção caracterizam-se por se encontrarem constantemente com água, mesmo não estando sob um evento pluviométrico. O volume armazenado na bacia aumenta, naturalmente, na ocorrência de precipitação (Ballard *et al.*, 2015).

Na figura 20 é possível perceber o funcionamento deste tipo de bacias, salientando-se o facto destas serem condicionadas pelo nível freático atingido em tempo seco, que deve ser superior à cota do fundo da bacia assegurando, deste modo, a constante presença de água na bacia.

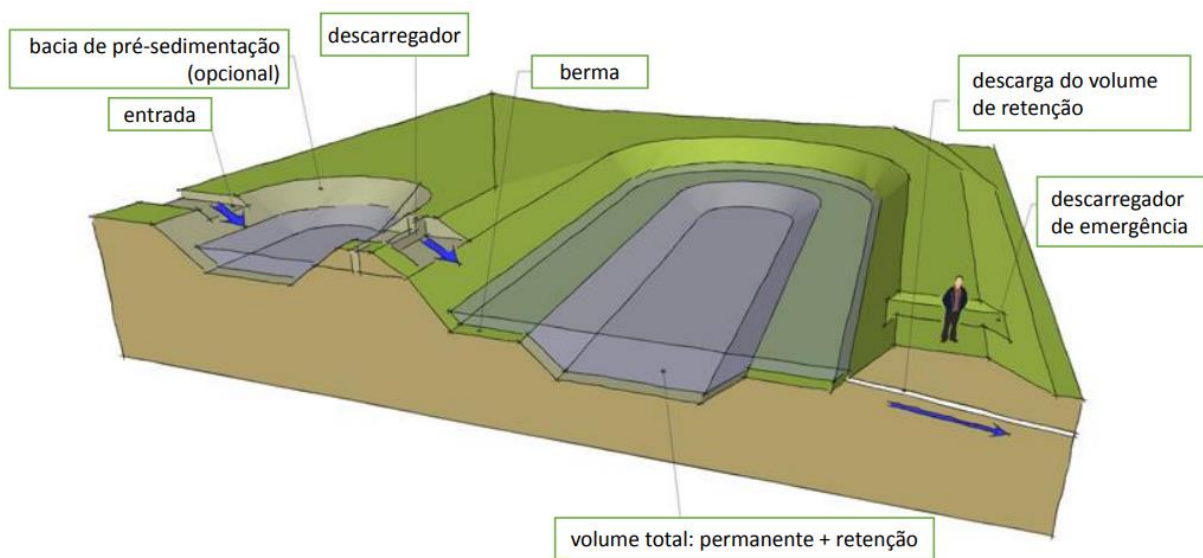


Figura 20 – Bacia superficial de água permanente (Avilez-Valente, 2020)

Para que se possa assegurar um nível de água permanente neste tipo de bacias, é essencial estudar com rigor o balanço hídrico, isto é, relacionar as afluências (escoamento superficial afluente e alimentação do nível freático) e efluências (evaporação, infiltração e escoamento para jusante) (Matias, 2006).

De modo a evitar infiltrações e, por isso, a contaminação das águas subterrâneas, em algumas situações, é necessário recorrer a fundos impermeáveis. Esta medida torna também mais fácil a manutenção do nível da água pretendido (Matias, 2006).

Como nas bacias anteriormente referidas, neste tipo de estruturas é necessário, também, recorrer a descarregadores (figura 21) dispostos em vários níveis que devem ser determinados com base nos volumes de retenção que devem responder.

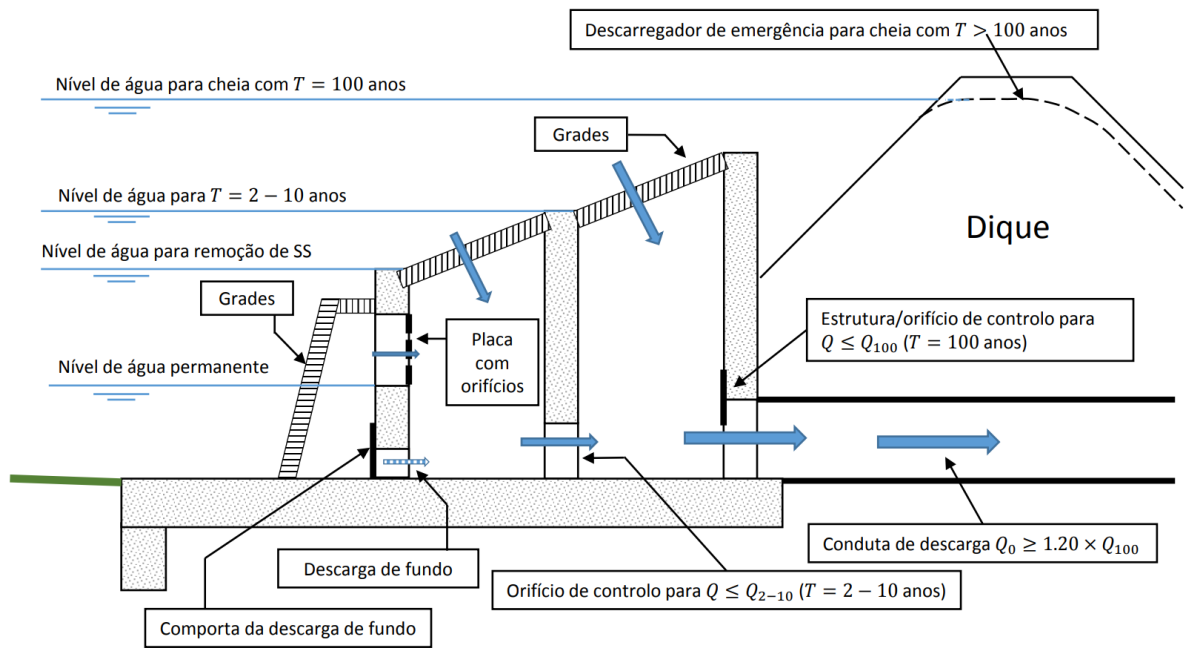


Figura 21 – Tomadas de água de uma bacia superficial de água permanente (Avilez-Valente, 2020)

Recorrendo, novamente, ao Artigo 180.º do RGSPDADAR é possível constatar alguns aspetos construtivos que devem ser cumpridos quando se opta por construir este tipo de bacias de retenção (MOPTC, 1995):

- “2 – Nas bacias de água permanente é aconselhável existir, em tempo seco, uma lâmina líquida permanente de altura não inferior a 1,5 m a fim de evitar o desenvolvimento excessivo de plantas aquáticas e possibilitar a vida piscícola.
- 3 – Estando a bacia de água permanente integrada em zona urbana, deve prever-se uma variação do nível de água de cerca de 0,5 m para a precipitação do período de retorno escolhido e assegurar-se o tratamento conveniente das bermas, considerando nomeadamente:
 - a) Taludes relvados com inclinação não superior a 1/6;
 - b) Parâmetros verticais de 0,75 m de altura, ao longo dos quais se verificam as variações de nível da água;
 - c) Bermas de 2 m a 4 m de largura, no coroamento dos parâmetros verticais, por razões de segurança.”

Deste modo, é possível observar na figura 22 um exemplo de perfil transversal que uma bacia de retenção do tipo permanente deve assumir.

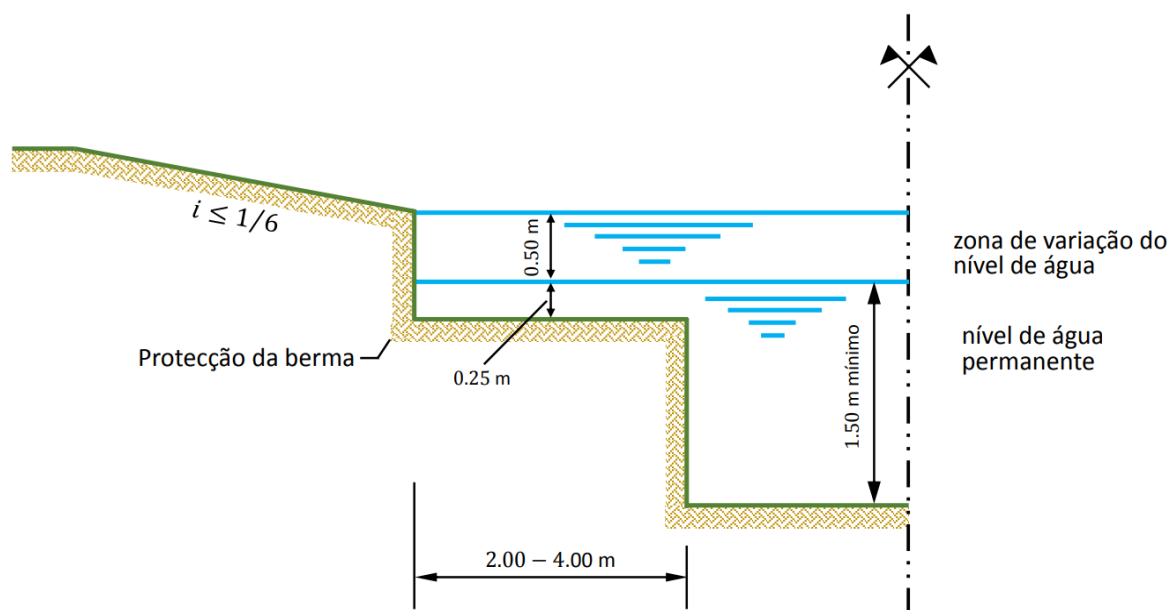


Figura 22 – Perfil transversal tipo de uma bacia de água permanente, de acordo com os aspetos construtivos previstos no RGSPDADAR (Avilez-Valente, 2020)

2.6. DIMENSIONAMENTO DE UMA BACIA DE RETENÇÃO

Como em todos os projetos de engenharia, é imperativo começar por se definir o que move a dita intervenção e que necessidades se pretende responder. No caso do dimensionamento de uma bacia de retenção, é necessário conhecer as necessidades hidrológicas, isto é, o escoamento que é necessário regularizar. A definição do escoamento só é possível depois de conhecida a rede hidrológica que constitui a bacia hidrológica. Este último termo define-se como sendo a área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água, tal que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída (secção de referência), ou seja, constitui uma área que contribui, através da precipitação aí precipitada, para a alimentação de um dado curso de água (Maia, 2022).

Tanto na definição da bacia hidrológica como no estudo da melhor implantação da bacia de retenção, é necessário conhecer a topografia do terreno considerado. Analisando a planta, é possível seleccionar uma área hidrológicamente funcional, e onde se possam evitar grandes movimentos de terra de modo a tornar a intervenção mais económica e mais estável geologicamente.

Conhecida a rede e bacia hidrológica e assumido um evento de precipitação, reúnem-se as variantes necessárias para se determinar o volume que é necessário regularizar, de modo a evitar um excesso de caudal a jusante. Este volume estará associado a uma determinada área inundada e uma determinada carga hidráulica sobre a bacia, também determinadas no processo de dimensionamento (Piqueiro, 2014).

Depois de adquiridos todos os dados necessários, é momento de proceder ao pré-dimensionamento da estrutura hidrológica, isto é, determinar o volume que a bacia de retenção terá de armazenar. Concluído este estudo, é possível atribuir uma dimensão à estrutura para que possa responder ao fim pretendido. Para o efeito, é possível recorrer a metodologias para este fim tais como:

- Método Simplificado;
- Método do Hidrograma Triangular Simplificado;

- Método de regressão de Pagan;
- Método de Wycoff & Singh.

Após o pré dimensionamento da bacia de retenção recorrendo, por exemplo, aos métodos acima mencionados, é necessário recorrer a métodos que permitam especificar, por exemplo, o volume armazenado. Assim, é possível verificar o cumprimento de medidas, tais como os caudais máximos admissíveis em função das condições de jusante. Exemplos destes métodos são:

- Método de Puls;
- Integração Numérica.

2.6.1.MÉTODO SIMPLIFICADO

O método simplificado, também conhecido como método Holandês, é um dos métodos mais expeditos e, por isso, mais indicado para o pré-dimensionamento de uma bacia de retenção. A facilidade deste método deve-se, maioritariamente, ao facto de recorrer às curvas I-D-F da região em análise e à capacidade de vazão máxima dos dispositivos de drenagem a jusante (Decreto-Regulamentar nº 23/95, 1995).

Assim sendo, considerando um determinado intervalo de tempo, o volume de armazenamento necessário (V_a) corresponde à diferença entre o volume de entrada (V_e) e o volume de saída (V_s), isto é:

$$V_a = V_e - V_s, \quad (2.1)$$

Considerando-se que o evento de precipitação decorreu com uma intensidade de precipitação constante ao longo do período de tempo, e que o tempo de precipitação é maior ou igual ao tempo de concentração:

$$V_e = Q_p \times t, \quad (2.2a)$$

$$V_e = C \times A \times I \times t, \quad (2.2b)$$

De modo a garantir a coerência das unidades impostas, é necessário introduzir o valor da intensidade (I) em mm/min. Deste modo:

$$I = \frac{1}{60} \times a \times t^b, \quad (2.3)$$

Substituindo a equação anterior na 2.2b, tem-se:

$$V_e = C \times A \times \frac{1}{60} \times a \times t^b \times t, \quad (2.4a)$$

$$V_e = C \times A \times \frac{1}{60} \times a \times t^{b+1}, \quad (2.4b)$$

O volume de saída é determinado tendo em conta a capacidade de vazão dos dispositivos de descarga da estrutura hidrológica a ser dimensionada. As características dos dispositivos de descarga dependem, por sua vez, do meio recetor. Deste modo conclui-se que o volume de saída é determinado por:

$$V_s = Q_s \times t, \quad (2.5)$$

Substituindo (2.4b) e (2.5) na equação 2.1:

$$V_a = C \times A \times \frac{1}{60} \times a \times t^{b+1} - Q_s \times t, \quad (2.6)$$

Neste método, recorre-se a uma simplificação que considera que o tempo máximo de armazenamento é igual à duração da precipitação, e como tal, no limite quando Δt tende para zero. Deste modo tem-se:

$$\frac{dV_a}{dt} = 0, \quad (2.7a)$$

$$(b + 1) \times C \times A \times \frac{1}{60} \times a \times t^b - Q_s = 0, \quad (2.7b)$$

Reorganizando a equação em ordem a t (que neste caso corresponde ao tempo máximo de armazenamento, t_m) obtém-se:

$$t_m = \left(\frac{60 \times Q_s}{(b+1) \times a \times C \times A} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad (2.8)$$

Substituindo em 2.6:

$$V_a = C \times A \times \frac{1}{60} \times a \times \left(\frac{60 \times Q_s}{(b+1) \times a \times C \times A} \right)^{\frac{b+1}{b}} - Q_s \times \left(\frac{60 \times Q_s}{(b+1) \times a \times C \times A} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad (2.9a)$$

$$V_a = C \times A \times \frac{1}{60} \times a \times \left(\frac{60 \times Q_s}{(b+1) \times a \times C \times A} \right)^{\frac{1}{b}} \times \left(\frac{60 \times Q_s}{(b+1) \times a \times C \times A} \right) - Q_s \times \left(\frac{60 \times Q_s}{(b+1) \times a \times C \times A} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad (2.9b)$$

$$V_a = \left(\frac{60 \times Q_s}{(b+1) \times a \times C \times A} \right)^{\frac{1}{b}} \times \left[C \times A \times \frac{1}{60} \times a \times \left(\frac{60 \times Q_s}{(b+1) \times a \times C \times A} \right) - Q_s \right], \quad (2.9c)$$

$$V_a = \left(\frac{60 \times Q_s}{(b+1) \times a \times C \times A} \right)^{\frac{1}{b}} \times \frac{-Q_s \times b}{(b+1)}, \quad (2.9d)$$

Assumindo o caudal específico efluente por unidade de área ativa da bacia de drenagem definido como:

$$q_s = \frac{Q_s}{C \times A} \times 6, \quad (2.10)$$

Considerando q_s [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] como o caudal específico efluente, Q_s [$\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$] o caudal máximo efluente e A [ha] como a área da bacia hidrográfica, substituindo na equação (2.9d) obtém-se a expressão final:

$$V_a = 10 \times C \times A \times \left(\frac{60 \times q_s}{(b+1) \times a} \right)^{\frac{1}{b}} \times \frac{-q_s \times b}{(b+1)}, \quad (2.11)$$

em que, V_a [m^3] é o volume de armazenamento necessário, A [ha] a área da bacia de drenagem e q_s [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] diz respeito ao caudal específico por unidade área ativa da bacia de drenagem.

2.6.2. MÉTODO DO HIDROGRAMA TRIANGULAR SIMPLIFICADO

A aplicação do Método do Hidrograma Simplificado consiste na definição dos hidrogramas correspondentes às fases de pré e pós urbanização em forma triangular, como representado na figura 23.

Tendo em conta que o hidrograma de saída é dependente da estrutura de drenagem a adotar, conclui-se que este corresponde ao hidrograma de entrada no cenário pré urbanização. Deste modo, determina-se o volume de regularização da bacia de retenção, tendo como objetivo compatibilizar os caudais descarregados após a construção da estrutura e a drenagem dos caudais pré construção. Assim, o volume

de armazenamento a adotar será o correspondente à diferença entre os hidrogramas de entrada dos períodos de pré e pós-urbanização, sendo dado pela expressão (VDOT, 2002; Lima *et al.*, 2006):

$$V = \frac{1}{2} \times T_b \times (Q_i - Q_0), \quad (2.12)$$

em que T_b [s] é o tempo de base do hidrograma, Q_i [m³/s] o caudal de ponta para a situação pós-urbanização e Q_0 [m³/s] o máximo caudal efluente em função da capacidade das estruturas de drenagem a jusante (geralmente correspondente ao caudal de ponta de pré-urbanização).

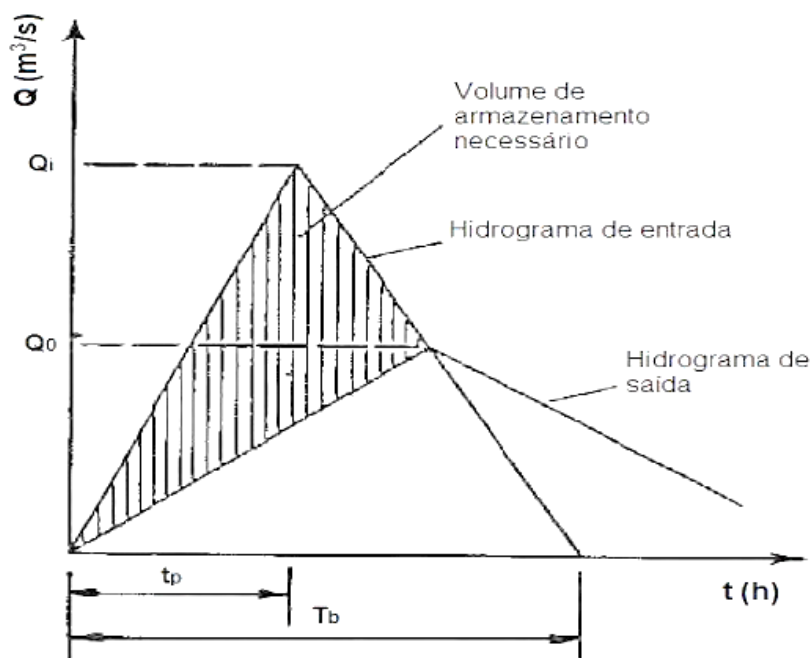


Figura 23 – Representação do volume de armazenamento necessário através do método do hidrograma triangular simplificado. (VDOT, 2002)

2.6.3. MÉTODO DE REGRESSÃO DE PAGAN

O Método de Regressão de Pagan tem como objetivo estimar o volume de armazenamento que a bacia de retenção deve conter, relacionando os caudais de ponta pré e pós urbanização.

Analisando os dados obtidos em inúmeras bacias hidrográficas dos Estados Unidos da América, o autor adotou um parâmetro de armazenamento, SP, cuja curva se representa graficamente na Figura 24, sendo dada pela seguinte equação de regressão (Lima *et al.*, 2006).

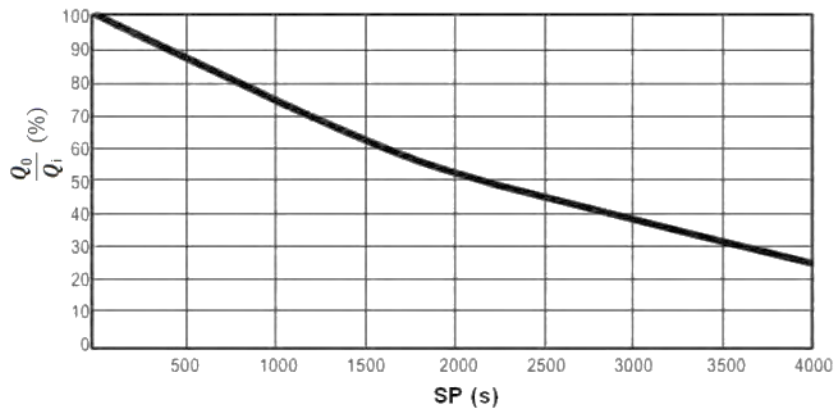


Figura 24 – Parâmetro de armazenamento, SP. (VDOT, 2002)

De salientar que SP [s] diz respeito ao parâmetro de armazenamento, Q_0 [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] ao caudal de ponta para a situação de pré urbanização e Q_i [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] ao caudal de ponta para a situação de pós-urbanização.

