



isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**Modelação do sistema de abastecimento
de água a Montemor-o-Velho**

Autor

Camila da Silva Santana

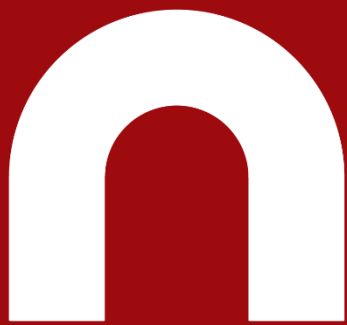
Orientador

Prof. Doutor Joaquim José de Oliveira Sousa

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, fevereiro de 2022



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Modelação do sistema de abastecimento de água a Montemor-o-Velho

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Civil

Especialização em Construção Urbana

Autor

Camila da Silva Santana

Orientador

Prof. Doutor Joaquim José de Oliveira Sousa

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, fevereiro de 2022

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste curso marca o final de mais uma importante fase na minha vida, e a realização deste trabalho só foi possível graças à contribuição de várias pessoas a quem desejo manifestar o meu agradecimento.

Ao Professor Doutor Joaquim José de Oliveira Sousa, pela orientação científica, por todo o conhecimento transmitido, pelo apoio, incentivo e disponibilidade.

À minha mãe, Ana Lúcia, à minha avó, Alaide e minha tia Vanda, agradeço pelo incentivo e apoio, por sempre acreditarem e se alegrarem com as minhas conquistas.

A todos os meus amigos e colegas que me apoiaram, pela força, atenção e paciência que me prestaram em especial nos últimos meses.

Ao Micha, pelo companheirismo e permanente incentivo, agradeço a compreensão ao longo de todo o percurso académico que agora cessa.

A todos aqueles que, não tendo sido mencionados, de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, o meu mais sincero muito obrigada!

Camila Santana

Coimbra, dezembro de 2021

RESUMO

O abastecimento de água a Montemor-o-Velho é efetuado pelo reservatório S. Gens (partes mais baixas), e pelo reservatório Cavalinha (partes mais altas), estando a gestão do sistema a cargo da empresa ABMG – Águas do Baixo Mondego e Gândara. Este sistema vem apresentando alguns problemas relativamente a pressões insuficientes e excessivas, pelo que o presente trabalho surge com o objetivo de efetuar um estudo aprofundado ao seu funcionamento, e obter resultados que possibilitem a identificação de soluções possíveis a incluir no sistema.

Este estudo tem como premissa a modelação do sistema de abastecimento de água, utilizando como base a rede cadastrada no *software* de informação geográfica QGIS. O modelo será construído utilizando o *software* EPANET 2.0., um modelo computacional de simulação hidráulica. Pretende-se, por meio de simulações, identificar e demonstrar caminhos que se podem seguir considerando uma correta modelação e calibração do sistema, demonstrando os componentes do sistema (reservatórios, nós, condutas, válvulas, eletrobombas), definição dos padrões de consumo a partir do caudal medido, inserção das perdas de água ao longo das condutas, entre outros elementos, que influenciam os sistemas.

A criação deste tipo de modelo, pode ter bastante relevância na gestão de um sistema de distribuição de água, pois possibilita aos gestores, na tomada de decisão, prever quais ações podem ser ideais para combater problemas na rede como pressões e caudais fora do estabelecido, perdas de água ao longo do sistema, e por meio das simulações do modelo identificar o possível comportamento do sistema ao realizar intervenções futuras.

Palavras-Chave: Sistemas de abastecimento de água, modelos de simulação hidráulica, EPANET, WaterNetGen, SIG.

ABSTRACT

The water supply system in Montemor-o-Velho is made by the S. Gens reservoir (lower parts), and by Cavalinha reservoir (higher parts), and the system is managed by the company ABMG - Águas do Baixo Mondego e Gândara. This system has been presenting some problems regarding insufficient and excessive pressures thus, this work aims to carry out a thorough study of its operation and obtain results that allow the identification of possible solutions to be included in the system.

The premise of this study is the water supply system modeling, using as a basis the network registered in the geographic information software QGIS. The model will be built using EPANET 2.0 software, a computational model for hydraulic simulation. It is intended, through simulations, to identify and demonstrate paths that can be followed considering a correct modeling and calibration of the system, demonstrating the system components (reservoirs, nodes, pipes, valves, pumps), definition of consumption patterns from the measured flow, insertion of water losses along the pipes, among other elements, that influence the systems.

The creation of this type of model can be very relevant in the management of a water distribution system, because it allows managers, when making decisions, the prediction of ideal actions to mitigate problems in the network such as pressures and flows out of the specified limits, water losses along the system, and through simulations of the model identify the possible behavior of the system when implementing future interventions.

Keywords: Water supply systems, hydraulic simulation models, EPANET; WaterNetGen, GIS.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do tema.....	1
1.2. Objetivos e Metodologia.....	1
1.3. Estrutura da Dissertação.....	2
2.1. Composição de sistemas de abastecimento de água.....	3
2.2. Redes de distribuição de água.....	5
2.3.1. Redes ramificadas.....	6
2.3.2. Redes emalhadas.....	7
2.3.3. Redes Mistas.....	7
2.4. Fugas e perdas de água.....	8
2.4.1. Perdas reais	9
2.4.2. Perdas aparentes.....	9
2.5. Condições regulamentares de dimensionamento	9
2.5.1. Caudais	10
2.5.2. Pressões.....	11
2.5.3. Velocidades e Diâmetros	12
2.6. Acessórios da rede.....	12
2.6.1. Condutas.....	13
2.6.2. Dispositivos redutores de pressão	14
2.6.3. Hidroressor	14
3. MODELAÇÃO MATEMÁTICA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	17
3.1. Aplicações práticas do modelo.....	17
3.2. Software EPANET 2.0.....	18
3.3. Sistema de informação geográfica.....	19
3.3.1. Aplicação do SIG em sistemas de abastecimento de água	19
3.3.2. Método de geração dos dados a partir de um SIG	21
3.4. Metodologia para o desenvolvimento de modelos.....	21
3.5. Descrição de consumos e caudais	22
3.5.1. Determinação dos consumos num modelo	22

3.5.2.	Métodos para distribuição espacial do consumo-base pelos nós.....	23
3.5.3.	Especificação de padrões de consumo	24
3.6.	Calibração de modelos.....	25
3.6.1.	Medição de parâmetros para calibração de modelos	26
3.6.1.1.	Medição de pressão.....	26
3.6.1.2.	Medição de caudal	27
3.6.2.	Processo de calibração.....	27
4.	CASO DE ESTUDO.....	29
4.1.	Modelação do sistema de abastecimento de água a Montemor-o-Velho	29
4.2.	Construção da modelação matemática	31
4.2.1.	Padrões de consumo:	70
4.3.	Calibração do modelo	79
4.4.	Análise das pressões na rede de distribuição de água de Montemor-o-Velho ...	81
5.	CONCLUSÕES	87
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema das etapas de um sistema de abastecimento de água	3
Figura 2: Fases do ciclo do abastecimento de água (ERSAR, 2021)	4
Figura 3: Esquematização de um ramal de ligação: Rede Pública de Distribuição (1) – Rede Predial de Distribuição (2) (Silva,2016)	5
Figura 4: Esquematização de uma rede ramificada com uma posição de alimentação (Silva, 2016)	6
Figura 5: Esquematização de uma rede emalhada com uma posição de alimentação (Silva, 2016)	7
Figura 6: Esquematização de uma rede mista com uma posição de alimentação (Silva, 2016)	7
Figura 7: Tubos de PEAD (à esquerda) e Tubos de PVC (à direita) (Peveduto, 2021). ..	13
Figura 8: Exemplo de válvula redutora de pressão (Imagem retirada do material de apoio Hidráulica Urbana - plataforma inforestudante ISEC)	14
Figura 9: Exemplo de hidropressor (Hidraulicart, 2021)	15
Figura 10: Interface gráfica típica de um simulador moderno (EPANET), com representação do traçado da rede em cartografia digital (Coelho et al., 2006)	20
Figura 11: Faseamento recomendado do desenvolvimento de um modelo (Coelho et al., 2006)	22
Figura 12: Atribuição dos consumos da conduta aos nós inicial e final (Coelho et al., 2006)	23
Figura 13: Abastecimento de água dos municípios de Mira, Montemor-o-Velho e Soure (ABMG, 2021)	29
Figura 14: Localização das zonas abrangidas pelos vários sistemas no concelho de Montemor-o-Velho, (CM-MV, 2021)	30
Figura 15: Representação do sistema de abastecimento de água de Montemor-o-Velho (Simões, 2019)	30
Figura 16: Área do estudo de caso, Montemor-o-Velho (Imagem obtida via Google Earth)	31
Figura 17: Identificação da interface do software QGIS	32
Figura 18: Cadastro das condutas da rede de Montemor-o-Velho	32
Figura 19: Troço da conduta onde foi necessário fazer a ligação	33
Figura 20: QGIS com a camada “condutas” a corrigir	33
Figura 21: Camada dos mapas ativa para identificar ponto a corrigir	33
Figura 22: Condutas corrigidas	34
Figura 23: Camada das “Condutas” de Montemor-o-Velho (Casal Novo do Rio, Carapinheira e Meãs do Campo)	34
Figura 24: Camada de pontos com cotas topográficas (“Cotas MoV”)	35
Figura 25: Extrair os vértices específicos para criar a nova camada de nós da rede	35

Figura 26: Camada de “Nós” criada, onde cada ponto na cor roxo equivale a um nó do sistema	36
Figura 27: Sobreposição das camadas	36
Figura 28: Seleção dos pontos que interessam (1)	37
Figura 29: Seleção dos pontos que interessam (2)	37
Figura 30: Nova camada vetorial	38
Figura 31: Propriedades para a nova camada vetorial.....	38
Figura 32: Camadas ativas	39
Figura 33: Camadas que interessam para a construção do modelo	39
Figura 34: Identificação do atributo “coord_z”	40
Figura 35: Interpolação TIN	40
Figura 36: Atributo “coord_z”	41
Figura 37: Pontos selecionados.....	41
Figura 38: Interpolação TIN – Parâmetros a definir	42
Figura 39: Resultado da interpolação - o Modelo Digital do Terreno (MDT).....	42
Figura 40: Edição do modelo, para uma melhor interpretação	43
Figura 41: Modelo Digital do Terreno – MDT, sobreposto a todos os nós da rede.....	43
Figura 42: Edição da tabela de atributos	44
Figura 43: Atributos da camada “Nos”	44
Figura 44: Adição do atributo “Cota”	45
Figura 45: Definição dos parâmetros para V. WHAT.RAST	45
Figura 46: Modelo exportado do QGIS para o EPANET.....	47
Figura 47: Pontos azuis indicam as localizações dos reservatórios.....	48
Figura 48: Reservatório 1 - Cavalinha, Carapinheira Alta	49
Figura 49: Reservatório 2 - S. Gens, Carapinheira Baixa	49
Figura 50: Indicação do Reservatório 1 - Cavalinha	50
Figura 51: Res. Cavalinha e ligação a conduta Pipe 1	50
Figura 52: Indicação do local do Reservatório 2 - S. Gens.....	51
Figura 53: Res. S. Gens e ligação a conduta Pipe 2	51
Figura 54: Propriedades do Nó J42, indicação da cota.....	52
Figura 55: Indicação do novo valor para a cota do Res. Cavalinha	53
Figura 56: Indicação da cota do Res. S. Gens.....	54
Figura 57: Indicação do novo valor para a cota do Res. S. Gens.....	54
Figura 58: Sistema de abastecimento de água de Montemor-o-Velho	55
Figura 59: Indicação no EPANET para gerar a simulação do modelo, status à direita com pressões negativas	55
Figura 60: Zona central que possui válvulas fechadas a acrescentar no modelo	56
Figura 61: Zona alta de Carapinheira e Meãs do Campo	56
Figura 62: Zona baixa de Carapinheira e Meãs do Campo	57
Figura 63: Local da VF na zona de Lomba.....	57
Figura 64: Local existente do nó J145	58
Figura 65: Novo nó J145A criado com a mesma cota do nó existente.....	58
Figura 66: Conduta existente, parâmetros a seguir Figura 67: Conduta fechada para VF.....	59

Figura 68: Representação no SIG do local a inserir um VF.....	60
Figura 69: Local a adicionar uma VF e a indicação da cota neste ponto.....	60
Figura 70: WaterNetGen utilizado para partir a conduta (split)	61
Figura 71: Conduta P-318 com 81m de comprimento	61
Figura 72: P318-A com 42.92m de comprimento	62
Figura 73: Conduta P3 inserida, alterado o Status fechada – J3A novo nó inserido.....	62
Figura 74: Transdutor de pressão aplicado no local (Imagem fornecida pelo Prof. Joaquim Sousa).....	63
Figura 75: Algumas das válvulas de fronteiras (VF) fechadas do sistema.....	63
Figura 76: 1ª simulação no EPANET com a indicação de pressões nos nós	64
Figura 77: Nós com pressão negativa na Rua da Sertã.....	64
Figura 78: Nós e Conduta da Rua da Sertã	65
Figura 79: Início da Rua Sertã, local de instalação do hidropressor de Meãs.....	66
Figura 80: Representação no modelo Bomba e VRP	66
Figura 81: Identificação no QGIS de um reservatório desativado e uma VRP.....	67
Figura 82: Local de instalação da VRP – Boleta na via, próximo a um reservatório desativado (Imagem Google Earth)	67
Figura 83: Representação da VRP-Boleta e suas propriedades no EPANET.	68
Figura 84: Zona mais alta do sistema, abastecida pelo Res. Meco R2	68
Figura 85: Modelo da Rede de Montemor-o-Velho.....	69
Figura 86: Simulação do Modelo com os consumos médios carregados nos nós do modelo	70
Figura 87: Criação do padrão de consumo para a rede alta (Cavalinha).....	74
Figura 88: Criação do padrão de consumo para a rede baixa (S. Gens).....	74
Figura 89: Adição dos valores do caudal para calibração do modelo	78
Figura 90: Modelo calibrado indicando pressões excessivas na zona central do sistema	81
Figura 91: Pressões excessivas na zona central do sistema.....	82
Figura 92: Inserção das VRP novas no modelo nos pontos de pressões elevadas	82
Figura 93: Pressões excessivas obtidas com o modelo calibrado.....	83
Figura 94: Pressões do modelo calibrado após a inclusão da VRP1.....	83
Figura 95: Pressões do modelo calibrado após a inclusão das VRP2 e VRP3	84
Figura 96: VRP4 e duplicação da conduta para manter as pressões na zona alta a jusante	84
Figura 97: Simulação do modelo calibrado com as soluções propostas	85

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Identificação das informações contidas nos nós do modelo	48
Quadro 2: Cotas do Res. Cavalinha e do nó J145	59
Quadro 3: Cotas dos nós na Rua da Sertã	65
Quadro 4: Valores dos caudais referentes às condutas que saem dos reservatórios.....	69
Quadro 5: Padrões de consumo atribuídos aos nós.....	75
Quadro 6: Propriedades dos nós para adição das perdas.....	75
Quadro 7: Configuração do modelo “Time Options”	76
Quadro 8: O Base demand é o peso do nó no consumo total.....	80

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Nível do reservatório Cavalinha, no mês de agosto (Consulta ABMG, 2021)	52
Gráfico 2: Nível do reservatório S. Gens, no mês de agosto (Consulta ABMG, 2021).....	53
Gráfico 3: Padrão de consumo para o Res. Cavalinha	73
Gráfico 4: Padrão de consumo para o Res. S. Gens	73
Gráfico 5: EPANET - Pressões ao longo do dia para o nó J2.....	76
Gráfico 6: EPANET – Caudal da conduta P212A na saída do Res. cavalinha.....	77
Gráfico 7: EPANET – Caudal da conduta P215 na saída do Res. S. Gens	77
Gráfico 8: Valores dos caudais medidos no sistema e valores simulados pelo EPANET	79
Gráfico 9: Caudais do modelo calibrado para a conduta P1 - Res. Cavalinha	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Cotas correspondente a cada nó e respetivo consumo, J: Junction = nó	46
Tabela 2: Caudais recolhidos da plataforma de telemetria da ABMG	71
Tabela 3: Consumo para o sistema e determinação dos valores dos padrões.....	72
Tabela 4: Caudais medidos e conversão para L/s.....	78
Tabela 5: Valores estimados para as fugas de água do sistema	79

ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

ABMG – Águas do Baixo Mondego e Gândara

CM-MV – Câmara Municipal de Montemor-o-Velho

DR – Decreto Regulamentar

EE – Estação Elevatória

EG – Entidade Gestora

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FC – Fibrocimento

FFD – Ferro Fundido Dúctil

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PVC – Policloreto de Vinilo

SAA – Sistema de abastecimento de água

SIG - Sistema de Informação Geográfica

VF – Válvulas de Fronteira (Fechadas)

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

O sistema de abastecimento de água a Montemor-o-Velho apresenta atualmente alguns problemas de funcionamento ao nível das redes de distribuição de água (pressões insuficientes e pressões excessivas), provavelmente decorrentes da forma desordenada como foi crescendo ao longo do tempo. Para assegurar um bom nível de serviço aos utilizadores é necessário efetuar um estudo aprofundado ao seu funcionamento, com vista à obtenção de um diagnóstico que sirva de base à identificação de soluções a implementar no terreno.

Assim, neste trabalho pretende-se realizar uma análise ao funcionamento do sistema de abastecimento de água a Montemor-o-Velho, em particular às redes de distribuição abastecidas pelos reservatórios S. Gens e Cavalinha, suportada por um modelo de simulação desse sistema. O modelo a construir para o efeito permitirá simular o comportamento do sistema e identificar os problemas existentes. Além disso, servirá igualmente para avaliar o impacto da implementação das medidas corretivas que se entendam adequadas, de modo a identificar as mais eficazes.

1.2. Objetivos e Metodologia

Esta dissertação tem como o objetivo aprofundar os conhecimentos na área de hidráulica, mais especificamente no âmbito da modelação de sistemas de abastecimento de água. Em síntese, será apresentada uma metodologia para construir o modelo de um sistema. Para alcançar um resultado que represente o mais corretamente possível o sistema físico/real, serão utilizados os *softwares* EPANET em conjunto com o QGIS, que possuem vantagens no que respeita ao tratamento de dados e por serem de distribuição gratuita.

A dissertação será regida segundo estes objetivos específicos:

- Conhecer os sistemas de distribuição de água;
- Aplicar métodos de dimensionamento e análise de sistemas de distribuição de água;
- Adquirir conhecimentos sobre modelação hidráulica do funcionamento de sistemas públicos de abastecimento de água com recurso aos softwares EPANET e WaterNetGen;
- Avaliar o desempenho técnico de sistemas públicos de abastecimento de água.

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação foi estruturada em cinco capítulos, com o intuito de atingir os objetivos referidos anteriormente. Descreve-se em síntese:

Capítulo 1: Apresentado um enquadramento teórico sobre o tema proposto, bem como definidos os objetivos do estudo. E, por fim, descreve a estrutura do trabalho.

Capítulo 2: Inicia-se com a caracterização dos sistemas de abastecimento de água e redes de distribuição. Descrição dos elementos constituintes da rede, definições sobre perdas que podem ocorrer em sistemas, e as condições regulamentares aplicáveis.

Capítulo 3: Descreve-se a metodologia para desenvolvimento de uma simulação hidráulica, utilizando o *software* EPANET 2.0 e as suas funcionalidades, em conjunto com o *software* de informação geográfica QGIS, indicando os passos necessários para a construção de um modelo e respetiva calibração, e esta será a utiliza no *software* WaterNetGen.

Capítulo 4: Apresenta-se o caso de estudo, identifica-se o sistema de distribuição em estudo, os métodos necessários para a construção de um modelo do sistema, a inserção dos componentes físicos e dos padrões de consumo no modelo, e a respetiva calibração. E conclui-se com a análise dos resultados da simulação.

Capítulo 5: Sintetizam-se as principais conclusões resultantes da concretização deste trabalho, indicando possíveis soluções para alguns problemas identificados e se os objetivos inicialmente indicados foram alcançados.

2. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As atividades de abastecimento público de água às populações, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos constituem serviços públicos de caráter estrutural, essenciais ao bem-estar geral, à saúde pública e à segurança coletiva das populações, às atividades económicas e à proteção do ambiente (ERSAR, 2021).

Um sistema de abastecimento de água (SAA) é a infraestrutura responsável pela extração de água ao meio natural, pela adequação da sua qualidade, pelo seu transporte até aos aglomerados urbanos e pela sua distribuição aos consumidores em níveis qualitativos e quantitativos admissíveis (Lousada *et al*, 2019).

Até que a água chegue com qualidade a sua casa é necessário percorrer várias etapas (Figura 1).

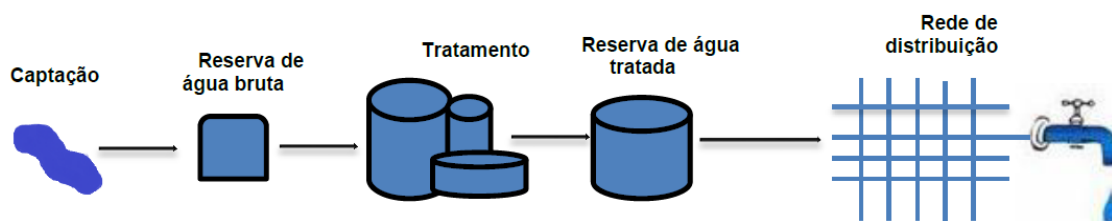


Figura 1: Esquema das etapas de um sistema de abastecimento de água

Estes sistemas são caracterizados por serem infraestruturas com um desenvolvimento longitudinal muito extenso, condicionadas pela topografia sobre a qual estão implantadas, pela localização das origens de água, pela dispersão espacial e flutuação temporal das solicitações, por serem de execução complexa e demorada, por não serem facilmente ampliáveis e ainda por representarem elevados investimentos de capitais e recursos (Silva, 2016).

O estudo de sistemas de distribuição de água é legalmente enquadrado pelo Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, de 23 de agosto de 1995, ou Decreto Regulamentar nº 23/95 (RGSPDADAR, 1995).

2.1. Composição de sistemas de abastecimento de água

A atividade de abastecimento público de água compreende a captação, o tratamento, a elevação, o transporte, o armazenamento, a distribuição e a utilização da água. Nesta atividade, são designados “sistemas em alta” os constituídos por um conjunto de componentes (relativas à produção, adução e armazenamento) a montante da rede de distribuição, fazendo a ligação do meio hídrico ao “sistema em baixa”. Por sua vez, os sistemas em baixa são constituídos por um conjunto de componentes que permitem prestar aos consumidores o serviço de distribuição de água.

Os sistemas podem ser integrados quando a ligação entre o meio hídrico e o consumidor é assegurada pelo mesmo sistema (ERSAR, 2021).

Um sistema de abastecimento de água é constituído por um conjunto de infraestruturas. A cada uma destas partes correspondem órgãos, constituídos por obras de construção civil, equipamentos elétricos e eletromecânicos, acessórios, instrumentação e equipamentos de automação e controle. Cada órgão num sistema de abastecimento de água tem um objetivo/função (Sousa, 2001).

Na Figura 2 apresenta-se o conjunto de infraestruturas que descrevem as fases do ciclo do abastecimento de água:



Figura 2: Fases do ciclo do abastecimento de água (ERSAR, 2021)

Captação: é a componente base de um sistema de abastecimento de água, que tem por finalidade obter água de forma contínua e duradoura em quantidade compatível com as necessidades e com qualidade bastante para, após o tratamento, poder ser considerada própria para consumo humano (ERSAR, 2021).

Essa água pode encontrar-se em aquíferos, no subsolo, e é obtida através de captações subterrâneas, ou provém de rios, lagos e barragens onde a captação é feita de forma superficial (Simões, 2019).

Tratamento: na ETA (Estação de Tratamento de Água) é feito o tratamento da água que chega às nossas casas, por meio de um conjunto de operações unitárias que têm por finalidade proceder às correções necessárias de forma a que as características físicas, químicas e bacteriológicas da água tratada sejam as de uma água própria para consumo humano (ERSAR, 2021).

Elevação: a estação elevatória (EE) transmite energia à água, de modo a que ela passe não só a circular a uma pressão conveniente, como também a ter a possibilidade de vencer desníveis topográficos e a garantir as pressões necessárias nos pontos de consumo (Simões, 2019).

Transporte: sistema de condutas adutoras que tem por finalidade o transporte da água da captação e/ou tratamento até aos reservatórios (de armazenamento) para posterior distribuição e utilização (ERSAR, 2021).

Armazenamento: os reservatórios compensam as flutuações de consumo, constituem reservas de emergência para combate a incêndios ou para assegurar a distribuição em casos de interrupções, programadas ou não programadas, do sistema de transporte (a montante do

reservatório), bem como para equilibrar as pressões na rede de distribuição e, ainda, para regularizar o funcionamento das bombagens (ERSAR, 2021).

Distribuição: sistema público de condutas de água cuja finalidade é fornecer água em quantidade suficiente e com boa qualidade aos consumidores (ERSAR, 2021).

Utilização: utilizadores a quem seja assegurado de forma continuada o serviço de abastecimento de água (ERSAR, 2021).

2.2. Redes de distribuição de água

A rede de distribuição representa a fase final de um sistema de abastecimento de água, na qual se procede ao fornecimento de água potável ao aglomerado populacional. A distribuição é efetuada por intermédio de condutas da rede pública, que devem ser dimensionadas (caudal, pressão e diâmetro) de modo a permitir o fornecimento de água às instalações dos edifícios (prédios, moradias, escolas, hospitais, etc.) em quantidade suficiente, pressão adequada e qualidade desejável. Na conceção e exploração da rede de distribuição deverão aplicar-se critérios de decisão e medidas preventivas, que preservem a qualidade da água e as suas características de potabilidade conferidas durante a fase de “Tratamento” (Vilas-Boas, 2008).

Existem dois tipos de redes de distribuição: rede pública de distribuição e a rede predial de distribuição.

A rede pública de distribuição garante o abastecimento de água até ao limite das propriedades a servir, em boas condições de pressão e caudal.

Esta rede é ainda responsável pelo abastecimento de consumos situados em zona de domínio público, nomeadamente bocas de incêndio, marcos de água, bocas de rega, os próprios sistemas de rega de espaços verdes, fontanários, bebedouros e outros pontos de utilização de água (Silva, 2016).

A rede de distribuição predial é a responsável pela repartição de água no interior das edificações e é da responsabilidade dos proprietários (Silva, 2016). – Figura 3

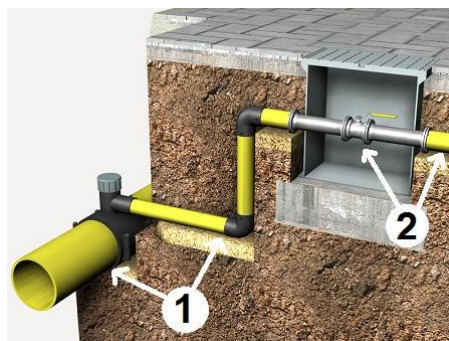


Figura 3: Esquematização de um ramal de ligação: Rede Pública de Distribuição (1) – Rede Predial de Distribuição (2) (Silva,2016)

A rede pública de distribuição é constituída, maioritariamente, por de elementos de distribuição (tubagens), e também por elementos acessórios (juntas, curvas, tês) e elementos especiais, sendo os dispositivos que, de alguma forma, permitem condicionar o escoamento nas condutas, seja por regulação do caudal ou por conseguir variar as pressões da rede (válvulas redutoras de pressão, hidropressores, instrumentações de medição de caudais e pressões).

2.3. Classificação das redes de distribuição de água

A distribuição da água num aglomerado pode ser realizada através de uma rede ou de várias, consoante a dimensão do aglomerado, sendo indispensável um estudo pormenorizado que permita analisar previamente as vantagens e desvantagens de cada sistema e a opção de um ou vários sistemas, tendo em consideração algumas variáveis, tais como a altimetria ou dimensão do aglomerado (Vieira, 2011).

A existência de uma única rede, em casos de uma nítida diferenciação altimétrica num mesmo aglomerado populacional, implicaria a elevação do caudal total máximo a uma altura correspondente à cota mais alta, o que resultaria em gastos excessivos de energia de bombagem e em elevadas pressões nas zonas mais baixas, e culminaria na instalação de componentes mais resistentes aumentando o custo total da infraestrutura (Sousa, 2001).

As redes de distribuição de água são classificadas de acordo com o traçado em planta, existindo três tipos de configuração: redes ramificadas, redes emalhasadas e redes mistas.

2.3.1. Redes ramificadas

Numa rede ramificada (Figura 4) o abastecimento é realizado a partir de uma conduta principal longitudinal que ramifica para ambos os lados, alimentada por um reservatório, o que quer dizer que só existe um caminho possível (escoamento unidirecional) entre a origem da água e qualquer ponto na rede. Com menor extensão de tubagens e respetivos acessórios, resulta numa maior economia relativamente ao investimento inicial. No entanto, um inconveniente desta rede é a pouca fiabilidade, pelo que pode ser necessário interromper todo o abastecimento a jusante em caso de avaria numa conduta.

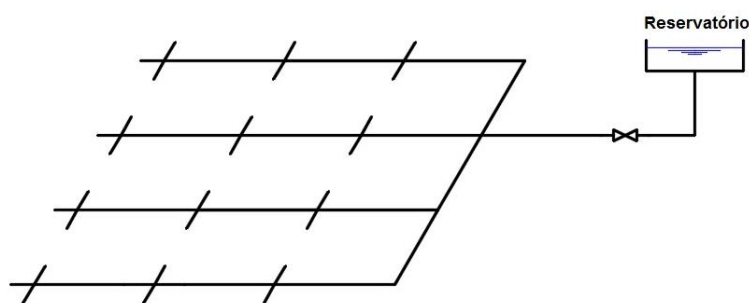


Figura 4: Esquematização de uma rede ramificada com uma posição de alimentação (Silva, 2016)

2.3.2. Redes emalhadas

As redes emalhadas (Figura 5) são constituídas por condutas principais que se fecham entre si formando circuitos fechados (malhas), de modo a que se possa abastecer qualquer ponto do sistema por mais de um caminho. Com um escoamento bidirecional, permite uma maior flexibilidade em satisfazer os consumos, com o mínimo de interrupção possível no fornecimento de água, e uma melhor repartição das pressões. Este tipo de rede pode apresentar um custo de primeiro investimento superior.

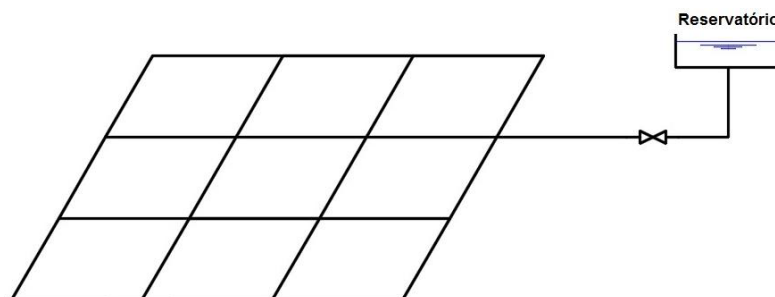


Figura 5: Esquematização de uma rede emalhada com uma posição de alimentação (Silva, 2016)

2.3.3. Redes Mistas

As redes mistas (Figura 6) correspondem à conjugação das redes anteriores e é frequentemente a disposição mais adotada, pois permite adaptar-se consoante a implantação do aglomerado a abastecer.

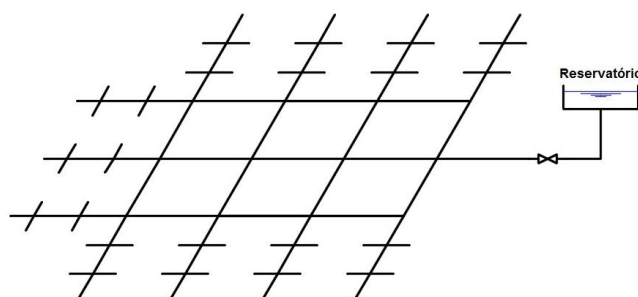


Figura 6: Esquematização de uma rede mista com uma posição de alimentação (Silva, 2016)

O sistema misto acaba por ser a escolha mais assertiva, pois permite adaptar-se consoante a implantação do aglomerado a abastecer. Composta por malhas nas condutas principais (principais entende-se por condutas de maior diâmetro que têm por finalidade abastecer as canalizações secundárias), no centro do aglomerado, e ramificações nas condutas secundárias (secundárias são tubagens de menor diâmetro e têm a função de abastecer diretamente os pontos de consumo).

Mediante uma utilização racional dos dois tipos de sistemas pode tirar-se partido das principais vantagens de cada um deles e evitar, em grande medida, os inconvenientes próprios de cada um (Sousa e Sá Marques, 2011).

2.4. Fugas e perdas de água

Por fugas e perdas de água compreendem-se os volumes de água que se perdem ao longo do sistema, seja através de juntas deficientes, roturas de condutas, extravasamento de reservatórios, ou qualquer outra razão anómala. Além deste, há também que considerar os consumos realizados por ligações clandestinas os quais não são medidos, sendo contabilizados como perdas. Em consequências do estado crítico em que se encontram atualmente a maior parte dos prédios antigos, em algumas situações os sistemas prediais constituem uma importante fonte de fugas e perdas (Sousa e Sá Marques, 2011).

Do ponto de vista técnico, é praticamente impossível assegurar a total estanquidade das condutas. Por mais cuidada que seja a construção do sistema, há sempre situações que proporcionam a ocorrência de fugas (um vedante mal colocado numa junta, uma conduta que não ficou bem assente no terreno, ...). Convém sublinhar que uma fuga, mesmo que pequena, dada a sua continuidade, acaba por produzir volumes apreciáveis. Além disso, o seu caudal tende a aumentar durante as horas de baixo consumo, em que normalmente a pressão na rede é mais elevada, a ponto de, em certas circunstâncias, se observar uma atenuação anormal das variações do consumo entre o dia e a noite. Para evitar que estas situações originem avultadas perdas de água, é necessário realizar frequentemente campanhas de observação das condições locais. O objetivo destas campanhas será detetar indicadores da existência de eventuais fugas, nomeadamente (Sousa e Sá Marques, 2011):

- Escoamentos noturnos invulgarmente elevados nas condutas;
- Abaixamentos anormais das pressões;
- Escoamentos nas valetas e nos coletores pluviais, ou pavimentos húmidos em tempo seco;
- Caudais noturnos excessivos nos coletores de esgoto;
- Vegetação invulgarmente verde em zonas habitualmente secas.

De modo geral, em sistemas novos as fugas e perdas não assumem grande relevância. Contudo, em alguns sistemas mais velhos, a parcela de água que não é faturada chega a ultrapassar 50% da totalidade da água distribuída, o que é absolutamente insustentável (Sousa e Sá Marques, 2011).

Acerca do controlo de perdas, o DR nº 23/95 é breve e estabelece, no seu Artigo 17º - “*Fugas e Perdas*”, que o valor considerado jamais poderá ser inferior a 10 % do volume total a dar entrada no sistema.

As perdas de água correspondem à diferença entre o volume de água introduzido no sistema e o consumo autorizado, e são divididas em dois grupos: o das perdas reais e o das perdas aparentes (Simões, 2019).

2.4.1. Perdas reais

As perdas reais correspondem ao volume de água equivalente às perdas físicas até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado. O volume anual de perdas através de todos os tipos de fissuras, roturas e extravasamentos depende da frequência, do caudal e da duração média de cada fuga. Ao reduzir as perdas reais diminuem-se os custos de produção (energia e produtos químicos), de transporte (energia) e de aquisição (redução do volume de água comprada). Os sistemas, ao serem mais eficientes, trazem um resultado de tarifários menos “penalizadores” para os clientes (Simões, 2019).

2.4.2. Perdas aparentes

As perdas aparentes de água correspondem a perdas de faturação. Essa percentagem de perdas contabiliza todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e da água consumida, e ainda o consumo não autorizado (por furto ou uso ilícito). As perdas físicas a jusante do contador do cliente podem contribuir significativamente para o aumento das perdas aparentes. A redução das perdas aparentes permite aumentar as receitas, melhorando o desempenho económico da entidade gestora e a qualidade dos serviços prestados (Simões, 2019).

2.5. Condições regulamentares de dimensionamento

Segundo Sousa (2001), na conceção e dimensionamento de um SAA a reunião e análise dos elementos de cadastro das infraestruturas é uma das primeiras atividades a realizar, quer para a conceção de novos sistemas, quer para a ampliação ou reabilitação de sistemas existentes, sendo esta uma tarefa essencial para o decurso do projeto.

A escolha da capacidade do sistema é algo complexo, envolve habilidade e competência na interpretação das tendências sociais e económicas da área a servir. As determinantes do projeto consistem na análise da experiência passada e na previsão das necessidades futuras. Logo, os principais elementos a considerar devem ser:

- a) **Horizonte de projeto ou período de vida do projeto:** A escolha do período de vida útil da infraestrutura, considerando a vida útil das obras de construção civil e dos equipamentos, o grau de dificuldade de ampliação do sistema, junto a uma previsão de possíveis aumentos das necessidades de água, e ainda o período de tempo no início da exploração em que os diferentes órgãos estarão a funcionar abaixo da sua capacidade;
- b) **População de projeto:** a população a servir conforme as previsões determinadas no horizonte do projeto;
- c) **Caudais de projeto:** são bases quantitativas a considerar no dimensionamento para os diferentes tipos de consumo (domésticos, comerciais, públicos, industriais e similares);

- d) **Área de projeto:** na qual se tem que avaliar as densidades populacionais e as quantidades de água a considerar em zonas residenciais, comerciais, industriais e outras;
- e) **Hidrologia do projeto:** para uma avaliação das disponibilidades de água, podendo ser superficial e/ou subterrânea.

O dimensionamento de uma rede de distribuição deve considerar alguns aspetos fundamentais: caudais e pressões, juntamente com a velocidade e diâmetros mínimos.

2.5.1. Caudais

Os caudais a considerar no dimensionamento das redes de distribuição de água são os caudais de ponta que correspondem aos caudais máximos horários. A distribuição destes caudais ao longo da rede é definida de acordo com um modelo de cálculo em que a cada conduta é atribuído um caudal unitário de percurso, q_u .

Na condição do tipo de ocupação urbanística da rede ser sensivelmente uniforme em toda a área de projeto, pode considerar-se uma distribuição uniforme de caudal em toda a rede. O caudal unitário de percurso, q_u , resulta da divisão do caudal de ponta instantâneo Q_{pi} , pelo somatório dos comprimentos, L_i , dos troços de rede que têm distribuição de percurso (Sousa e Sá Marques, 2011):

$$q_u = \frac{Q_{pi} - Q_c}{\sum L_i}$$

Em situações distintas, ou seja, em situações onde o tipo de urbanização não é uniforme, é necessário considerar um processo alternativo para a definição dos caudais unitários de percurso. Uma hipótese será a de relacionar os caudais unitários de percurso com a densidade populacional estimada por metro de rede (p.ex., ao longo do arruamento, por zonas de moradias isoladas ou em banda, ou zonas de prédios de apartamentos).

- Zonas de moradias isoladas..... 0.5 hab/m
- Zonas de moradias em banda..... 1.5 hab/m
- Zonas de apartamentos..... 3 hab/m

Sendo L_1 , L_2 e L_3 os comprimentos totais da rede correspondentes a cada tipo de ocupação, e considerando as densidades populacionais correspondentes às zonas, o caudal unitário de percurso pode ser determinado por:

$$q_u = \frac{Q_{pi} - Q_c}{0.5L_1 + 1.5L_2 + 3L_3}$$

Para efeitos de dimensionamento da rede de distribuição, não deve ser somado, aos caudais instantâneos referidos, o caudal instantâneo para o combate a incêndios, uma vez que se admite a não simultaneidade de ambos os caudais (Sousa, 2001)

2.5.2. Pressões

Outro elemento fulcral, no dimensionamento de uma rede de distribuição, diz respeito às pressões com que a água deve ser fornecida aos diferentes consumidores. Existem disposições e condicionamentos, quer de ordem empírica, quer regulamentares, no que diz respeito às pressões mínimas e máximas, que se devem fazer sentir numa rede. A ocorrência de pressões elevadas nos diferentes componentes de uma rede apresenta fortes inconvenientes, tais como: produção de ruídos nas redes interiores dos edifícios, possibilidade de desgaste e avaria dos equipamentos (p.ex., as válvulas), risco de rotura de aparelhos (p.ex., termoacumuladores), com eventuais consequências graves (Vilas-Boas, 2008).

O DR n.º 23/95 estabelece a pressão máxima em qualquer ponto de utilização de rede, medida ao nível do solo, em 600 kPa, e limita a variação máxima de pressão em qualquer nó ao longo do dia a 300 kPa. Estabelece, também, uma pressão mínima (H_{min}) de 100 kPa, em qualquer dispositivo de utilização predial para o caudal de ponta, o que, na rede pública ao nível do arruamento, corresponde aproximadamente a:

$$H = 100 + 40 n$$

sendo:

H = Pressão mínima (kPa)

n : número de pisos acima do solo

As pressões mínimas correspondem a uma situação de distribuição do caudal de ponta horária, a partir do nível mínimo do reservatório (reservatório vazio $\approx$ cota de soleira). É importante a manutenção de um nível mínimo de pressão em cada ponto da rede, de maneira a evitar consequências perigosas em termos sanitários, derivadas da ocorrência de depressões nos componentes da rede aquando da ocorrência da situação de incêndio (Vilas-Boas, 2008).

2.5.3. Velocidades e Diâmetros

De acordo com o DR n.º 23/95, a velocidade do escoamento, para o caudal de ponta no horizonte de projeto, não deve exceder:

$$V = 0.127 D^{0.4}$$

sendo:

V = velocidade de escoamento limite (m/s)

D = diâmetro interno da tubagem (mm)

O mesmo artigo estabelece que a velocidade de escoamento para o caudal de ponta no ano de início de exploração não deve ser inferior a 0,3 m/s. Nas situações em que este limite não possa ser cumprido, deverão ser previstos dispositivos adequados para uma descarga periódica, visto que baixas velocidades favorecem a formação de depósitos (Vilas-Boas, 2008).

No que diz respeito a diâmetros nominais mínimos, considerar os seguintes valores regulamentares:

- a) 60 mm em aglomerados com população inferior a 20 000 habitantes;
- b) 80 mm em aglomerados com população superior a 20 000 habitantes.

No caso de o serviço de incêndio ter de ser assegurado pela rede pública, os diâmetros nominais mínimos das condutas deverão ser estabelecidos em função do risco de incêndio da zona, devendo ser:

- 80 mm – grau 1
- 90 mm – grau 2
- 100 mm – grau 3
- 125 mm – grau 4
- ≥150 mm (a definir caso a caso) – grau 5

2.6. Acessórios da rede

Os acessórios da rede consistem em obras ou instalações complementares dos sistemas de condutas que permitem realizar certos tipos de operações como: interrupção de fornecimento de água, libertação de bolsas de ar, descargas de fundo, reduções de pressão, bombas, entre outras.

2.6.1. Condutas

Os materiais mais usados nas tubagens são o policloreto de vinilo (PVC), Figura 7, o polietileno de alta densidade (PEAD), e o ferro fundido dúctil (FFD). Há ainda tubagens, em redes mais antigas, de fibrocimento (FC), material que já não se aplica em condutas novas (Simões, 2019).



Figura 7: Tubos de PEAD (à esquerda) e Tubos de PVC (à direita) (Peveduto, 2021).

No que diz respeito à instalação das condutas, é desejável a instalação deste tipo de infraestruturas, sempre que possível, fora das faixas de rodagem, a uma distância não inferior a 0,80 m dos limites das edificações e em ambos os lados do arruamento (na ausência de uma solução de uma única conduta, em condições técnico-económicas mais vantajosas). Relativamente às profundidades de assentamento, o DR nº 23/95 estabelece a profundidade mínima de 0,80 m (medida entre o pavimento e a geratriz superior dos tubos), para condutas de água instaladas no subsolo das faixas de rodagem de vias de trânsito. A profundidade máxima não deverá atingir os 2,50 a 3 m, salvo em situações justificadas convenientemente (Vilas-Boas, 2008).

De referir, também, a adoção generalizada de um recobrimento mínimo de 1 m nos traçados fora das vias de trânsito. No que diz respeito à interação com outras tubagens, as condutas de distribuição de água devem ser instaladas a distâncias mínimas de 0,50 m de condutas de gás, de 0,20 m relativamente a cabos elétricos e de 1 m dos coletores de águas residuais (e sempre a uma cota superior à destes últimos). Caso as especificações regulamentares não possam ser cumpridas, é necessária a utilização de proteções especiais que garantam as boas condições de salubridade da água para consumo (Vilas-Boas, 2008).

2.6.2. Dispositivos redutores de pressão

Os dispositivos redutores de pressão podem ser divididos em dois grupos: as válvulas redutoras de pressão (Figura 8) e as câmaras de perda de carga. (Sousa e Sá Marques, 2011).

Consoante a situação e objetivo, poderão instalar-se:

- Válvulas redutoras de pressão → quando se pretende reduzir a pressão para jusante;
- Câmaras de perda de carga → quando se pretende, ou é possível, a redução da pressão até o valor da pressão atmosférica (Vilas-boas, 2008).

A sua regulação é realizada pelo Artigo 43º do DR nº 23/95, designado “Válvulas redutoras de pressão”.



Figura 8: Exemplo de válvula redutora de pressão (Imagem retirada do material de apoio Hidráulica Urbana - plataforma infocaducante ISEC)

2.6.3. Hidroressor

Hidroressor (Figura 9) é uma designação que se refere a eletrobombas projetadas para o incremento da pressão, mantendo uma pressão regular de funcionamento no abastecimento independentemente das mudanças de caudal decorrentes da utilização da água (Hidraulicart, 2021).

São constituídos por duas ou mais eletrobombas iguais, assentes numa base comum, ligadas paralelamente por coletores, válvulas de retenção e seccionamento, manómetro e um quadro elétrico de comando para controlar o sistema. Através dos pressostatos é feito o controlo da pressão do sistema, e o manómetro é o elemento que afere a pressão de saída. Estes equipamentos devem ser dimensionados de acordo com a necessidade de cada projeto (Hidraulicart, 2021).



Figura 9: Exemplo de hidropressor (Hidraulicart, 2021)

3. MODELAÇÃO MATEMÁTICA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os modelos de simulação matemática são ferramentas computacionais que permitem analisar e prever comportamentos hidráulicos e parâmetros de qualidade da água, através das características dos componentes do sistema, da sua forma de operação e das suas solicitações (Silva, 2016).

Estes modelos, ao reproduzirem, com uma margem de erro reduzida, o comportamento hidráulico do sistema físico que representam, permitem, a realização de diagnósticos e otimizações, mesmo com a reduzida capacidade de monitorização direta do sistema, conduzindo a custos de exploração mais reduzidos. Mas são, também, um suporte fundamental ao projetista na previsão de cenários e comportamentos de funcionamento de novos sistemas, que devido aos elevados custos da infraestrutura e à enorme variabilidade das condições operacionais e ambientais, levam a que os problemas tenham que ser antecipados e a que as soluções sejam avaliadas antes que o investimento seja realizado (Silva, 2016).

O modelo de simulação hidráulica de um sistema de abastecimento de água é composto por (Coelho *et al.*, 2006):

- um conjunto de dados que descrevem as características físicas do sistema, das suas solicitações e das suas condições operacionais;
- um conjunto de equações matemáticas (na sua maioria equações não-lineares) que reproduzem o comportamento hidráulico do sistema e respetivas componentes;
- um conjunto de algoritmos numéricos necessários para a resolução desse conjunto de equações matemáticas.

Foram utilizados neste trabalho dois tipos de softwares para a composição da modelação matemática: EPANET 2.0. e WaterNetGen (Simulador) e o QGIS (Sistema de Informação Geográfica).

3.1. Aplicações práticas do modelo

O modelo de simulação é um suporte essencial nas vertentes de planeamento e projeto, operação e gestão, manutenção e reabilitação de SAA, mais concretamente através de (Coelho *et al.*, 2006, Silva, 2016):

- Dimensionamento de condutas, reservatórios, instalações elevatórias e restantes órgãos;
- Elaboração de planos de sustentabilidade no tempo em função das solicitações (consumos);
- Simulação de cenários de gestão e operação, antevisão de problemas e falhas técnicas;

- Treino de operadores em cenários de operação sem riscos diretos para o sistema e para os consumidores;
- Controlo e otimização de parâmetros de qualidade da água;
- Reabilitação de sistemas inadequados com programação das intervenções de modo a minimizar o impacto no consumidor;
- Otimização de gastos energéticos de bombeamento e controlo de perdas de água através de programas de redução de pressões de serviço.

3.2. Software EPANET 2.0.

O EPANET é um software de domínio público, com distribuição gratuita, com o propósito de estabelecer entre os profissionais da indústria da água, os consultores, os docentes e os estudantes de engenharia, e outras disciplinas relacionadas, a divulgação da simulação de sistemas de abastecimento de água e os seus benefícios. O software foi desenvolvido no ano 2000 por Lewis Rossman, para a agência americana de proteção ambiental – *U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA), e com adaptação para a língua portuguesa realizada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em 2002.

O software permite realizar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição em pressão. Um sistema de distribuição de água é constituído por tubagens, bombas, válvulas, reservatórios (Loureiro e Coelho, 2002).

Após a definição da topologia da rede e das demais características físicas dos diversos componentes e consumos dos nós, o EPANET permite obter valores como (Loureiro e Coelho, 2002):

- o caudal em cada tubagem;
- a pressão em cada nó;
- a altura de água em cada reservatório de nível variável;
- e a concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação.

O objetivo do EPANET é ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, aperfeiçoando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. Pode ser utilizado em diferentes situações onde haja a necessidade de efetuar simulações de sistemas de distribuição, seguindo por exemplo (Loureiro e Coelho, 2002):

- estabelecimento de cenários de projeto (p.ex., expansão de uma rede existente);
- calibração de modelos hidráulicos;
- análise do decaimento do cloro residual;
- avaliação dos consumos.

Em ambiente Windows, o EPANET fornece um ambiente integrado para editar dados de entrada da rede, executar simulações hidráulicas e de qualidade da água e visualizar os resultados em vários formatos (Loureiro e Coelho, 2002).

O EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, destacando-se as seguintes principais características (Loureiro e Coelho, 2002):

- dimensão (número de componentes) da rede a analisar ilimitada;
- cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen- Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc.;
- modelação de bombas de velocidade constante ou variável;
- cálculo da energia de bombeamento e do respetivo custo;
- modelação dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de caudal;
- modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- modelação da relação entre pressão e caudal efluente de dispositivos emissores (p.ex. aspersores de rega, ou consumos dependentes da pressão);
- possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controlos simples, dependentes de uma só condição, ou em controlos com condições múltiplas.

3.3. Sistema de informação geográfica

O software QGIS é um Sistema de Informação Geográfica - SIG (termo oriundo do inglês GIS – *Geographic Information System*), que aborda uma junção de programas, metodologias, dados e pessoas (na perspetiva do utilizador), completamente integrados. O QIS possibilita a recolha, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada da sua aplicação.

Apesar de terem surgido na década de 1960, os SIG tiveram um uso em massa na década de 1990, devido ao aparecimento de distintos softwares, de interface intuitiva, e mais rápidos em termos de resposta (Vieira, 2011).

Atualmente os SIG têm um papel importante na manutenção, gestão e planeamento das entidades gestoras, pois permitem reduzir os custos da água, detetar de forma rápida possíveis roturas e ineficiências da rede, estando disponíveis segundo várias plataformas (desktop, web, dispositivos móveis, ...), tornando-se uma ferramenta indispensável para o bom funcionamento das entidades gestoras dos sistemas de abastecimento de água (Vieira, 2011).

3.3.1. Aplicação do SIG em sistemas de abastecimento de água

A utilização de SIG para gestão de SAA possibilita a visualização dos dados e dos resultados com mais facilidade e a obtenção de informações mais precisas e organizadas para tomada de decisão, além da análise do desempenho por sistema, por setor ou por unidade do SAA. Com o auxílio das ferramentas de SIG, podem ser construídos indicadores para avaliação de desempenho de SAA, em cada grupo de dados a estudar (Santos e Pereira, 2016).

Os modernos programas de simulação permitem construir graficamente, de modo interativo, uma descrição completa da infraestrutura física – condutas, válvulas, reservatórios, instalações elevatórias e outros componentes – e da sua topologia e topografia (Figura 10). Apresentam interfaces gráficas cada vez mais semelhantes às do software de SIG ou de cadastro informatizado, com os quais, aliás, comunicam de forma já bastante eficaz (Coelho *et al.*, 2006).

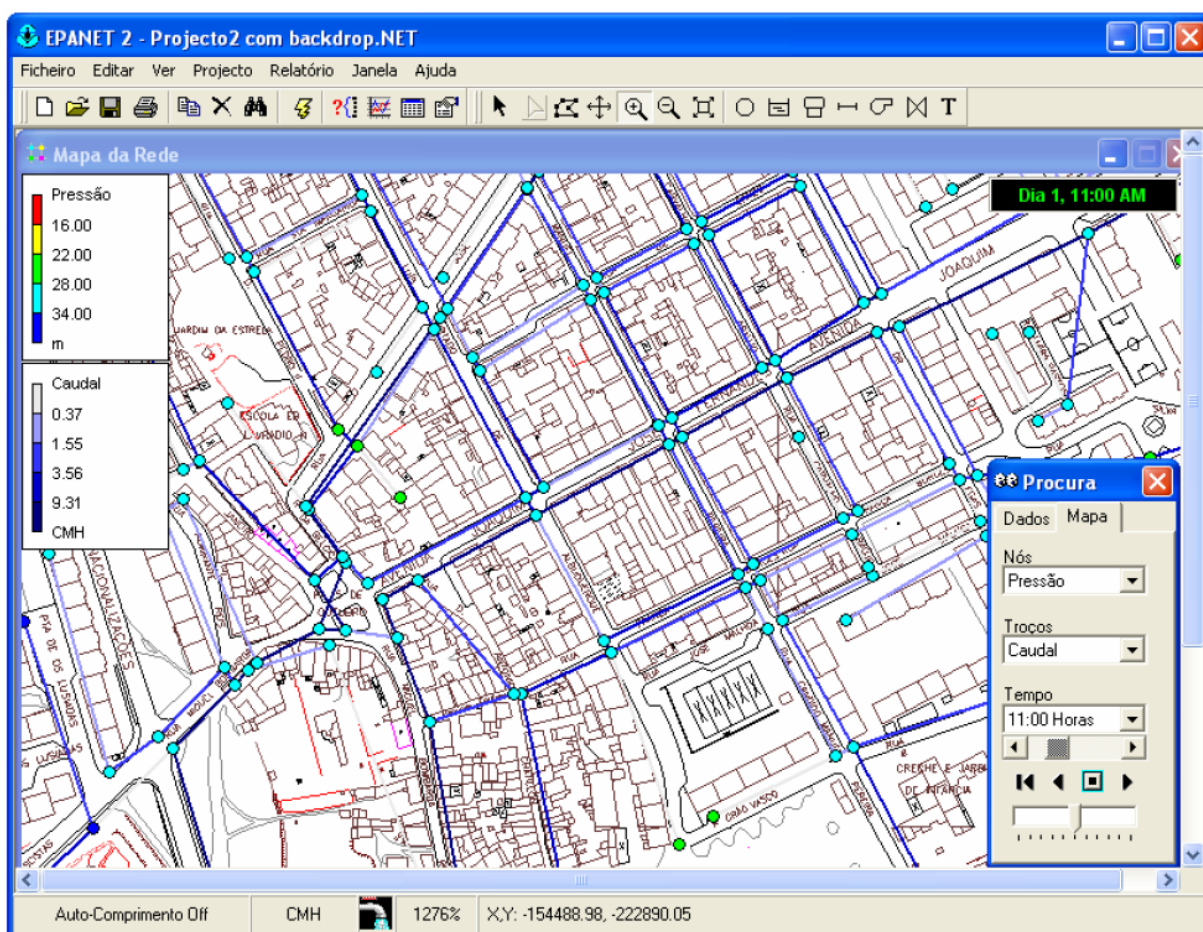


Figura 10: Interface gráfica típica de um simulador moderno (EPANET), com representação do traçado da rede em cartografia digital (Coelho *et al.*, 2006)

A descrição da infraestrutura, num modelo, é limitada à topologia e aos parâmetros necessários para a modelação. Pelo contrário, um SIG é projetado para georreferenciar e armazenar toda a informação descritiva existente sobre cada componente do sistema, de modo exaustivo, mas sem objetivos de análise funcional da rede. Um SIG pode conter, assim, uma parte substancial da informação necessária para a modelação, que poderá exportar para o software de simulação (Coelho *et al.*, 2006).

Para além da descrição do sistema físico, um programa de simulação possibilita ao utilizador a construção de uma descrição detalhada das solicitações – os consumos de água – e dos modos de operação, incluindo as condições impostas por níveis de reservatórios limítrofes ou ligações a outros sistemas (Coelho *et al.*, 2006).