2.6.4. MÉTODO DE WYCOFF & SINGH

Wycoff e Singh (1986), com o objetivo de estimarem o volume de armazenamento de uma bacia de retenção, criaram uma equação de regressão que relaciona o volume de escoamento com o volume de armazenamento. Denominaram este método de “Método de Wycoff e Singh” e tem como equações:

$$\frac{V_s}{V_r} = \frac{\left[1.291 \times \left(1 - \frac{Q_0}{Q_i} \right)^{0.753} \right]}{\left[\left(\frac{t_i}{t_p} \right)^{0.411} \right]}, \quad (2.13)$$

Em que:

- V_s [m^3]: volume de armazenamento;
- V_R [m^3]: volume total do escoamento;
- Q_0 [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]: caudal máximo admissível (geralmente tomado como o caudal de ponta para a situação de pré-urbanização);
- Q_i [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]: caudal de ponta para a situação de pós-urbanização;
- t_i [h]: tempo de base do hidrograma de entrada para as condições de pós-urbanização;
- t_p [h]: tempo de crescimento do hidrograma de entrada para as condições de pós-urbanização.

O volume total do escoamento, V_R [m^3], pode ser calculado através da seguinte equação:

$$V_R = \frac{1}{2} \times t_{b0} \times Q_0, \quad (2.14)$$

Considerando:

- t_{b0} [s]: tempo de base do hidrograma para as condições de pré-urbanização;
- Q_0 [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]: caudal de ponta para as condições de pré-urbanização.

Combinando as equações (2.13) e (2.14) obtém-se o volume armazenado, V_s [m^3]:

$$V_S = V_R \times \left(\frac{V_S}{V_R} \right), \quad (2.15)$$

Uma vez determinado o volume de armazenamento da bacia de retenção, V_S , é agora possível determinar, através da equação (2.16), o caudal efluente. Para além disso, é possível estimar a redução do pico do escoamento reescrevendo (2.13) em ordem a $\frac{Q_{0e}}{Q_i}$. Q_{0e} diz respeito ao caudal de descarga máxima para a bacia de retenção. Isto é:

$$\frac{Q_{0e}}{Q_i} = 1 - 0.712 \times \left(\frac{V_S}{V_R} \right)^{1.328} \times \left(\frac{t_i}{t_p} \right)^{0.546}, \quad (2.16)$$

Onde:

- V_S [m^3]: volume de armazenamento;
- V_R [m^3]: volume total do escoamento;
- Q_{0e} [$m^3.s^{-1}$]: caudal máximo admissível debitado pela bacia de retenção;
- Q_i [$m^3.s^{-1}$]: caudal de ponta para a situação de pós-urbanização;
- t_i [h]: tempo de base do hidrograma de entrada para as condições de pós-urbanização;
- t_p [h]: tempo de crescimento do hidrograma de entrada para as condições de pós-urbanização.

2.6.5.MÉTODO DE PULS

Para se recorrer a este método, que também é conhecido como *Pool Level Routing*, é necessário conhecer o hidrograma de entrada da bacia de retenção e as condições iniciais de funcionamento, isto é, ter como dado adquirido a altura de água no interior da bacia de retenção no instante em que o caudal afluente entra na bacia. (Methods & Durrans, 2003; Akan & Houghtalen, 2003).

Posto isto, determina-se que para a utilização deste método é necessário, previamente, realizar um pré-dimensionamento da bacia obtendo-se a forma da secção e as suas respetivas dimensões. Também é necessário conhecer as características dos dispositivos de descarga, em particular o tipo e a altura a que os mesmos se encontram instalados.

De uma forma sucinta, este método recorre a uma equação que converte a massa (uma vez que considera a água como um fluido incompressível) sendo $I(t)$ o hidrograma de entrada e $O(t)$ hidrograma de saída, vem:

$$\frac{dV}{dt} = I(t) - O(t), \quad (2.17)$$

Assumindo um determinado intervalo de tempo, $\Delta t = t_{n+1} - t_n$, fazendo corresponder os volumes de entrada e de saída, respetivamente, $\left(\frac{I_n + I_{n+1}}{2} \right)$ e $\left(\frac{O_n + O_{n+1}}{2} \right)$. Assim, $\Delta V = V_{n+1} - V_n$ diz respeito à variação do volume de armazenamento. Considerando agora o intervalo de tempo, Δt , conclui-se que o volume armazenado se determina:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{(V_{n+1} - V_n)}{\Delta t}, \quad (2.18)$$

Conjugando a equação anteriormente referida com a (2.17), vem:

$$\frac{(V_{n+1} - V_n)}{\Delta t} = \frac{(I_n + I_{n+1})}{2} - \frac{(O_n + O_{n+1})}{2}, \quad (2.19a)$$

Analisando o hidrograma de entrada na bacia de retenção, que funciona como um dado adquirido desde o início da aplicação deste método, obtêm-se os valores de I_n e I_{n+1} . Relativamente aos valores de V_n e O_n , estes são facilmente determinados pela relação volume-descarga, com base nas condições iniciais. Deste modo, é possível reorganizar a equação (2.19^a) da seguinte forma:

$$\left(\frac{2 \times V_{n+1}}{\Delta t} + O_{n+1}\right) = \left(\frac{2 \times V_n}{\Delta t} - O_n\right) + (I_n - I_{n+1}), \quad (2.19b)$$

Na equação (2.19b), os dados que ainda não são adquiridos são V_{n+1} e O_{n+1} . No entanto, através da análise do gráfico $\left(\frac{2 \times V_{n+1}}{\Delta t} + O\right)$ vs O , é possível retirar o valor do caudal, O .

Assim, e para os intervalos de tempo que se seguem, $\left(\frac{2 \times V_{n+1}}{\Delta t} - O_{n+1}\right)$ vem:

$$\left(\frac{2 \times V_{n+1}}{\Delta t} - O_{n+1}\right) = \left(\frac{2 \times V_{n+1}}{\Delta t} + O_{n+1}\right) - 2 \times O_{n+1}, \quad (2.20)$$

2.6.6. INTEGRAÇÃO NUMÉRICA

As condições iniciais exigidas para a aplicação deste método, à semelhança do método anterior, são o conhecimento do hidrograma da bacia de retenção, as condições iniciais, bem como a definição da forma da secção e respetivas dimensões. Também é necessário ter definidas as características dos dispositivos de descarga.

À semelhança do método de Puls, a equação a que este método recorre consiste na conservação da massa onde a variação do nível de água, dh , se relaciona com a variação do volume, dv , e ainda com a área do espelho de água.

$$dV = A(h) \times dh, \quad (2.21)$$

Recorrendo à equação 2.13 e considerando que a descarga depende da altura de água, tem-se que:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{I(t) - O(h)}{A(h)}, \quad (2.22)$$

Designando $\frac{dh}{dt}$ por m , uma vez que $\frac{dh}{dt}$ representa o declive de uma tangente à curva que representa a altura, h , em função do tempo, t , obtém-se:

$$m = \frac{I(t) - O(h)}{A(h)}, \quad (2.23)$$

Conhecido o declive da tangente da curva num tempo considerado, e conhecidas as condições iniciais, nomeadamente a altura, h_n , num tempo considerado t_n , h_{n+1} é calculada por:

$$h_{n+1} = h_n + m \times \Delta t, \quad (2.24)$$

Para o cálculo de m , recorre-se a métodos de aproximação numérica conhecido como o método da quarta ordem de Runge-Kutta onde:

$$m = \frac{1}{6} \times (k_1 + 2 \times k_2 + 2 \times k_3 + k_4), \quad (2.25)$$

Onde:

$$k_1 = \frac{I(t_n) - O(h_n)}{A(h_n)}, \quad (2.25a)$$

$$k_2 = \frac{I\left(t_n + \frac{\Delta t}{2}\right) - O\left(h_n + \frac{k_1 \times \Delta t}{2}\right)}{A\left(h_n + \frac{k_1 \times \Delta t}{2}\right)}, \quad (2.25b)$$

$$k_3 = \frac{I\left(t_n + \frac{\Delta t}{2}\right) - O\left(h_n + \frac{k_2 \times \Delta t}{2}\right)}{A\left(h_n + \frac{k_2 \times \Delta t}{2}\right)}, \quad (2.25c)$$

$$k_4 = \frac{I(t_n + \Delta t) - O(h_n + k_3 \times \Delta t)}{A(h_n + k_3 \times \Delta t)}, \quad (2.25d)$$

Os parâmetros acima referidos são correspondentes a cada intervalo de tempo. Só após a obtenção dos mesmos é possível o cálculo do declive, m , através da equação (2.24) e correspondente nível de água, h .

Representando, então, h em função de t , é possível relacionar o nível de água com a descarga respetiva obtendo-se, finalmente, o caudal a cada intervalo de tempo, bem como o volume máximo armazenado.

É através destes métodos, que analisam o evento de precipitação estipulado, e reunidas as condições de escoamento, que é possível prever o volume necessário a regularizar de modo a restabelecer o caudal que é pretendido a jusante de uma bacia de retenção.

No caso de estudo, estes dados serão determinados através do software SWMM da USEPA, assumindo os dados: hidrograma de caudais afluentes, geometria da bacia e lei de vazão do descarregador principal (em condições normais).

2.7. MANUTENÇÃO DE UMA BACIA DE RETENÇÃO

Para o normal funcionamento de qualquer estrutura é necessário preservar o seu bom estado de modo a preservar o sistema. Com esta atitude de cuidado e manutenção do mecanismo, promove-se o seu eficaz e adequado funcionamento, bem como a probabilidade de se ver aumentado o seu tempo de vida útil.

Tendo em conta a variedade de bacias de retenção que existe, é recomendável que, dependendo da tipologia destas estruturas, sejam adotadas medidas de manutenção que melhor zelem pelo seu normal funcionamento

Considerando a variedade destes engenhos hidrológicos, é espectável que a tipologia e a periodicidade das atividades de manutenção sejam adequadas às suas utilizações e especificidades (Gaspar, 2013).

Devendo as medidas de manutenção ser adequadas ao tipo de bacia de retenção adotada, o projetista que a dimensiona, deve também estipular a manutenção mais adequada ao sistema, tais como a frequências e o tipo de intervenções necessárias, bem como os requisitos necessários para a função. Assim sendo, é expectável que, adjacente ao custo da intervenção estrutural, estejam também contempladas as despesas relacionadas com as atividades de manutenção.

De salientar que a responsabilidade da manutenção adequada deste engenho deve ser atribuída a uma entidade qualificada para o efeito (Ballard *et al.*, 2015).

Uma vez que, como salientado anteriormente, aquando do dimensionamento da bacia de retenção é necessário ter em vista a sua manutenção, devem ser previstos, então, acessos apropriados para estas atividades (Ballard *et al.*, 2015).

Uma vez assumida que a principal função da bacia de retenção é armazenar um determinado volume associado a um escoamento provocado por um evento pluviométrico, e, em simultâneo, contribuir para a melhoria da água escoada, é ainda imperativo assegurar todas as funcionalidades às quais esta estrutura se compromete a cumprir. Assim sendo, apresentam-se nas Tabelas 1 e 2 as medidas de manutenção que devem ser adotadas de acordo com a tipologia da bacia de retenção (secas ou permanentes).

Tabela 1 - Requisitos de manutenção em bacias de retenção secas (adaptado de Ballard *et al.*, 2015)

Tipo de Manutenção	Ação	Frequência típica
Regular	Remover lixos e destroços	Mensal
	Corte de relva nas zonas de acesso, caso exista	Mensal (nas épocas de crescimento), ou como necessário
	Corte de relva na bacia e sua envolvente próxima, caso exista	Semestral
	Gerir restante vegetação e eventual remoção de plantas indesejáveis (designadamente, mortas ou em proliferação excessiva)	Mensal, ou como necessário
	Inspecionar eventuais obstruções nas estruturas de entrada e de descarga e proceder à respetiva limpeza, caso necessário. Limpeza de eventuais dispositivos como desarenadores, câmaras de grades ou retentores de óleos	Mensal
	Inspecionar eventuais danos estruturais	Mensal
	Verificar e testar comportas ou outros dispositivos mecânicos existentes	Anual
	Remover sedimentos das estruturas de entrada, de descarga, corpo principal e bacias de pré-sedimentação, caso existam	Anual, ou como necessário
Ocasional	Replantar áreas de reduzido crescimento de vegetação	Como necessário
	Podar e aparar árvores	De 2 em 2 anos, ou como necessário
Medidas Corretivas	Reparar erosões ou outros danos através da replantação	Como necessário
	Realinhamento do <i>rip rap</i> , caso exista	Como necessário

Reparar estruturas de entrada e/ou de descarga	Como necessário
Nivelamento de superfícies e restabelecimento dos níveis de projeto	Como necessário

Tabela 2 - Requisitos de manutenção em bacias de retenção permanentes (adaptado de Ballard et al., 2015)

Tipo de Manutenção	Ação	Frequência típica
Regular	Remover lixos e destroços flutuantes	Mensal
	Corte de relva em zonas públicas, caso exista	Mensal (nas épocas de crescimento)
	Inspecionar vegetação nos taludes e bermas com eventual remoção de plantas indesejáveis (designadamente, mortas ou em proliferação excessiva)	Mensal (de início, depois como necessário)
	Controlo de qualidade da água com realização de campanhas de medição periódicas (turbidez, hidrocarbonetos, sólidos em suspensão, pH, oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio, entre outros)	Mensal (entre maio e outubro)
	Verificar dispositivos mecânicos existentes	Semestral
	Corte de plantas submersas e emergentes	Anual
	Remover sedimentos das estruturas de entrada, descarga e bacias de pré-sedimentação, caso existam	Em cada 1 a 5 anos, como necessário
Medidas Corretivas	Reparar erosões ou outros danos	Como necessário
	Replantar onde necessário	Como necessário
	Arejamento da bacia quando houver sinais de eutrofização	Como necessário
	Realinhamento ou reparação do <i>rip rap</i> , caso exista	Como necessário
	Reparar ou reabilitar estruturas de entrada e de descarga	Como necessário

2.8. CONTEXTUALIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Baptista (2021) desenvolveu a sua dissertação estudando as afluências indevidas nas redes de drenagem pública e os efeitos das bacias de retenção. Não se desviando do seu principal objetivo, Baptista (2021), aplicando o *software* SWMM (*Storm Water Management Model*), desenvolveu a sua tese modelando e analisando uma secção do trecho do interceptor Selho-Prolongamento, integrante do Sistema de Drenagem e Tratamento de Serzedelo, no concelho de Guimarães, e a possibilidade de implementar uma bacia de retenção de modo a atenuar os efeitos dos caudais indesejados promovendo, simultaneamente, o melhoramento da qualidade dos serviços existentes e a proteção do meio ambiente.

Analisando os riscos de extravasamento em eventos de pluviosidade, simulados pelo *software* SWMM, Baptista (2021) concluiu que estes efeitos aconteciam mais frequentemente nas proximidades da fronteira de São Torcato e Aldão (freguesias da cidade em análise). Culminando este aspeto com o facto de se tratar de uma área desocupada e, por isso, disponível à implementação de uma nova construção, propõe a implantação de uma bacia de retenção *on-line* na zona referida.

3.

CASO DE ESTUDO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO – RIO SELHO

O caso de estudo situa-se no concelho de Guimarães, no distrito de Braga, e, mais concretamente, ao funcionamento hidráulico do “Intercetor de Águas Residuais do rio Selho” que como o próprio o nome o indica, está implantado ao longo da margem desta linha de água

O rio Selho (figura 25), nasce em Santa Marinha, a 580m de altitude e tem 20.91km de comprimento. As cabeceiras deste rio encontram-se no concelho de Fafe. No entanto, a maior extensão acontece ao longo do concelho de Guimarães atravessando-o desde a freguesia de Gonça até Gondar, onde conflui com o rio Ave (Ribeiro et al, 2013).



Figura 25 – Rio Selho, em Guimarães [13] [14]

A intervenção humana ao longo da bacia hidrográfica com efeito ao longo deste curso de água e afluentes, está há muito presente e podem ser observadas através da construção de pontes, moinhos, diques e centrais elétricas e, também, com consequências negativas para o meio ambiente que as envolve. Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), o rio Selho é o único rio da bacia hidrográfica do Ave classificado como um curso de água natural com um estado ecológico “mau” (APA, 2019). A poluição deste curso de água está relacionada com as descargas que efluem no mesmo sem qualquer tratamento e com a acumulação de resíduos sólidos e lixo que cercam as margens do rio (figura 26).



Figura 26 – Poluição no rio Selho resultante de descargas de efluentes domésticos e industriais e lixo nas margens [15] [16]

3.2. MUNICÍPIO DE GUIMARÃES

Situado no distrito de Braga, o Município de Guimarães abrange uma área de 241 km², é constituído por 48 freguesias e tem uma população de 156.852 habitantes, segundo os dados disponibilizados pelos Censos 2021.

É atravessado por três principais cursos de água: rio Vizela, rio Ave e rio Selho (um dos afluentes de rio Ave) todos integrantes da bacia hidrográfica do rio Ave. É no vale do rio Vizela que se encontra o ponto mais baixo do Município com 77 metros de altura altimétrica. Por outro lado, o ponto mais alto do Município, a 613 metros altura, encontra-se a Serra da Penha (Câmara Municipal de Guimarães, 2015).

No que concerne à caracterização da região de Guimarães relativamente à pluviosidade, constata-se um elevado índice de precipitação. Analisando os valores médios de precipitação registados entre 1961 e 1990, verifica-se a variação entre os 200 e 1400 mm anuais, sendo os meses de julho e agosto os que registam menores precipitações ao contrário do mês de dezembro, onde ocorrem os maiores registos de precipitação.

A ocupação do solo é maioritariamente florestal. No entanto, e tal como a maioria do território nacional, nas partes mais urbanas do concelho têm havido uma crescente ocupação residencial e industrial, obrigando, assim, à diminuição da área que era, anteriormente, florestal e agrícola e, tal, com consequências diretas nas infraestruturas de drenagem – quer as naturais quer as artificiais.

Relativamente a infraestruturas públicas de abastecimento de água e saneamento, de acordo com os dados recolhidos até ao fim do ano de 2019, 98% da população do concelho de Guimarães é abastecida pela rede de água pública e 91.6% da mesma está já abrangida na rede de saneamento de águas residuais (Vimágua, 2020).

Apesar deste concelho ser dotado de infraestruturas hidráulicas de drenagem este facto não é suficiente para que a cidade não seja vítima de cheias, inundações e até poluição dos recursos hídricos.

Aquando da ocorrência de fenómenos de precipitação intensos e de curta duração, as zonas mais urbanas dos aglomerados sofrem em muitas áreas inundações. Como fatores principais indicam-se a falta de manutenção dos terrenos florestais e a crescente construção urbanística. Também e em resultado, da falta de capacidade dos sistemas de drenagem existentes, verificam-se situações frequentes de

extravasamentos dos coletores com consequente poluição das linhas de água. Um dos casos é que sucede no “interceptor do rio Selho”, infraestrutura que se estuda na presente Tese.

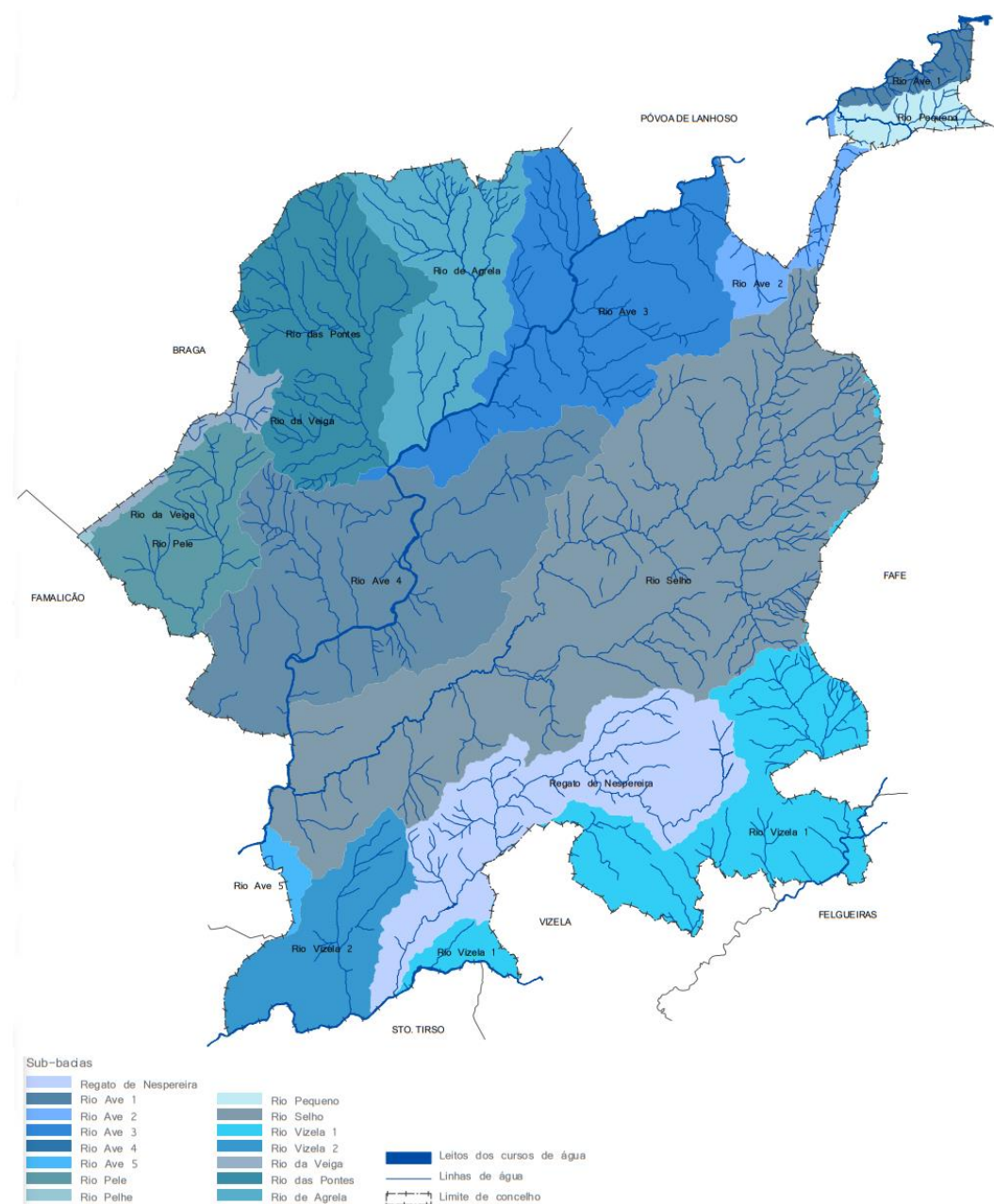


Figura 27 – Mapa hidrográfico do concelho de Guimarães (adaptado de Câmara Municipal de Guimarães, 2015)

3.3. APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE SWWM

Atualmente, no que diz respeito à execução da modelação de sistemas de drenagem de águas, existem diversos softwares capazes de simular e facilitar a análise dos mesmos. Neste projeto, o *software*

utilizado é o SWMM, da *United States Environmental Protection Agency* (US EPA). Com o seu primeiro lançamento em 1971, hoje conta-se a versão mais atualizada lançada a julho de 2020: 5.1.015.