Na posse desta informação, o software de simulação oferece a possibilidade de calcular o equilíbrio hidráulico do sistema, exprimindo de forma numérica e gráfica os valores das variáveis de estado, tais como:

- a pressão e a cota piezométrica nos pontos notáveis da rede (por exemplo, nos pontos de consumo), incluindo o nível de água nos reservatórios;
- a velocidade de escoamento, a perda de carga e o caudal nas condutas, válvulas e bombas;
- o estado de abertura/fecho ou a regulação de válvulas e bombas;

3.3.2. Método de geração dos dados a partir de um SIG

Os SIG tornam-se cada vez mais no principal arquivo da informação referente à infraestrutura física e mesmo ao seu funcionamento e utilização. Quando plenamente desenvolvidos, os SIG contêm uma grande parte da informação dos SAA que é necessária para, num modelo de simulação, descrever as condutas e grande parte das válvulas – em termos topológicos (conetividade de troços e nós), geométricos (diâmetros e comprimentos de conduta, diâmetros de válvulas) e altimétricos (cotas) (Coelho *et al.*, 2006).

Têm também a capacidade de registar informação sobre o material, idade, história de reparações e outros elementos que possibilitam uma estimativa do coeficiente de rugosidade, fundamental para a definição do comportamento hidráulico na simulação de qualidade de água (Coelho *et al.*, 2006).

A exportação da descrição de condutas e válvulas a partir de um SIG, com o formato compatível com um determinado simulador, consegue gerar uma grande quantidade de informação e dá, assim, um grande contributo no processo de construção de um modelo, sendo neste aspeto mais benéfico e rápido do que no caso de se usarem os desenhos CAD (Coelho *et al.*, 2006).

3.4. Metodologia para o desenvolvimento de modelos

O desenvolvimento de modelos de simulação de redes de distribuição de água deverá seguir uma abordagem estruturada e sistemática, de modo a otimizar a rentabilidade dos fatores e recursos utilizados na modelação. O faseamento indicado para o desenvolvimento de um modelo de simulação está esquematizado na Figura 11 (Coelho *et al.*, 2006).

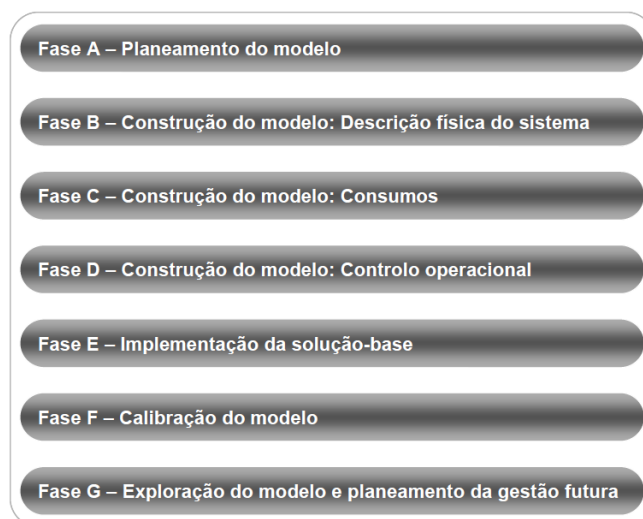


Figura 11: Faseamento recomendado do desenvolvimento de um modelo (Coelho et al., 2006)

3.5. Descrição de consumos e caudais

As solicitações de um SAA são os consumos de água por parte dos diferentes grupos de consumidores e as perdas físicas de água que acontecem no conjunto das condutas e demais componentes da infraestrutura (Coelho *et al.*, 2006).

O consumo de água numa rede de distribuição inclui (Coelho *et al.*, 2006):

- O consumo humano (doméstico, comercial, industrial, as utilizações públicas de água para rega de espaços verdes ou lavagem de ruas, e as restantes utilizações autorizadas, bem como eventuais utilizações não autorizadas);
- E as perdas de água originadas por fugas, roturas e extravasamentos.

Logo, salienta-se a importância na obtenção das estimativas de consumo, e a adoção de métodos de quantificação e atribuição de consumos aos nós da rede que facilitem a sua atualização permanente e flexibilizem o cálculo e utilização do modelo (Coelho *et al.*, 2006).

Uma parte essencial das funções de um sistema de abastecimento de água deve ser a medição fiável dos principais volumes de água geridos, não só para efeitos de modelação, mas sobretudo pelo incremento das capacidades de análise e gestão da oferta e da procura, incluindo a avaliação de perdas (Coelho *et al.*, 2006).

3.5.1. Determinação dos consumos num modelo

A determinação dos consumos é um dos problemas principais que se levantam no processo de construção de um modelo de simulação. Embora, numa perspetiva real da rede, estes se encontrarem distribuídos ao longo das condutas, através dos ramais domiciliários, e ser igualmente expectável que as fugas se distribuam de forma aproximadamente contínua, nos

modelos de simulação são, normalmente, implementados, de forma simplificada, e representam-se os consumos como estando concentrados nos nós que delimitam as condutas, Figura 12 (Coelho *et al.*, 2006).

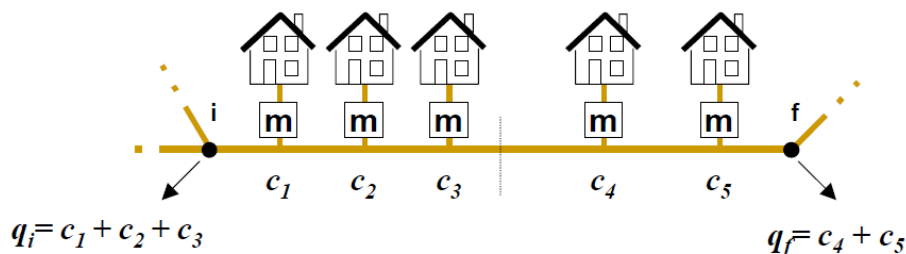


Figura 12: Atribuição dos consumos da conduta aos nós inicial e final (Coelho *et al.*, 2006)

A forma mais frequente para especificar os consumos nos nós do modelo passa pela atribuição de um valor nominal definido como consumo-base, representativo do consumo acumulado do nó (Coelho *et al.*, 2006).

3.5.2. Métodos para distribuição espacial do consumo-base pelos nós

Para definir o método que mais se adequa têm-se em consideração, essencialmente, os seguintes aspetos (Coelho *et al.*, 2006):

- Tipo e qualidade da informação disponível;
- Equipamentos de medição e de processamento disponíveis;
- Objetivos de aplicação do modelo.

Sabendo que os modelos de SAA podem ser aplicados como apoio à operação, à manutenção e reabilitação dos mesmos ou em fase de planeamento e licenciamento, interessa (Coelho *et al.*, 2006):

- Reproduzir tão corretamente quando possível a situação atual de consumos;
- Escolher uma estratégia de carregamento e criar mecanismos tais que facilitem a contínua atualização da representação dos consumos;
- Sendo inevitavelmente uma tarefa fastidiosa – pelo menos da primeira vez que é executada – procurar a forma de a executar que seja temporalmente menos onerosa, mais automatizável e menos sujeita a erro humano.

Segundo Coelho *et al.*, 2006, os métodos habitualmente empregues em modelação de sistemas de distribuição de água são:

Métodos baseados na análise cartográfica: necessários quando a quantidade de informação disponível é escassa ou quando não é recomendável utilizar os valores de faturação, tratando-se de métodos aproximados, cujos resultados são essencialmente estimativas, mas que detêm uma relativa flexibilidade. Estes métodos são utilizados fundamentalmente para casos de planeamento, dimensionamento ou expansão de sistemas (Simões, 2019).

Métodos baseados nos dados de faturação: recorrem basicamente à construção de tabelas de correspondência entre os valores registados no sistema de faturação e os nós do modelo. A base do processo passa por identificar um campo da base de dados de consumos que funcione como chave para a definição do consumo de cada local, para que este seja associado a um nó do modelo. No seguimento, procede-se ao carregamento de consumo a partir dos registos de faturação, que pode ser concretizado através da área de leitura, do número de polícia, que é o número que identifica a porta, ou o código de ramal, que é atribuído pela entidade gestora. O objetivo inicial da distribuição espacial dos consumos, através deste método, é procurar aproveitar a informação contida nos registos de leitura dos consumidores e explorar as possibilidades efetivas de automatização, abreviando e tornando mais eficazes os mecanismos de atualização da estimativa (Simões, 2019).

Métodos baseados na interligação SIG – sistema de faturação/modelo: a aplicação deste método prevê a representação prévia e a georreferenciação dos ramais no SIG, havendo uma codificação comum entre o sistema de faturação e o SIG, de forma a relacionar os dois. O método permite gerar um modelo de simulação onde, para além da infraestrutura física, surgem os valores de consumos acumulados em nós de modelação. Para isso é necessário não só a possibilidade de exportação para o modelo, mas também a capacidade de o SIG agregar os ramais e os respetivos totais de consumo às condutas a que estão ligados, e, seguidamente, concentrá-los nos nós de modelação. Caso seja possível utilizar este método, é visivelmente a melhor solução para o carregamento da distribuição espacial de consumos num modelo, pois pode atingir um grau de automatização muito considerável, e simplificar assim a geração da solução inicial, e, sobretudo, a sua atualização futura (Simões, 2019).

3.5.3. Especificação de padrões de consumo

Para especificar os padrões de variação de consumo ao longo do dia é necessário fazer uma análise estatística dos registos contínuos da monitorização de caudal (Coelho *et al.*, 2006).

O resultado é uma curva que une pontos representativos do valor médio do consumo em sucessivos momentos ao longo do dia. São calculadas as médias de uma parte do registo que se

mostre representativa para o objetivo em vista. No entanto, é de frisar a influência das variações sazonais, nomeadamente, no andamento da curva (Coelho *et al.*, 2006).

Segundo Coelho *et al.*, 2006, “a metodologia usada no seu cálculo consiste em adimensionalizar os valores do caudal ao longo da amostra em estudo, dividindo-os pelo caudal médio do dia a que se referem. Dado que os efeitos sazonais se fazem sentir mais sobre a escala da curva do que propriamente sobre o seu andamento, o diagrama adimensional obtido tem a vantagem de ver eliminados grande parte desses efeitos. Naturalmente que, se o efeito sazonal for muito acentuado, deverá aplicar-se este método a partes de registo relativamente homogêneas desse ponto de vista, devendo-se, como é o caso, dividir o ano nas principais épocas”.

Definir os padrões diários adimensionais de consumo, possibilita a identificação do comportamento dos consumos de caudais na escala temporal que ocorrem. O facto de serem adimensionais permite a comparação direta entre dias da semana da mesma época, de épocas do ano diferentes ou de ano para ano. Há uma grande quantidade de informação contida nos padrões e, por se tratar de um suporte gráfico, muito facilmente perceptível. Normalmente, encontram-se maiores diferenças entre os dias úteis, os sábados e os domingos (Coelho *et al.*, 2006).

O uso de padrões diários adimensionais mostra-se de grande ajuda na modelação dos sistemas, uma vez que permite carregar o modelo com os comportamentos típicos, e mesmo com base nos consumos médios diários calculados conjuntamente com os padrões (Coelho *et al.*, 2006), (Simões, 2019).

3.6. Calibração de modelos

O objetivo do modelo de simulação hidráulica é reproduzir o comportamento real de um sistema a construir ou de um sistema existente, diante de um conjunto de solicitações que já ocorram ou que possam vir a ocorrer, diferentes modos de operação e alterações da topologia ou das características físicas dos componentes (Coelho *et al.*, 2006).

Sempre que a aplicação do modelo for para sistema existente, é necessário efetuar uma aferição dos resultados obtidos para trazê-los para o mais próximo possível da realidade. Uma correta modelação traduz-se basicamente no equilíbrio a alcançar entre a realidade, a simulação da realidade, e o esforço necessário para que as duas coincidam, de forma a satisfazer o objetivo de estudo determinado (Simões, 2019).

Entende-se por calibração de um modelo de qualquer sistema físico, segundo Coelho *et al.*, 2006, “o processo de aferição e validação do modelo para diversas condições de funcionamento criteriosamente selecionadas, de modo a permitir que a sua utilização possa ser feita com confiança suficiente no âmbito da análise pretendida”. O modelo calibrado deve possibilitar a compreensão de variáveis do comportamento do sistema que não são objeto de medição, quer para situações de funcionamento correspondentes às selecionadas para calibração, quer para situações diferenciadas (Coelho *et al.*, 2006).

A calibração é feita pela comparação entre os dados simulados e os resultados medidos e recolhidos na rede em funcionamento, portanto, quanto maior for o número de observações dos parâmetros que retratam o comportamento do sistema, mais o processo de calibração beneficiará. Um modelo hidráulico encontra-se calibrado se conseguir simular, de forma adequada, os valores dos caudais e das pressões, sendo imprescindível obter bons resultados para estas duas variáveis (Coelho *et al.*, 2006).

É indispensável que o modelo que foi calibrado cumpra um determinado grau de exatidão. Esse grau mede a diferença entre os valores calculados pelo modelo e os valores medidos no sistema físico, para determinada grandeza. Podendo ser previamente estabelecido, o grau de exatidão dependerá da finalidade de utilização do modelo. Salienta-se que o grau de exatidão final é uma característica própria de cada modelo, e influenciador direto da fiabilidade dos seus resultados (Coelho *et al.*, 2006).

Os erros da calibração são as discrepâncias entre os resultados do modelo e a realidade observada, e podem ter diversas origens, como os dados utilizados para a descrição do sistema, as suas solicitações e condições de fronteira, e as suas condições operacionais (Coelho *et al.*, 2006).

3.6.1. Medição de parâmetros para calibração de modelos

As medições, para levantamento de parâmetros necessários para a calibração de modelos de simulação hidráulica, implicam saídas de campo e existência do equipamento necessário. Isso resulta em custos, associados a mão-de-obra e ao equipamento. A montagem dos equipamentos pode ainda necessitar que se proceda a cortes do abastecimento ou alterações temporárias na rede. Atendendo a todas estas condicionantes, para que se minimizem as perturbações aos consumidores e do normal funcionamento da rede, deve-se realizar um planeamento cuidado de todo o processo (Simões, 2019).

3.6.1.1. Medição de pressão

Para uma mais efetiva calibração dos modelos, realizar as medições de pressões é essencial, afim de obter uma melhor compreensão do sistema, e chegar a resoluções dos problemas operacionais que podem ocorrer.

Um dos principais indicadores de desempenho operacionais de um sistema de distribuição são as pressões ao longo das condutas, o que reflete diretamente a qualidade do serviço prestado ao consumidor final. Por outro lado, medir pressões pode tornar-se, regra geral, menos trabalhoso e dispendioso do que medir caudais. Mesmo que os dois tipos de medição não constituam alternativa entre si, o conhecimento das pressões em certos pontos da rede auxilia na verificação da veracidade dos valores dos caudais resultantes do modelo, possibilitando analisar se estes se afastam claramente dos caudais reais que circulam no sistema (Coelho *et al.*, 2006).

As medições de pressão podem ser realizadas em qualquer ponto que permita acesso ao interior das condutas, ou seja, em hidrantes e bocas-de-incêndio, bocas de rega e simples torneiras de serviço, nas purgas, em tomadas em pressão e noutros acessórios existentes nos sistemas (Coelho *et al.*, 2006).

Os principais tipos de medidores são os transdutores de pressão ou os manómetros, equipamentos portáteis ou fixos, analógicos ou digitais, com leitura instantânea apenas, ou com a capacidade de registo através de *datalogger*. Os equipamentos fixos podem ou não se encontrar dotados de ligação a sistemas de telemedição, e muitos equipamentos portáteis são capazes de transmitir dados à distância através de transmissores rádio ou GSM (Coelho *et al.*, 2006).

3.6.1.2. Medição de caudal

A medição de caudais num SAA é realizada através de medidores de diferentes tipos, normalmente, dispendiosos, o que obriga a um planeamento cuidado da sua localização, que consiste na definição de pontos-chave. As principais localizações definidas são nas entradas e saídas de reservatórios, nas estações elevatórias, e entradas e saídas de sistemas, subsistemas e setores de abastecimento, incluindo zonas de medição e controlo. Para tal, é necessário possuir um conhecimento aprofundado, tanto das características dos equipamentos utilizados, como das condições em que as medições são obtidas (Coelho *et al.*, 2006).

Tal como os medidores de pressão, os medidores de caudal podem, caso não se encontrem ligados a um sistema de telemetria, também ser dotados de *dataloggers* e transmissores GSM (Coelho *et al.*, 2006).

3.6.2. Processo de calibração

Como já foi mencionado anteriormente, a calibração de um modelo tem por base a comparação dos resultados da simulação com os dados obtidos em medição de campo, sendo um método iterativo, onde passos principais são repetidos até se alcançarem as condições de aceitabilidade, definidas em função dos objetivos a que se destina, e sendo necessário se observar a qualidade dos dados utilizados para o construir (Coelho *et al.*, 2006).

O conceito básico do processo de calibração consiste em correr o modelo e comparar os resultados com medições de campo, caso a diferença for superior à tolerância de erro estabelecida previamente, realizam-se ajustamentos e volta-se a correr o modelo (Coelho *et al.*, 2006).

É imprevisível o número de iterações necessárias, dependendo de caso para caso, de acordo com a topologia do sistema, o grau de exatidão definido, a complexidade da rede, a qualidade dos dados descritivos do sistema e a modelação dos consumos (Coelho *et al.*, 2006).

A calibração implica um procedimento ordenado que se rege pelos seguintes passos (Coelho *et al.*, 2006):

1. Identificação do uso que se pretende dar ao modelo;
2. Estabelecimento de um cenário-tipo para a comparação;
3. Revisão das condições operacionais e, se necessário, de outros parâmetros do modelo;
4. Recolha de dados de calibração;
5. Simulação inicial do processo iterativo;
6. Macro calibração;
7. Análise de sensibilidade;
8. E micro calibração ou ajustamento fino.

4. CASO DE ESTUDO

4.1. Modelação do sistema de abastecimento de água a Montemor-o-Velho

O abastecimento de água do concelho de Montemor-o-Velho é gerido pela ABMG – Águas do Baixo Mondego e Gândara, empresa intermunicipal, responsável pela exploração dos sistemas públicos de água e de saneamento de águas residuais de três Municípios: Mira, Montemor-o-Velho e Soure (Figura 13).

O contrato de gestão delegada foi assinado no dia 9 de janeiro de 2020 e a empresa começou a operar no dia 15 de janeiro com o objetivo de assegurar o abastecimento de água para consumo humano para um universo de cerca de 30 mil clientes e 53 mil habitantes (ABMG, 2021).

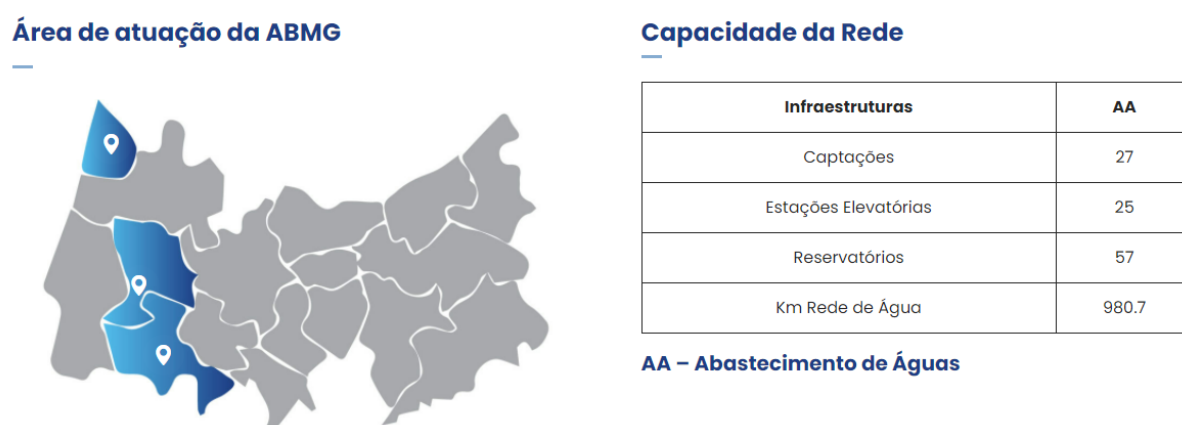


Figura 13: Abastecimento de água dos municípios de Mira, Montemor-o-Velho e Soure (ABMG, 2021)

O sistema autónomo de Montemor-o-Velho abastece 44 lugares das freguesias de Montemor-o-Velho, Carapinheira e Meãs do Campo, e os cerca de 7.200 habitantes destes lugares são abastecidos através da água que é captada nos furos de Fonterma, sendo tratada e distribuída pelos vários lugares (CM-MV, 2016).

A área do estudo concentra-se em parte do sistema autónomo de Montemor-o-Velho, parte essa que abastece a zona alta de Montemor-o-Velho (Reservatório Cavalinha – Alta de Carapinheira e Meãs do Campo), e a zona baixa (Reservatório S. Gens – Casal Novo do Rio, Baixa de Carapinheira e Meãs do Campo), numa área total do concelho de 229 km², com uma população residente de 26 171 habitantes (CM-MV, 2016), Figura 14.

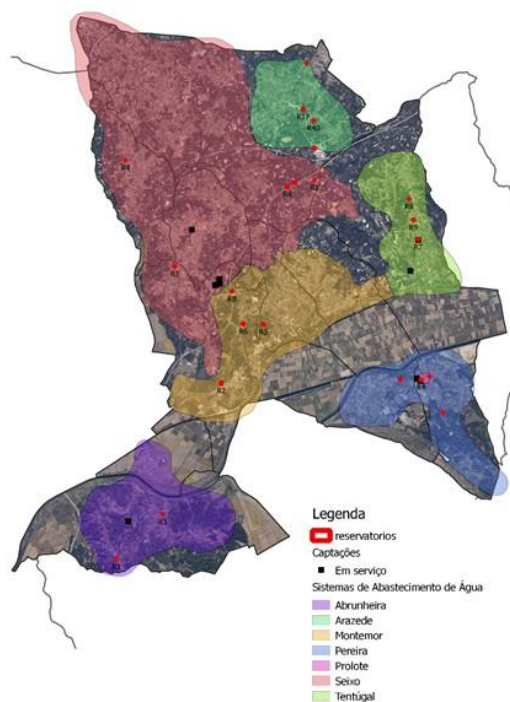


Figura 14: Localização das zonas abrangidas pelos vários sistemas no concelho de Montemor-o-Velho, (CM-MV, 2021)

Fonterma, como já foi referido, é o local da captação de água, que é realizada com recurso a 4 captações subterrâneas (mais propriamente, furos), que são auxiliadas por uma quinta captação subterrânea, situada junto ao reservatório Sargaço (CM-MV, 2016).

A água captada é elevada para o reservatório Sargaço, onde é submetida ao tratamento de desinfecção com cloro gasoso. Do reservatório Sargaço, a água é bombeada para o reservatório Cavalinha. Este reservatório abastece parte da Carapinha (alta) e de Meãs do Campo (alta) e alimenta, também, o reservatório S. Gens, por adutora gravítica (Simões, 2019).

A representação do sistema encontra-se na Figura 15.

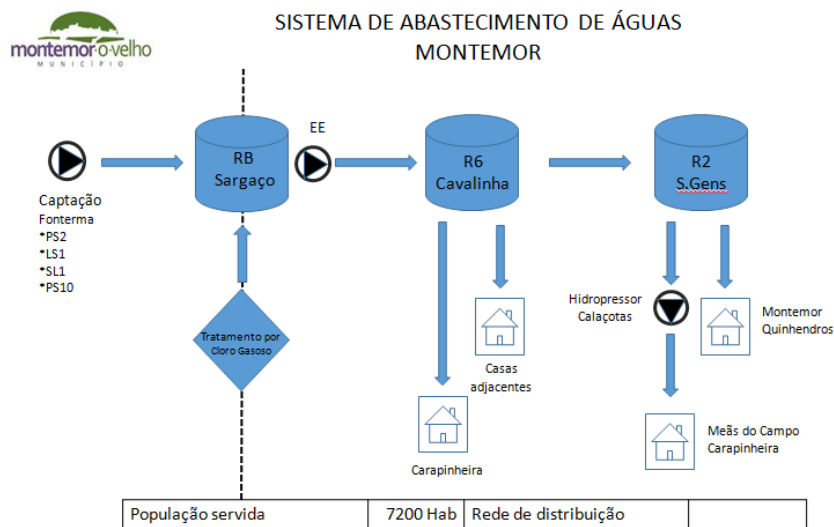


Figura 15: Representação do sistema de abastecimento de água de Montemor-o-Velho (Simões, 2019)

O reservatório S. Gens abastece o sistema autónomo de Montemor-o-Velho por meio de duas condutas, onde uma encaminha a água para a zona Este de Montemor-o-Velho (Casal Novo do Rio), Carapinheira (baixa) e Meãs do Campo (baixa), e a outra abastece Montemor-o-Velho e a zona Oeste de Montemor-o-Velho (Quinhendros), Figura 16.

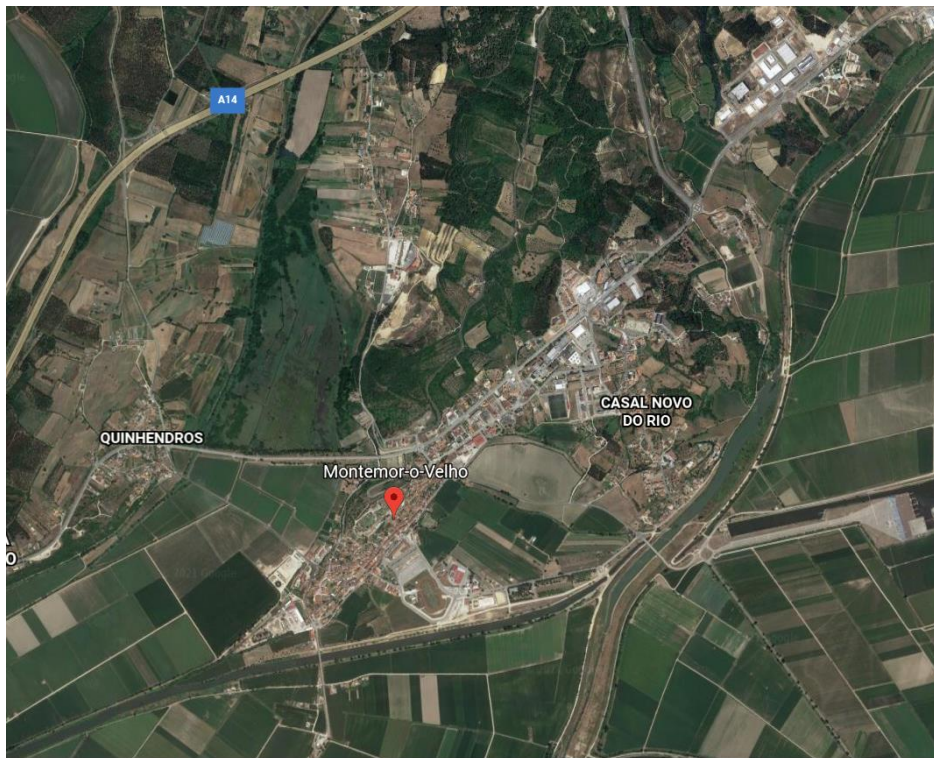


Figura 16: Área do estudo de caso, Montemor-o-Velho (Imagem obtida via Google Earth)

4.2. Construção da modelação matemática

Foram utilizados dois tipos de softwares para a composição da modelação matemática do sistema de Montemor-o-Velho: o QGIS (Sistema de Informação Geográfica) e o EPANET 2.0 e o WaterNetGen (Simulador Hidráulico).

O QGIS (Figura 17), como já citado, foi desenvolvido para que o utilizador, além da criação de mapas com várias camadas utilizando diferentes projeções, analisar e editar informações espaciais. Permite a composição de mapas a partir de camadas raster (dados raster/matriciais são imagens que contêm a descrição de cada pixel), e/ou vetoriais. Estes dados podem ser armazenados como pontos, linhas ou polígonos. Os distintos tipos de imagens raster são admitidos e o software tem capacidade de georreferenciar estas imagens.

O desenho da rede de distribuição cadastrada (Figura 18), identificando os reservatórios, as condutas e os ramais de abastecimento, juntamente com os valores das cotas topográficas de alguns pontos e informação sobre os consumos, foram fornecidos pelo Professor Joaquim Sousa, para posteriormente servir de base à criação de um ficheiro em formato INP para utilização nos softwares EPANET e WaterNetGen.

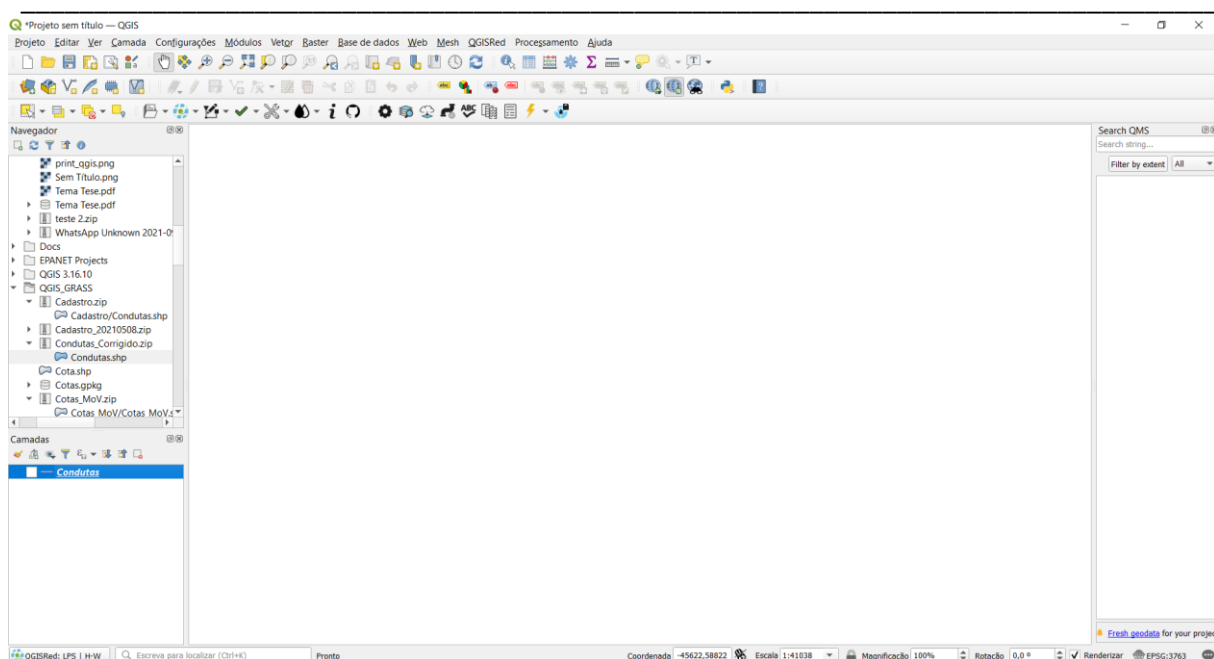


Figura 17: Identificação da interface do software QGIS

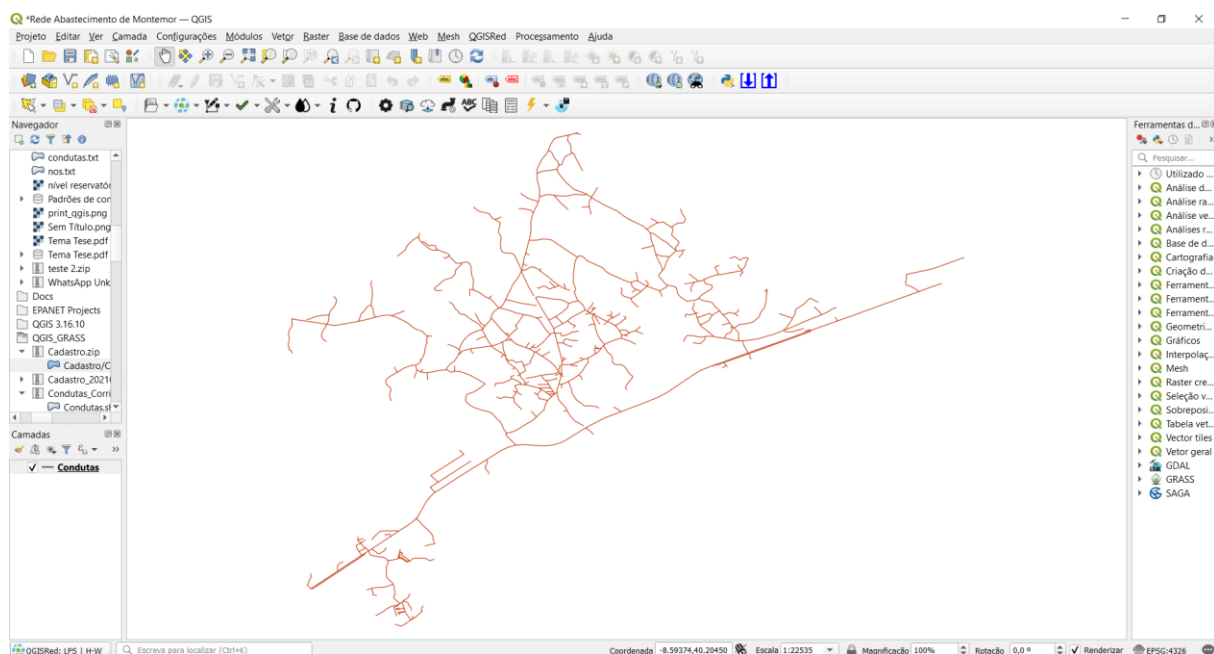


Figura 18: Cadastro das condutas da rede de Montemor-o-Velho

Para a construção do modelo foi feita uma verificação da rede cadastrada (Figuras 19, 20 e 21), a fim de conferir se a topologia estava conforme as necessidades para a criação do modelo, tendo sido necessário introduzir intersecções onde foram inseridos novos nós da rede e verificadas as ligações entre condutas.

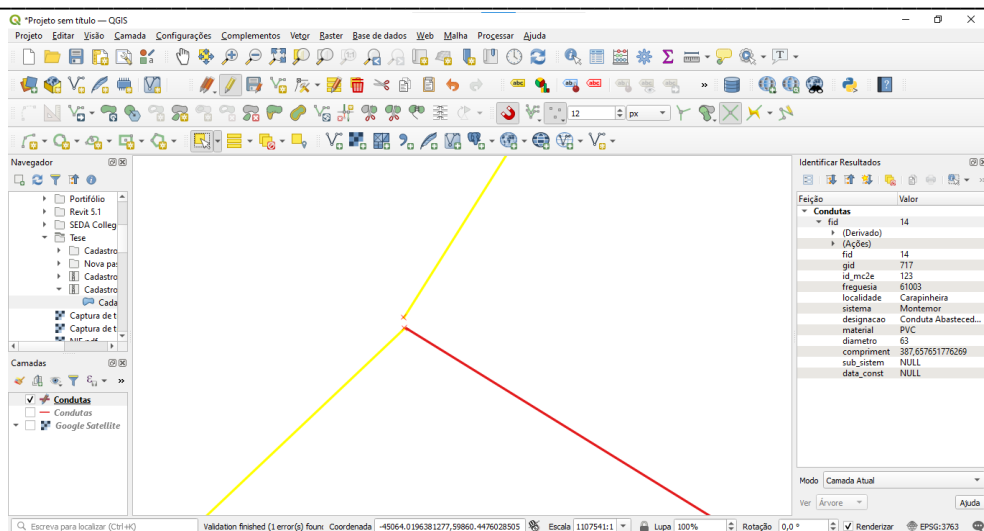


Figura 19: Troço da conduta onde foi necessário fazer a ligação



Figura 20: QGIS com a camada “condutas” a corrigir



Figura 21: Camada dos mapas ativa para identificar ponto a corrigir.

Algumas condutas continham erros, e foi necessário completar troços, onde as condutas estavam afastadas ou com interrupções, onde também seguiam condutas de forma contínua no cadastro e foi preciso partir as condutas para inserção e identificação. Entre as condutas do

cadastro, havia erros entre as ligações, onde foi necessário refazer as ligações entre as mesmas, e a correta definição do cruzamento das condutas (nós), Figura 22.



Figura 22: Condutas corrigidas

Com as condutas já identificadas, foi adicionada a camada dentro do SIG com as informações necessárias para gerar o modelo (Figura 23).

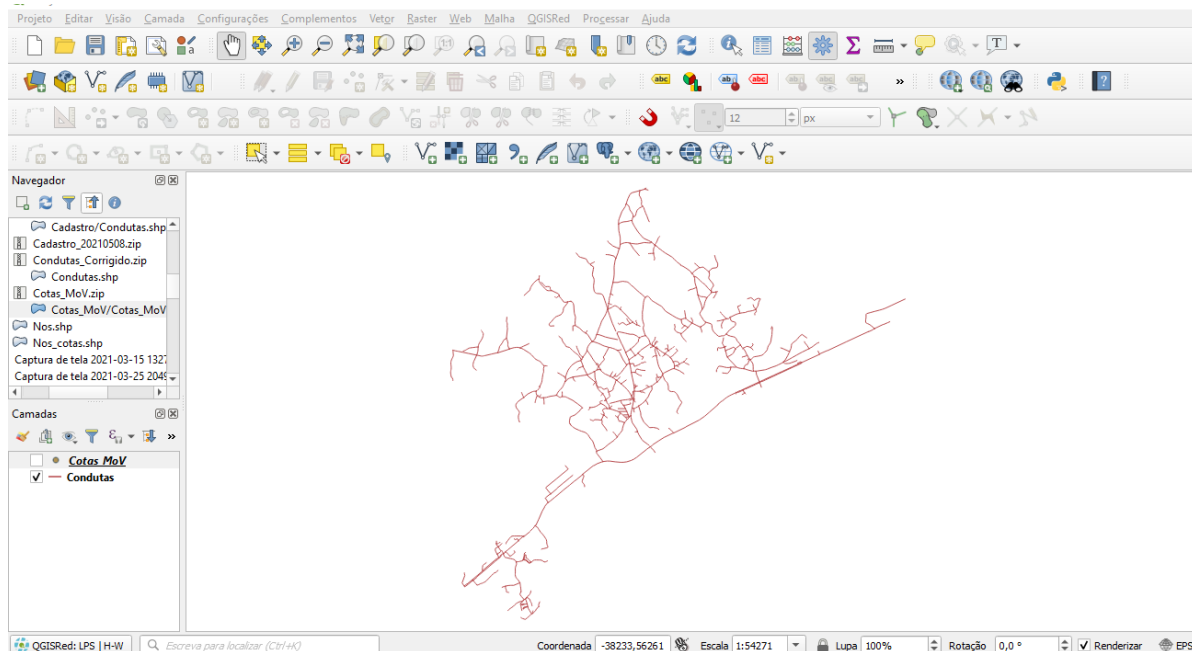


Figura 23: Camada das “Condutas” de Montemor-o-Velho (Casal Novo do Rio, Carapinheira e Meãs do Campo

Dentro do QGIS cada camada corresponde aos elementos da rede de abastecimento. A camada identificada na Figura 23 é a representação das condutas ao longo das ruas. As condutas são linhas constituídas por vértices, e cada vértice tem coordenadas x, y e z.

Em seguida foi incluída uma camada de cotas topográficas do terreno (camada “Cotas MoV”) para posterior criação de um modelo digital do terreno (Figura 24).

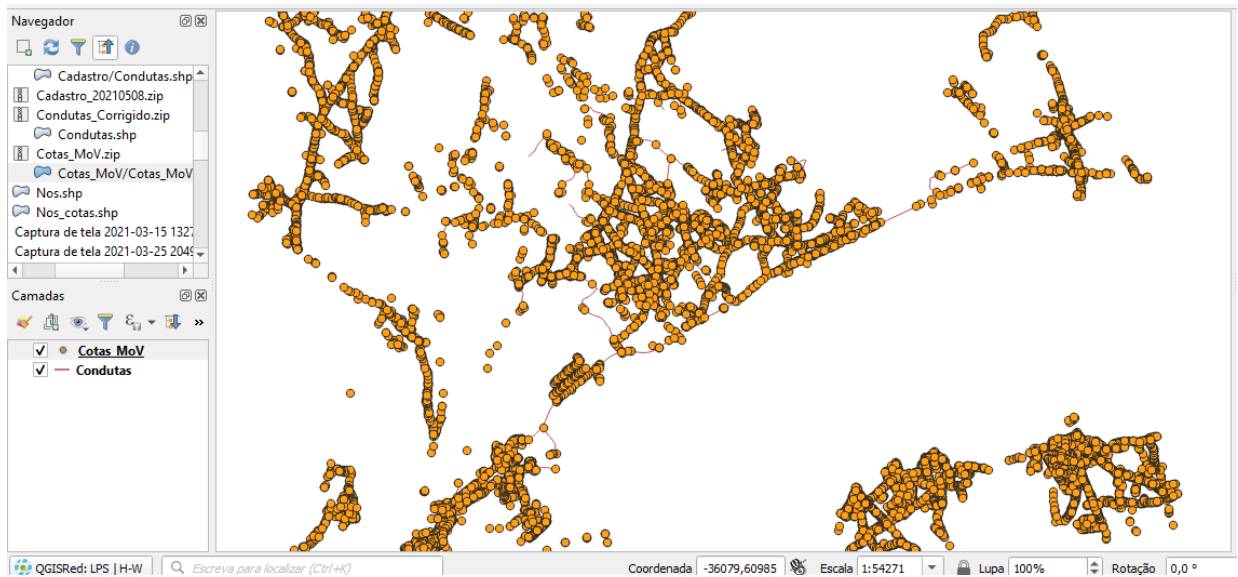


Figura 24: Camada de pontos com cotas topográficas (“Cotas MoV”)

Utilizando a ferramenta “Extrair vértices específicos”, Figura 25, introduziram-se os parâmetros de referência para a criação de uma nova camada com os nós da rede (nós extremos das linhas que definem as condutas), Figura 26.

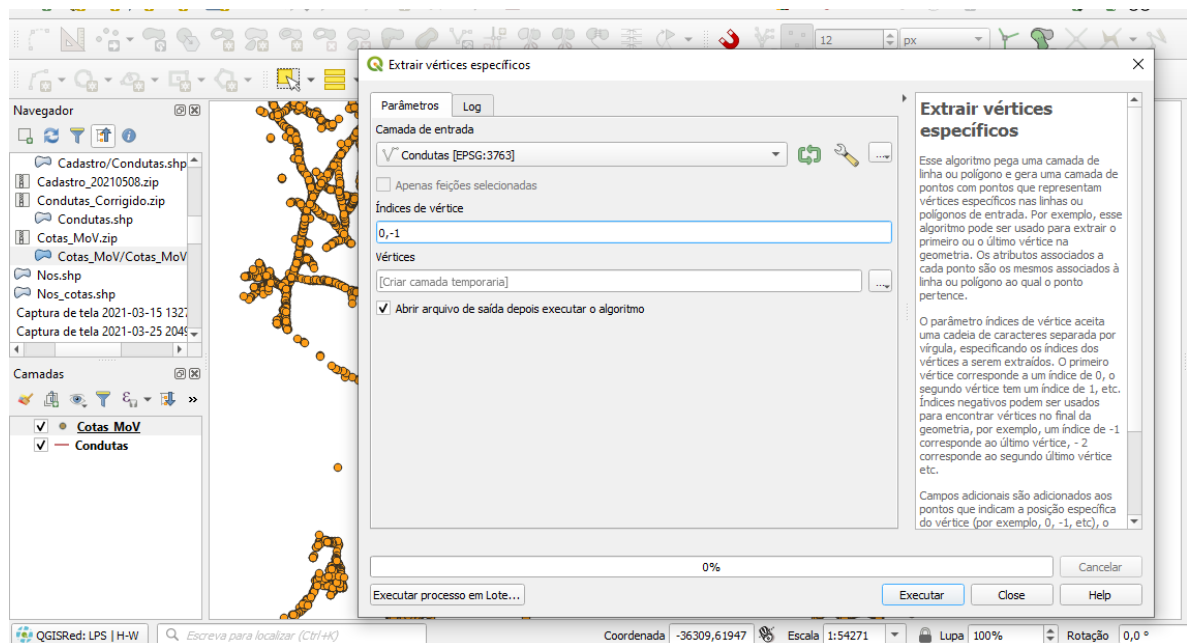


Figura 25: Extrair os vértices específicos para criar a nova camada de nós da rede

Modelação do sistema de abastecimento de água a Montemor-o-Velho

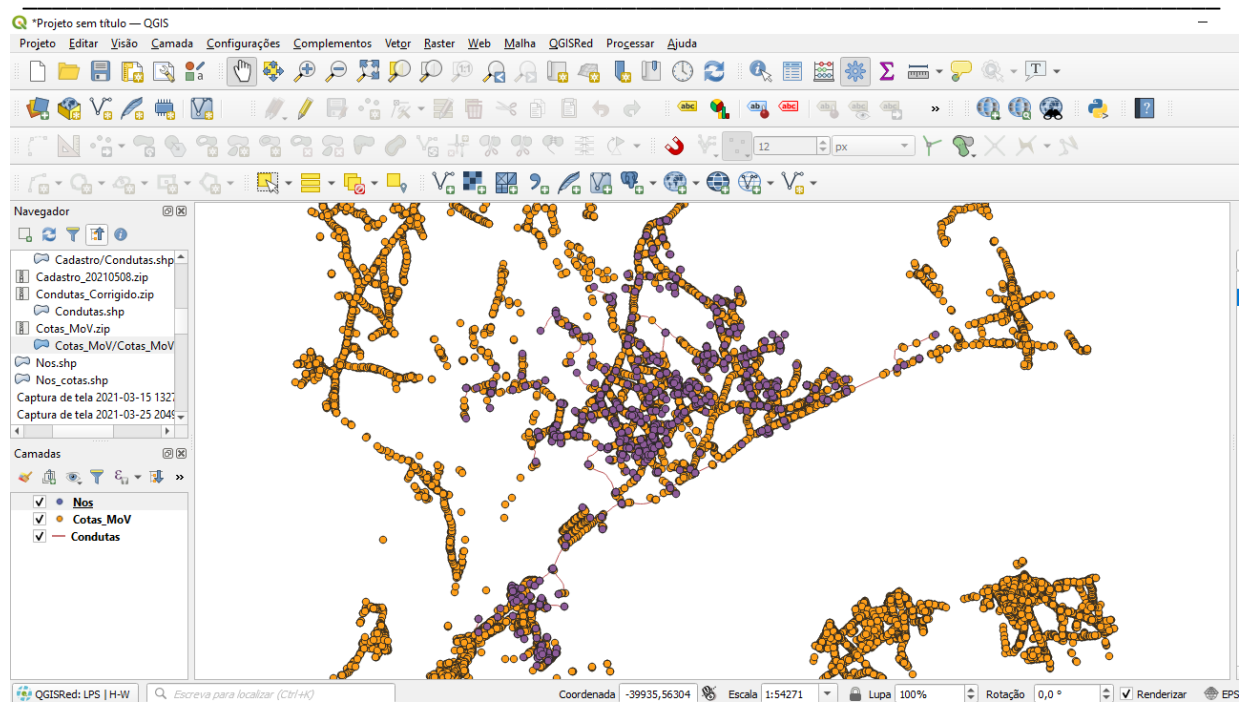


Figura 26: Camada de “Nós” criada, onde cada ponto na cor roxo equivale a um nó do sistema

Com a camada de “Nós” já criada, reposicionaram-se as camadas para uma melhor visualização do sistema (Figura 27).

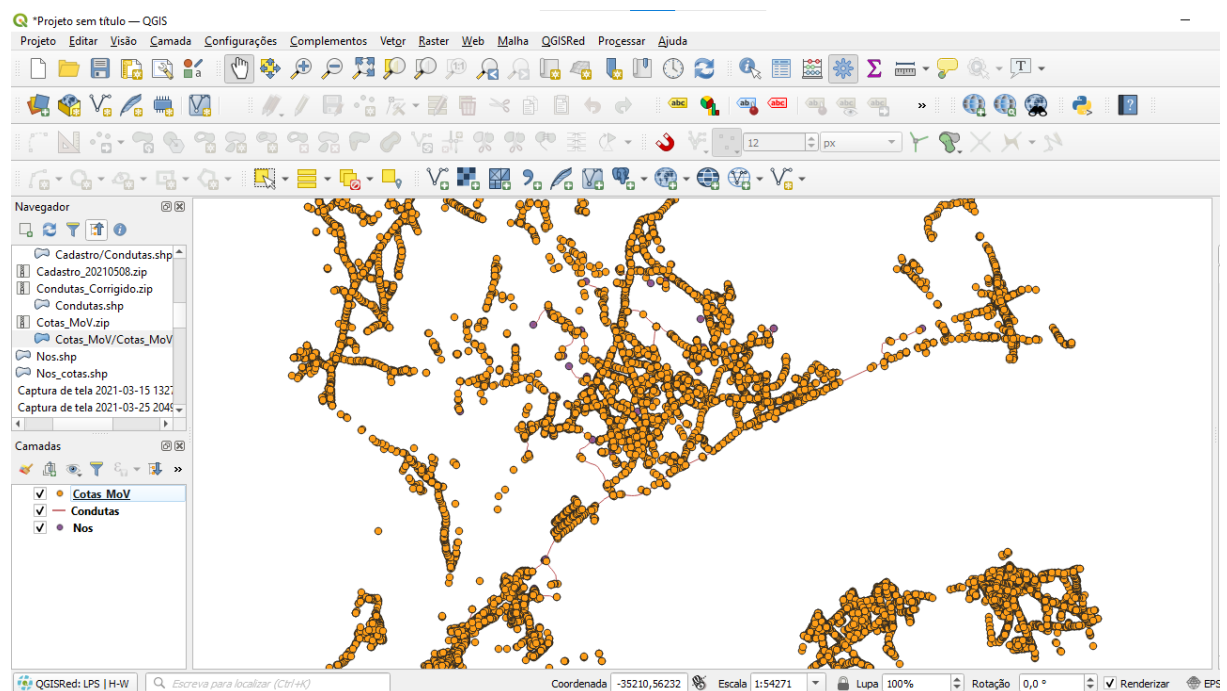


Figura 27: Sobreposição das camadas

Utilizaram-se somente as cotas nas zonas onde há condutas (Figura 28), porque as cotas adicionadas são sempre ao longo das ruas. Escolheram-se as cotas que interessam para o modelo, tendo-se utilizado para esta seleção a ferramenta de seleção “Selecionar elementos com polígono” (Figura 29).

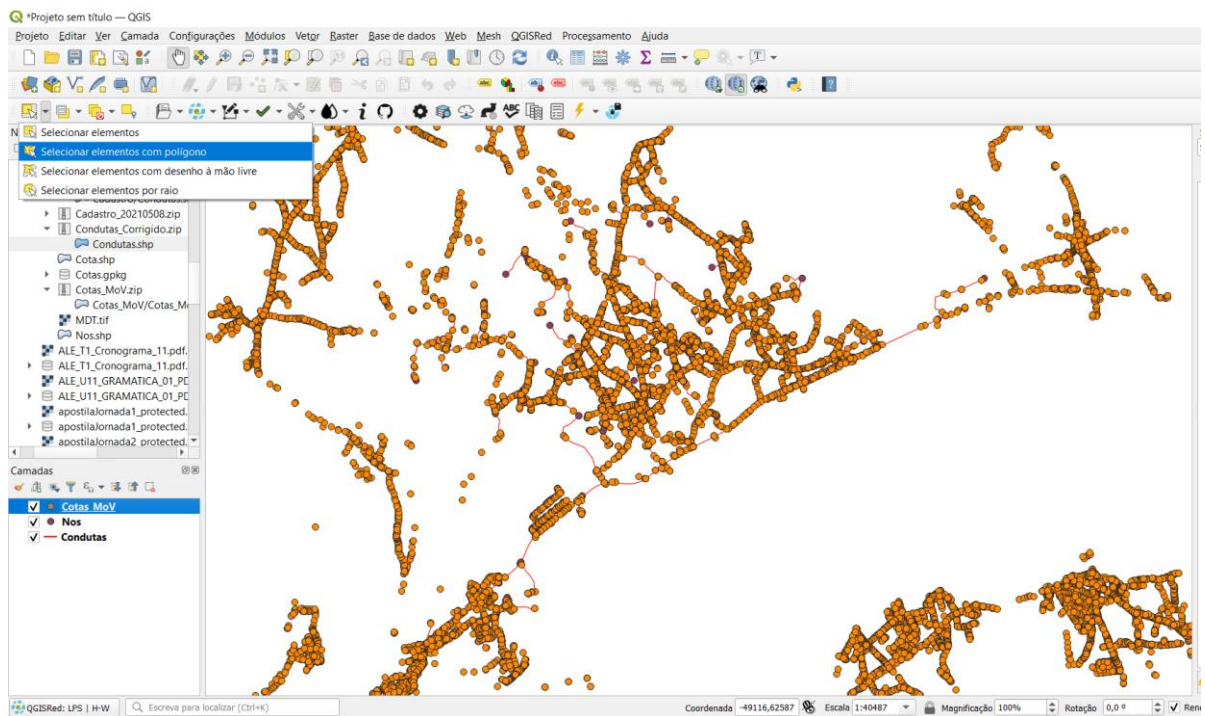


Figura 28: Seleção dos pontos que interessam (1)

Para a camada de cotas ativa, selecionaram-se os pontos que interessam.

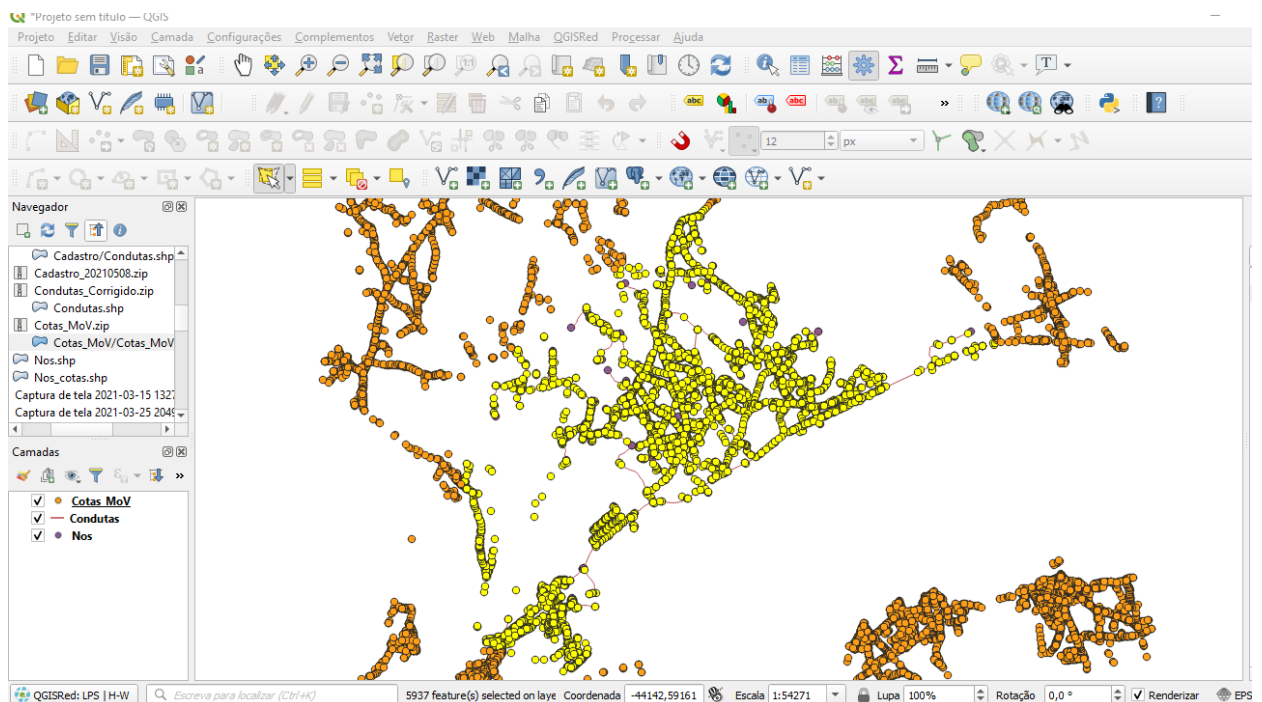


Figura 29: Seleção dos pontos que interessam (2)

Criou-se uma camada “Cotas” somente com a seleção anteriormente feita (Figura 30).