De acesso gratuito e de fácil utilização, este *software* é um modelo dinâmico chuva-vazão que tem como principal préstimo simular a quantidade e qualidade do escoamento superficial dos sistemas de drenagem urbana, sejam eles unitários, mistos, separativos pluviais ou separativos domésticos (Piqueiro, 2019).

Com carácter intuitivo e eficiente, este programa atua num conjunto de sub-bacias hidrográficas que, introduzidos os fenómenos pluviométricos pretendidos, geram um determinado escoamento bem como as respetivas cargas poluidoras. Tendo em conta que o *software* permite que se introduzam os sistemas de drenagem, constituídos por tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento, bombas e elementos de regulação, é possível visualizar um módulo de transporte hidráulico do escoamento em questão. Além disso, atribuído o intervalo de tempo que se pretende simular, o SWMM acompanha a evolução quantitativa (através da determinação da vazão e altura de escoamento), e qualitativa do escoamento não só no sistema de drenagem, mas também dentro de cada sub-bacia (Piqueiro, 2019).

Deste modo, é possível simular um modelo dinâmico precipitação-escoamento que auxilia a gestão da drenagem urbana e que fundamenta as decisões tomadas pelas entidades relativas. Para além disso, este *software* é um excelente instrumento a usar no acompanhamento da exploração, representando no programa as alterações que possam ocorrer em tempo real de modo a possibilitar a coordenação dos planos de contingência exigidos pela proteção civil (Piqueiro, 2019).

MODELAÇÃO DO SOFTWARE

O programa SWMM permite considerar distintos processos hidrológicos que geram escoamentos de áreas urbanas, tais como:

- Precipitações variáveis no tempo;
- Evaporação de águas em reservatórios ou planos estagnados;
- Acumulação e degelo da neve;
- Interceção dos escoamentos pluviais por armazenamento em bacias de retenção;
- Infiltração das precipitações em camadas do solo não saturadas;
- Percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos;
- Troca de escoamentos entre os aquíferos e o sistema de drenagem;
- Modelação do escoamento superficial por ação de albufeiras e outros reservatórios;
- Captação e retenção das precipitações e dos escoamentos em diversos dispositivos de baixo impacto.

Assim sendo, pode-se concluir que esta ferramenta se adequa a qualquer necessidade e a qualquer sistema de drenagem (Piqueiro, 2019).

Um outro fator essencial para o bom funcionamento do SWMM é, de facto, a sua capacidade de analisar as mais diversas condições espaciais. Isto porque o *software* apresenta uma ferramenta de modelagem onde permite a introdução das condições espaciais da zona que se pretende analisar. Assim conclui-se que este *software* não se limita pelas diversas condições geográficas.

De modo a estabelecer a variabilidade espacial, é necessário dividir a área de estudo em áreas menores de captação de água que se relacionem homologamente. A este processo de criação de sub-bacias, é necessário fraciona-las com base nas características permeáveis e impermeáveis. Deste modo, o escoamento é encaminhado nas sub-bacias e tubagens do sistema (Piqueiro, 2019).

Como referido anteriormente, o fluxo decorrente do escoamento superficial e das contribuições externas de vazão são levados através de uma rede de tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento da água, e demais estruturas. Estas ferramentas proporcionam a capacidade de (Piqueiro, 2019):

- Manipular redes de dimensão ilimitada;
- Utilizar uma ampla variedade de geometrias para as condutas, tanto abertas como fechadas, assim como para os canais naturais;
- Modelar elementos especiais como unidades de armazenamento e tratamento, divisores de fluxo, bombas, descarregadores e orifícios;
- Considerar escoamentos externos quanto à qualidade e quantidade, sejam eles superficiais ou provenientes de trocas com aquíferos; infiltrações no sistema de drenagem devido à precipitação RDII (*Rainfall-Dependent Infiltration/Inflow*); águas residuárias em tempos secos (sistemas unitários ou mistos de drenagem) e outros definidos pelo usuário;
- Utilizar tanto o método da onda cinemática como o método completo da onda dinâmica para a propagação dos fluxos;
- Modelar distintos regimes de fluxo, tais como regolho entrada em carga, fluxo reverso e alagamentos;
- Aplicar controles dinâmicos, definidos pelo usuário, para simular o funcionamento das bombas, a abertura de orifícios ou a posição da crista de descarregadores.

Além de modelar a geração e transporte do escoamento (modelação hidráulica), o SWMM também pode estimar a produção e a evolução de cargas de agentes poluentes associadas aos escoamentos (modelação da qualidade). Os processos seguintes podem ser modelados para qualquer número de substâncias associadas à qualidade da água, previamente definidas (Piqueiro, 2019):

- Acumulação do poluente durante o tempo seco, para diferentes usos do solo;
- Lixiviação do agente poluente, em função do tipo de uso do solo;
- Contribuição direta decorrente da própria chuva;
- Diminuição da poluição acumulada devido à limpeza da rua;
- Redução da carga de poluentes transportados por enxurradas, devido a boa exploração;
- Afluência de águas residuais em tempo seco ou outras contribuições externas definidas, em pontos definidos dos sistemas de drenagem;
- Propagação de substâncias associadas à qualidade da água ao longo do sistema de drenagem (modelação espacial);
- Redução da concentração de poluente com tratamentos em reservatórios ou derivada de processos naturais em tubagens, aquedutos ou canais.

3.4. SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA – O INTERCETOR DO RIO SELHO-PROLONGAMENTO

3.4.1. DESCRIÇÃO

As freguesias de Aldão, de São Torcato e a União de Freguesias de Selho São Lourenço e Gominhões enquadram, territorialmente, a área do intercetor em estudo que aglutina a contribuição de 19 sub-bacias drenantes de águas residuais construída (16 situadas a montante do trecho do intercetor em análise e 3 integrantes o trecho de intercetor em causa).

A figura 28 representa, esquematicamente, o interceptor do Selho-Prolongamento assim como as sub-bacias drenantes e seus sistemas de drenagem.

O trecho no qual será realizado o estudo diz respeito ao interceptor do Selho-Prolongamento entre as câmaras de visita CV 5SEL335 (AV431CV0354) e a CV 5SEL300 (AV431CV0319). Tem um comprimento total de 1.163,56m e uma inclinação média de 0,53 % e onde se incluem 36 câmaras de visita. O material dos coletores é PVC corrugado (maioritariamente) e PP corrugado.

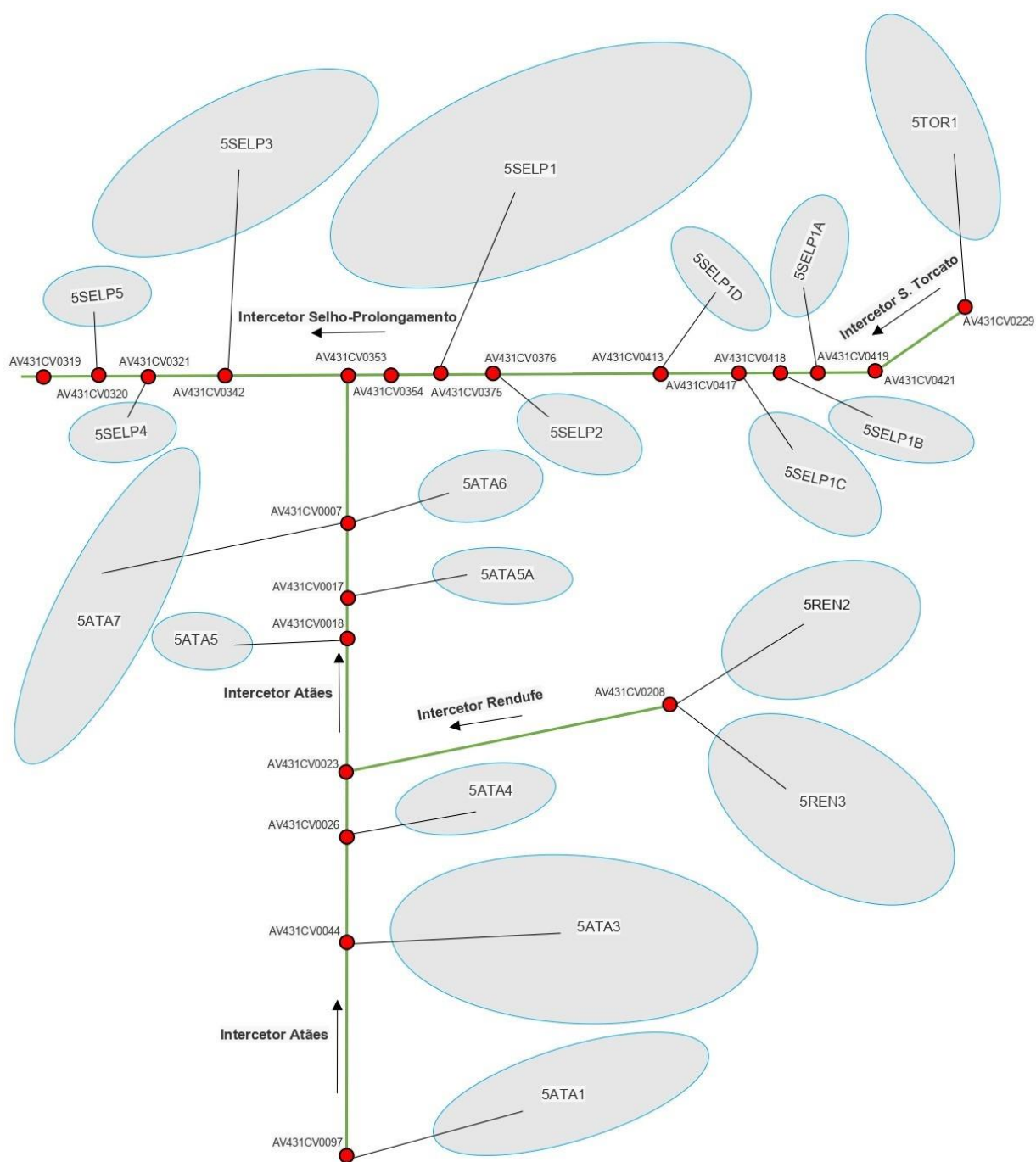


Figura 28 – Representação esquemática do trecho do interceptor do Selho-Prolongamento em investigação, bem como dos seus interceptores subsidiários e das respectivas sub-bacias drenantes (referência)

3.4.2. MODELAÇÃO DE FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO

Com o recurso ao *software* de modelação SWMM - *Storm Water Management Model* (resumidamente apresentado em anexo), foi construído (Baptista, 2021), o modelo do intercetor representando-se as sub-bacias contributivas para o mesmo, bem como os acessórios de drenagem que constituem a zona em questão.

Recorrendo ao *Google Earth*, que foi assumido como o ambiente de trabalho do SWMM procedeu-se à representação do trecho do intercetor do Selho-Prolongamento introduzindo as câmaras de visita (entre a CV 5SEL335 (AV431CV0354) e a CV 5SEL300 (AV431CV0319)) e os coletores que as ligam, tendo em conta a sua situação de referência (a que representa a realidade atual- figura 29).



Figura 29 – Representação das sub-bacias subsidiárias do trecho do Intercetor em estudo (Baptista, Diogo 2021)

Com base na análise da figura 29, observa-se o facto da representação relativa às duas áreas mais a montante corresponderem às 16 sub-bacias referidas anteriormente que contribuem, obviamente, a montante do trecho em análise.

Para além do traçado do intercetor e de todas as características físicas e de cadastro do trecho de intercetor, é importante a definição da chuvada ou das chuvadas possíveis de ocorrer. No caso em estudo considerou-se a chuvada caracterizada na figura 30. Corresponde a uma precipitação que ocorreu em 19 de dezembro de 2019.

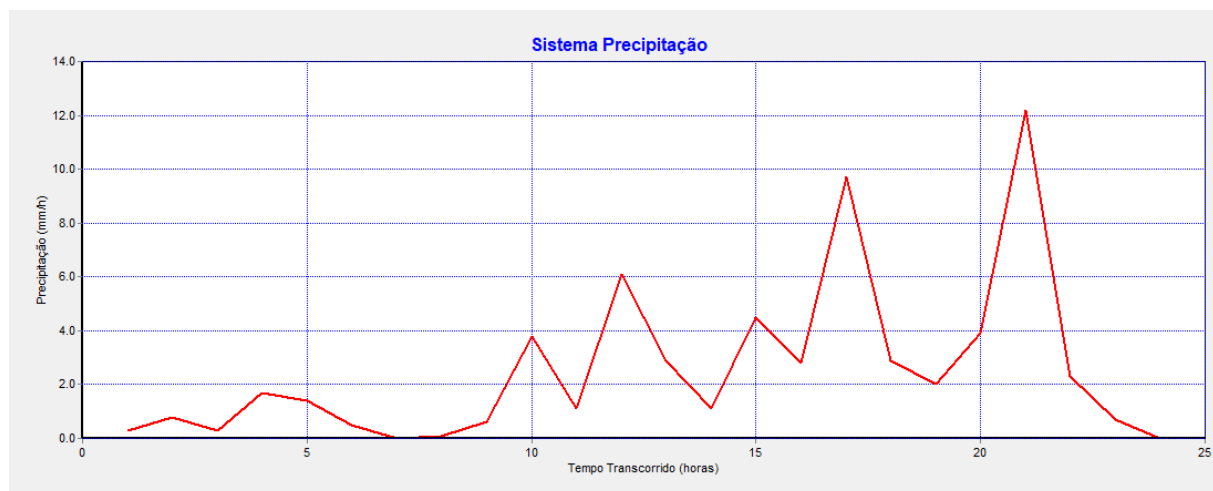


Figura 30 – Sistema de precipitação da chuva de 19 de dezembro de 2019

Esta chuva foi obtida a partir da consulta ao registo de precipitações no posto udométrico de Taipas (na proximidade da área em estudo) e para o período de maior intensidade verificada no período de observação (ano hidrológico 2019/2020 - de 1 de outubro de 2019 a 30 de setembro de 2020). Trata-se de uma chuva com duração de cerca de 24 horas que ocorre após um longo período de pluviosidade nula o que é importante para melhor se entender o efeito da pluviosidade no funcionamento do interceptor.

3.4.3. SITUAÇÃO INICIAL

Uma vez “traçado” o modelo, é possível estudar e avaliar o comportamento hidráulico do trecho de interceptor em análise.

Considerando apenas os volumes contributivos que advêm dos caudais de águas residuais em período de ponta que afluem no trecho em estudo, isto é, analisando uma situação em tempo seco onde não há contribuição de nenhum evento de precipitação, conclui-se o funcionamento expresso pelo perfil de cotas de água que se encontra representado na figura 31.

Na situação referente à figura 31, em tempo seco, já é possível observar que, o interceptor funciona a mais de meia secção na maioria da sua extensão e que entre os trechos AV431CV0332-0331 e AV431CV0333-0332, se verifica sobrecarga hidráulica com consequentes extravasamentos, concluindo-se que a capacidade de transporte instalada não responde às necessidades para as quais deveria ter sido projetado.

Analisando a figura 32, conclui-se que o sistema funciona em carga na maioria do seu trecho com extravasamento num conjunto relativamente grande de extensão com sobrecarga hidráulica nos trechos AV431CV0332-0331, AV431CV0333-0332, AV431CV0337-0336, AV431CV0339-0338, AV431CV0340-0339, AV431CV0341-0340, AV431CV0347-0346, AV431CV0348-0347, AV431CV0349-0348, AV431CV0351-0350 e AV431CV0353-0352.

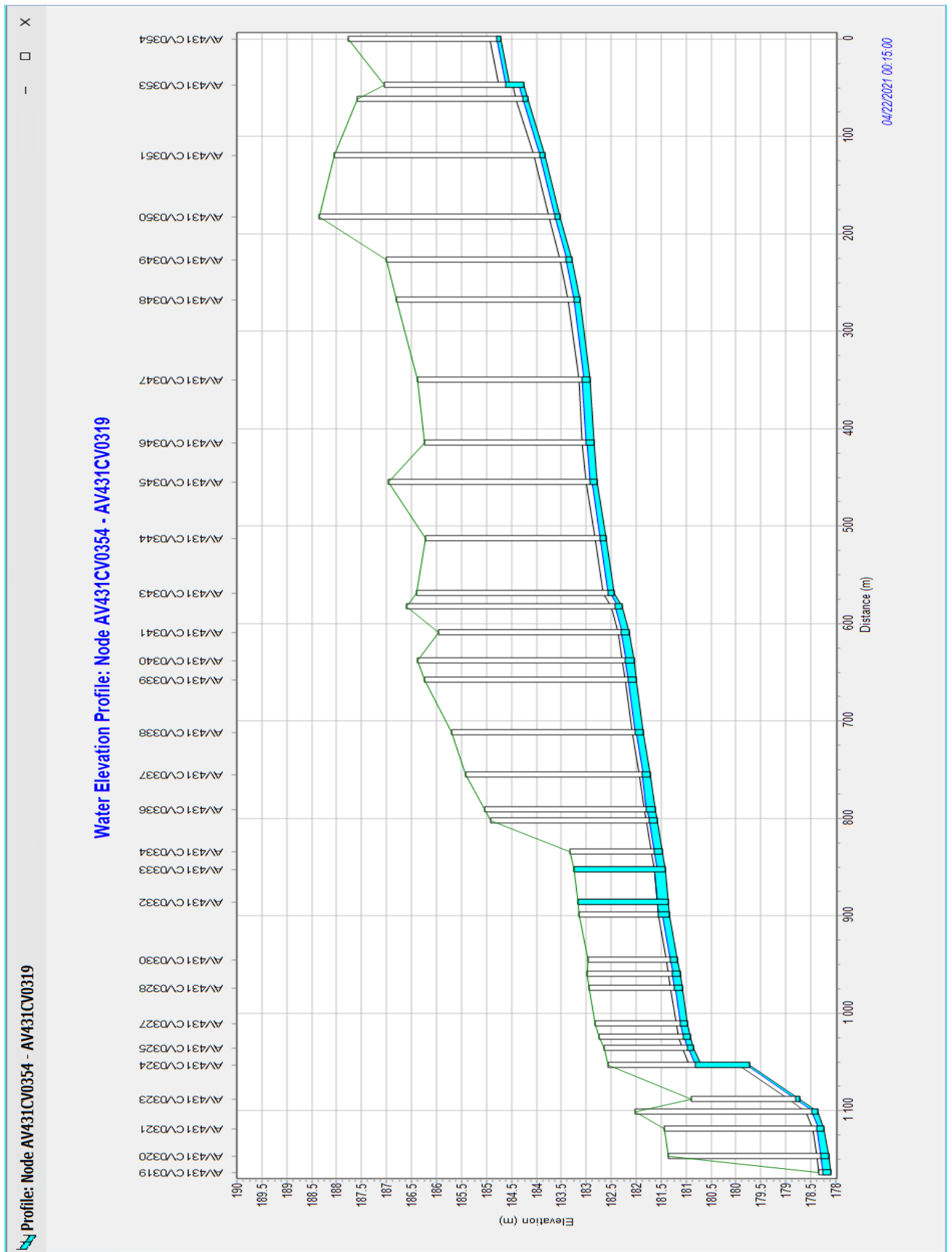


Figura 31 – Simulação da resposta do trecho em estudo, em tempo seco

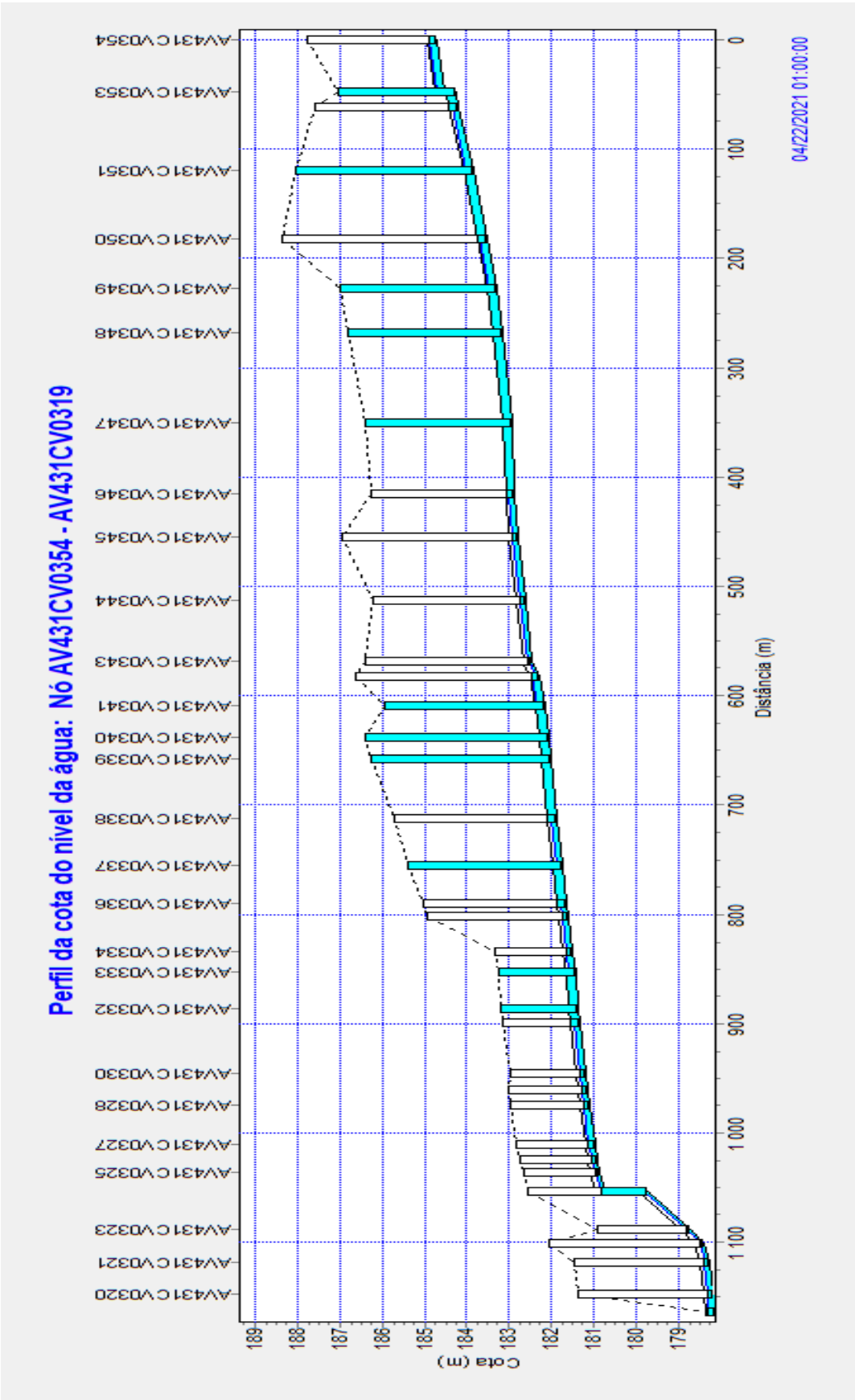


Figura 32 – Resposta do interceptor sem bacia de retenção, após 1 hora de chuvada

Um exemplo de extravasamento em câmaras de visita, é exemplificado na figura 33.



Figura 33 – Extravasamento no interceptor do Selho-Prolongamento [17]

3.4.4. SITUAÇÃO COM BACIA DE RETENÇÃO

No sentido de obviar a este tipo de situações, Baptista (2021) optou por incluir uma bacia de retenção *on-line* e adjacente à fronteira das freguesias de São Torcato e Aldão, ou seja, a montante da câmara de visita CV 5SEL332 (AV431CV0351). Sugeriu esta localização uma vez que se trata de uma zona de frequentes extravasamentos (como o demonstrado na figura 34) na ocorrência de eventos pluviais e com disponibilidade de uma vasta área com dimensões consideráveis e sem construções, o que facilita o processo da sua implantação da bacia de retenção.



Figura 34 – Representação das sub-bacias subsidiárias do interceptor incluindo uma bacia de retenção

Como ponto de partida foi considerada a profundidade máxima para a bacia de retenção em 2m a partir da sua cota de soleira de 185m. Considerando uma área de 40 x 25 m², corresponde a um volume de 2.000 m³.

O efeito desta retenção é indicado nas figuras 35 e 36, respectivamente 1 hora e 21 horas após início da chuvada de referência.

Conclui-se que os efeitos provocados pela chuvada se atenuam sem, no entanto, resolverem a totalidade dos efeitos das afluências indevidas, mantendo-se o cenário de tubagens em carga e de extravasamentos de câmaras de visita.

Deste modo, Baptista (2021) conclui o seu trabalho sugerindo que o aumento de diâmetro em alguns trechos de interceptor ou a consideração de outras capacidades para a bacia de retenção deveriam ser opções a desenvolver.

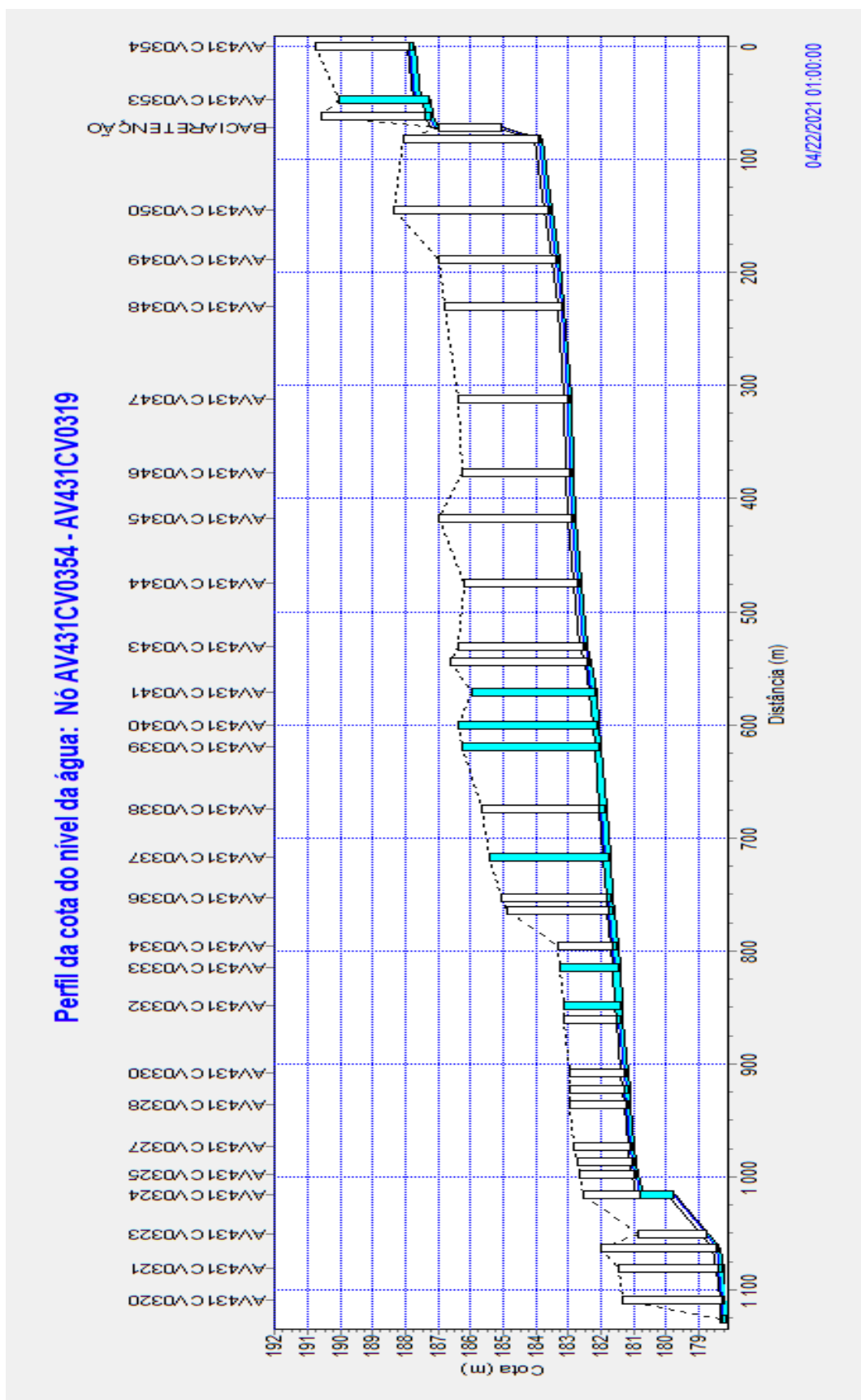


Figura 35 – Resposta do interceptor com bacia de retenção de 2.000 m³, após 1 hora da chuva

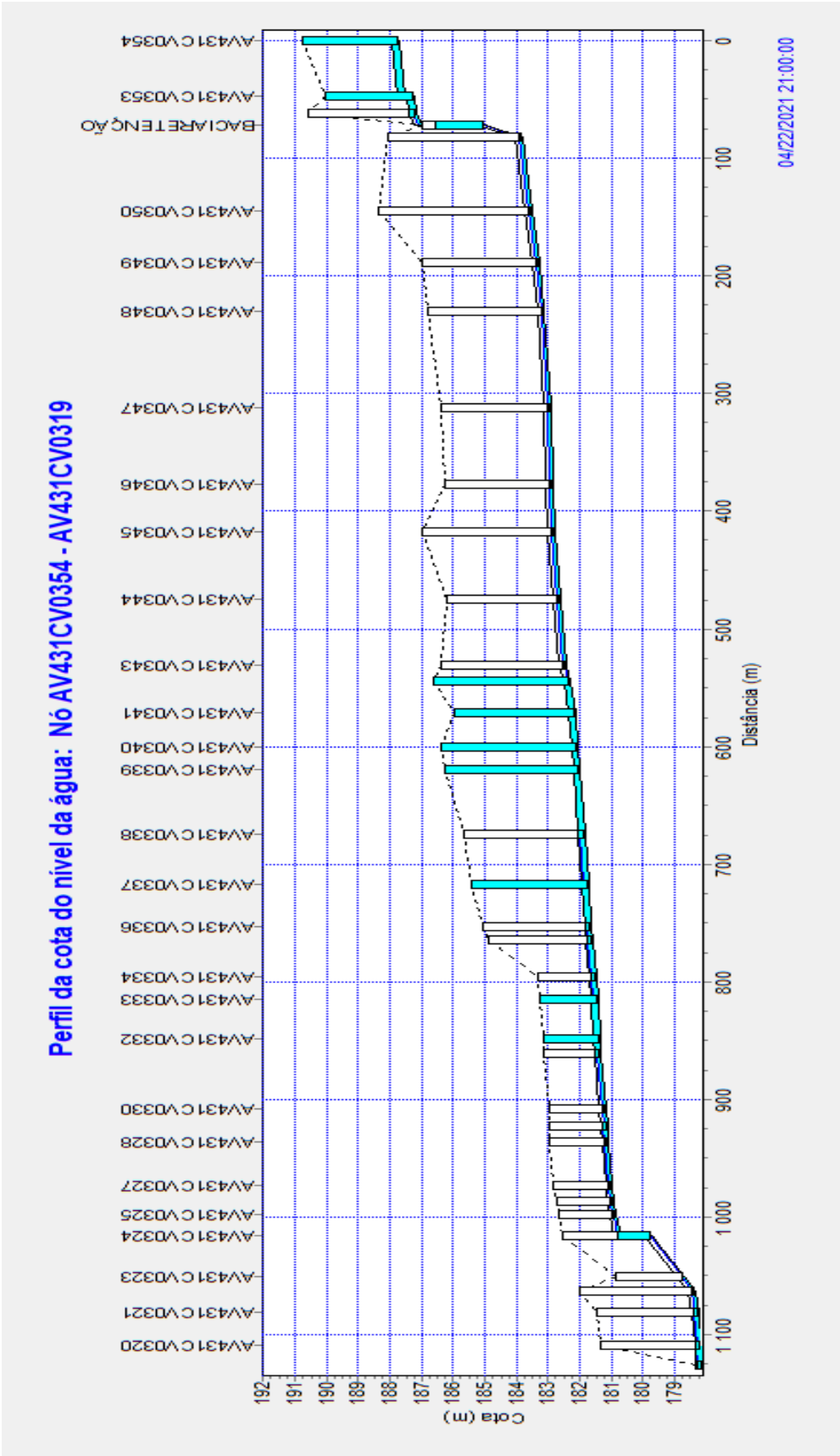


Figura 36 – Resposta do interceptor com bacia de retenção de 2.000 m³, após 21 horas da chuvada

4.

RESULTADOS

4.1. DADOS INICIAIS. SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

Na sequência da consideração final exposta no capítulo anterior, desenvolve-se de seguida as várias hipóteses de solução analisadas, completadas com comentários e conclusões daí decorrentes.

Recorda-se que, na situação de referência, se concluiu o extravasamento em várias câmaras de visita e durante largos períodos do tempo de chuvada em análise.

Para a chuvada de referência preconizada, constata-se que a definição de uma situação mais desfavorável - em termos de extravasamento através das câmaras de visita, não é concordante com a evolução da precipitação, uma vez que o extravasamento das câmaras de visita ocorre em momentos temporais distintos durante a chuvada. Assim, a situação mais critica numa câmara de visita pode não corresponder ao momento mais significativo numa outra.

Por opção prática e de desenvolvimento da explanação, considerou-se nas simulações realizadas o momento das 21 horas desde o início da chuvada, como o mais desfavorável. Este momento corresponde à hora de maior precipitação da chuvada considerada. Tal situação é representada na figura 37. Da sua observação, é possível concluir, de uma forma clara, os trechos de interceptor que se encontram em situação de carga bem como os nós (câmaras de visita) com extravasamento.

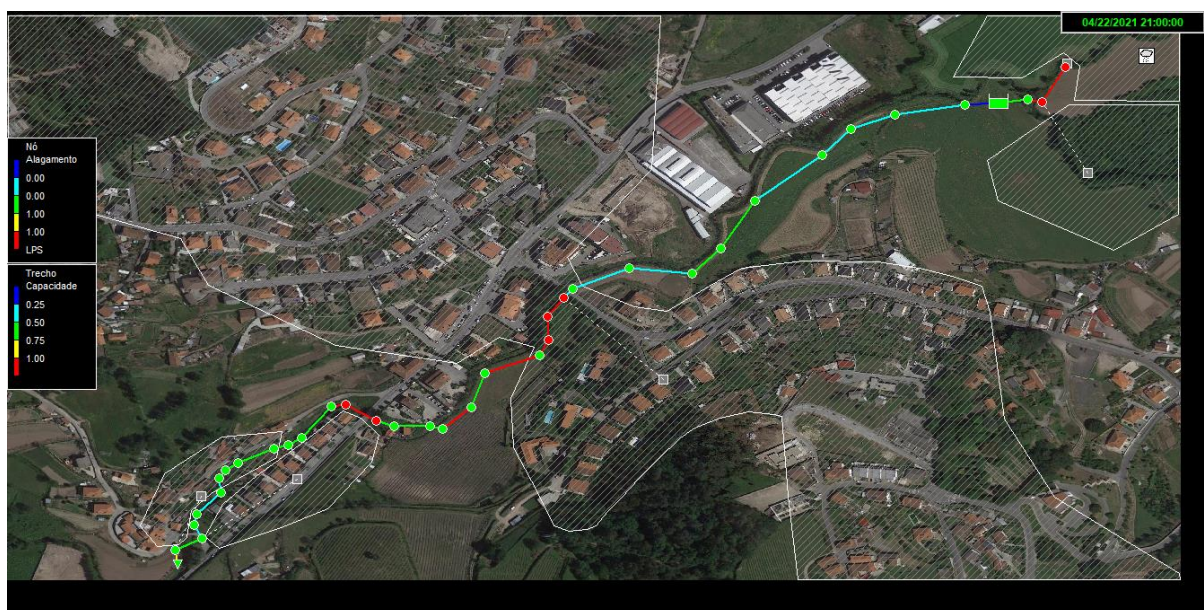


Figura 37 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e extravasamento após 21 horas da chuvada com uma bacia de retenção de 2.000m³

Na Tabela 3 são identificadas as câmaras de visita com extravasamento à hora exemplificativa de 21 horas, indicando-se, também, as cotas máximas atingidas pela água em cada câmara de visita e que correspondem a situações de extravasamento.

Nós	Profundidade máxima (m)	Cota Soleira (m)	Cota máxima (m)
AV431CV0342	4.33	182.28	186.61
AV431CV0341	3.82	182.14	185.96
AV431CV0340	4.33	182.05	186.38
AV431CV0333	1.82	181.42	183.24
AV431CV0332	1.82	181.35	183.17
AV431CV0320	3.2	178.15	181.35

Tabela 3 – Altura de água máxima nas câmaras de visita características às 21 horas

4.2. ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO EM FUNÇÃO DO VOLUME DA BACIA DE RETENÇÃO

Foram consideradas várias hipóteses de solução para diferentes capacidades de bacias de retenção. Nos subcapítulos seguintes são as mesmas consideradas e analisadas.

Nas simulações realizadas, é ainda considerado o evento pluviométrico do dia 19 de dezembro de 2019. No entanto, no sentido de entender a evolução do escoamento e consequente comportamento do trecho após o fim de precipitação, considerou-se um intervalo de tempo de análise de 48h, isto é, de mais 24 horas após o fim da chuvada.

4.2.1. HIPÓTESE I – VOLUME DE RETENÇÃO DE 40.000M³

Pela análise da situação de referência apresentada, é facilmente observável que o trecho em estudo apresenta vários problemas no seu funcionamento hidráulico originando várias situações de extravasamento durante a ocorrência do fenómeno pluviométrico considerado. Numa primeira hipótese atribui-se à bacia de retenção uma área de 20.000m² e uma altura de 2 m (segundo as recomendações de Ballard et al, 2015). Estas dimensões conduzem à consideração de uma bacia de retenção com 40.000m³ de volume de retenção.

Analisando esta hipótese quanto ao alagamento das câmaras de visita características adotadas anteriormente, é possível, através da figura 38, observar a evolução desta variável ao longo das 48h consideradas na simulação.

Analisando o gráfico, conclui-se que ocorre, entre as horas 10 e 25, extravasamentos em todas as câmaras de visita. O alagamento observado mantém-se constante, exceto no nó AVA431CV0320 em que o alagamento deixa de acontecer.

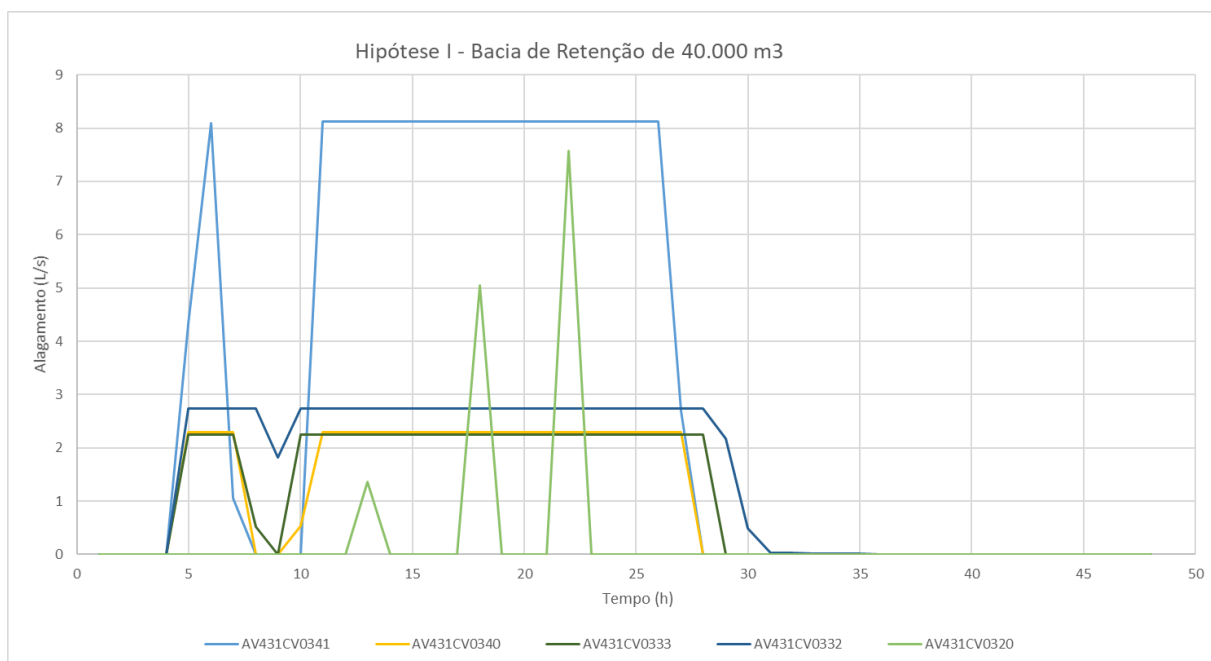


Figura 38 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese I

Após 21 horas desde o início da chuvada, o perfil das cotas de água do trecho em análise bem como a representação da capacidade de transporte e o extravasamento nas câmaras de visita é transcrito, respetivamente, na figura 39 e na figura 40.