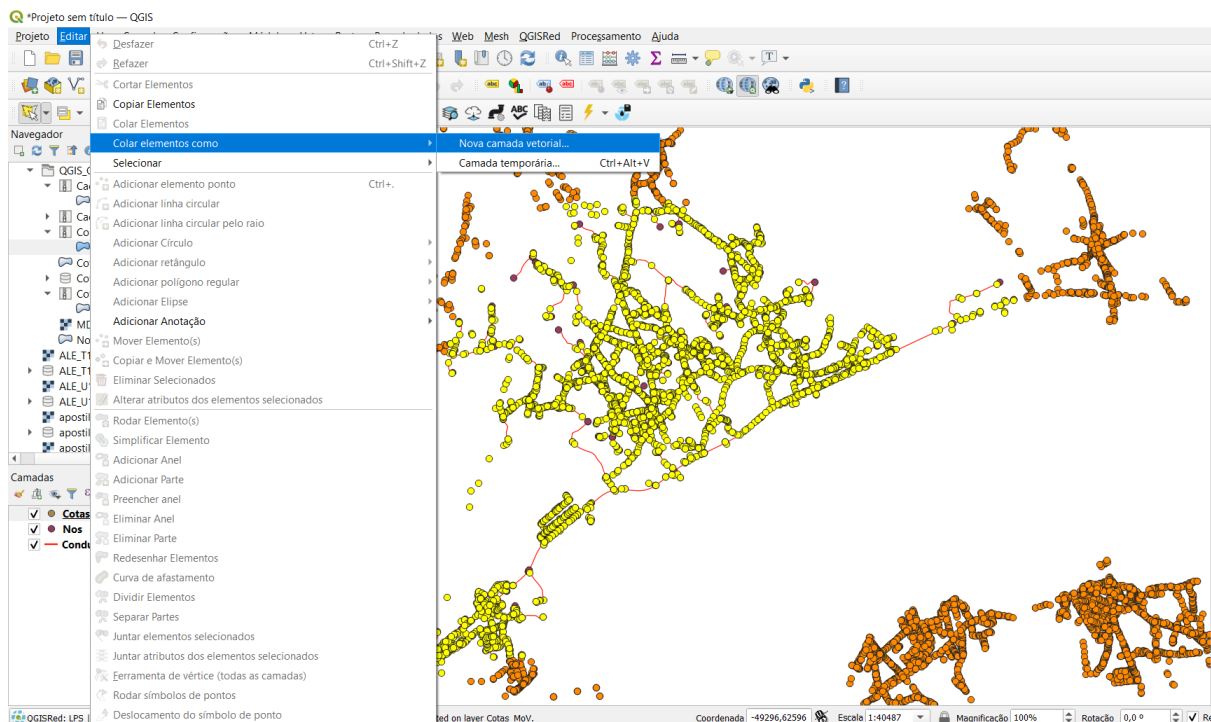


Figura 30: Nova camada vetorial

Para esta nova camada foi necessário definir qual o formato adequado, sendo o *ESRI Shapefile* o ideal, pois realiza o armazenamento de dados de vetor como a posição, a forma e os atributos dos elementos geográficos (Figura 31).

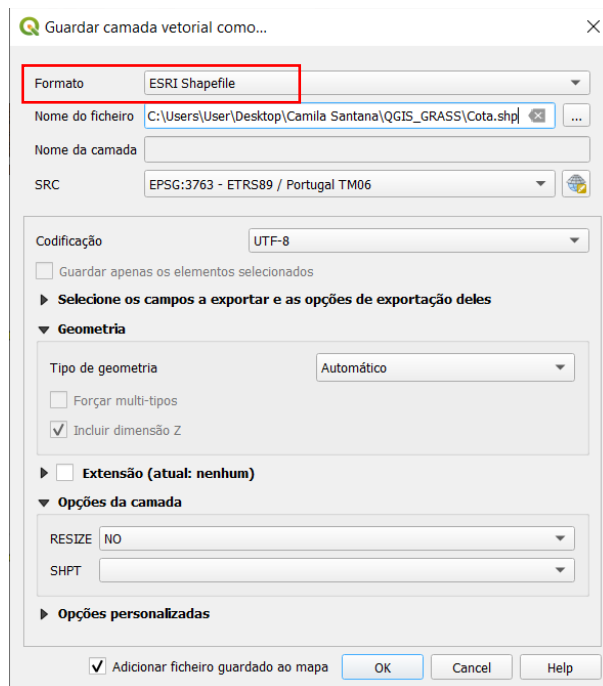


Figura 31: Propriedades para a nova camada vetorial

O resultado da camada de “Cotas” criada pode ser visto na Figura 32.

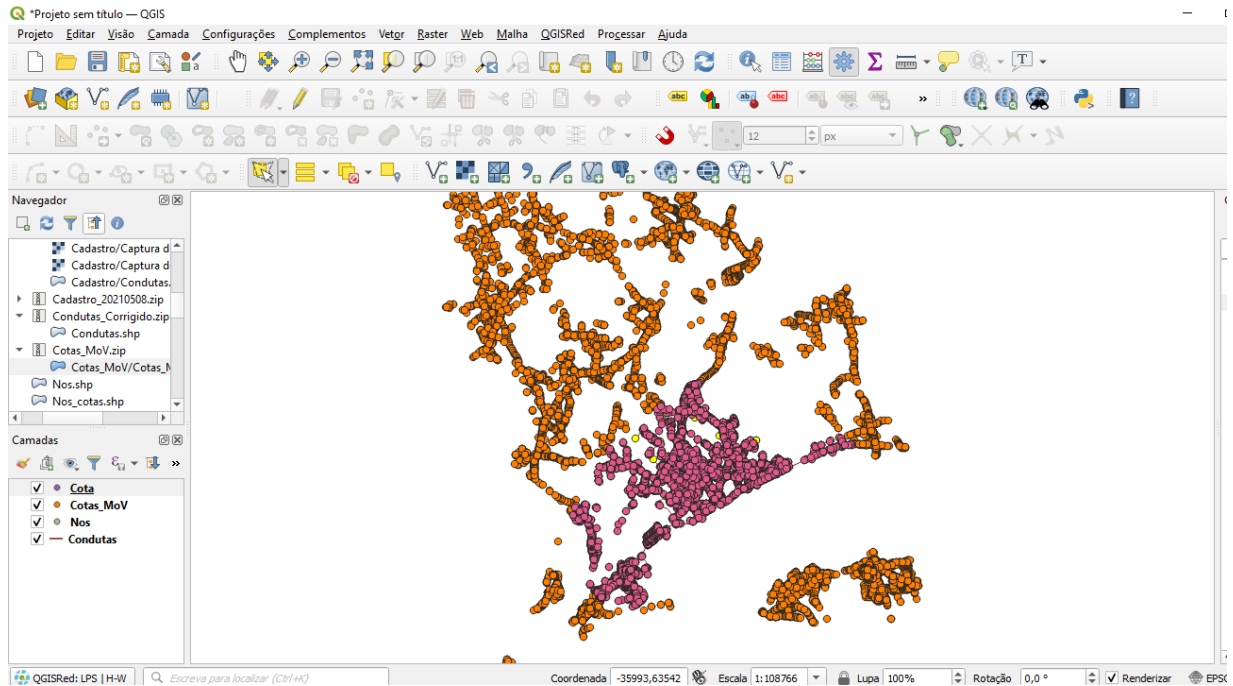


Figura 32: Camadas ativas

Removeram-se as cotas do terreno identificadas na figura (camada “Cotas_MoV”), mantendo apenas as cotas que são relevantes ao modelo (Figura 33).

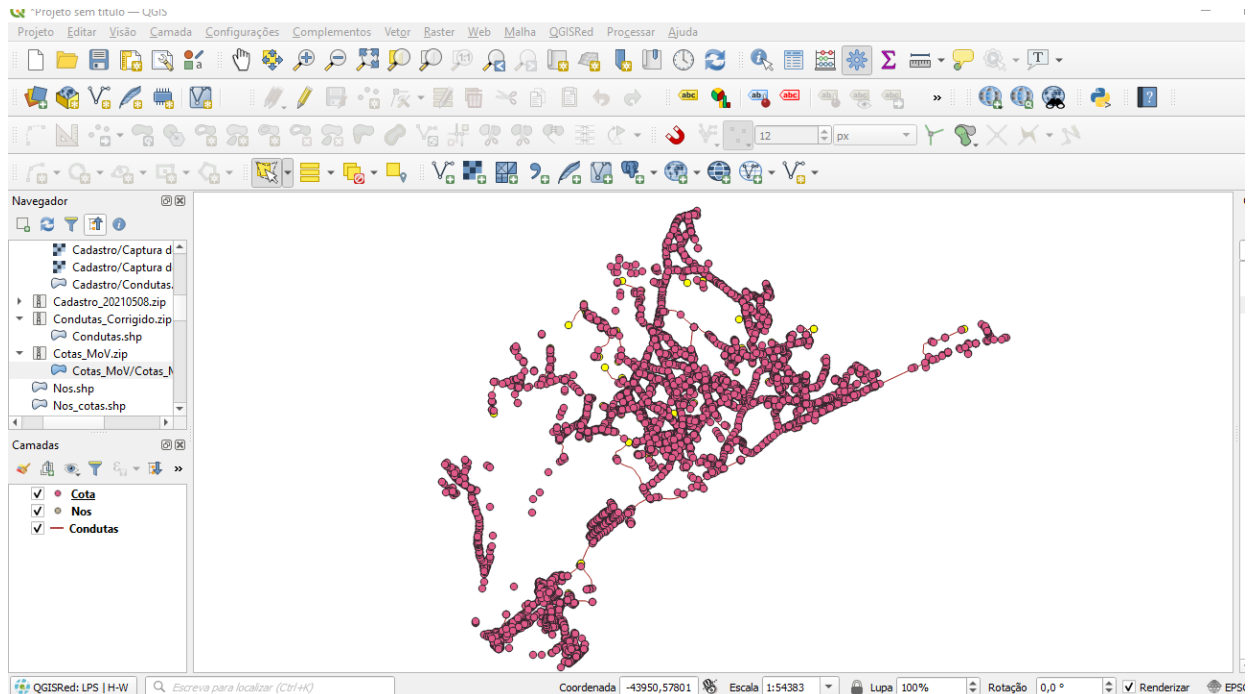


Figura 33: Camadas que interessam para a construção do modelo

A partir dos pontos cotados (Figura 34), criou-se uma superfície, utilizando interpolações, que corresponde ao Modelo Digital do Terreno – MDT, que servirá para atribuir as cotas topográficas aos nós. Utilizou-se uma ferramenta de processamento para auxiliar no processo, a “Interpolações TIN” (Figura 35), com o Argumento “coord-z” para Atributo de Interpolação (Figura 36).

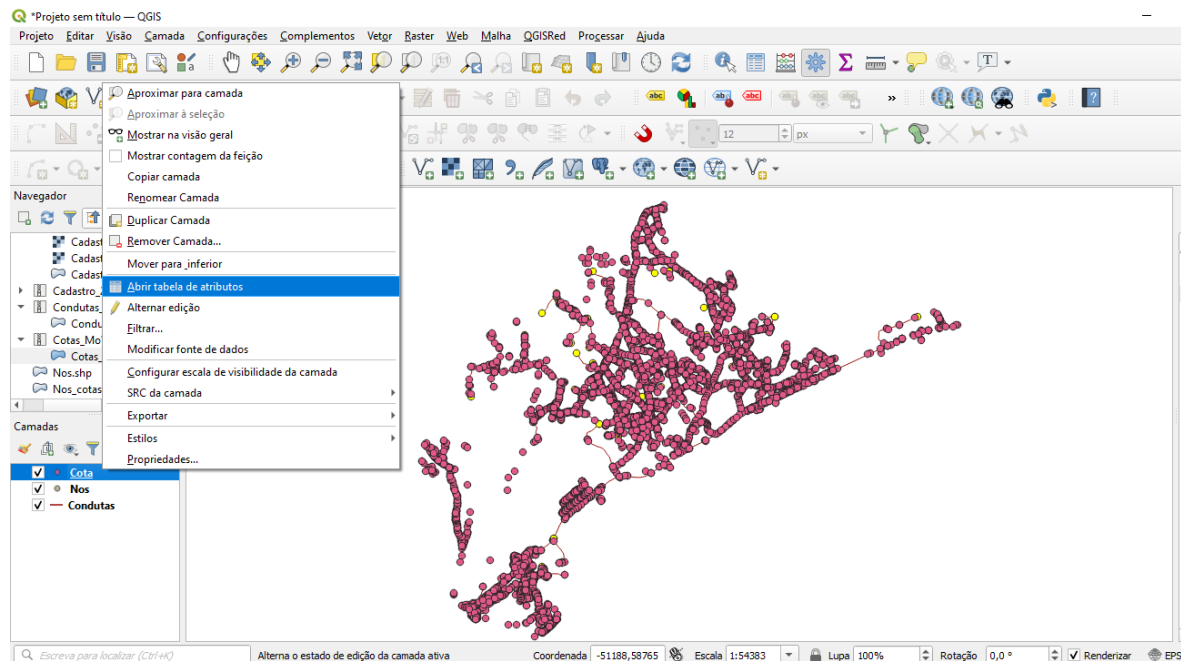


Figura 34: Identificação do atributo “coord_z”

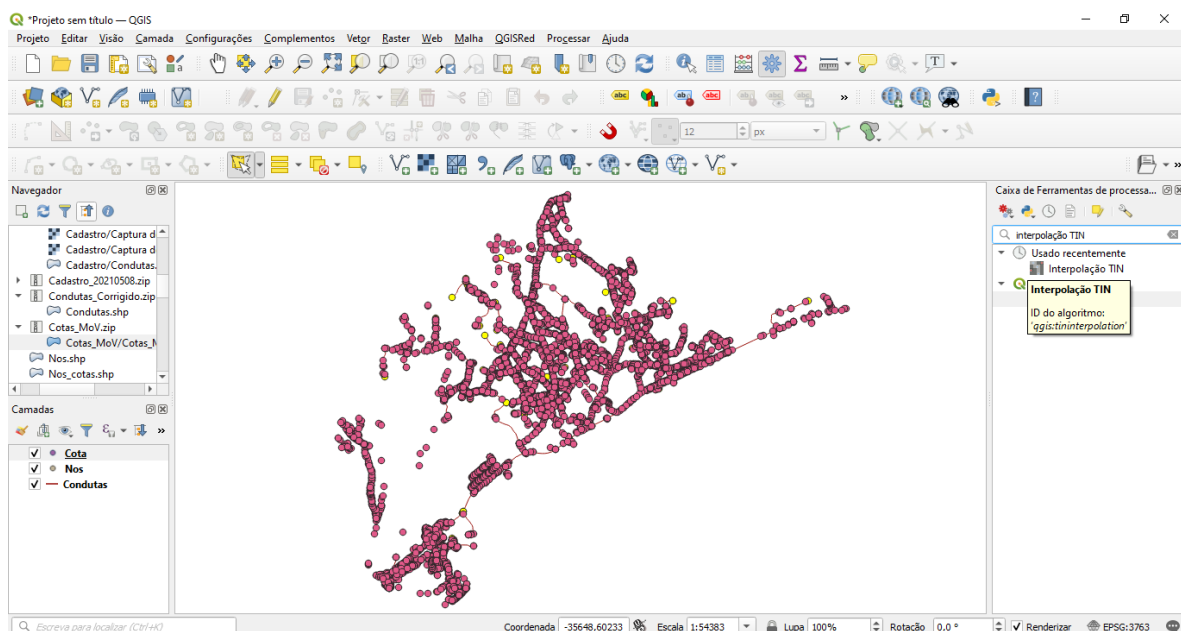


Figura 35: Interpolação TIN

QGIS — Total de feições: 6063, Filtrada: 6063, Seleccionada: 0

	coord_z	layer	path
1	64,493300000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
2	76,124300000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
3	73,382800000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
4	72,084299999999...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
5	70,828800000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
6	52,502800000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
7	50,101799999999...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
8	46,679299999999...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
9	43,604799999999...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
10	51,631300000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
11	49,114800000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
12	50,305300000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
13	59,157800000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
14	39,383299999999...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...
15	37,136800000000...	Hidrantes	D:/ISEC/ISEC - ...

Figura 36: Atributo “coord_z”

Aqui é importante que a mancha (pontos seleccionados) cubra todas as condutas do modelo (Figura 37).

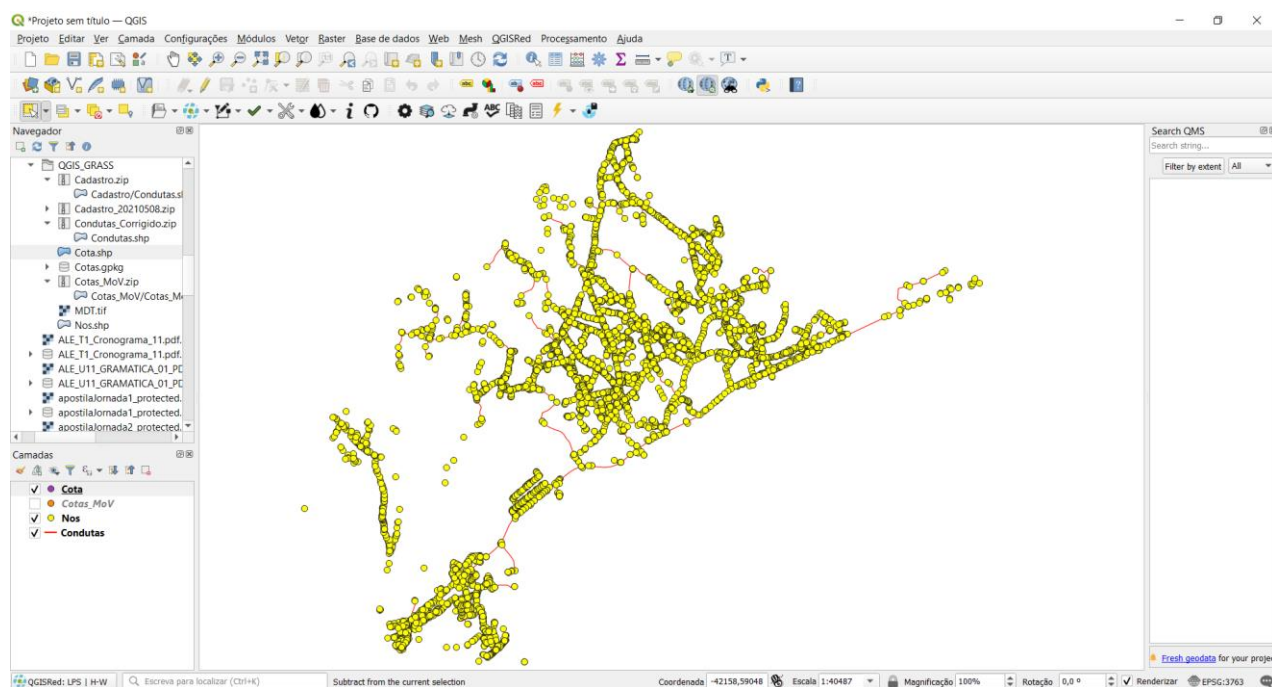


Figura 37: Pontos seleccionados

Foi necessário definir os parâmetros para “Interpolação TIN” (Figura 38), sendo eles a Camada Vetorial “Cota”, o já mencionado Atributo de interpolação “coord_z”, tendo-se escolhido também o resultado da imagem que precisamos ver, que é o “tamanho do raster de saída”, como o tamanho do pixel 1.00 x 1.00. O resultado final (MDT) apresenta-se na Figura 39.

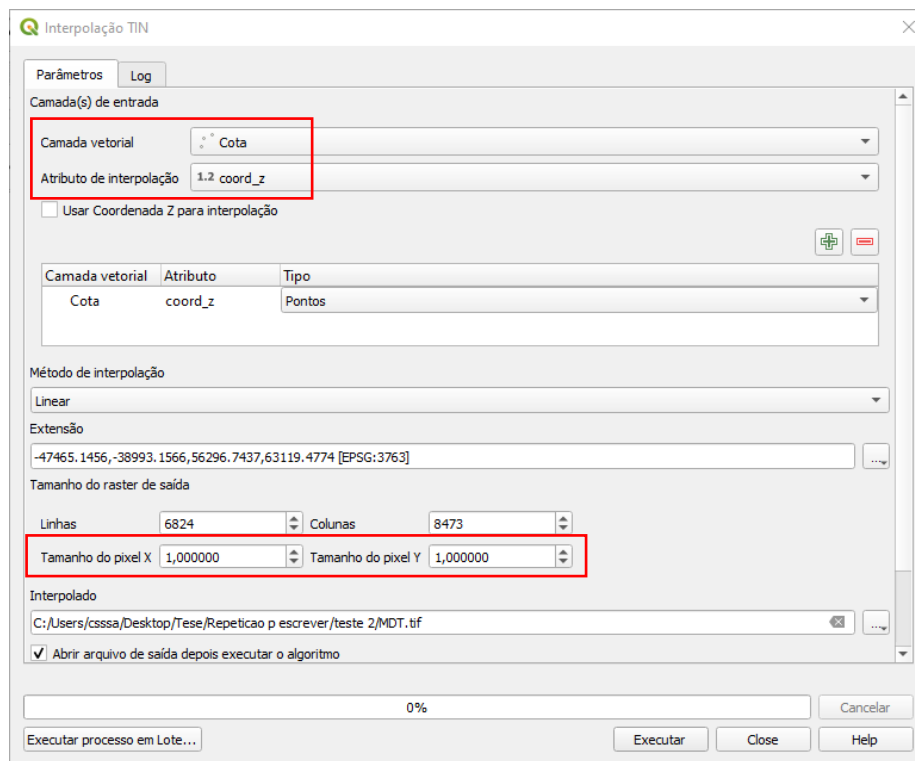


Figura 38: Interpolação TIN – Parâmetros a definir

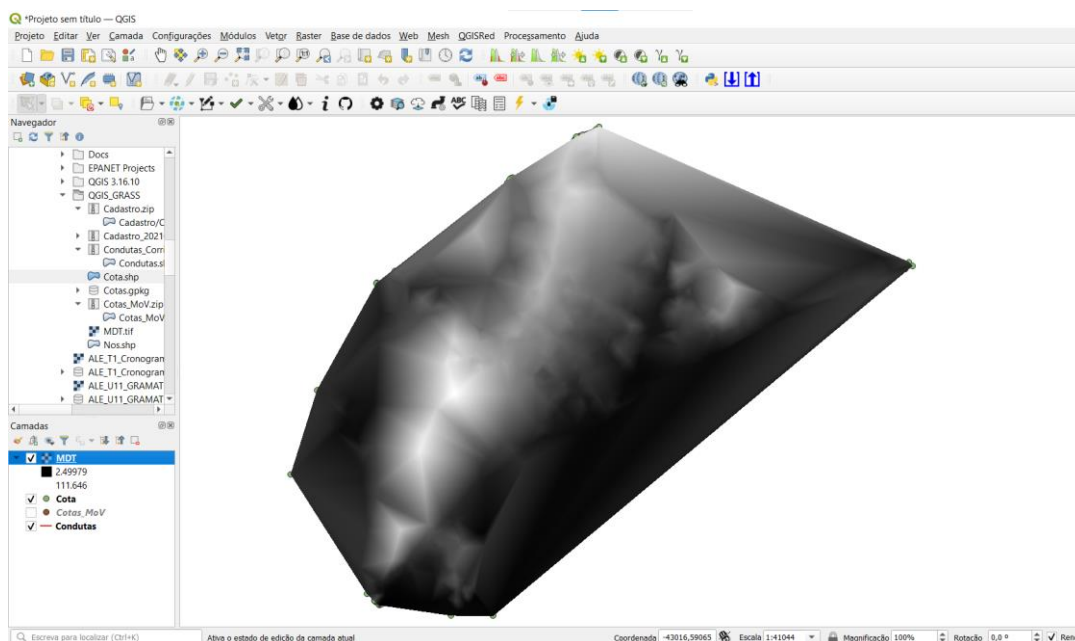


Figura 39: Resultado da interpolação - o Modelo Digital do Terreno (MDT)

Realizou-se a edição deste modelo (Figura 40), a fim de que com cores seja possível identificar junto a uma legenda mais facilmente os desníveis e as cotas (Figura 41).

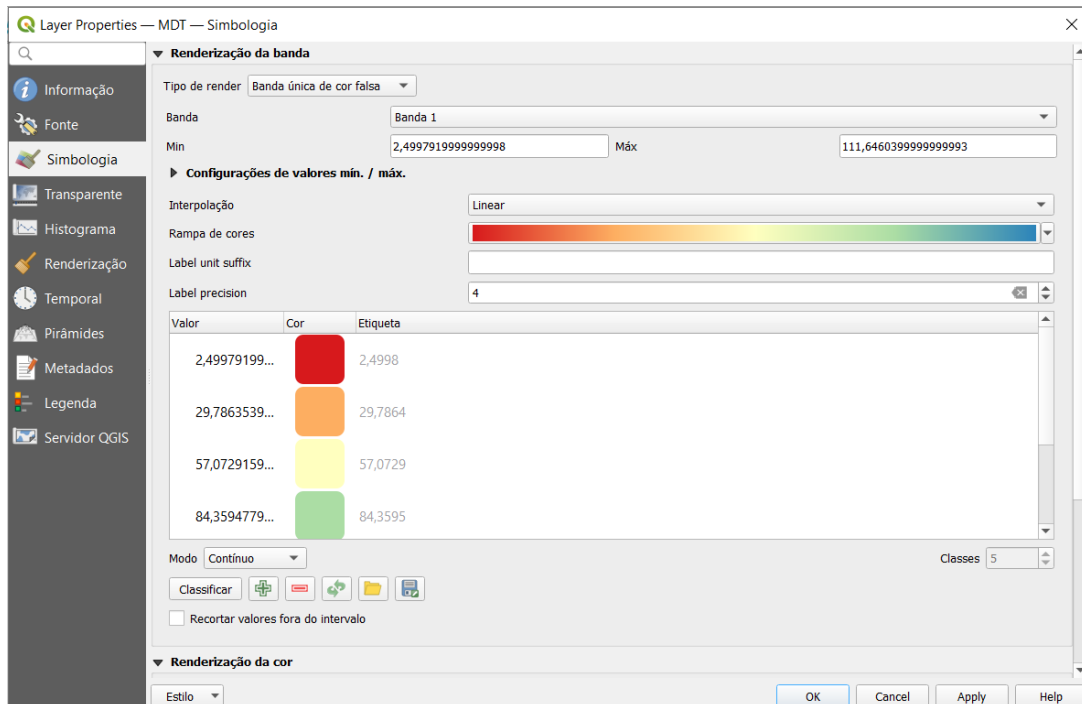


Figura 40: Edição do modelo, para uma melhor interpretação

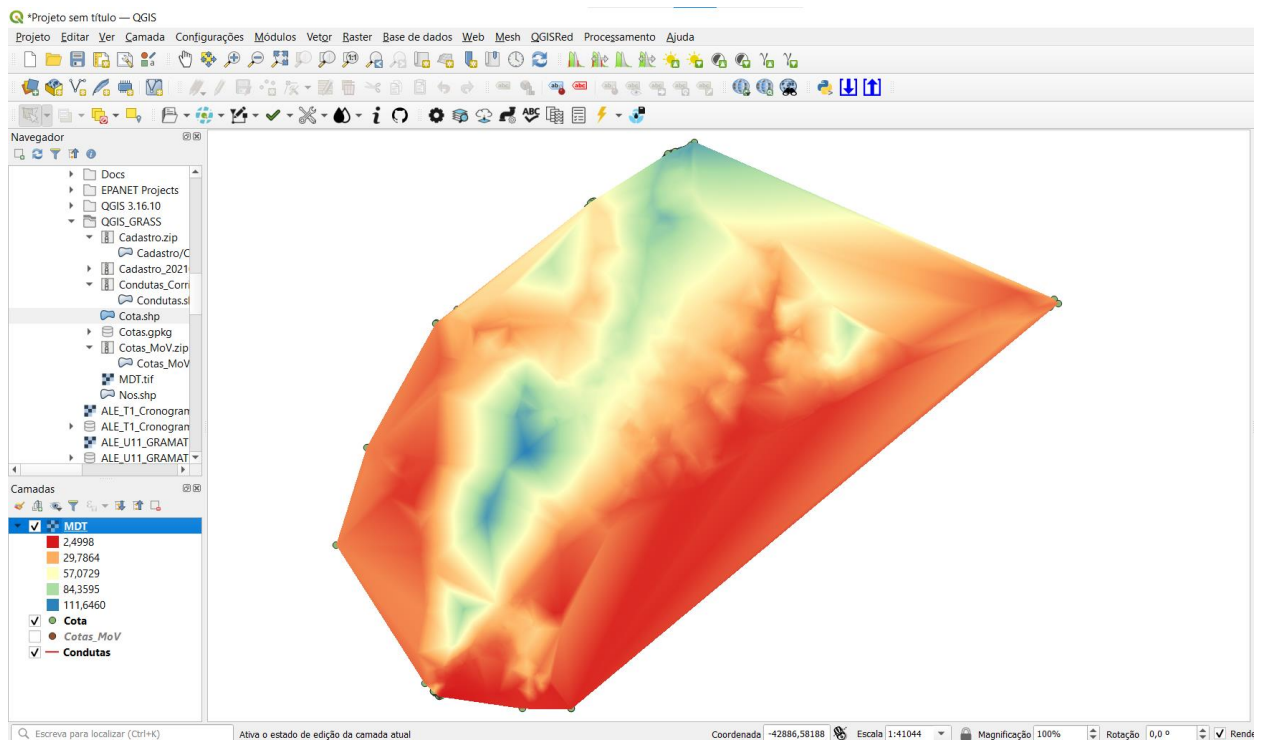


Figura 41: Modelo Digital do Terreno – MDT, sobreposto a todos os nós da rede

O resultado do modelo digital do terreno (MDT) é uma imagem raster. Como já mencionado, a imagem é composta por diversos pixels, onde a cada um destes equivale uma cota. Assim, interpretando o MDT, as manchas entre vermelho e alaranjado, indicam as cotas mais baixas (2.4998m; 29.7864m) e as áreas que estão entre azul e verde claro indicam as cotas mais altas (84.3598m; 111.6460m), onde há elevações no terreno.

Na camada “Nos” (Figura 42), para a tabela de atributos (Figura 43), escolheram-se os itens que são relevantes para o modelo, descartando os demais. Criou-se um novo campo de “Cota” (Figura 44), onde o objetivo é que aos nós sejam atribuídos os valores das cotas neste novo campo criado.

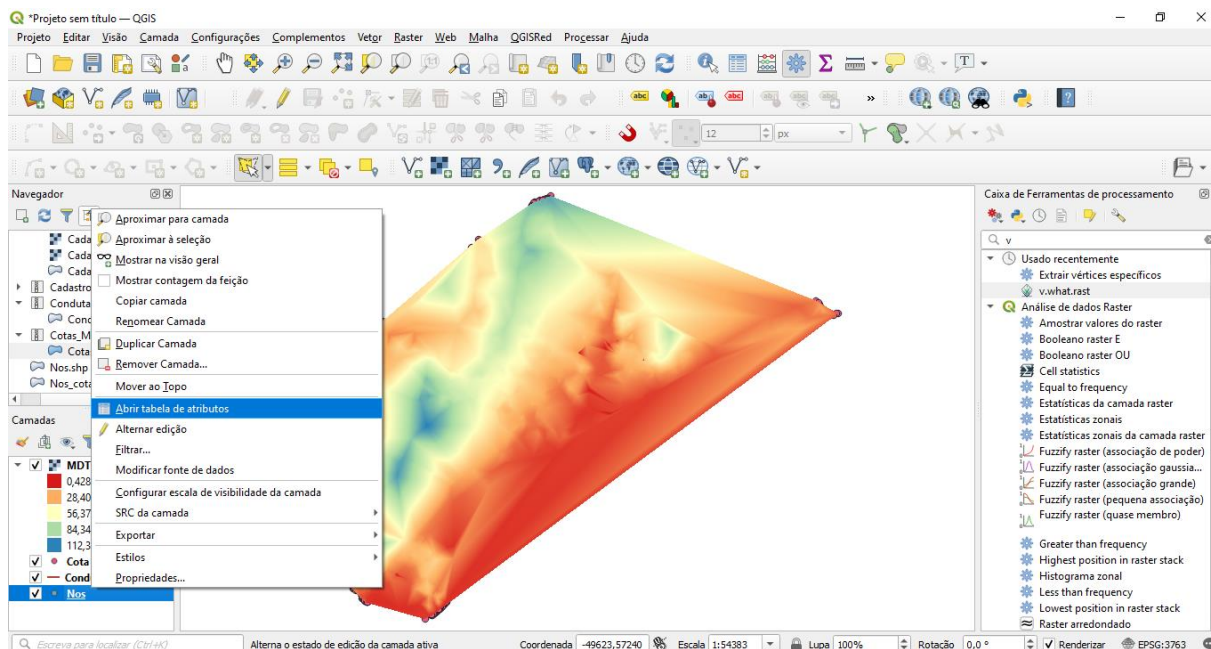


Figura 42: Edição da tabela de atributos

Propriedades da camada — Nos — Campos

ID	Nome	Apelido	Tipo	Tipo do nome	Comprimento	Precisão	Comentário	Configur
123 0	gid	qlonglong	Integer64		10	0		
123 1	id_mc2e	qlonglong	Integer64		10	0		
123 2	freguesia	qlonglong	Integer64		10	0		
abc 3	localidade	QString	String		250	0		
abc 4	sistema	QString	String		250	0		
abc 5	designacao	QString	String		250	0		
abc 6	material	QString	String		250	0		
1.2 7	diametro	double	Real		23	15		
1.2 8	compriment	double	Real		23	15		
abc 9	sub_sistem	QString	String		50	0		
abc 10	data_const	QString	String		20	0		
123 11	vertex_pos	qlonglong	Integer64		10	0		
123 12	vertex_ind	qlonglong	Integer64		10	0		
123 13	vertex_par	qlonglong	Integer64		10	0		
123 14	vertex_p_1	qlonglong	Integer64		10	0		
1.2 15	distance	double	Real		23	15		
1.2 16	angle	double	Real		23	15		

Figura 43: Atributos da camada “Nos”

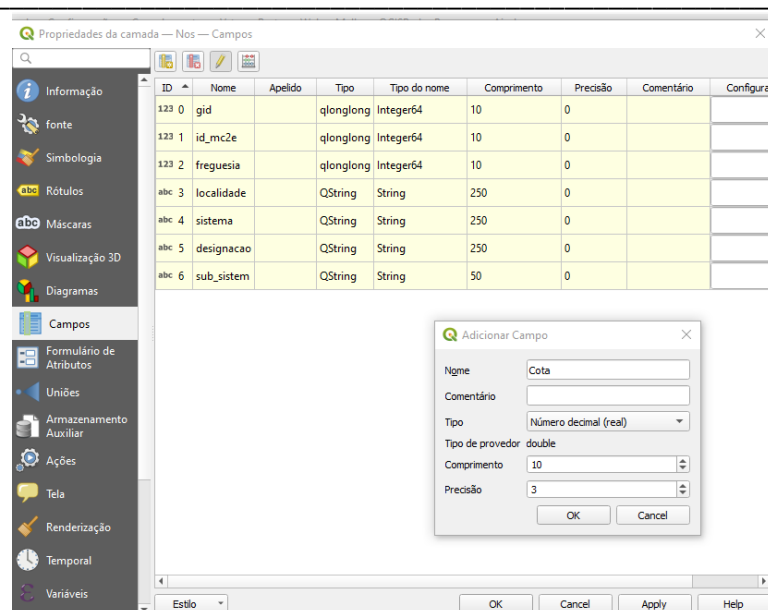


Figura 44: Adição do atributo “Cota”

Utilizando a ferramenta V. What.Rast (Figura 45), efetuou-se a interpolação entre o Modelo Digital do Terreno e a camada “Nos” para atribuir os valores das cotas topográficas aos nós da rede.

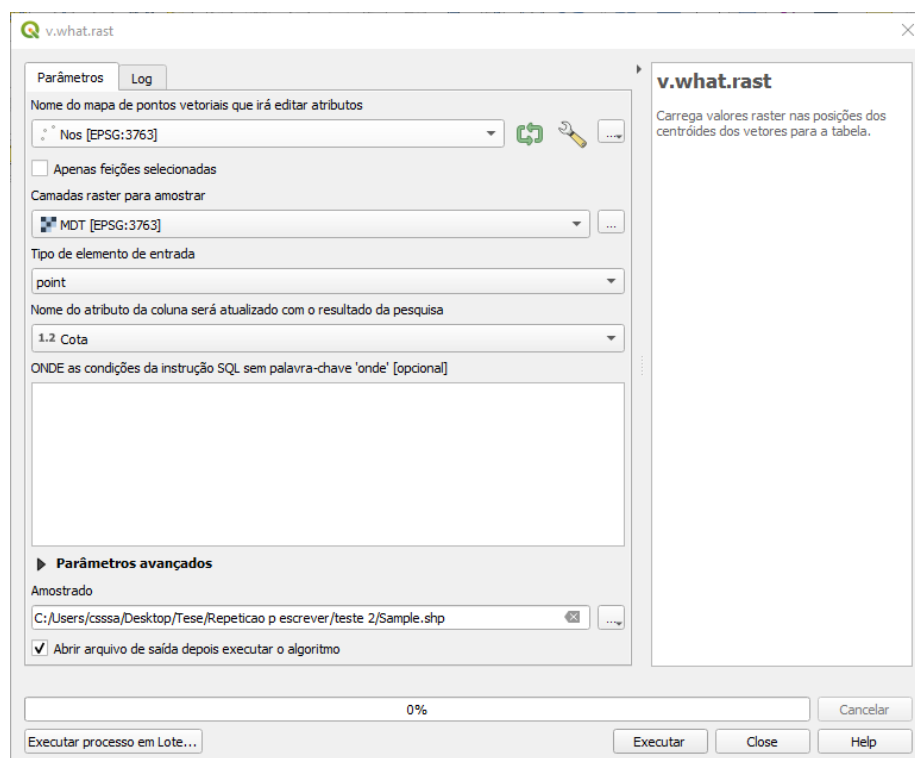


Figura 45: Definição dos parâmetros para V. WHAT.RAST

Foi feita a atribuição das cotas topográficas aos nós da rede (atributo “Cota” da camada “Nos”). O resultado, correspondente a cada nó, descreve-se em síntese na Tabela 1.

Os consumos base inseridos nos nós foram obtidos de acordo com os dados existentes (base de dados da faturação) fornecidos pelo Professor Joaquim Sousa. De modo que não era possível interligar esta informação de consumo e o cadastro que viabilizasse a contagem automática dos volumes de água faturados aos clientes pelos diferentes ramais, foi necessário trabalhar essa informação manualmente, por forma a associar os volumes faturados aos nós do modelo.

Logo, na base de dados de faturação, identificou-se a zona de leitura e a morada associada ao consumidor de forma a definir o troço correspondente no modelo da rede para determinar o seu consumo total, tendo-se depois afetado metade desse valor a cada um dos respetivos nós de extremidade da conduta.

Uma vez concluído o processo, foi criado um ficheiro INP para o EPANET, com os consumos de faturação (referente ao ano de 2020) para cada nó, fornecidos pelo Professor Joaquim Sousa, a partir de uma listagem em Excel.

ID	COTA (M)	CONSUMO (LPS)
J1	22,968	0,005078671
J10	30,433	0,049208114
J100	59,33	0,010554087
J101	43,21	0,003574626
J102	53,885	0,059339682
J103	70,62	0,041289179
J104	68,94	0,008419683
J105	64,15	0,010554087
J106	66,461	0,028219785
J107	33,139	0,042535263
J108	66,348	0,006732757
J109	64,812	0,041948326
J11	20,245	0,007354733
J110	39,543	0,023670707
J111	58,709	0,002723384
J112	40,564	0
J113	25,653	0,037971829
J114	52,919	0,006229489
J115	63,023	0,043765103
J116	63,205	0,005276484
J117	55,865	0,020557243
J118	48,634	0,013301372
J119	59,041	0,005447292
J12	23,699	0,062181853
J120	72,204	0,007488925
...	...	...
TOTAL		10,17

Tabela 1: Cotas correspondente a cada nó e respetivo consumo, J: Junction = nó

Na tabela 1 são, também, apresentados os consumos dos nós, obtidos a partir do sistema de faturação, de onde se conclui que o consumo total da rede é de 10,17 L/s.

Com a conclusão da consolidação do cadastro e dos consumos, iniciou-se o processo de geração dos dados da infraestrutura no EPANET, utilizando, como ficheiro base, o ficheiro INP obtido do modelo do QGIS.

A exportação do QGIS para o EPANET foi efetuada utilizando o *plugin* QGISRed, sendo transferidos os nós, com a sua identificação, coordenadas e cotas, e os troços, com a sua identificação, coordenadas, comprimento e diâmetro (Figura 46). Foi necessário inserir posteriormente as demais informações nos nós e nos troços, assim como os outros elementos (reservatórios e válvulas) que constituem a rede.

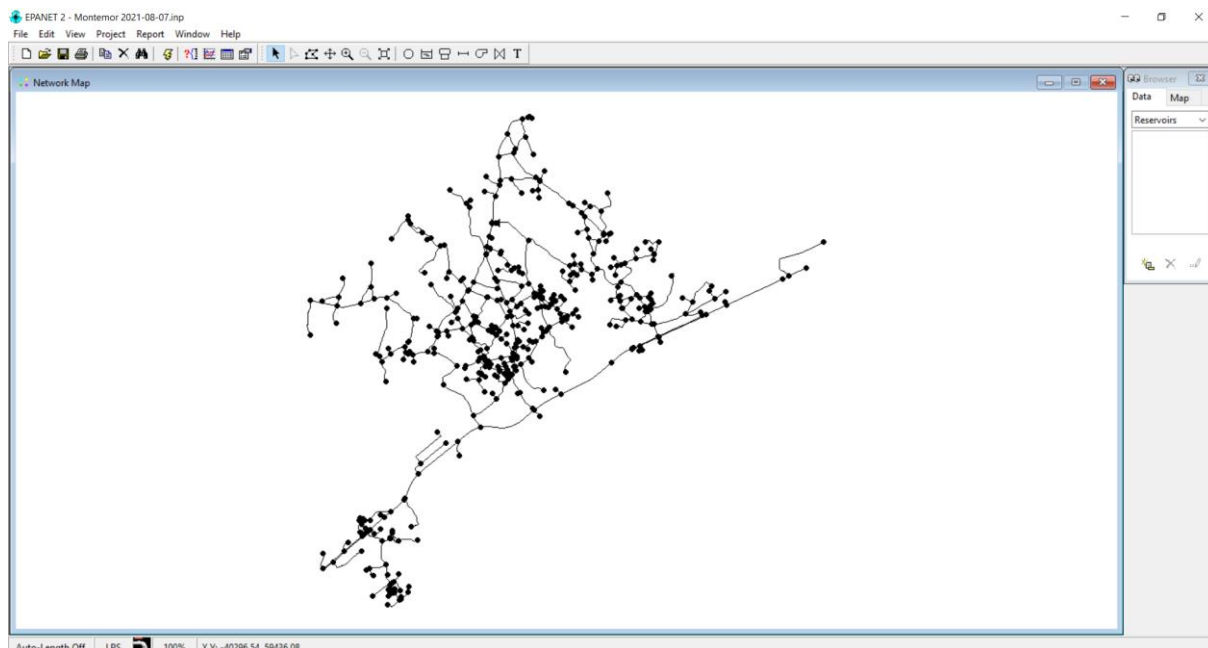


Figura 46: Modelo exportado do QGIS para o EPANET

Apresentam-se, no Quadro 1, nós onde já se encontram inseridos os dados correspondentes, como a cota topográfica (Elevation) e o consumo base (Base Demand) respetivo. Nos troços foi necessário substituir os diâmetros nominais (informação existente no cadastro em SIG) pelos respetivos diâmetros internos, bem como o coeficiente de rugosidade das condutas, tendo em conta a lei de resistência adotada (fórmula de Hazen Williams) e o material das tubagens ($C=140$).

Junction J160		Junction J304	
Property	Value	Property	Value
*Junction ID	J160	*Junction ID	J304
X-Coordinate	-44340.37	X-Coordinate	-43525.76
Y-Coordinate	58821.48	Y-Coordinate	58966.57
Description		Description	
Tag		Tag	
*Elevation	11.475	*Elevation	5.695
Base Demand	0.030331293	Base Demand	0.010829749
Demand Pattern		Demand Pattern	
Demand Categories	8	Demand Categories	4
Emitter Coeff.		Emitter Coeff.	
Initial Quality		Initial Quality	
Source Quality		Source Quality	

Quadro 1: Identificação das informações contidas nos nós do modelo

Utilizando novamente o QGIS, e com o auxílio de uma camada de mapas ativa, foram identificadas as localizações dos reservatórios para posterior adição ao modelo (Figura 47).

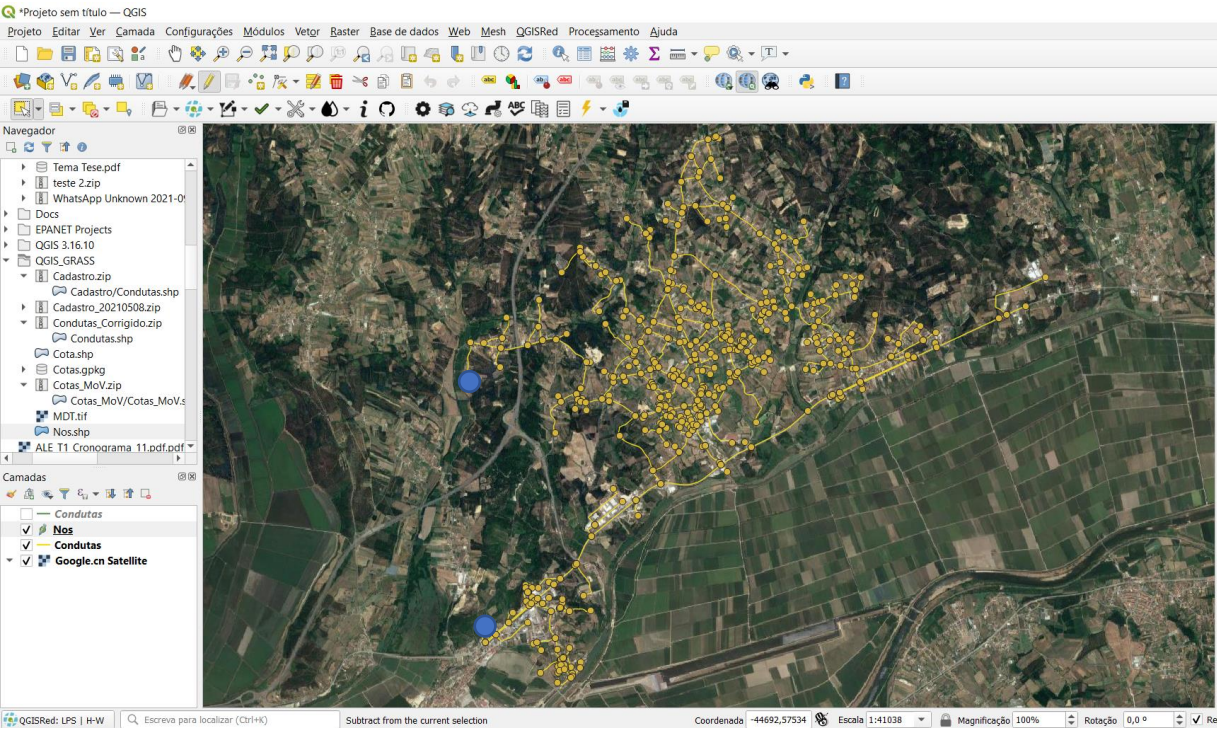


Figura 47: Pontos azuis indicam as localizações dos reservatórios

Para efeitos de representação no EPANET, foram adicionados os reservatórios Cavalinha (Figura 48) e S. Gens (Figura 49) e adicionadas condutas a ligar ao nó mais próximo, realizando as correções dos valores, pois o cadastro apenas contemplava as condutas no exterior dos reservatórios.

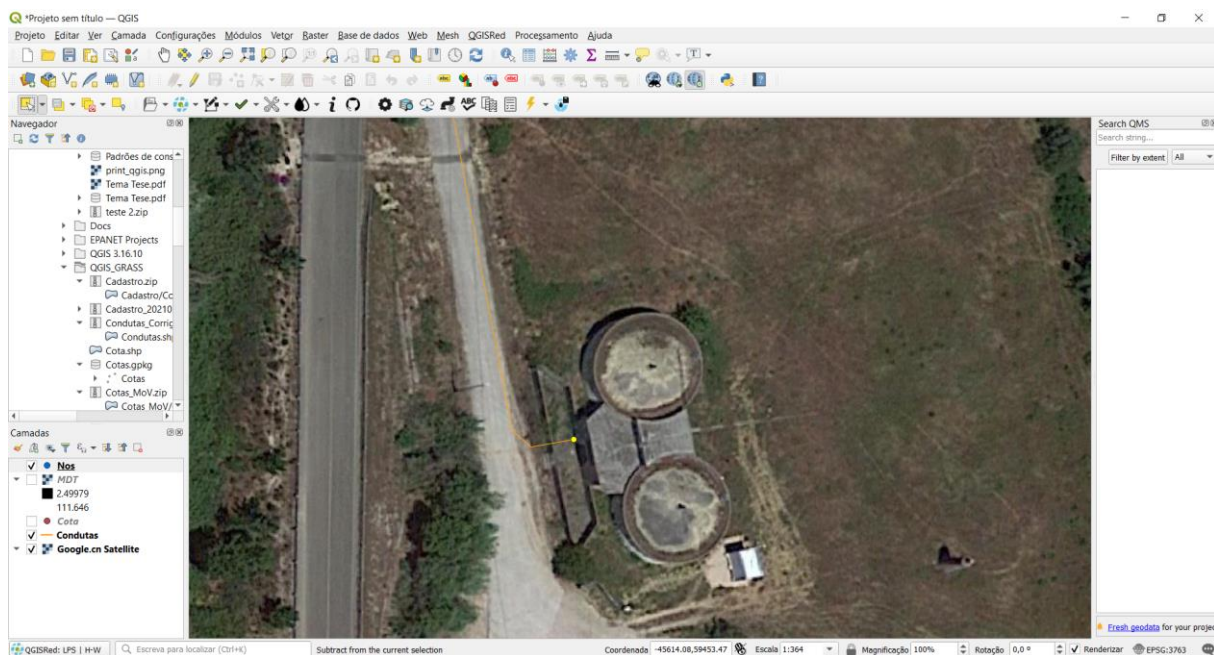


Figura 48: Reservatório 1 - Cavalinha, Carapinheira Alta

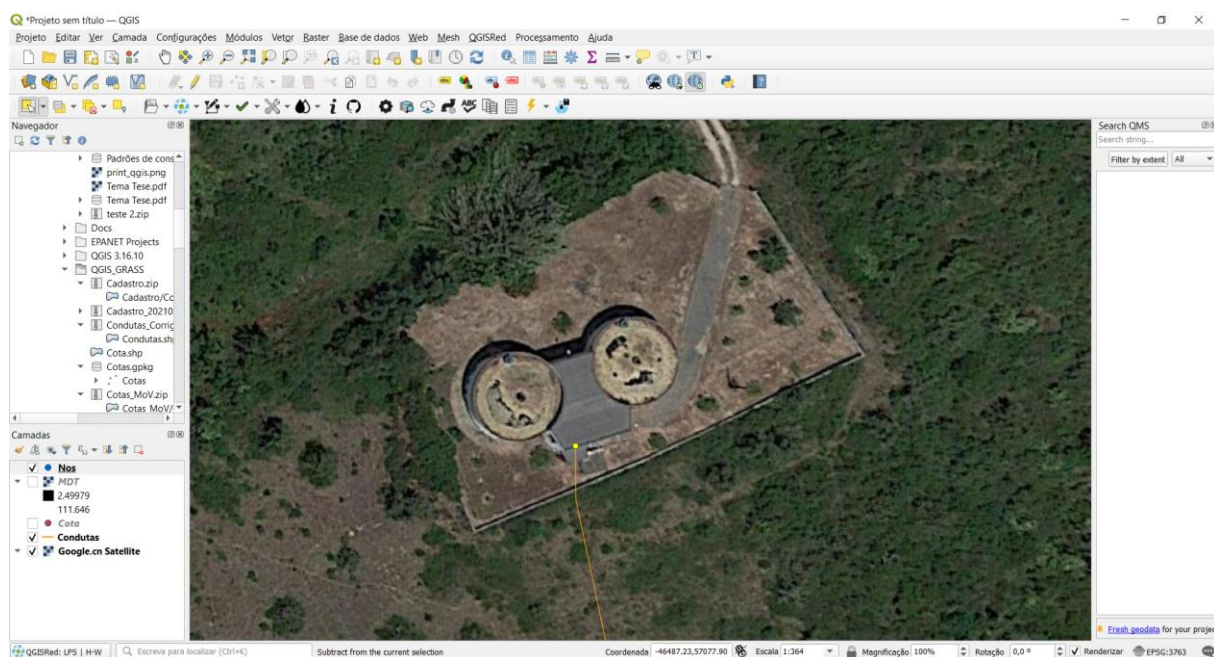


Figura 49: Reservatório 2 - S. Gens, Carapinheira Baixa

Começou-se por adicionar o Reservatório 1 - Cavalinha (Carapinheira Alta), Figura 50.

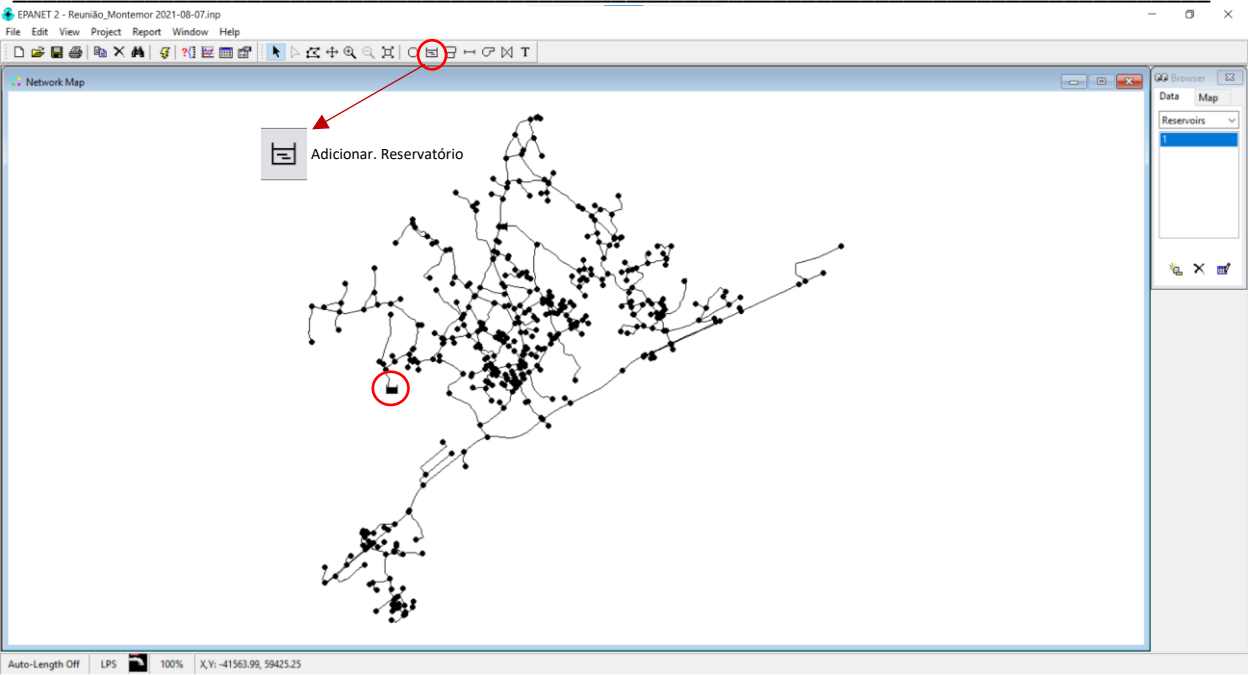


Figura 50: Indicação do Reservatório 1 - Cavalinha

Foi acrescentada uma linha que representa a conduta de 10m que liga as células até à conduta exterior (Figura 51).

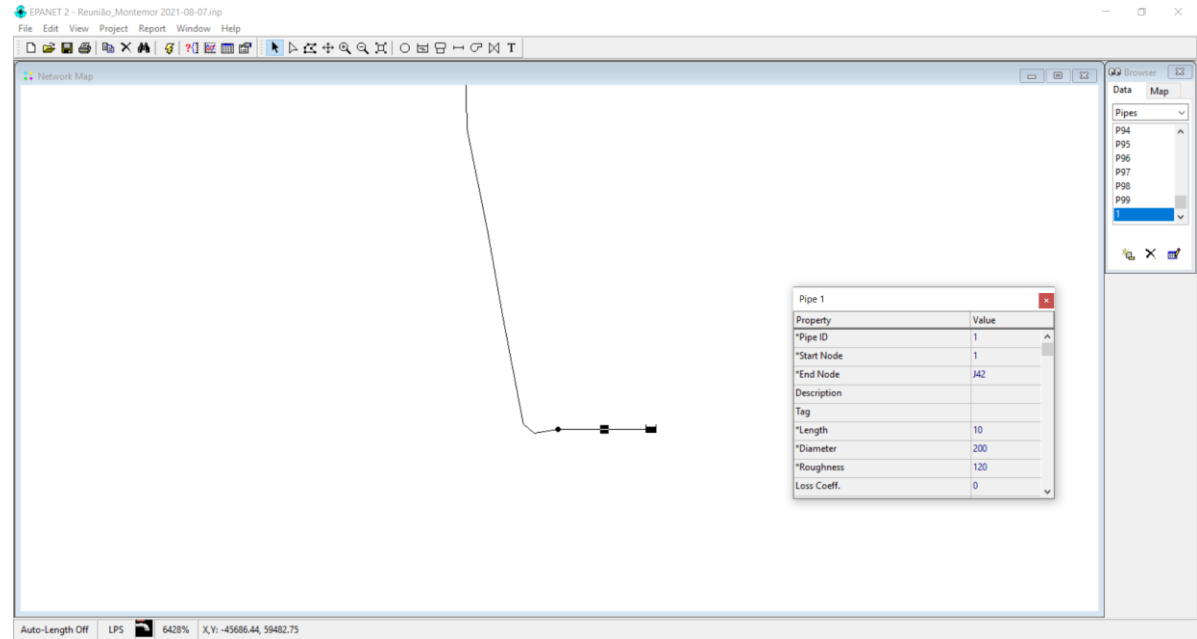


Figura 51: Res. Cavalinha e ligação a conduta Pipe 1

Posteriormente adicionou-se o Reservatório 2 - S. Gens (Carapinha Baixa), Figura 52.