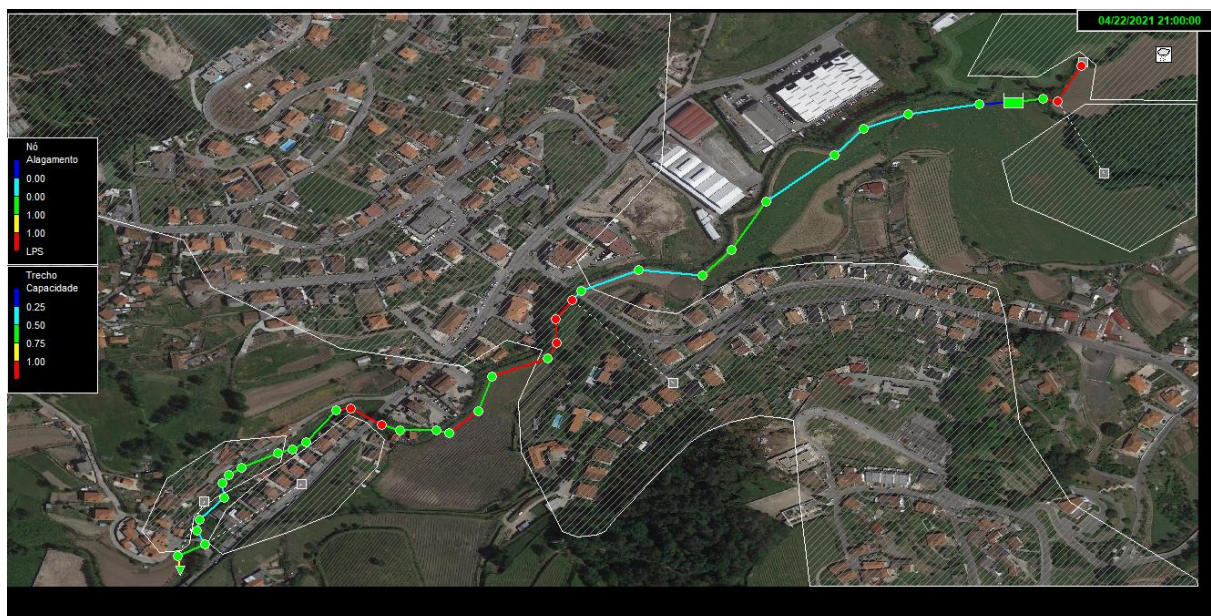


Figura 39 – Capacidade de transporte dos trechos e do alagamento dos nós após 21 da chuvada e com uma bacia de retenção de 40.000m³

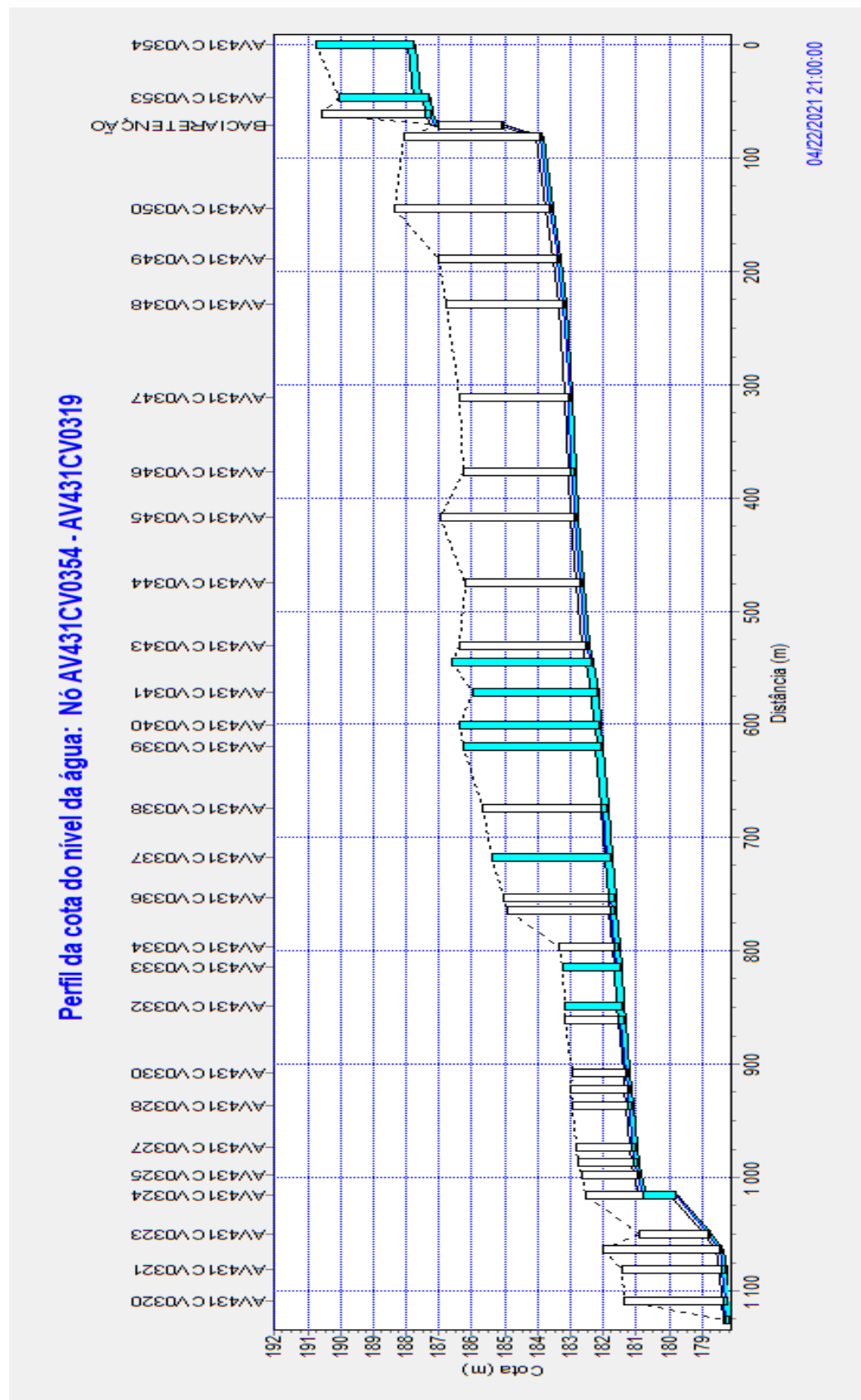


Figura 40 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento das câmaras de visita após 21 horas da chuvada com uma bacia de retenção de 40.000m³

Analisando as duas figuras anteriores, e comparando-as com a situação de referência, conclui-se que não são obtidas melhorias significativas no comportamento do trecho mesmo após a consideração e um volume da bacia de retenção muito significativo.

Por este motivo, esta hipótese é inválida uma vez que envolve a construção de uma estrutura hidráulica significativa que se acompanha com um investimento considerável sem resolver os problemas do sistema de drenagem.

4.2.2. HIPÓTESE II – BACIA DE RETENÇÃO DE 14.000 M³

Perante a ineficiência da hipótese anterior e no sentido de melhor entender o efeito do volume de retenção no funcionamento hidráulico do interceptor, atribui-se à bacia de retenção um volume de retenção menor de 14.000 m³ correspondente a uma área de 7.000 m² mantendo a profundidade de 2.

A evolução do extravasamento das câmaras de visita, consta da figura 41.

À semelhança da hipótese anterior, observa-se que o período entre as 10 e as 25 horas da simulação, aproximadamente, todas as camaras de visitas se encontram alagadas. Também semelhante ao estudo anterior observa-se que o nó AVA431CV0320 não se encontra constantemente alagado. À hora 22 é quando assume o valor máximo de alagamento que corresponde a 7.28L/s.

Para esta situação, obtém-se a representação da capacidade de transporte dos trechos na figura 42 e o perfil dos níveis de água nos coletores do trecho na figura 43.

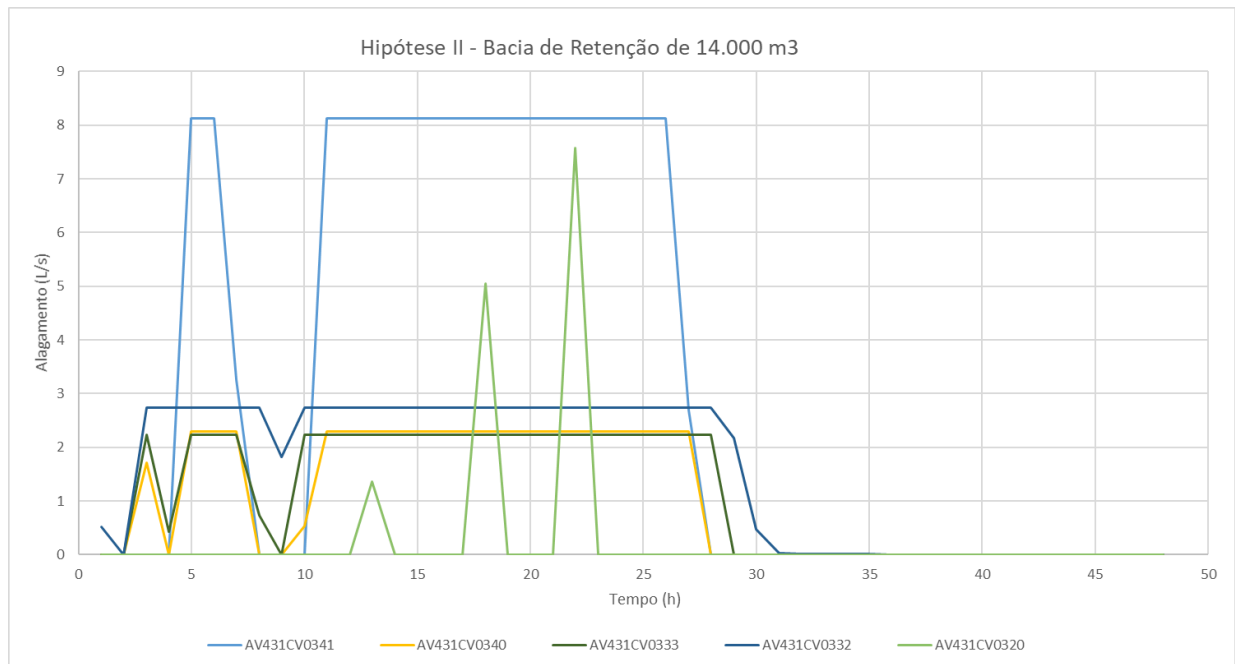


Figura 41 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese II

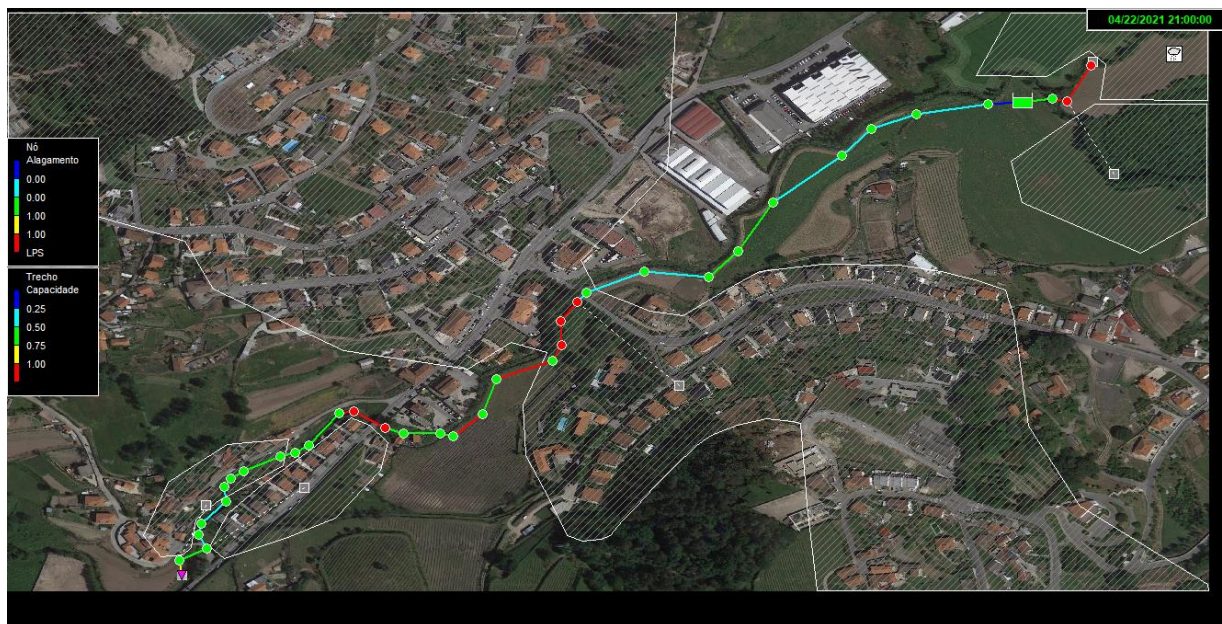


Figura 42 – Capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento nas câmaras de visita após 21 horas da chuvada com uma bacia de retenção de 14.000m³

Conclui-se que, com a mudança referida da capacidade da bacia de retenção não houve melhorias no funcionamento do sistema uma vez que mantém com o mesmo comportamento anterior.

Procurando analisar, de forma mais pormenorizada, a evolução dos volumes retidos ao longo das 48 horas de observação das duas situações de capacidade, elaborou-se a Tabela 4.

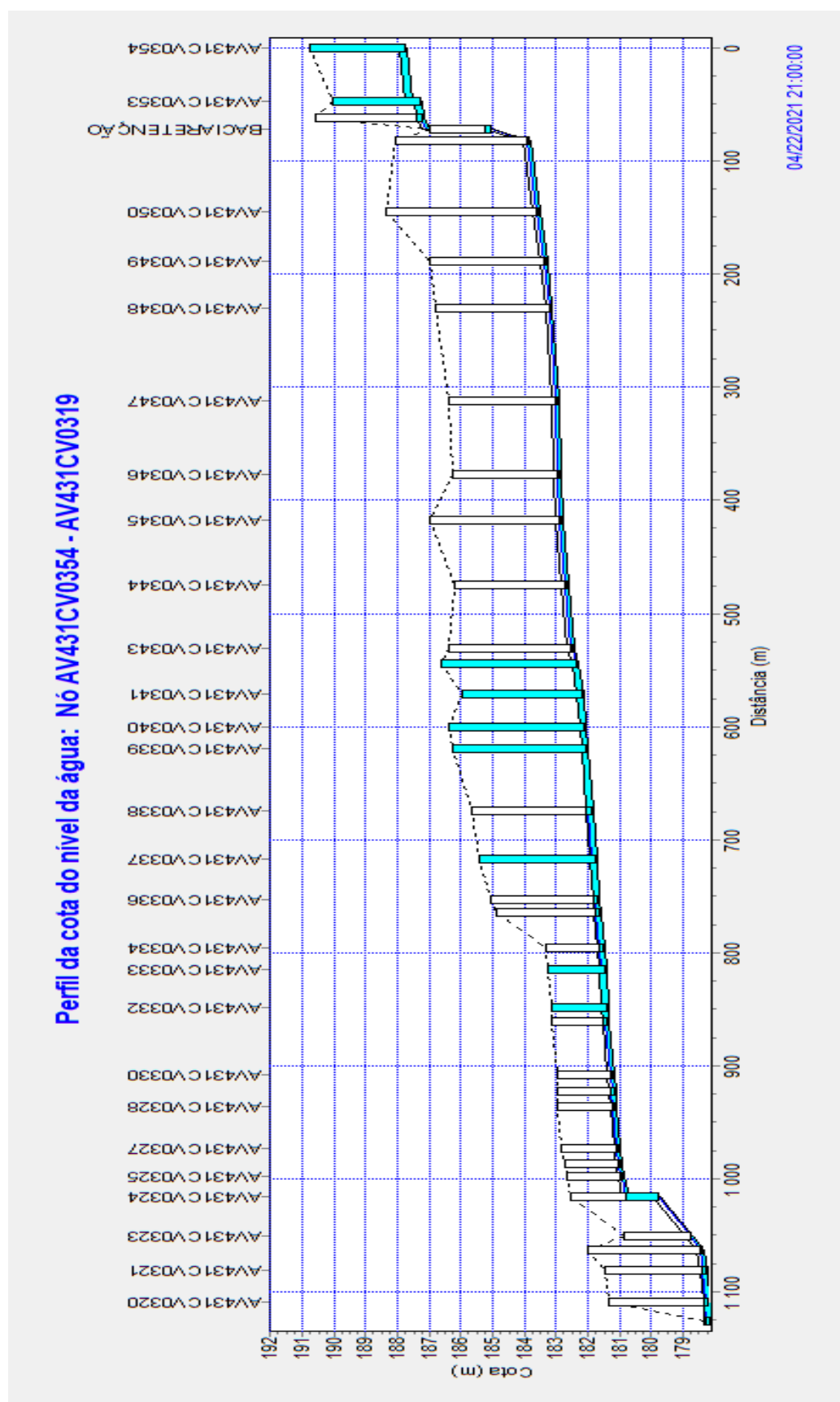


Figura 43 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento nas câmaras de visita após 21 horas da chuva com uma bacia de retenção de 14.000m³

Dias	Horas	Volume (m3)	Dias	Horas	Volume (m3)
1	01:00:00	96.44	2	01:00:00	1963.93
1	02:00:00	185.24	2	02:00:00	2046.02
1	03:00:00	262.98	2	03:00:00	2128.12
1	04:00:00	322.47	2	04:00:00	2210.21
1	05:00:00	402.04	2	05:00:00	2282.54
1	06:00:00	484.13	2	06:00:00	2324.31
1	07:00:00	566.22	2	07:00:00	2346.17
1	08:00:00	636.55	2	08:00:00	2358.63
1	09:00:00	676.01	2	09:00:00	2369.71
1	10:00:00	732.62	2	10:00:00	2380.73
1	11:00:00	814.66	2	11:00:00	2391.71
1	12:00:00	896.76	2	12:00:00	2402.65
1	13:00:00	978.85	2	13:00:00	2413.57
1	14:00:00	1060.94	2	14:00:00	2424.47
1	15:00:00	1143.03	2	15:00:00	2435.35
1	16:00:00	1225.12	2	16:00:00	2446.22
1	17:00:00	1307.21	2	17:00:00	2457.08
1	18:00:00	1389.3	2	18:00:00	2467.94
1	19:00:00	1471.39	2	19:00:00	2478.79
1	20:00:00	1553.48	2	20:00:00	2489.63
1	21:00:00	1635.57	2	21:00:00	2500.47
1	22:00:00	1717.66	2	22:00:00	2511.3
1	23:00:00	1799.75	2	23:00:00	2522.13
2	00:00:00	1881.84	2	00:00:00	2532.96

Tabela 4 – Hipótese II - Variação do Volume de retenção da Bacia de Retenção

Na mesma é traduzida a evolução do volume retido na bacia ao longo de 48 horas durante e após a ocorrência da chuvada de referência, é possível observar que o volume máximo que o trecho necessita de regularizar é de 2.600m³. Será com esta conclusão que surge a Hipótese III. Ou seja, para a capacidade de transporte instalada nos coletores constituintes do intercetor, a capacidade de retenção disponível não é importante pois os coletores têm limites de transporte que levam a um extravasamento constante.

4.2.3. HIPÓTESE III – BACIA DE RETENÇÃO DE 2.600 M³

Nesta Hipótese III, as condições impostas correspondem à consideração de uma bacia de retenção com 1.300m² e 2m de altura (adotando, assim, um volume de retenção de 2.600m³).

No entanto, com o objetivo de reduzir o trabalho de movimento de terras, altera-se a cota da implantação da estrutura hidráulica de 185m para 186m (figura 44).

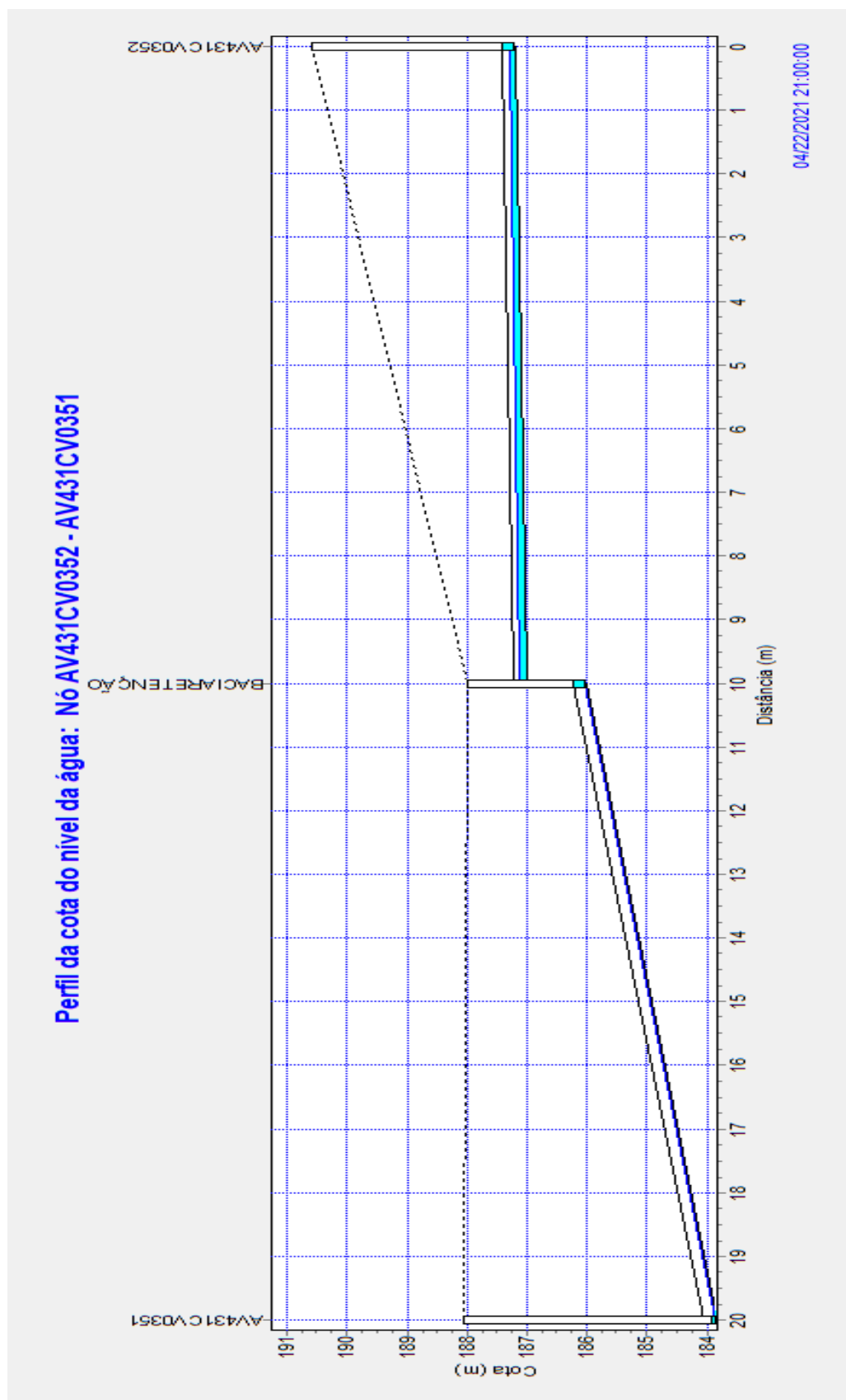


Figura 44 – Posicionamento topográfico da bacia de retenção de 2.600 m³ (comportamento após 21 horas de precipitação)

Na figura 45 encontra-se representada a evolução do alagamento das câmaras de visita características ao longo do tempo da simulação. Comparativamente às duas hipóteses apresentadas anteriormente, os comportamentos dos trechos e consequentes alagamentos das câmaras de visita pouco se alteram. Neste sentido, é previsível que a simulação desta Hipótese III conduza a resultados igualmente insatisfatórios.