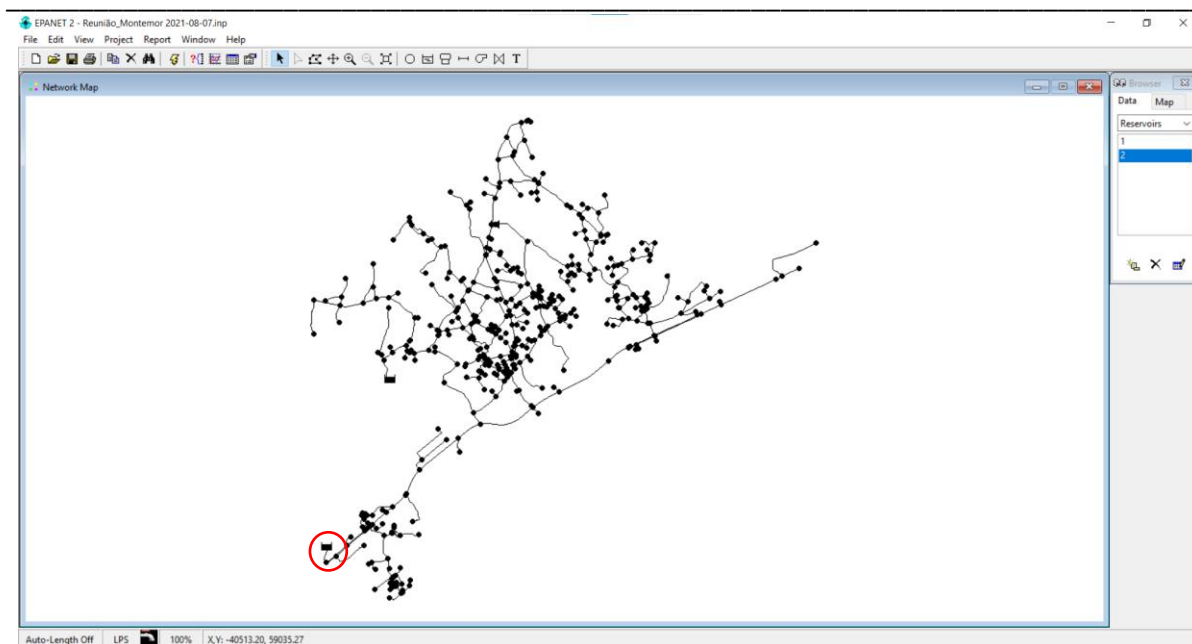


Figura 52: Indicação do local do Reservatório 2 - S. Gens

Foi acrescentada uma linha que representa a conduta de 8m que liga as células até à conduta exterior (Figura 53).

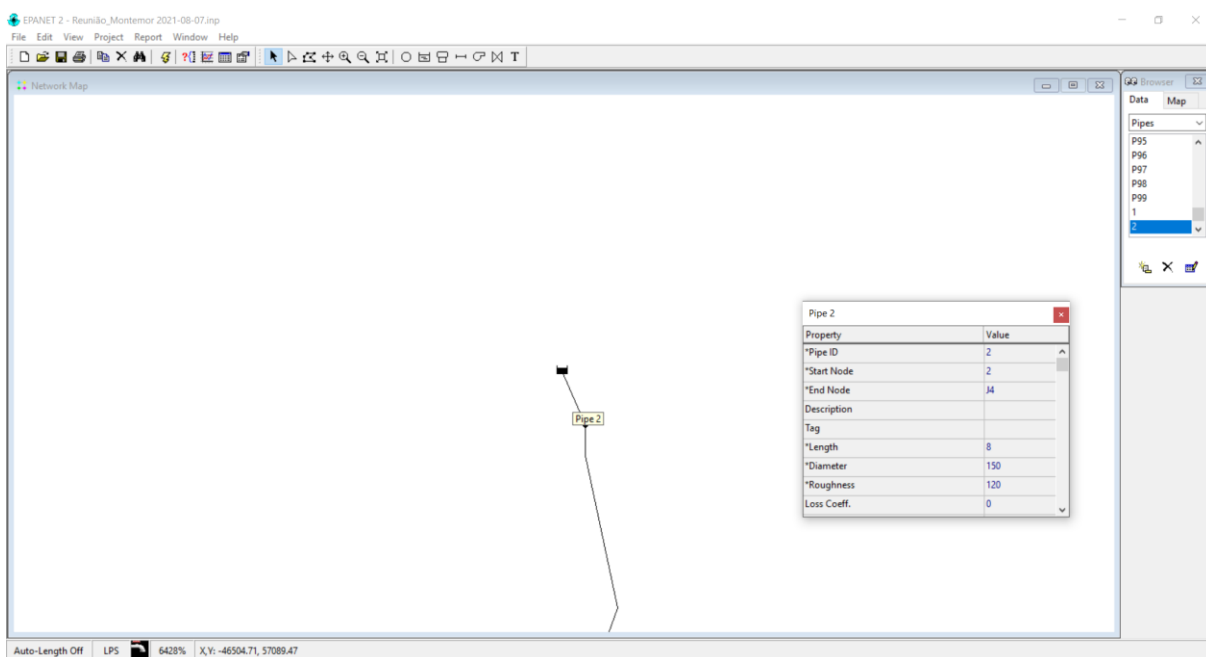


Figura 53: Res. S. Gens e ligação a conduta Pipe 2

Para complementar as informações dos reservatórios, introduziram-se os valores disponibilizados na plataforma de telemetria da ABMG, referentes aos níveis destes reservatórios.

Para o reservatório Cavalinha, na primeira semana de agosto, verificou-se que os níveis oscilaram entre os 2.78m e os 3.85m, ou seja, o nível mais alto atingido foi de 3.85m (Gráfico 1).

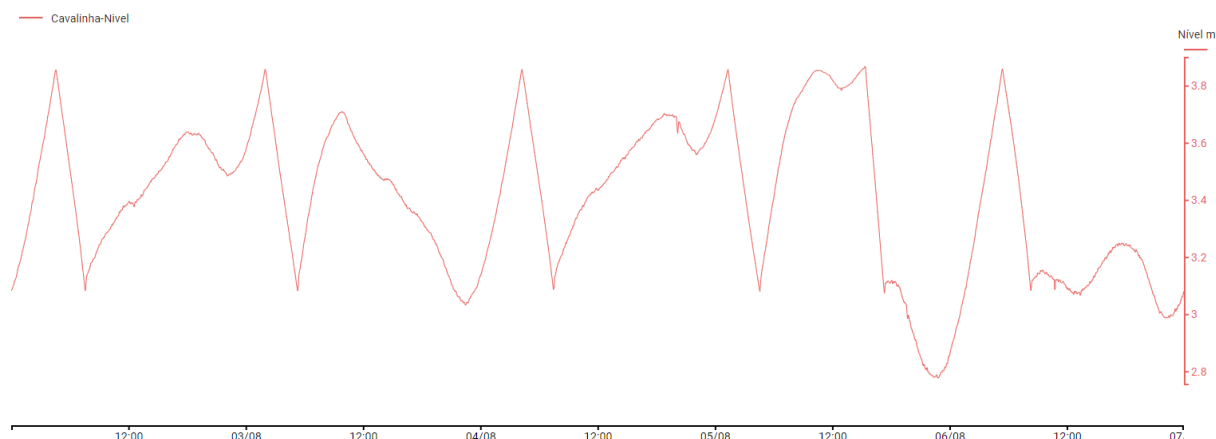


Gráfico 1: Nível do reservatório Cavalinha, no mês de agosto (Consulta ABMG, 2021)

O nó mais próximo ao reservatório tem cota igual a 111.637 (Figura 54). Assim, para estimar qual a cota do reservatório, foi necessário acrescentar os 3.85m do nível máximo atingido. Pelo que a cota do reservatório passou a ser de aproximadamente 115.5 (Figura 55).

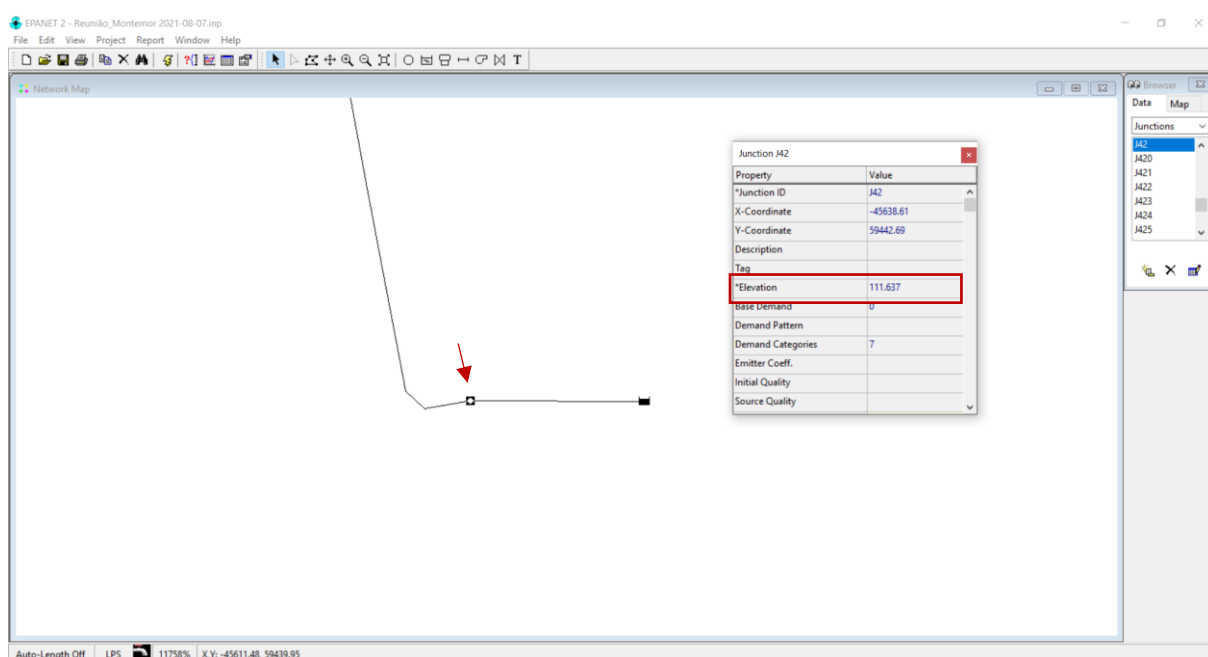


Figura 54: Propriedades do Nó J42, indicação da cota

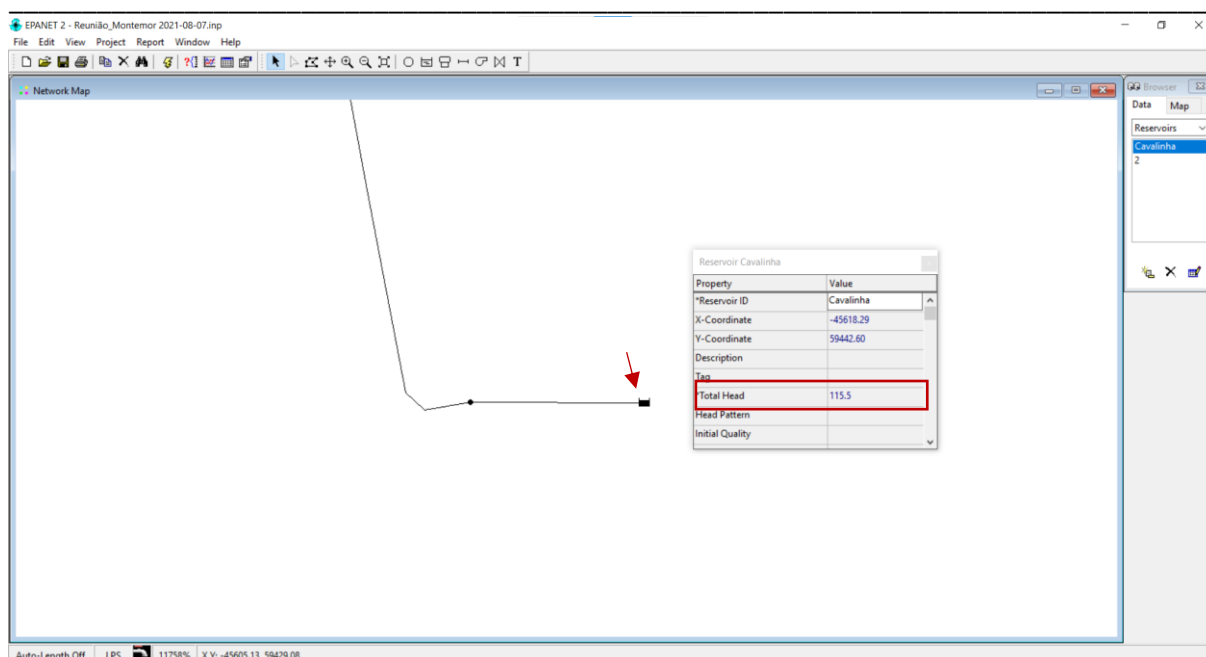


Figura 55: Indicação do novo valor para a cota do Res. Cavalinha

Para o reservatório inferior, S. Gens, recorrendo novamente à plataforma de telemetria da ABMG, na primeira semana de agosto, temos o nível mais baixo de 2.65m e o nível mais alto de 3.10m, conforme se pode ver no Gráfico 2.

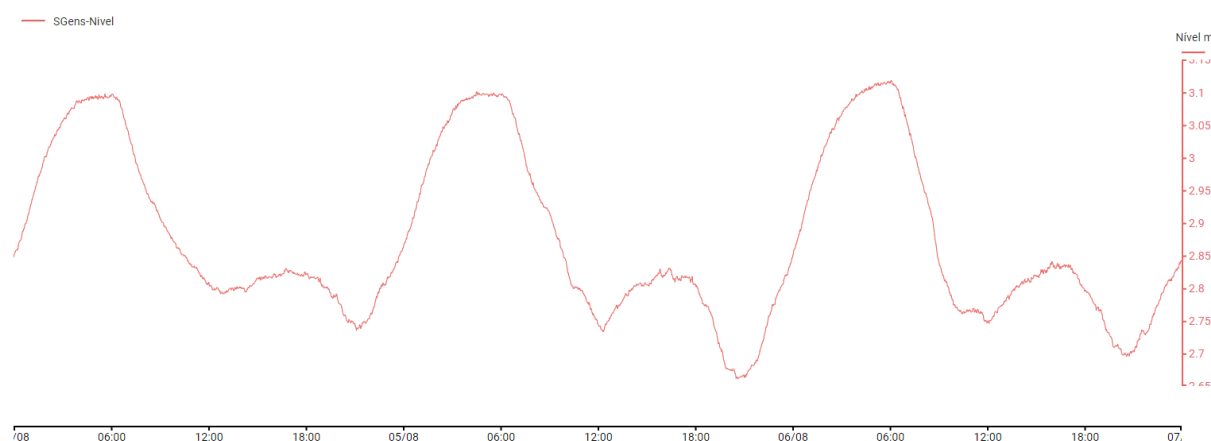


Gráfico 2: Nível do reservatório S. Gens, no mês de agosto (Consulta ABMG, 2021)

O processo foi realizado novamente, para o Res. S. Gens, o nó mais próximo ao reservatório tem cota igual a 65.09 (Figura 56). Acrescer os 3.10m correspondentes ao nível máximo, e o resultado, conforme pode ser acompanhado na Figura 57, é a cota do reservatório passar a ser aproximadamente 68.2m.

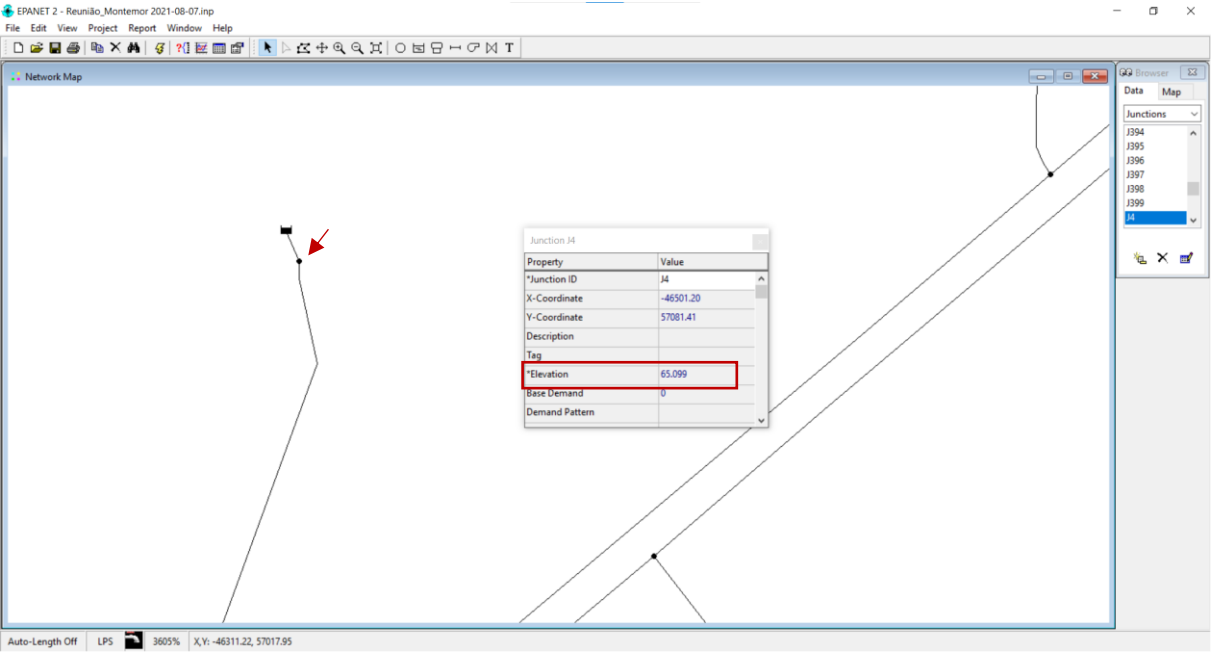


Figura 56: Indicação da cota do Res. S. Gens

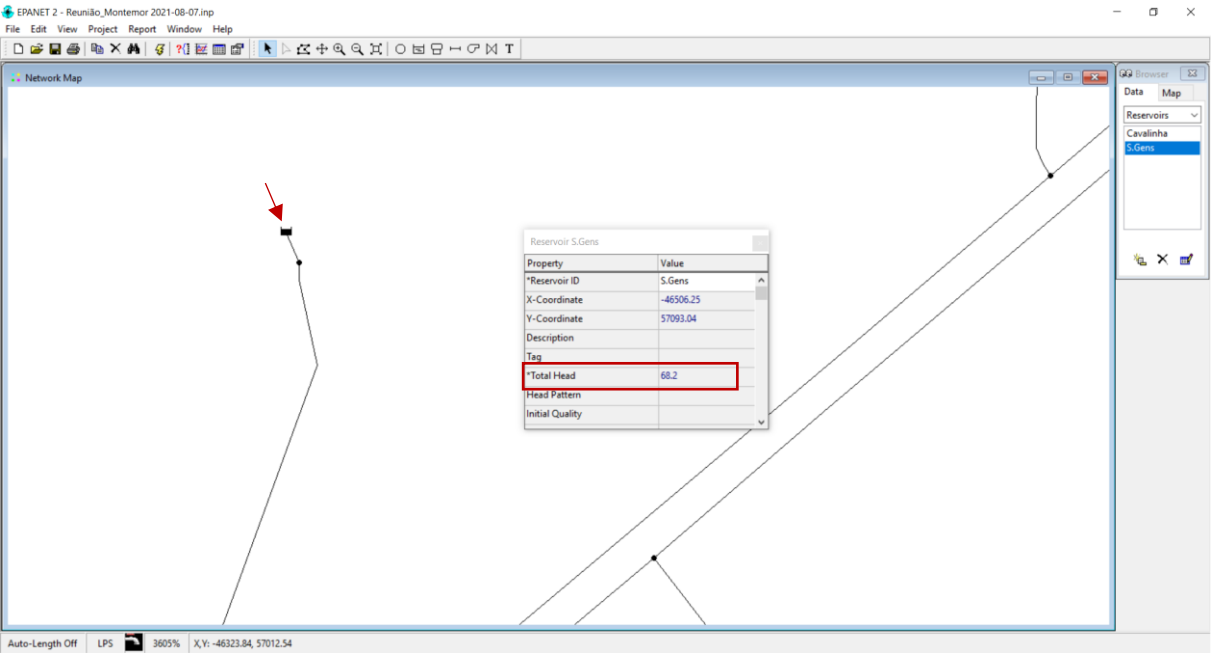


Figura 57: Indicação do novo valor para a cota do Res. S. Gens

Após as adições iniciais feitas, passamos a ter o sistema preparado, conforme a Figura 58.

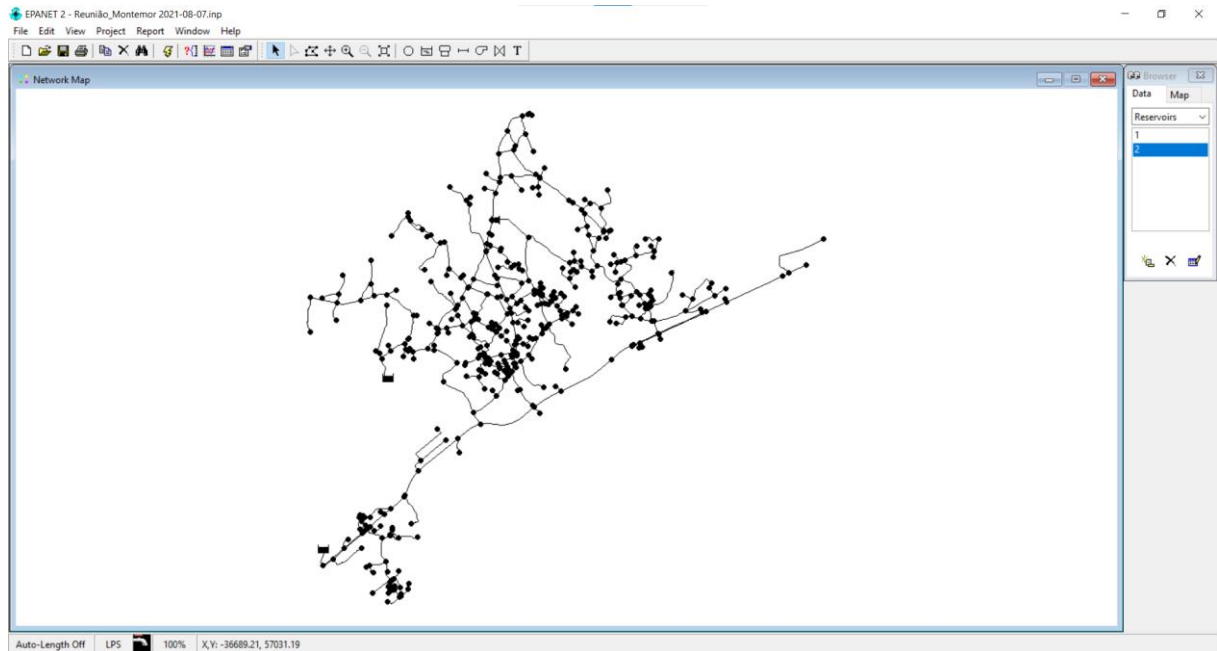


Figura 58: Sistema de abastecimento de água de Montemor-o-Velho

Nesta fase, a simulação do modelo indicava caudais que não estão de acordo com o levantado na informação das faturas, além de apresentar pressões negativas em algumas zonas (Figura 59).

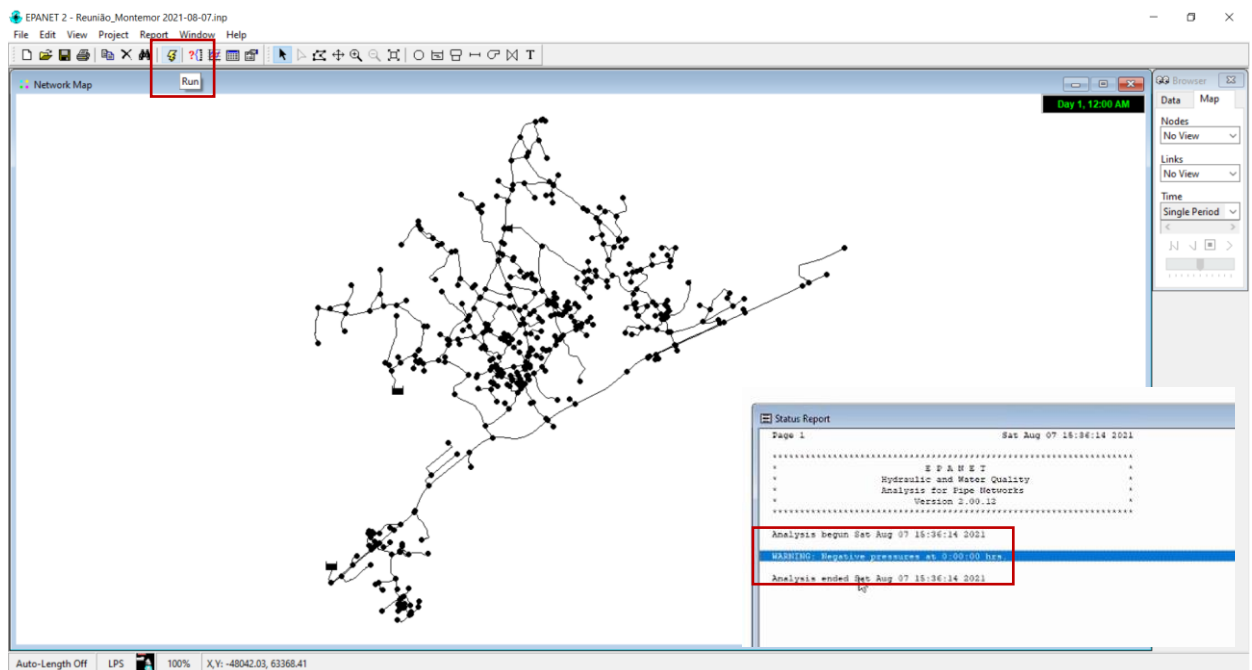


Figura 59: Indicação no EPANET para gerar a simulação do modelo, status à direita com pressões negativas

Isto resulta do facto de, apesar de a representação ser a de um sistema único, e existirem ligações entre as condutas que cobrem toda a região, a operação é feita como sendo dois sistemas independentes, um para a zona alta e outro para a zona baixa. Na zona central (Figura 60) existem interrupções em algumas condutas (válvulas de fronteira fechadas - VF), produzindo diferenças de pressões consideráveis em moradias vizinhas. Foi, pois, necessário realizar um levantamento no terreno de todas as válvulas de fronteira existentes.