As figuras 46 e 47 que correspondem, respetivamente, ao comportamento dos trechos do interceptor e ao perfil da cota da água e (ambas após 21 horas da chuvada), traduzem os resultados principais obtidos para estas novas condições.

Analisando o comportamento do sistema nas condições desta hipótese, conclui-se que as zonas problemáticas do trecho ainda não se encontram solucionadas. Como conclusão, pode afirmar-se e pelas razões já apontadas, que não será a partir da capacidade da bacia de retenção que as situações em causa serão solucionadas, concluindo-se que se deverá intervir na capacidade de transporte dos coletores, ou seja nos seus diâmetros.

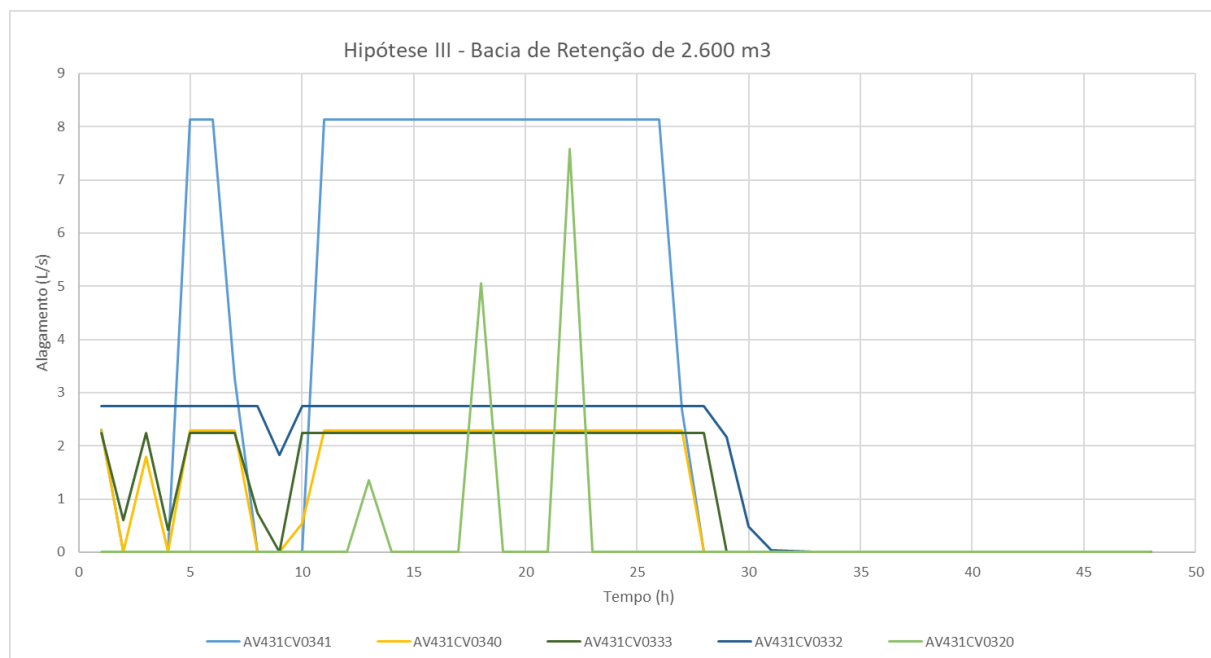


Figura 45 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese III



Figura 46 – Capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento das câmaras de visita após 21 horas da chuvada com uma bacia de retenção de 2.600m³

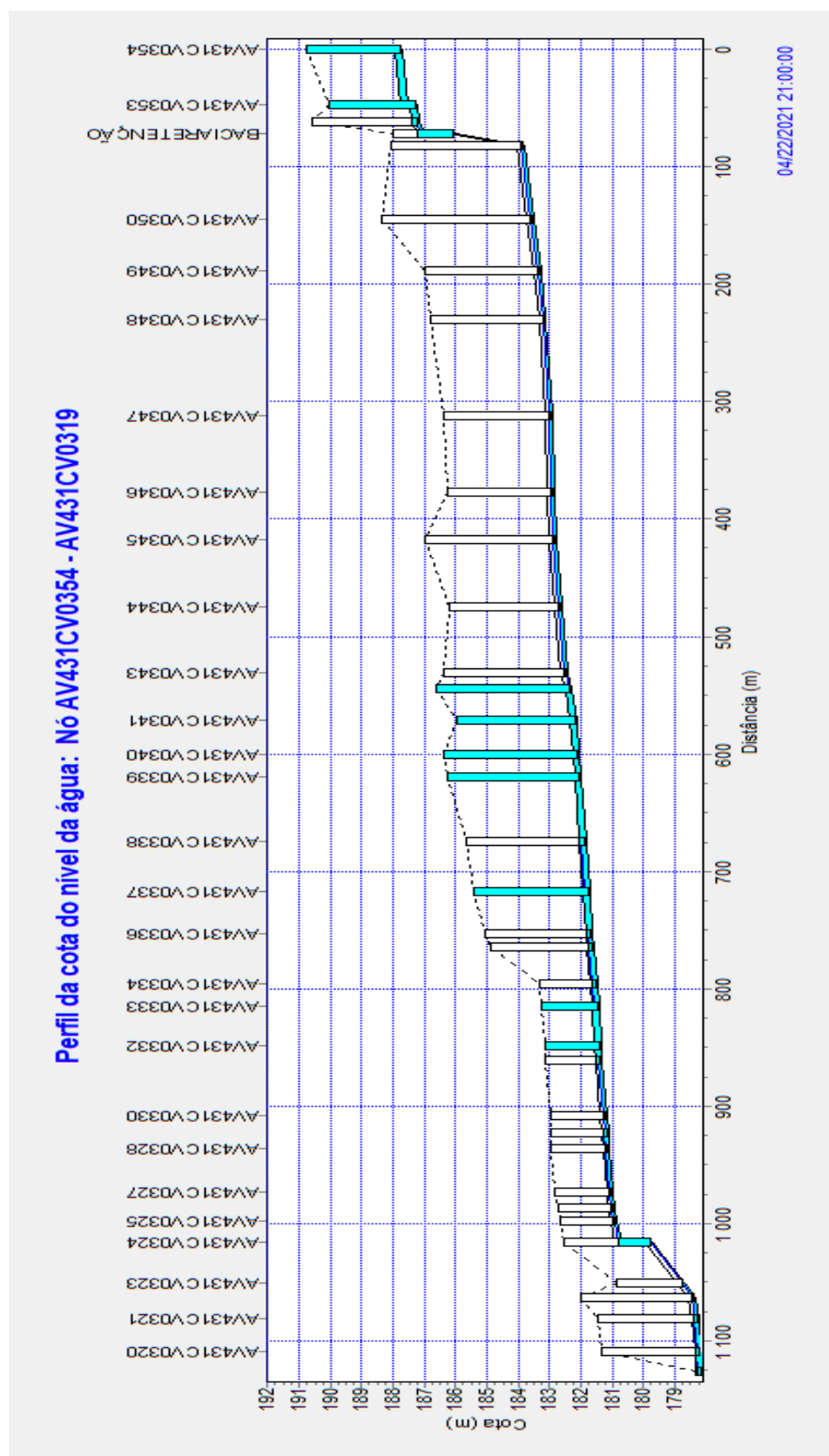


Figura 47 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e do extravasamento das câmaras de visita após 21 horas da chuva e com uma bacia de retenção de 2.600m³

4.2.4. HIPÓTESE IV – BACIA DE RETENÇÃO DE 2.600M³ E ALTERAÇÃO DOS DIÂMETROS A JUSANTE DO NÓ AV431CV0343

Sendo o primordial objetivo solucionar as situações de extravasamento das câmaras de visita, a análise do comportamento do interceptor nas hipóteses apresentadas anteriormente, conduz à conclusão que, de facto, a solução passará pelo aumento dos diâmetros dos trechos nos últimos cerca de 600m a jusante da bacia de retenção.

Uma vez que o DN300 que constitui o trecho não responde às necessidades hidrológicas do mesmo, foram experimentados e simuladas hipóteses de outros diâmetros a adotar no trecho chegando, por fim, ao DN800. O incremento deste diâmetro é adotado nos últimos 600m do trecho, aproximadamente.

Tal como nas hipóteses anteriores, foi estudado o alagamento das câmaras de visita em função do tempo nas condições da Hipótese IV (figura 48).

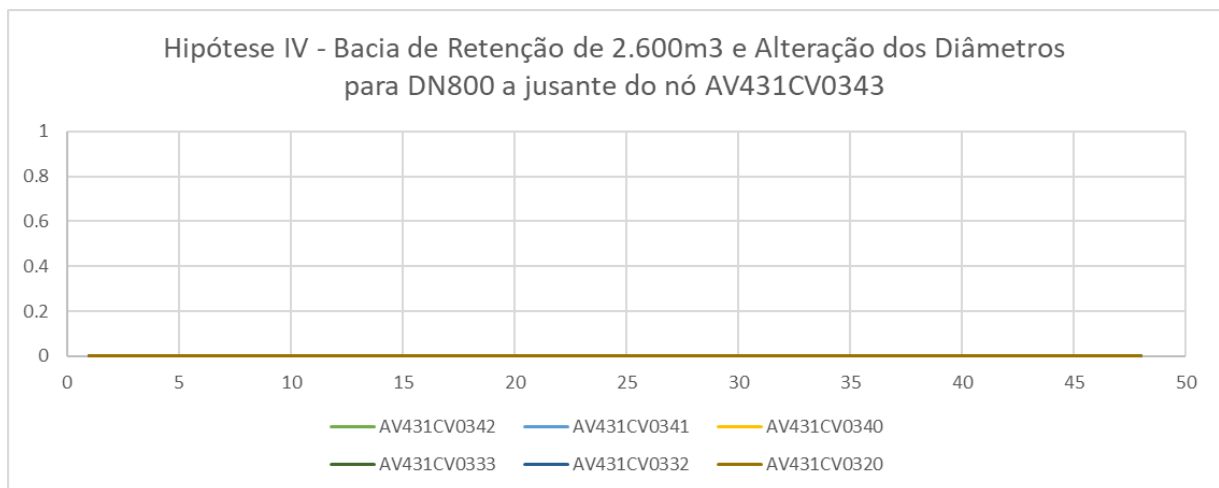


Figura 48 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese IV

Analisando a figura anteriormente apresentada e comparando-a com as figuras 38, 41 e 45, constata-se um comportamento diferente desta variável. Nesta hipótese, e tal como constituía o objetivo, não existe alagamento em nenhuma câmara de visita no total das 48 horas analisadas.

Apresentam-se nas figuras 49 e 50 os resultados obtidos para a Hipótese IV.

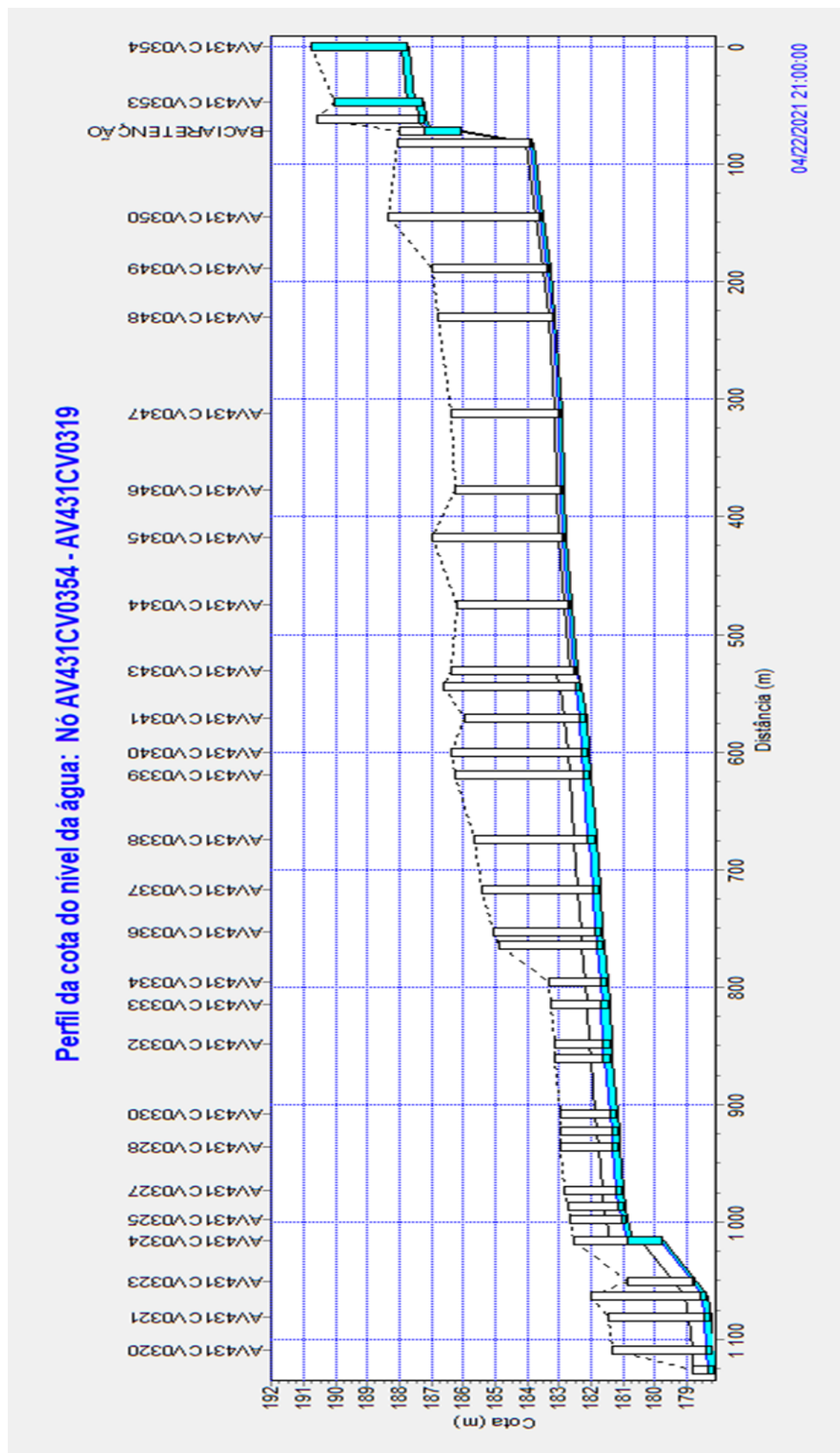


Figura 49 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e de extravasamento de câmaras de visita após 21 horas de chuvada, com uma bacia de retenção de 2.600m³ e aumento do diâmetro



Figura 50 – Capacidade de transporte dos trechos e do de extravasamento de câmaras de visita após 21 da chuvada com uma bacia de retenção de 2.600m³ e aumento do diâmetro

Nestas condições, conclui-se que o interceptor passa a funcionar corretamente uma vez que não apresenta nenhuma situação de extravasamento das câmaras de visita nem de situação de carga dos trechos, no momento simulado.

No entanto, há ainda a realçar a situação de extravasamento que se verifica a montante da planeada bacia de retenção em que se verificam situações de alagamento e sobrecarga hidráulica.

Neste caso, também seria necessário redimensionar a bacia de retenção uma vez que a quantidade de caudal a amortizar seria mais significativo. Tal se conclui uma vez que, analisando o perfil de cotas da água no perfil anteriormente apresentado, se observa que a bacia de retenção está completamente preenchida de água podendo significar que se encontra alagada.

4.2.5. HIPÓTESE V – BACIA DE RETENÇÃO DE 2.600M³, ALTERAÇÃO DOS DIÂMETROS A JUSANTE DO NÓ AV431CV0343 E ALTERAÇÃO DA INCLINAÇÃO DO NÓ AV431CV0344 AO NÓ AV431CV0324

As condições que constituem a hipótese anterior consistem na alteração dos diâmetros do trecho a jusante do nó AV431CV0343. O diâmetro que se pretende implementar é DN800.

Constatando que as dimensões de diâmetro nominal de 800mm são significativas para o trecho, a Hipótese V analisa a possibilidade de, alterando a inclinação do trecho dos nós AV431CV0344 ao nó AV431CV0324, ser possível adotar um diâmetro dos trechos de menor dimensão.

Constatando que a cota do nó AV431CV0344 é de 182.60m e que a cota do nó AV431CV0324 é de 179.72, e considerando, também, que a distância que separa estes nós é de 541.12m, conclui-se que a inclinação média é de cerca de 0.5% que se adotará.

Para estas novas condições, foram realizadas várias tentativas de simulação com os diâmetros DN300, DN400, DN500, DN600 e DN630. O último diâmetro referido, foi o adotado nesta simulação uma vez que os inferiores ao mesmo apresentavam problemas de alagamento no trecho em estudo.

Na figura 51 é possível observar o novo perfil hidráulico bem como a cota da água nas tubagens à hora 21 do estudo. Na figura 52, os resultados principais obtidos para estas novas condições.

Analisando a figura apresentada, é possível observar que nos momentos 18 e 22 das 48 horas analisadas apresentam alagamentos no nó AV431CV0320, ou seja, a jusante do trecho de interceptor que se estuda. Daí se conclui que o problema continua embora se desloque mais para jusante, o que se compreende dado o facto de não se ter alterado nenhuma condição de implantação em particular os diâmetros dos trechos a jusante e, portanto, a partir daí haver uma redução de diâmetro.

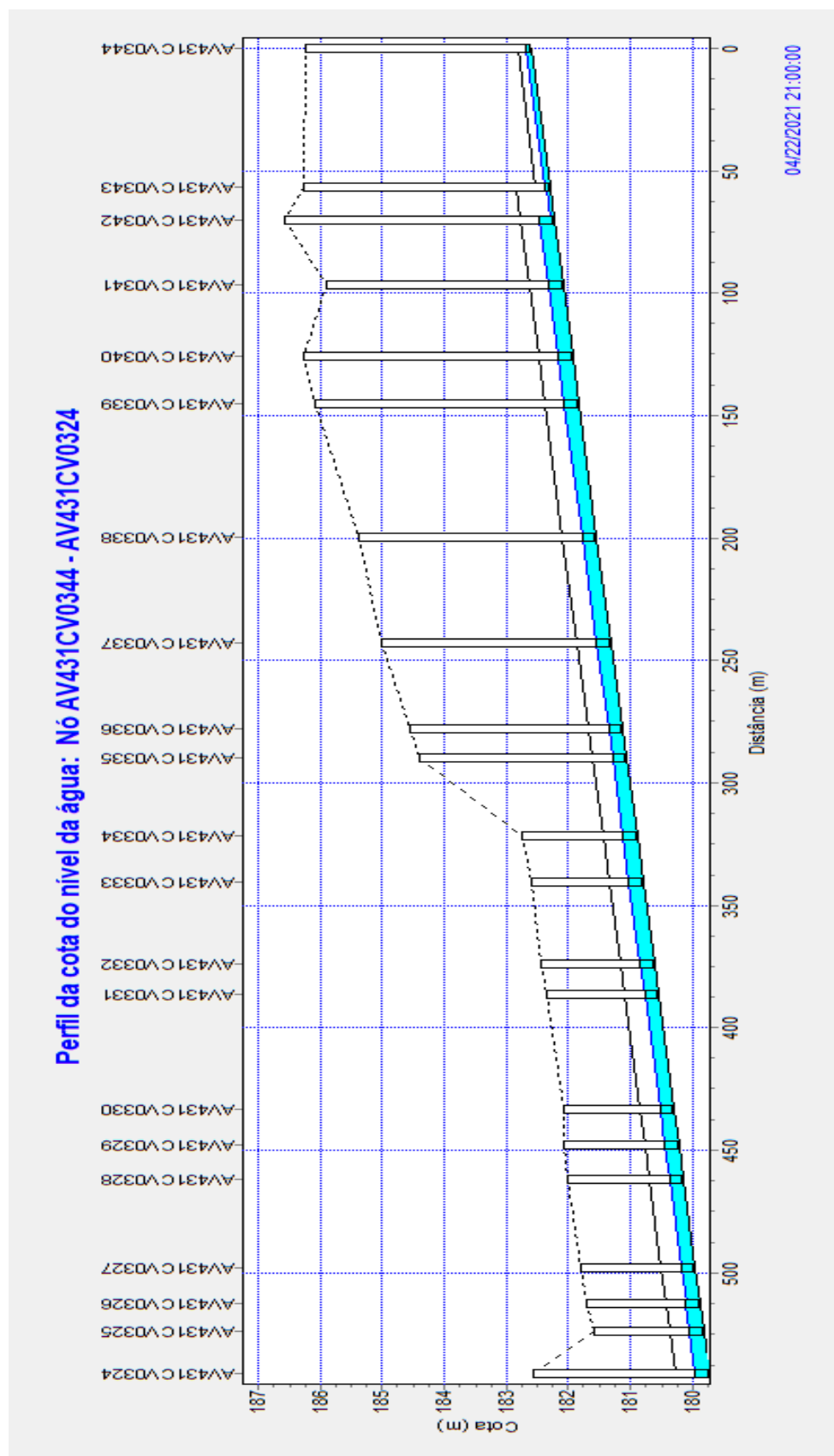


Figura 51 – Representação da capacidade de transporte dos trechos e de extravasamento de câmaras de visita após 21 horas de chuvada, com uma bacia de retenção de 2.600m³ e aumento do diâmetro



Figura 52 – Capacidade de transporte dos trechos e do de extravasamento de câmaras de visita após 21 da chuvada com uma bacia de retenção de 2.600m³ e aumento do diâmetro

À semelhança das hipóteses anteriores, foi estudado o alagamento das camaras de visita em função do tempo nas condições da Hipótese IV (figura 53).

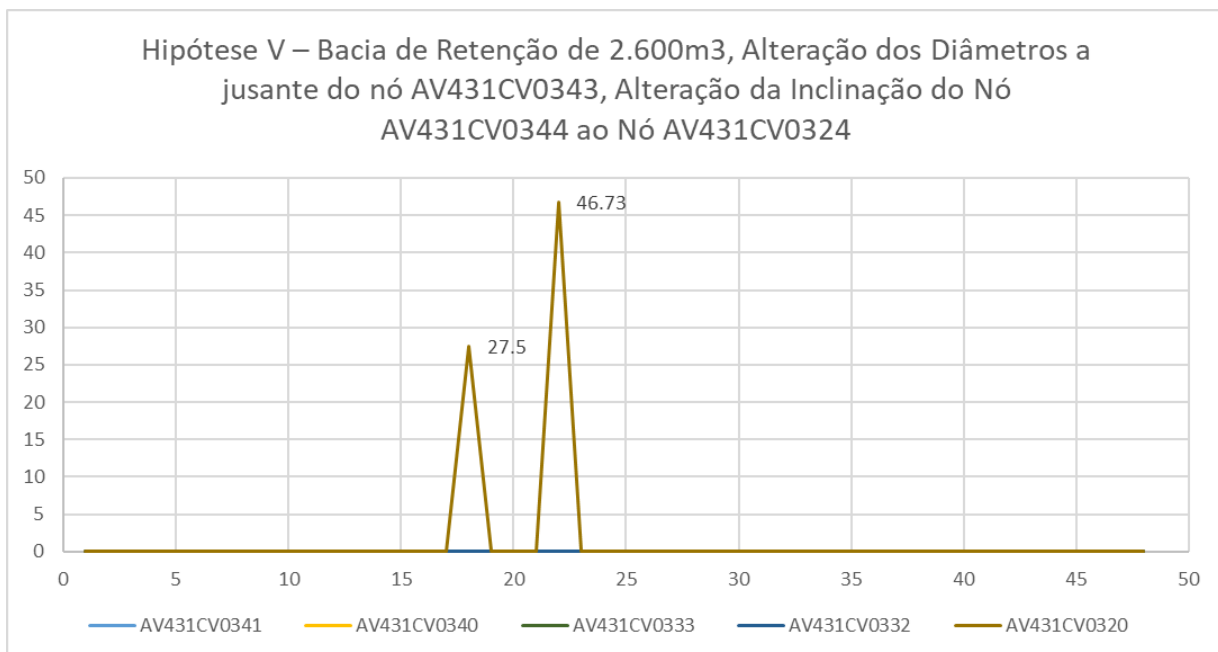


Figura 53 – Evolução do alagamento ao longo das 48h na Hipótese V

4.3. ANÁLISE COMPARATIVA

No sentido de resumir a evolução do estudo realizado e de sumariar as conclusões que dele advieram, são analisadas, individualmente, a evolução do funcionamento das câmaras de visita AV431CV0342, AV431CV0341, AV431CV0340, AV431CV0333, AV431CV032 e AV431CV0320 nas diferentes hipóteses analisadas.

4.3.1. ANÁLISE COMPARATIVA DO NÓ AV431CV0342

Na figura 54 é possível observar os valores de alagamento do nó AV431CV0342 nas diferentes hipóteses consideradas.

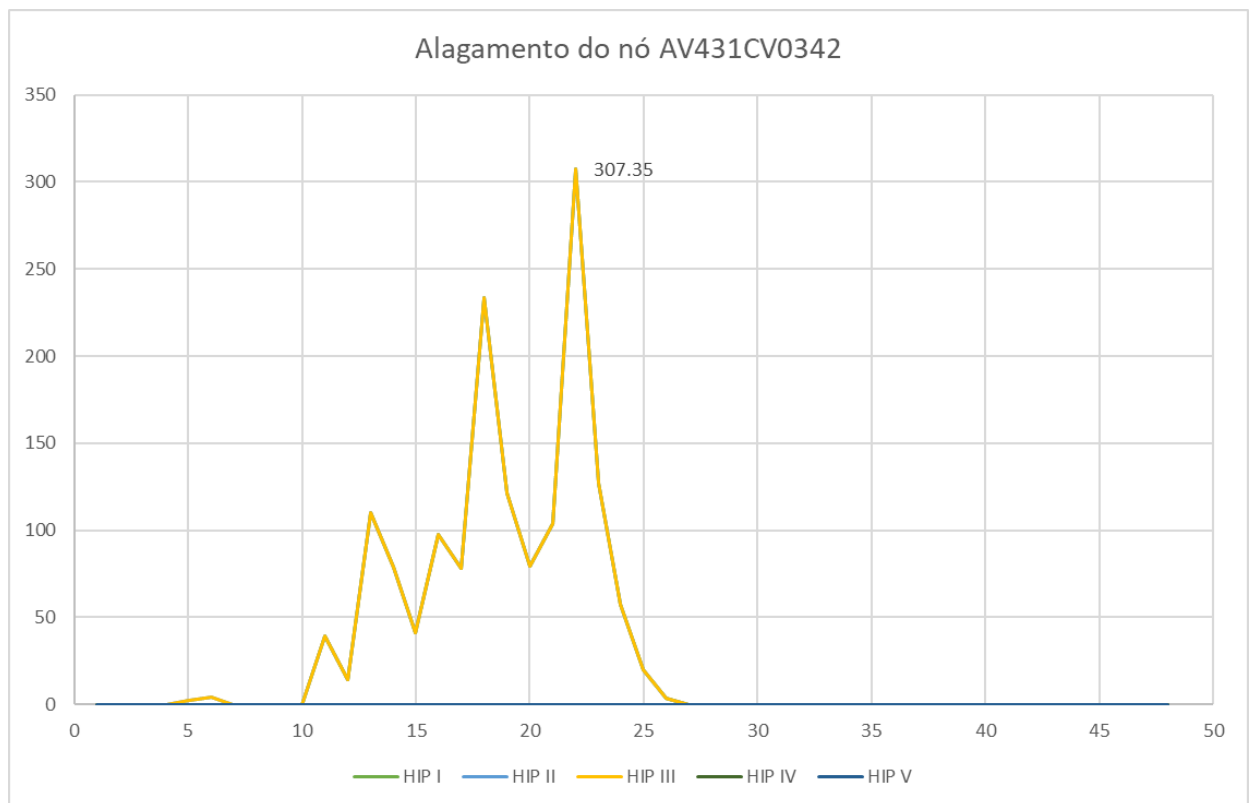


Figura 54 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0342

Analisando o gráfico apresentado, observam-se dois comportamentos primordiais e que caracterizam o funcionamento desta câmara de visita. A laranja está representado o comportamento das Hipótese I, II e III (que são idênticas) e onde é atingido um alagamento máximo de 307.35L/s na hora 22 da simulação. Este valor desce abruptamente nas Hipóteses IV e V para um valor de 0L/s, isto é, a câmara de visita não alaga.

A diminuição significativa do alagamento nesta câmara de visita, uma vez adotadas as condições impostas na Hipótese IV e V, é representativa da considerável melhoria do comportamento do trecho

em estudo. Por outro lado, também se conclui que as diferenças nas respostas do trecho nas primeiras três hipóteses apresentadas não foram relevantes.

4.3.2. ANÁLISE COMPARATIVA DO NÓ AV431CV0341

De modo a analisar a evolução do alagamento desta câmara de visita e entender o comportamento deste nó, na figura 55 é possível observar este comportamento para as diferentes hipóteses.

Observando o gráfico apresentado, é possível concluir que o comportamento da câmara de visita em análise, nas primeiras três hipóteses é semelhante. No entanto, é possível notar que a imposição das condições da Hipótese II e III provoca um incremento no tempo que esta câmara se encontra alagada, sem, no entanto, alterar o valor deste alagamento.

Nas Hipóteses IV e V conclui-se que o problema relacionado com o alagamento desta câmara de visita vê-se solucionado.

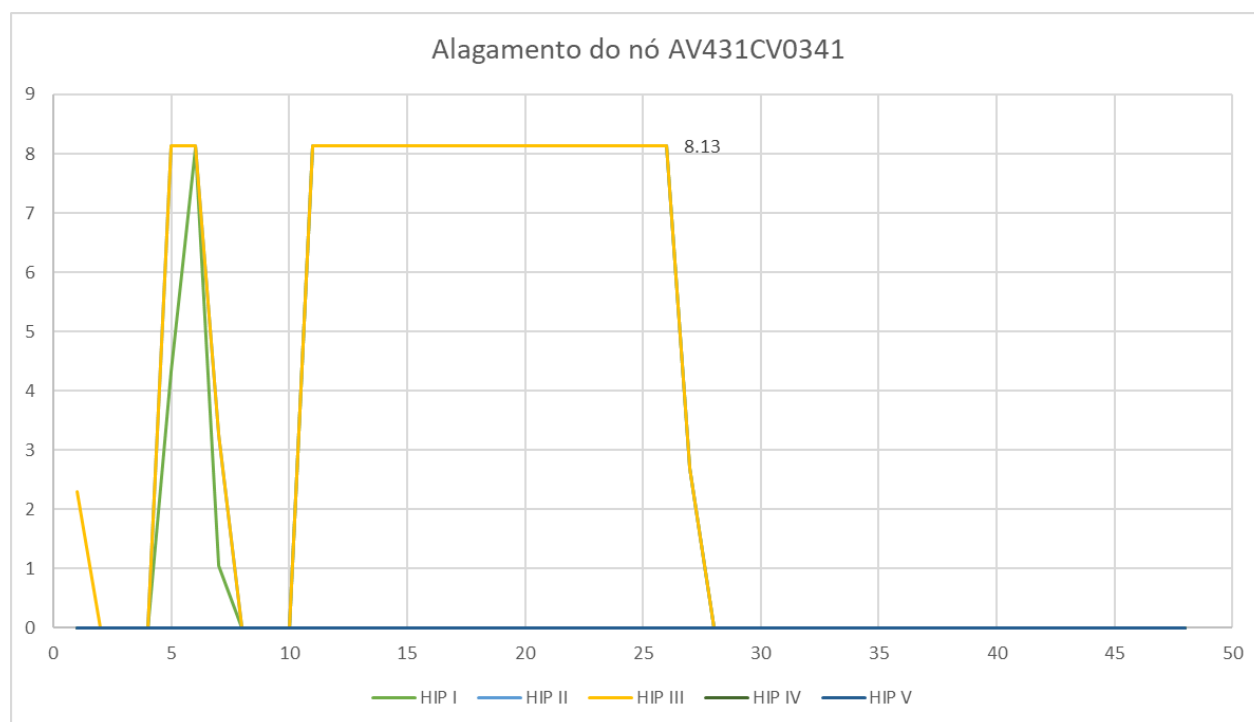


Figura 55 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0341

Conclui-se que relativamente a esta câmara de visita, a situação relacionada com o alagamento da mesma se vê resolvida.

4.3.3. ANÁLISE COMPARATIVA DO NÓ AV431CV0340

À semelhança do estudo anteriormente realizado relativamente aos nós AV431CV042 e AV431CV041, na figura 56 é possível observar a evolução do comportamento do nó AV431CV0340.

Relativamente a esta câmara de visita é possível constatar que as grandes alterações no comportamento deste nó dizem respeito às Hipóteses I, II e III (que se assemelham) comparativamente às Hipóteses IV e V.

Nos primeiros três momentos de estudo, a câmara de visita encontrava-se alagada com um caudal de 2.29L/s, sensivelmente, em 25 horas do estudo. Este comportamento não é característico das Hipóteses IV e V uma vez que, mais uma vez, a situação de alagamento da câmara é solucionada.

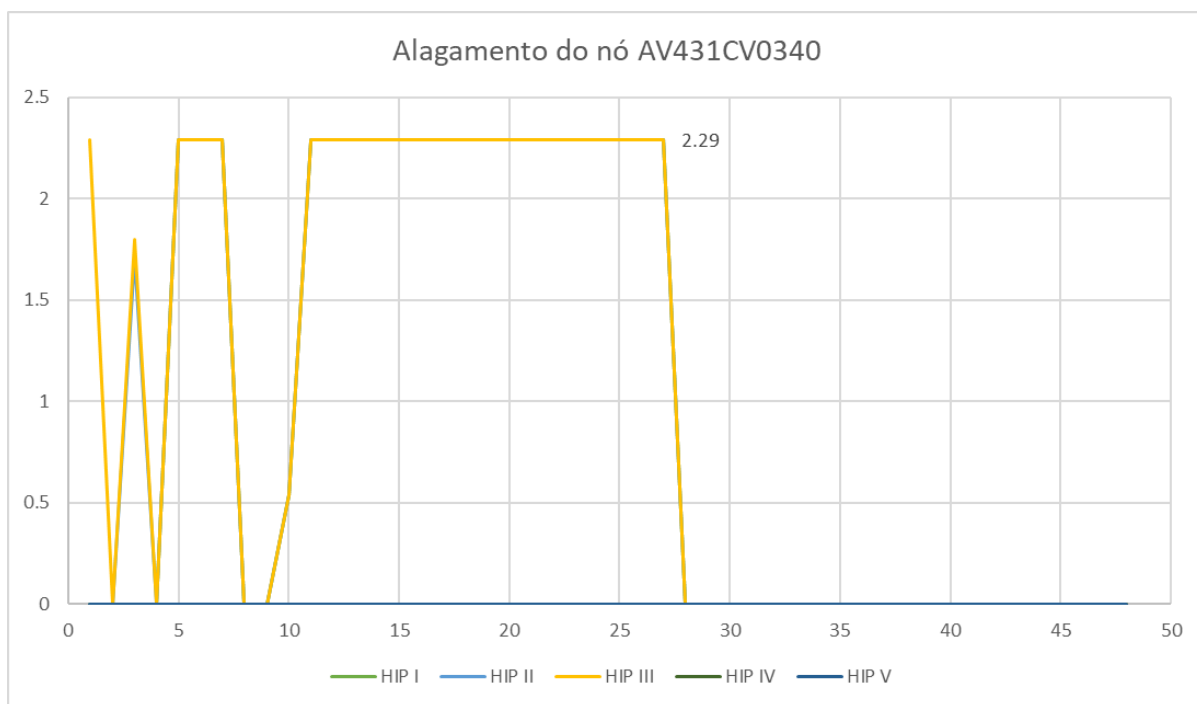


Figura 56 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0340

Assim se conclui que a questão dos alagamentos desta câmara de visita nas Hipótese IV e V vê-se solucionado.

4.3.4. ANÁLISE COMPARATIVA DO NÓ AV431CV0333

No que concerne ao nó AV431CV0333, o comportamento desta câmara de visita nas diferentes hipóteses propostas é possível de se observar na figura 57.

Relativamente às três primeiras hipóteses, é possível constatar uma mitigação dos inícios dos alagamentos uma vez que, na Hipótese I, a câmara de visita tem o seu primeiro alagamento de 2.24L/s à hora 5 do estudo enquanto que, na Hipótese II, este mesmo alagamento acontece à hora 3 e, por sua vez, na Hipótese III este nó encontra-se alagado logo na hora 0. Este comportamento é completamente distinto das Hipóteses IV e V onde esta câmara não apresenta nenhum momento onde se encontre alagada.



Figura 57 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0333

Mais uma vez, a adoção das condições impostas na Hipótese IV e V melhoram o comportamento deste nó totalmente.

4.3.5. ANÁLISE COMPARATIVA DO NÓ AV431CV0332

Analisando a figura 58 é possível observar o comportamento do nó AV431CV0332 ao longo das cinco hipóteses apresentadas.

Em tudo semelhante ao nó analisado anteriormente, o nó AV431CV0332 também apresenta dois comportamentos predominantes.

Nas primeiras hipóteses, o alagamento desta câmara de visita é constante e de caudal 2.74L/s começando por alagar à hora 5 na Hipótese I, à hora 3 do estudo na Hipótese II e desde o início da simulação quando esta adota as condições da Hipótese III. Relativamente às Hipóteses IV e V, a câmara não se encontra alagada em nenhum momento das 48 horas consideradas no estudo.

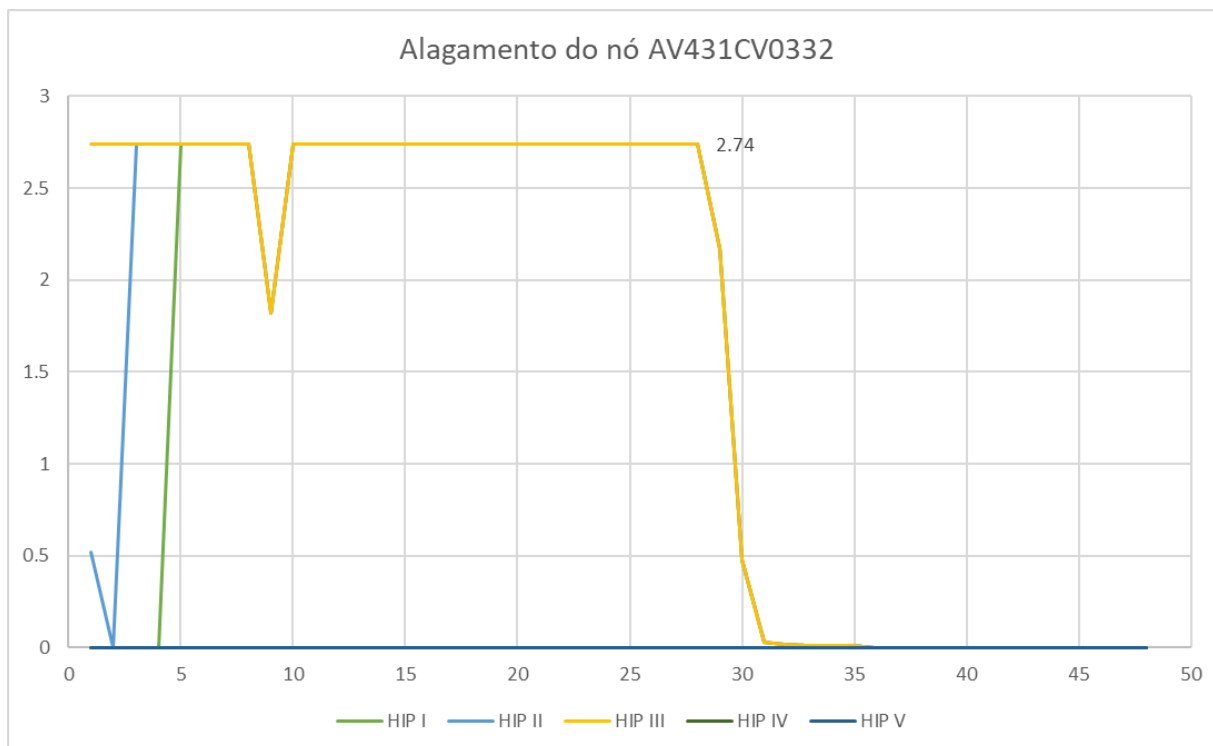


Figura 58 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0332

Nesta câmara de visita é também possível concluir que em relação ao alagamento da mesma este se vê resolvido nas Hipóteses IV e V.

4.3.6. ANÁLISE COMPARATIVA DO NÓ AV431CV0320

O alagamento do nó AV431CV320 ao longo das cinco hipóteses abordadas neste estudo é possível de ser observado na figura 59.

Analisando a figura 59 é possível perceber o diferente comportamento desta câmara de visita relativamente às anteriores estudadas.

As três hipóteses iniciais são em tudo semelhantes uma vez que contam com três momentos, na hora 13, 18 e 22 do estudo, onde esta câmara de visita se encontra alagadas com 1.36L/s, 5.05L/s e 7.58L/s, respetivamente. Já no que diz respeito à Hipótese IV, os problemas de alagamento desta câmara de visita encontram-se, na sua totalidade, resolvidos. Relativamente à Hipótese V, esta câmara de visita apresenta-se alagada com um caudal de 27.5L/s e 46.73L/s nas horas 18 e 22 deste estudo, respetivamente.

O comportamento do nó AV431CV320 nas condições impostas pela Hipótese V fundamentam uma conclusão importante neste estudo.

Uma vez que este nó diz respeito ao penúltimo nó analisado e tendo em conta que é considerado um nó característico (que representa os problemas de alagamento das câmaras de visita que constituem o trecho), é de prever que as conclusões retiradas das análises realizadas não podem ser consideradas representativas de todo o trecho. Considerando o facto de não terem sido realizadas alterações no trecho a jusante do nó AV431CV319 (onde termina o trecho em estudo) é espectável que, adotando as

condições da Hipótese IV haja uma promoção às situações de alagamento das caixas de visita e sobrecarga dos trechos. Esta conclusão surge do facto de não terem sido alteradas as condições de escoamento a jusante.

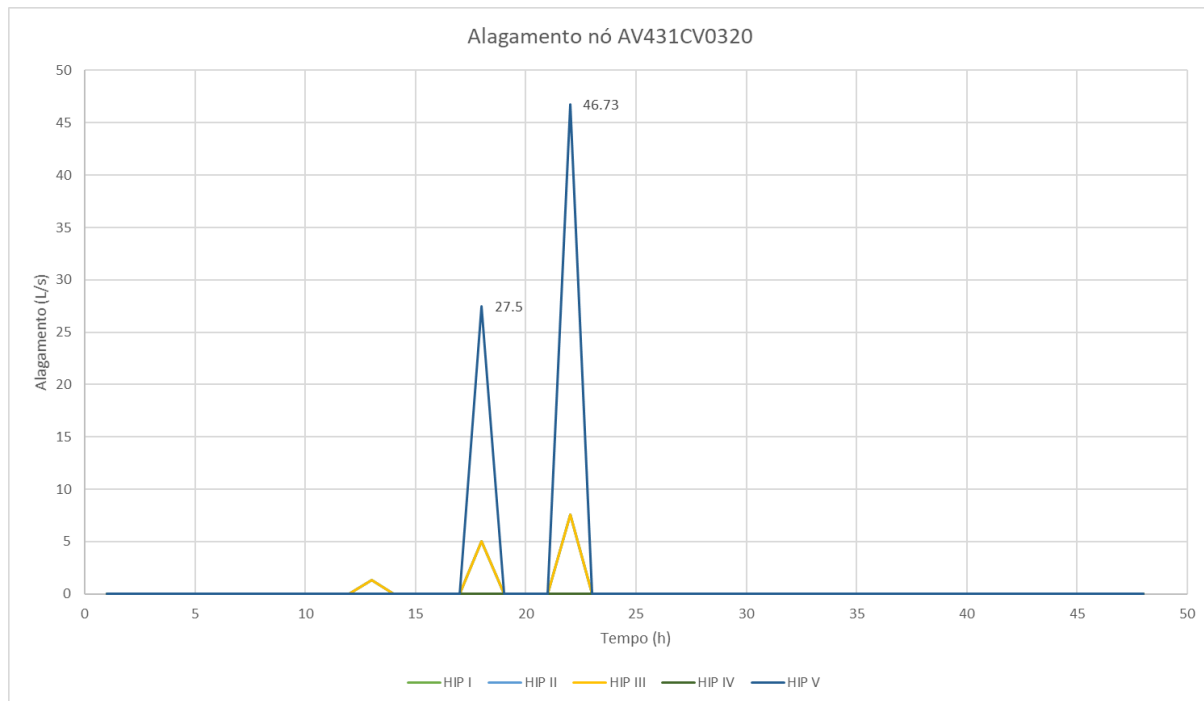


Figura 59 – Evolução do alagamento ao longo das 48h no nó AV431CV0320

Deste modo, fica implícita a necessidade de analisar todo o intercetor Selho-Prolongamento de modo a se poder dimensionar a melhor solução hidrológica que responda a todas as carências deste trecho.

4.4. CARATERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA DE RETENÇÃO

Determinada a capacidade a atribuir à bacia de retenção importa, agora, definir alguns aspetos relativos à sua implantação, forma e tipo construtivo.

Atendendo a que a localização da bacia de retenção deverá ser nas proximidades do rio Selho (figura 60), tal qual a localização do intercetor, considera-se que a melhor implantação será a sua implantação em série (ou on-line), com o intercetor.

Como característica principal deste tipo de bacia e adequada ao presente caso de estudo, considera-se que será do tipo permanente uma vez que apresentará (mesmo na ausência de qualquer evento pluviométrico) uma determinada quantidade de volume armazenado, pelo menos o equivalente e correspondente ao escoamento habitual em período seco.

Outro aspeto relevante a considerar é o que se refere ao revestimento e integração na área envolvente (figura 61). Tendo em conta que a localização desta estrutura é uma área de baldio que se caracteriza pela ampla área verde que a envolve, um revestimento natural nesta estrutura estimularia a criação deste espaço como zona de lazer depois de devidamente enquadrada com outras atividades.



Figura 60 – Implantação da bacia de retenção

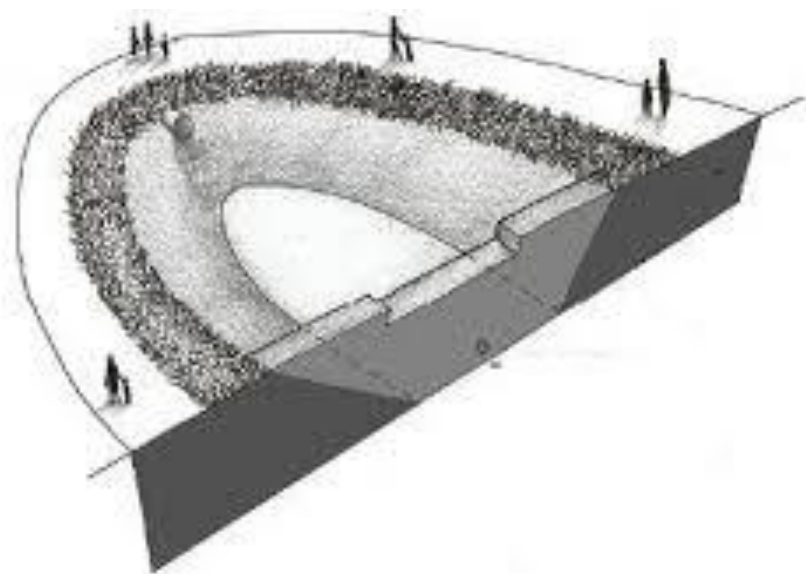


Figura 61 – Exemplo de revestimento da bacia de retenção [19]

5.

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

A realização desta dissertação teve como principal objetivo analisar e propor medida(s) de mitigação ao funcionamento hidráulico do interceptor do Selho-Prolongamento perante situações de caudal adversas e resultantes de episódios de precipitação e com o intuito de solucionar os problemas de alagamentos frequentes.

Nas diferentes simulações de exploração efetuadas foi utilizado o *software* SWMM. A análise dos gráficos, tabelas e imagens que esta ferramenta permite obter foram fundamentais para o entendimento e a simulação de várias hipóteses permitindo chegar a uma solução final. A aprendizagem desta ferramenta foi essencial e permitiu concluir do seu enorme potencial na simulação do comportamento dos sistemas de drenagem adaptando-se a qualquer trecho, situação pluviométrica, etc.

Inicialmente, e previamente, a solução consistia em implantar uma bacia de retenção dimensionada com certo volume que permitisse o sistema de drenagem funcionar sem anomalias. No entanto, esse objetivo tornou-se irrealista uma vez que se concluiu que, independentemente das dimensões da bacia de retenção, isto é, com mais ou menos capacidade de regularização, continuavam a ser frequentes a previsão de extravasamentos em variadas câmaras de visita do interceptor.

Em consequência idealizou-se a consideração de soluções que, para além de incluir retenção, considerasse a alteração das dimensões de coletores.

Neste pressuposto foram analisadas várias hipóteses de simulação de exploração sendo apresentadas na presente Tese quatro. Conclui-se que é na Hipótese IV que se encontra a solução que resolve os problemas principais deste trecho de interceptor. Consiste na implantação de uma bacia de retenção, do tipo on-line, com um volume de retenção de 2.600m³ e alteração e substituição dos diâmetros de coletores em aproximadamente 595 m - a jusante do trecho de DN 300 para DN 600, o trecho demonstra um funcionamento apropriado.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Apesar de apresentada uma solução para este trecho em estudo, o trabalho realizado apresenta potencialidades para que possa prosseguir aperfeiçoando-o ou considerando outro tipo de situações pluviométricas ou, também, realizando uma análise mais abrangente através da consideração da globalidade do interceptor.

Deste modo, como propostas para desenvolvimentos futuros sugere-se:

- **Consideração de outras chuvas**, em termos de intensidade e distribuição temporal. Adotou-se, como exemplo de referência, o evento pluviométrico de 19 de dezembro de 2019, uma

precipitação real ocorrida nas proximidades da área em análise. No entanto, tal não significa que não deva ser considerado outro evento pluviométrico que possa demonstrar que, afinal, a chuvada considerada não é a mais significativa;

- **Análise de situações correspondentes a outras condições de escoamento superficial** nas subacias de drenagem, como coberto vegetal, área impermeabilizada, inclinação e outras;
- **Pormenorização da função recreativa da bacia de retenção.** A sugestão da criação de um parque recreativo na zona envolvente da bacia de retenção, acompanha-se com preocupações de segurança e de manutenção;
- **Análise do Funcionamento hidráulico de todo o intercetor,** uma vez que o trecho a montante da bacia de retenção não foi integrado na presente análise, surgindo, como sugestão, a sua análise e eventual resolução;
- **Definição do Funcionamento hidráulico da bacia de retenção** em termos de evolução dos volumes afluentes e efluentes e respetivo controlo.
- **Cálculo do coeficiente de escoamento.** De facto, o coeficiente de escoamento influencia significativamente o escoamento de um trecho. O seu cálculo cuidado pode demonstrar um novo comportamento do trecho estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akan, A. O., & Houghtalen, R. J. (2003). Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Quality: engineering applications and computer modeling. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc

ALMEIDA, Maria Do Céu; CARDOSO, Maria Adriana - Gestão patrimonial de infra-estruturas de drenagem de águas residuais e pluviais: uma abordagem centrada na reabilitação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Dezembro de 2010). [Em linha] [Consult. 3 fev. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.researchgate.net/publication/260551365_Gestao_patrimonial_de_infra-estruturas_de_drenagem_de_aguas_residuais_e_pluviais_uma_abordagem_centrada_na_reabilitacao>.>.

AVILEZ-VALENTE, Paulo - Sistemas de Drenagem Pluvial - Métodos de Redução de Caudais Pluviais. Textos pedagógicos desenvolvidos no âmbito da unidade curricular de Hidrologia e Recursos Hídricos. Porto, Portugal. (2020)

BAPTISTA, Diogo José Fernandes – Afluências indevidas nas redes de drenagem públicas. Efeitos das bacias de Retenção. [S.l.] : Universidade do Porto, 2021

BALLARD, Woods *et al.* - The SuDS Manual. London : CIRIA, 2015. ISBN 9780860177609.

BICHANÇA, Maria De Fátima - Bacias de Retenção em Zonas Urbanas como Contributo para a Resolução de Situações Extremas: Cheias e Secas. [S.l.] : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006

CÂMARA MUNICIPAL DE GUIMARÃES - PDM - Identidade Geográfica do concelho de Guimarães - Quadro Natural. Guimarães, 2015)

CÂMARA MUNICIPAL DE GUIMARÃES - Relatório de Avaliação do Planeamento Municipal – Guimarães (2018)

Decreto-Regulamentar nº 23/95. (1995). D.R. Nº 194, Série I - B, 5284-5319

GASPAR, Sónia Morgado - Influência das Alterações Climáticas em Bacias de Retenção. [S.l.] : Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2013.

LIMA, João Pedroso *et al.* - Hidrologia urbana - Sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas. Lisboa, 2013 : [s.n.]. ISBN 9789898360120

MAIA, Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira – Ciclo hidrológico. Balanço hidrologico. Efeitos das alterações climáticas. Ciclo de utilização da água. Textos pedagógicos desenvolvidos no âmbito da unidade curricular de Gestão de Recursos Hídricos e de Áreas Protegidas. Porto, Portugal. 2022

MAIA, Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira - Definição da bacia hidrográfica. Textos pedagógicos desenvolvidos no âmbito da unidade curricular de Gestão de Recursos Hídricos e de Áreas Protegidas. Porto, Portugal. 2022

MATIAS, Maria Gorete Barata - Bacias de retenção estudo de métodos de dimensionamento. [S.l.] : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006

Methods, H., & Durrans, S. R. (2003). Stormwater Conveyance Modeling and Design. Waterbury: Haestad Press

MOPTC (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações) - Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPPDADAR). [Em linha] (95- 5284–5319. [Consult. 28 jan. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://dre.pt/pesquisa/-/search/431873/details/maximized>.

PIQUEIRO, Francisco Oliveira - Bacias de Retenção. Textos pedagógicos desenvolvidos no âmbito da unidade curricular de Sistemas de Drenagem Urbana. Porto, Portugal. 2014)

PIQUEIRO, Francisco Oliveira - Águas Residuais. A aplicação do SWMM - Storm Water Management Model SWMM. Textos pedagógicos desenvolvidos no âmbito da unidade curricular de Sistemas de Drenagem Urbana. Porto, Portugal (2019)

RIBEIRO, Andrea Carvalho; CORREIA, António Madureira; COSTA, Francisco Da Silva - O Rio Selho – Contributo para uma proposta de requalificação ambiental. Guimarães, 2013. ISSN 1098-6596

TENTÚGAL VALENTE, José Carlos - Sistemas de Drenagem e Redes Urbanas. Textos pedagógicos desenvolvidos no âmbito da unidade curricular de Sistemas de Drenagem Urbana. Porto, Portugal. 2013

VIEIRA, Ivan Luís Sousa – Análise de Bacias de Retenção. [S.1.] : Universidade da Madeira, 2014

VIMÁGUA - Relatório e Contas 2019. Guimarães, 2020.

[1] - https://www.google.com/search?q=ciclo+hidrologico+5+fenomenos&sxsrf=APq-WBvHIy_ZOG1ppxYjl68BPT2BIOTVIg:1646156870232&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj34_mbvKX2AhW6iP0HHea1C-gQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgsrc=hSyUpoaXDAuaFM (consultado em 27 outubro, 2021)

[2] - https://www.google.com/search?q=pavimento+perme%C3%A1vel&sxsrf=APq-WBsDKltf8EPSg1aProXIMWqbk8BQeg:1646140080079&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiQsuTV_aT2AhUBOUwKHd7mC74Q_AUoAXoECAIQAw&biw=1536&bih=714&dpr=1.25#imgsrc=8hPV-IRiC9apXM (consultado em 25 de novembro, 2021)

[3] - https://www.google.com/search?q=coberturas+verdes&tbm=isch&chips=q:coberturas+verdes,online+chips:telhados+verdes:2PCzPvkq1Ww%3D&hl=pt-PT&sa=X&ved=2ahUKEwiv5vuB_qT2AhXDm1wKHVyuDBIQ4lYoAXoECAEQHg&biw=1519&bih=714#imgsrc=7EUflRH3s9FQ9M (consultado em 25 de novembro, 2021)

[4] - https://www.google.com/search?q=parque+da+cidade+porto&sxsrf=APq-WBvejvWST9dzRvF44JRweYTs8CiCVg:1646140345905&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi2psXU_qT2AhXZs6QKHbJiBNMQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgsrc=kx4zxDhooAs5uM (consultado em 14 de dezembro, 2021)

[5] - https://www.google.com/search?q=bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+vila+nova+de+gaia+&tbm=isch&ved=2ahUKEwjrkNDt16f2AhUI_hoKHZWMBY4Q2-cCegQIABAA&oq=bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+vila+nova+de+gaia+&gs_lcp=CgNpbWcQAziHCCMQ7wMQJ1CQDViQDWDxDmgAcAB4AIAbc4gB1gGSAQMxLjGYAQCgAQGqAQmd3Mtd2l6L

[WltZ8ABAQ&scient=img&ei=sIUfYuv4LIj8a5WZnvAC&bih=714&biw=1519&hl=pt-PT#imgsrc=5IHPccmQYoyDPM](https://www.google.com/search?q=bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+de+Tanner+Springs+Park,+Portland,+Oregon&sxsrf=APq-WBsVj40BjKv9dfixBSSeO16rvYyNAg:1646140378372&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjy4YLk_qT2AhUEjaQKHSXvDqIQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgsrc=c9SvZrgJ2lO_6M) (consultado em 14 de dezembro, 2021)

[6]

https://www.google.com/search?q=bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+guimaraes&tbm=isch&ved=2ahUKEwiej4P116f2AhWPg_0HHX5fBqYQ2-cCegQIABAA&oq=bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+guimaraes&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoECAAQHIAAWNMOYMIpABwAHgAgAFoiAGtCJIBAzguM5gBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&scient=img&ei=wIUfYp6vD4-H9u8P_r6ZsAo&bih=714&biw=1519&hl=pt-PT#imgsrc=xFV8mizzzr5bgM (consultado em 14 de dezembro, 2021)

[7]

https://www.google.com/search?q=bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+guimaraes&tbm=isch&ved=2ahUKEwiej4P116f2AhWPg_0HHX5fBqYQ2-cCegQIABAA&oq=bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+guimaraes&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoECAAQHIAAWNMOYMIpABwAHgAgAFoiAGtCJIBAzguM5gBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&scient=img&ei=wIUfYp6vD4-H9u8P_r6ZsAo&bih=714&biw=1519&hl=pt-PT#imgsrc=xFV8mizzzr5bgM&imgdii=4RT1T3haw9Ou0M (consultado em 14 de dezembro, 2021)

[8]

https://www.google.com/search?q=Bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+de+Tanner+Springs+Park,+Portland,+Oregon&sxsrf=APq-WBsVj40BjKv9dfixBSSeO16rvYyNAg:1646140378372&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjy4YLk_qT2AhUEjaQKHSXvDqIQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgsrc=c9SvZrgJ2lO_6M (consultado em 14 de dezembro, 2021)

[9]

https://www.google.com/search?q=Bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+impermeabilizada&sxsrf=APq-WBsQffF5ddBaNSFWHglXB5M2mNQ0Rg:1646140411845&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjA8P3z_qT2AhWGOewKHAKhDbUQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgsrc=zFFhJhGp8MNNHM (consultado em 11 de janeiro, 2022)

[10]

https://www.google.com/search?q=Bentemplein&tbm=isch&ved=2ahUKEwjzqzWf6KL2AhUNR8AKHdEFDf4Q2-cCegQIABAA&oq=Bentemplein&gs_lcp=CgNpbWcQAzoIECAAQEzIECAAQEzIECAAQEzIECAAQEzIECAAQBxAeEBMyCAgAEAcQHhATMggIABAHEB4QEzIECAAQBxAeEBMyCAgAEAcQHhATMggIABAHEB4QEzoHCCMQ7wMQJ1D8B1j8B2DdCWgAcAB4AIABflgB5wGSAQMwLjKYAQCGAQGqAQtnD3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&scient=img&ei=yfccYqrGCo2OgQbRi7TwDw&bih=656&biw=1519&hl=pt-PT#imgsrc=wj40lMgHpNCbfM (consultado em 26 de fevereiro, 2022)

[11]

https://www.google.com/search?q=bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+a+ceu+aberto+parque+da+rabada%2C+santo+tirso&tbm=isch&ved=2ahUKEwj6tcvL56L2AhWSS8AKHbD-BbkQ2-cCegQIABAA&oq=bacia+de+reten%C3%A7%C3%A3o+a+ceu+aberto+parque+da+rabada%2C+santo+tirso&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJ1DnB1iXQ2DnRWgCcAB4AYABjwGIAdInkgEEMC40NZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&scient=img&ei=GfccYrrFJpKXgQaw_ZfICw&bih=714&biw=1536#imgsrc=u1gco07DyUchfM (consultado em 26 de fevereiro, 2022)

- [12] - <https://www.conteches.com/knowledge-center/case-studies/details/slug/red-robin-underground-detention-system> (consultado em 26 de fevereiro, 2022)
- [13] - https://www.google.com/search?q=rio+selho+guimaraes&sxsrf=APq-WBtfmWD087OadtA-Jnjty_jW5_fSuw:1646240606741&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjW8dCU9Kf2AhUBs6QKHZUBBwkQ_AUoAnoECAIQBA&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgsrc=uxmrvgj_AzMaaM (consultado em 2 de março, 2022)
- [14] - https://www.google.com/search?q=rio+selho+guimaraes&sxsrf=APq-WBtfmWD087OadtA-Jnjty_jW5_fSuw:1646240606741&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjW8dCU9Kf2AhUBs6QKHZUBBwkQ_AUoAnoECAIQBA&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgsrc=uxmrvgj_AzMaaM&imgdii=flG1L3T3kNsuUM (consultado em 2 de março, 2022)
- [15] - https://www.google.com/search?q=polui%C3%A7ao+rio+selho&sxsrf=APq-WBsf9gZGJzdkdkUtT0t-ITVcVdryaQ:1646241642501&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiQz8KC-Kf2AhWrgv0HHSjaCiUQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgsrc=MKn2GAXnxCOGcM (consultado em 2 de março, 2022)
- [16] - https://www.google.com/search?q=polui%C3%A7ao+rio+selho+lixo+das+margens&tbm=isch&ved=2ahUKEwjY0bqD-Kf2AhUMw4UKHfKkAuoQ2-cCegQIABAA&oq=polui%C3%A7ao+rio+selho+lixo+das+margens&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJ1C4EljzKWD7K2gBcAB4AIABcIgBtA2SAQQxMy41mAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&scclient=img&ei=bKcfYtjrG4yGlwTyyYrQDg&bih=656&biw=1536#imgsrc=Kbnrryr92f4wFM (consultado em 2 de março, 2022)
- [17] - https://www.google.com/search?q=Extravasamentos%20caixas%20chuva&tbm=isch&hl=pt-PT&tbs=rimg:CTyvT4RFSPodYVUcxoYzAcDsgIMCgIIABAAOgQIABAB&sa=X&ved=0CBwQuIIBahcKEwiwtbz4zM32AhUAAAAAHQAAAAAQDA&biw=1519&bih=656#imgsrc=vIRJ3_rkp9SpaM (consultado em 5 de março, 2022)
- [18] - https://www.google.com/search?q=bacias%20de%20reten%C3%A7%C3%A3o%20esquema&tbm=isch&hl=pt-PT&tbs=rimg:CeTNSMAMYJosYX98_1Ca9IEfLsgIMCgIIABAAOgQIABAA&sa=X&ved=0CBwQuIIBahcKEwigzqmL6s32AhUAAAAAHQAAAAAQFg&biw=1519&bih=656#imgsrc=DAQJEZhFfJ3gzM (consultado em 5 de março, 2022)
- [19] - https://www.google.com/search?q=bacias+de+reten%C3%A7%C3%A3o+esquema&tbm=isch&chips=q:bacias+de+reten%C3%A7%C3%A3o+esquema,online_chips:drenagem+urbana+sustentavel+sustent%C3%A1vel:MILUh6IFJfK%3D&hl=pt-PT&sa=X&ved=2ahUKEwioi5a26c32AhVGwaQKHejaA7QQ4lYoA3oECAEQJA&biw=1519&bih=656#imgsrc=h-3qdud20w9Y4M (consultado em 5 de março, 2022)