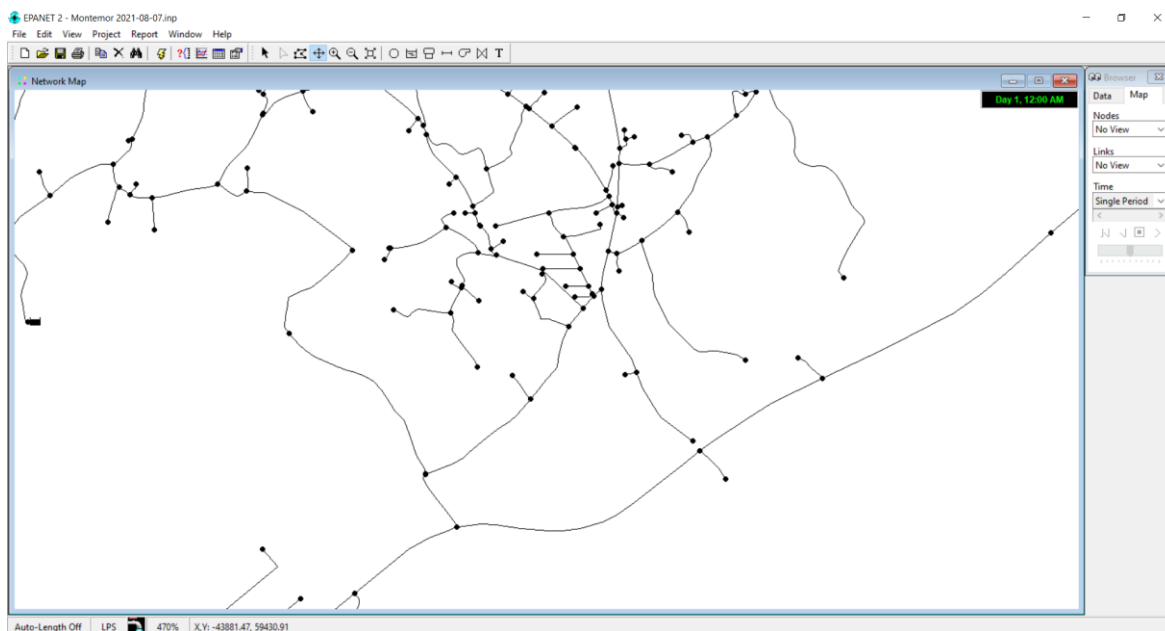


Figura 60: Zona central que possui válvulas fechadas a acrescentar no modelo

As localizações de algumas das VF já eram do conhecimento do Prof. Joaquim Sousa, pelo que foram acrescentadas ao modelo diretamente. As demais VF tiveram de ser identificadas recorrendo a medições de pressão, pois estavam cobertas com o pavimento.

O reservatório Cavalinha, que está a cota 115.5, faz o abastecimento da zona alta de Carapinha e Meãs do Campo (Figura 61).

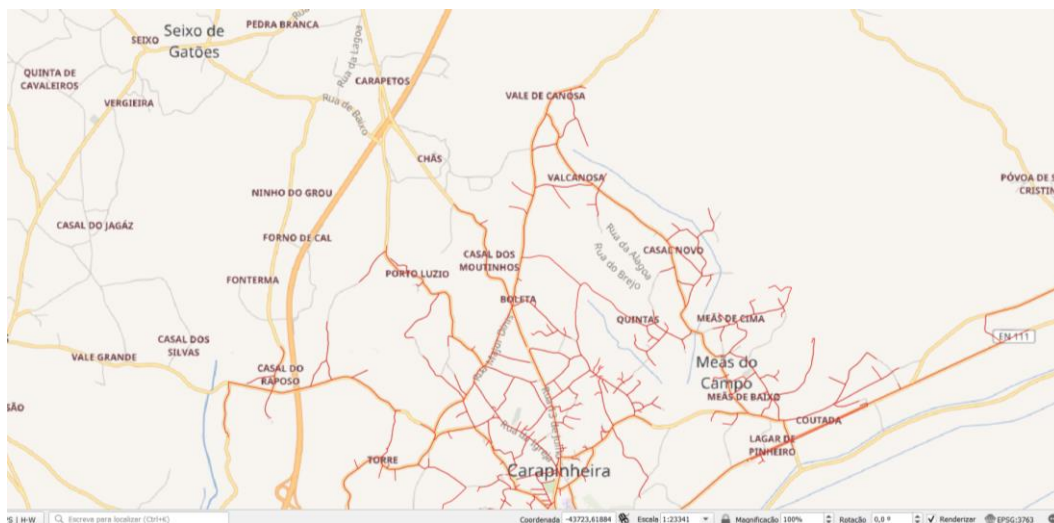


Figura 61: Zona alta de Carapinha e Meãs do Campo

O reservatório S. Gens, que está a cota 68.2, faz o abastecimento da zona baixa de Carapinheira e Meãs do Campo (Figura 62).

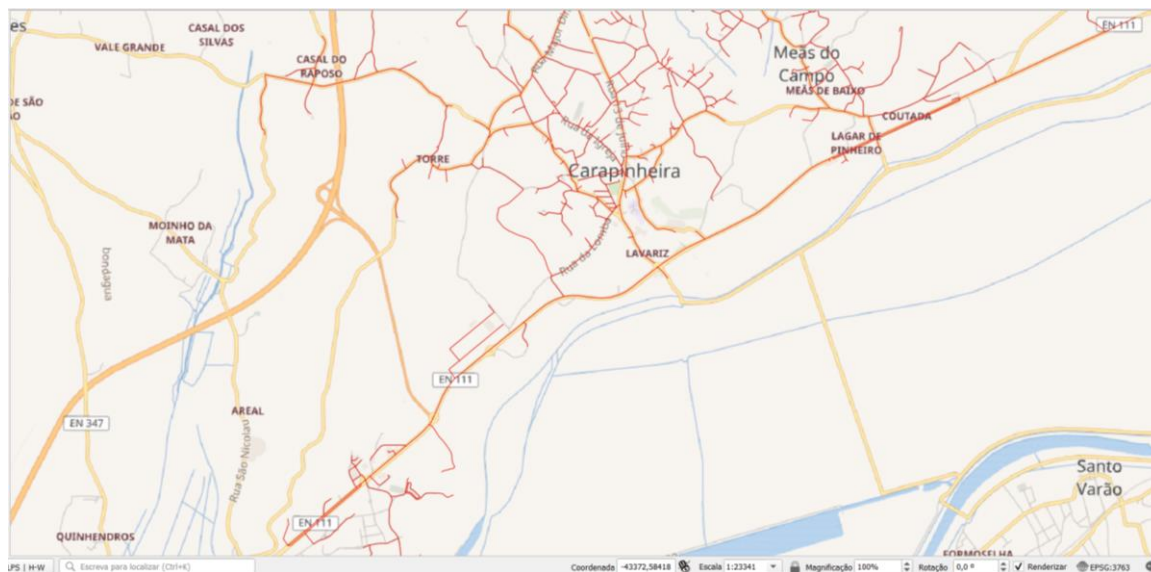


Figura 62: Zona baixa de Carapinheira e Meãs do Campo

Conforme a indicação do Prof. Joaquim Sousa, foram identificadas algumas VF. Na Figura 63 indica-se a localização da VF na zona de Lomba:



Figura 63: Local da VF na zona de Lomba

Com a informação do local onde está a VF, é possível interpretar que água que sai do Res. Cavalinha segue a distribuição conforme a disposição das condutas e neste ponto é interrompida/descontinuada. Já a água que sai do Res. S. Gens, faz o caminho no sentido ascendente e ao chegar a este ponto é desviada para uma conduta em direção ao centro de Carapinheira.

A representação de uma VF no EPANET corresponde a uma conduta com o “Status = Closed” (fechado), interrompendo o curso da água neste troço. Para este efeito, primeiro é necessário criar um nó adjacente ao nó onde existe a VF e introduzir uma pequena conduta “Closed” entre os dois.

Utilizando como exemplo a VF indicada na Figura 64, dentro do modelo a indicação deste ponto é o nó J145. Criou-se um nó posicionado ao lado, chamado de J145A (Figura 65), que possui a mesma cota.

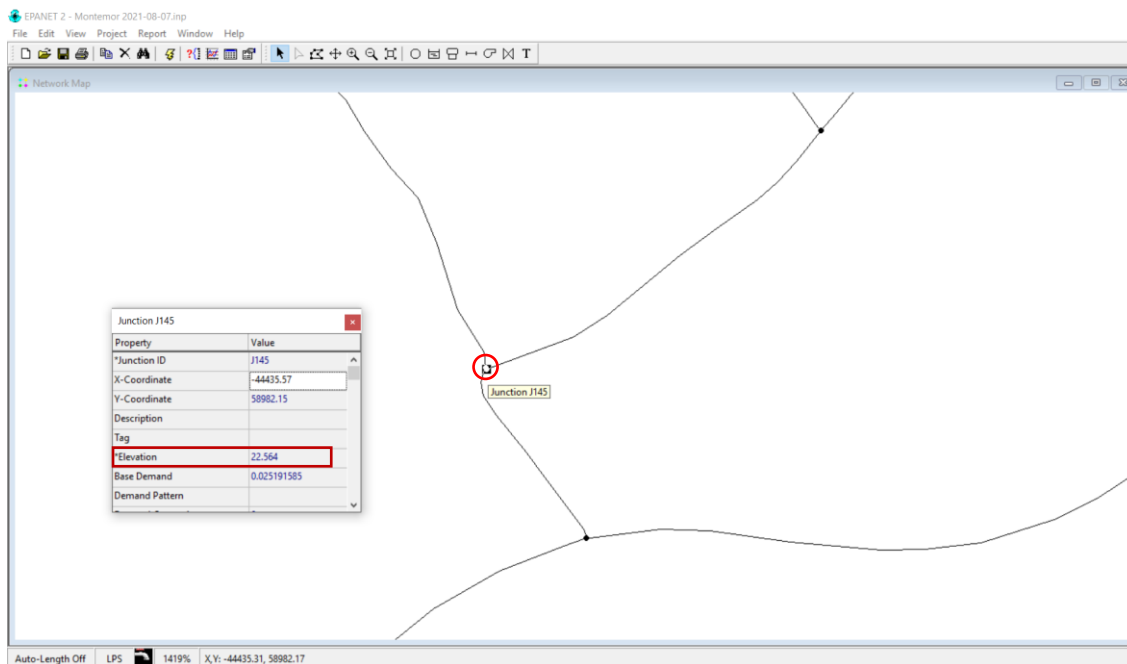


Figura 64: Local existente do nó J145

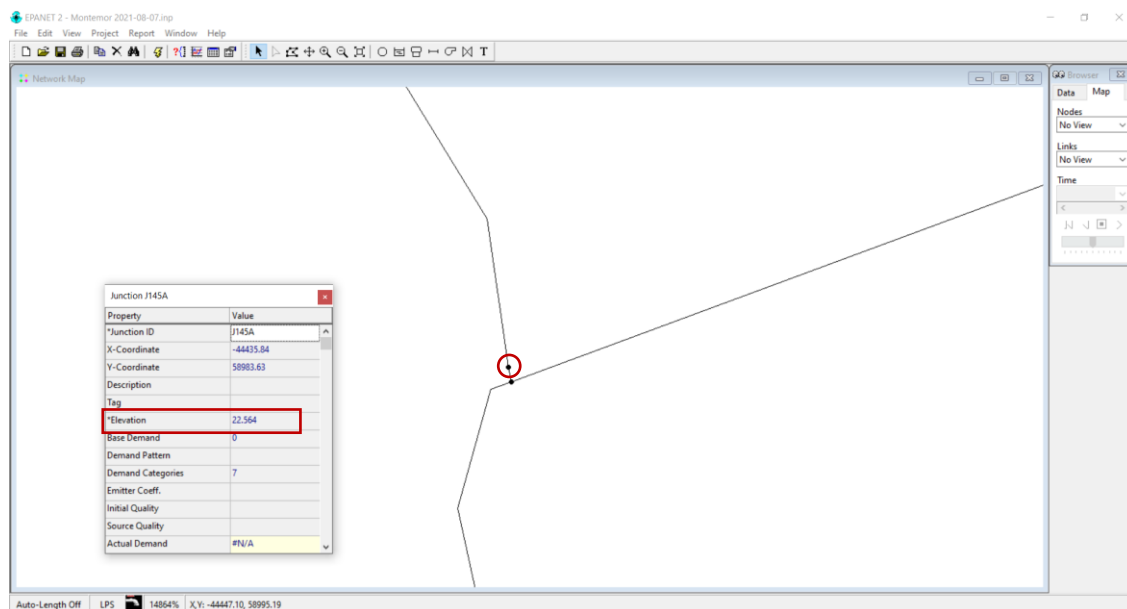


Figura 65: Novo nó J145A criado com a mesma cota do nó existente

A conduta que estava ligada ao nó J145 diretamente, passa a ligar-se ao nó J145A. Alterou-se a conduta existente Pipe P96, que faz a ligação somente ao nó J145A, e inseriu-se uma nova conduta, a P96A, com os mesmos parâmetros da (P96) existente (Figura 66).

A nova conduta P96A ficou com um comprimento de 1m e alterou-se o Status inicial de “aberta” para “fechada” (Figura 67). Com esta informação o EPANET será capaz de perceber que neste ponto o curso da água será interrompido.

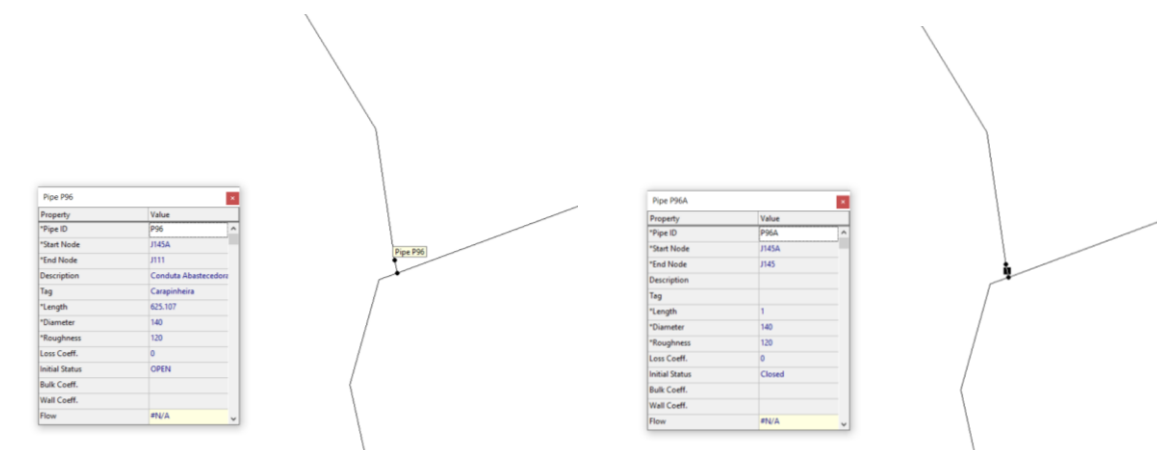


Figura 66: Conduta existente, parâmetros a seguir **Figura 67: Conduta fechada para VF**

Conforme mencionado no Capítulo 2, a pressão em qualquer ponto da rede não deve ultrapassar os 600 kPa (cerca de 60 m c.a.), medidos ao nível do solo. O Res. Cavalinha, encontra-se à cota 115.5m, o que significa que este não deve abastecer abaixo da cota 55m. Como a VF em questão está a cota de 22.56m (Quadro 2), a pressão máxima deverá ser de 92.94 m c.a., o que excede a pressão máxima prevista no DR nº 23/95.

Reservoir Cavalinha		Junction J145	
Property	Value	Property	Value
*Reservoir ID	Cavalinha	*Junction ID	J145
X-Coordinate	-45618.29	X-Coordinate	-44435.57
Y-Coordinate	59442.60	Y-Coordinate	58982.15
Description		Description	
Tag		Tag	
*Total Head	115.5	*Elevation	22.564
Head Pattern		Base Demand	0.025191585
Initial Quality		Demand Pattern	
Source Quality		Demand Categories	8

Quadro 2: Cotas do Res. Cavalinha e do nó J145

Para o caso a seguir (Figuras 68 e 69), é necessário inserir uma VF no local onde se encerra o abastecimento do Res. Cavalinha. A cota neste ponto é 39.5m, pelo que também aqui deverão ocorrer pressões excessivas, podendo atingir os 76 m c.a..



Figura 68: Representação no SIG do local a inserir um VF

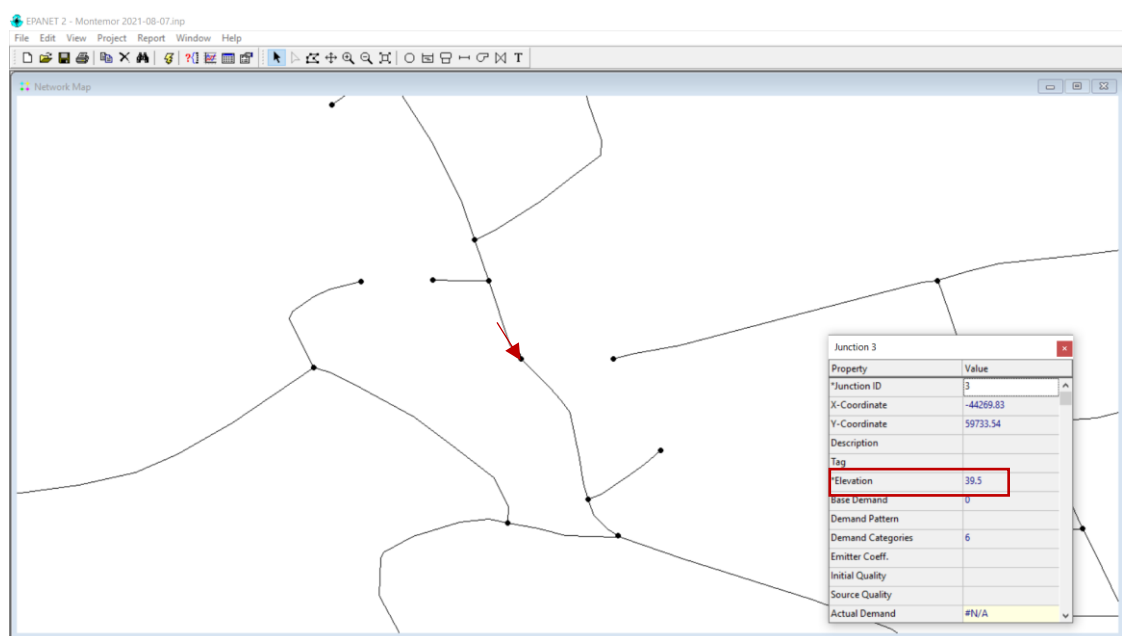


Figura 69: Local a adicionar uma VF e a indicação da cota neste ponto

Neste caso é necessário dividir a conduta do modelo, tendo-se utilizado o software WaterNetGen, que possui ferramentas de edição do modelo (Figura 70).

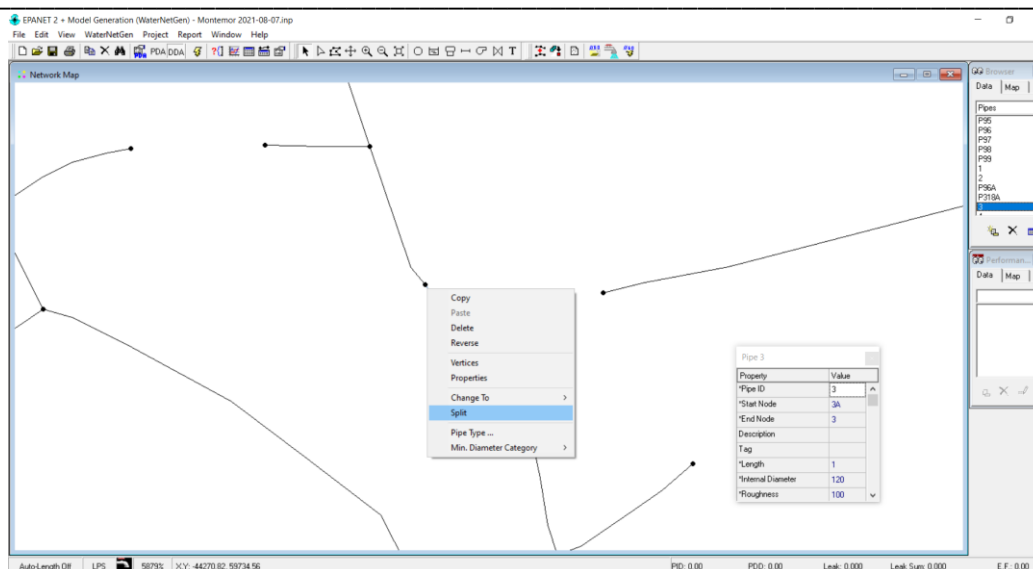


Figura 70: WaterNetGen utilizado para partir a conduta (split)

Adicionou-se um nó no sítio e criaram-se dois troços de conduta, sendo o somatório das duas condutas igual ao comprimento total da conduta original (123m), Figuras 71 e 72. Em relação aos nós, o WaterNetGen atribuiu automaticamente cotas por interpolação dos nós existentes, podendo ser posteriormente editadas.

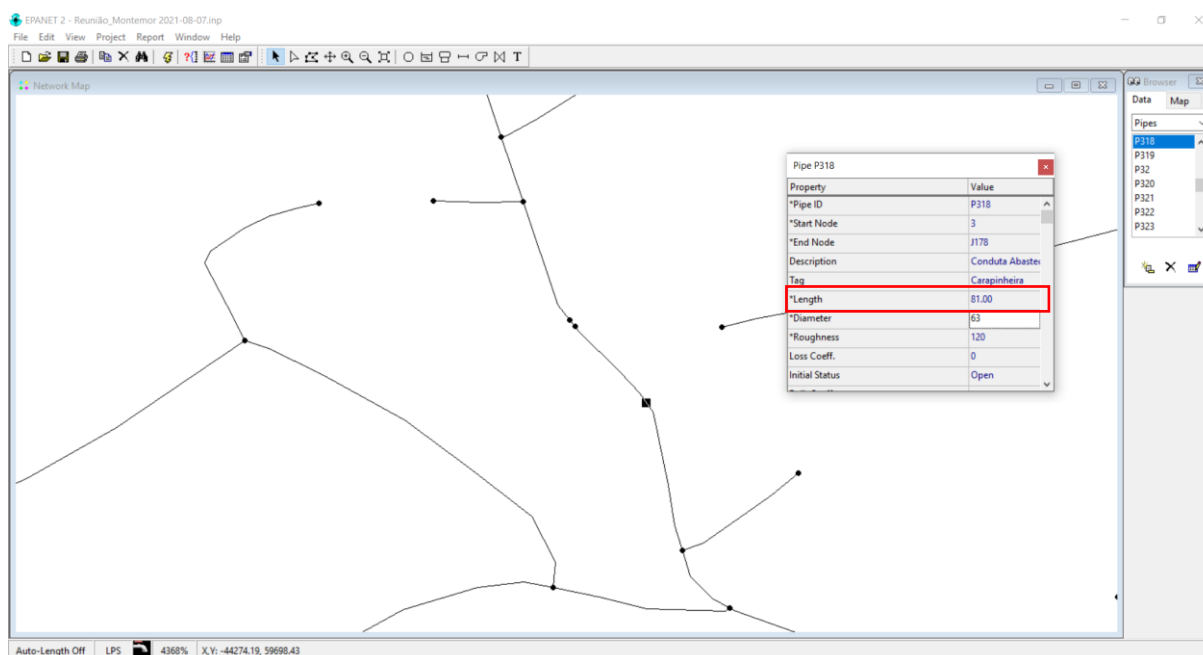


Figura 71: Conduta P-318 com 81m de comprimento

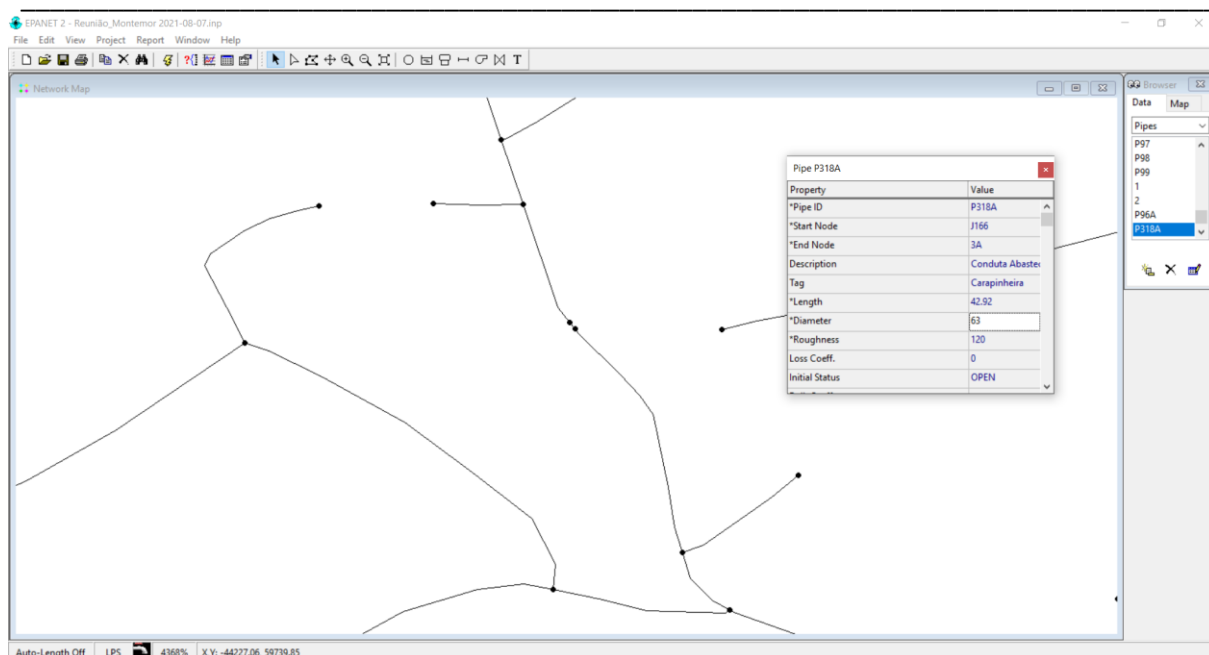


Figura 72: P318-A com 42.92m de comprimento

Confirmou-se no local a zona de fronteira, onde está localizada a conduta P318. No levantamento efetuado observou-se que nas moradias adjacentes há uma diferença considerável entre a pressão antes e depois deste ponto. O que cabe a interpretação de que não há comunicação da água de um lado para o outro da conduta, que pode significar que neste nó há uma válvula fechada enterrada sob o pavimento, sendo representada no modelo por uma pequena conduta fechada (Figura 73).

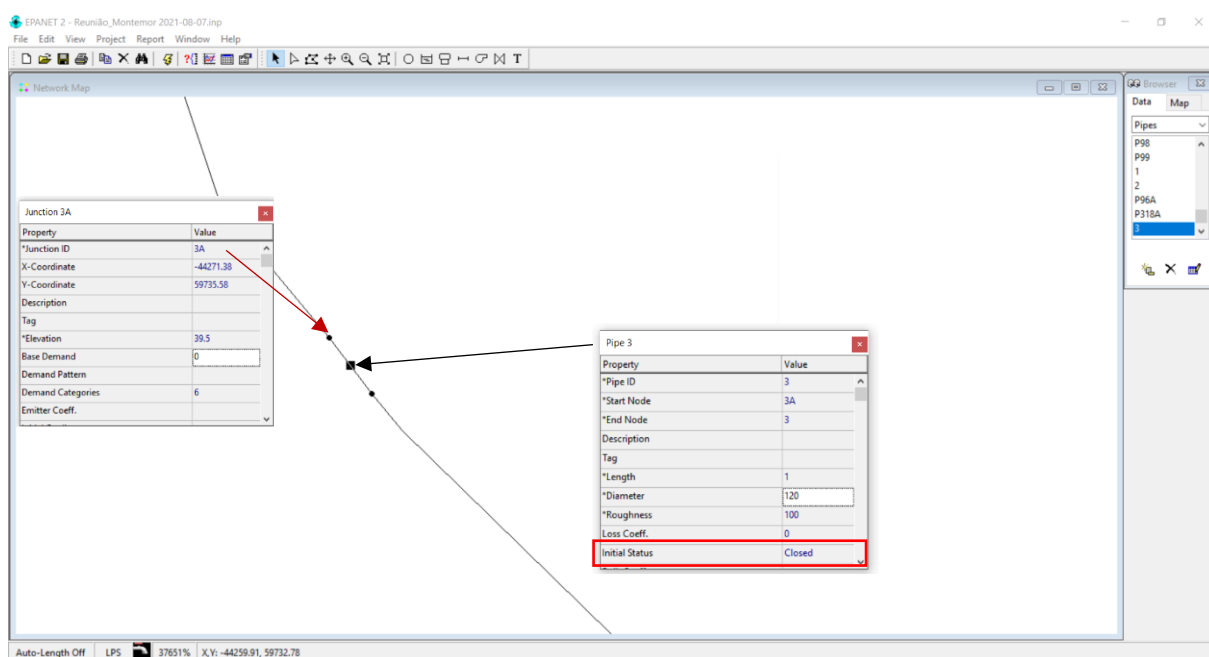


Figura 73: Conduta P3 inserida, alterado o Status fechada – J3A novo nó inserido

As medições das pressões ao longo das condutas foram feitas usando um transdutor de pressão, de modo a identificar aonde há válvulas fechadas (Figura 74). Este aparelho mede a pressão e regista os valores em memória para poderem ser depois descarregados num computador.



Figura 74: Transdutor de pressão aplicado no local (Imagem fornecida pelo Prof. Joaquim Sousa)

Após as medições efetuadas nos respetivos locais, concluiu-se que as condutas com válvulas de fronteiras são P96, P233, P318, P368, P460 e P468 (Figura 75).

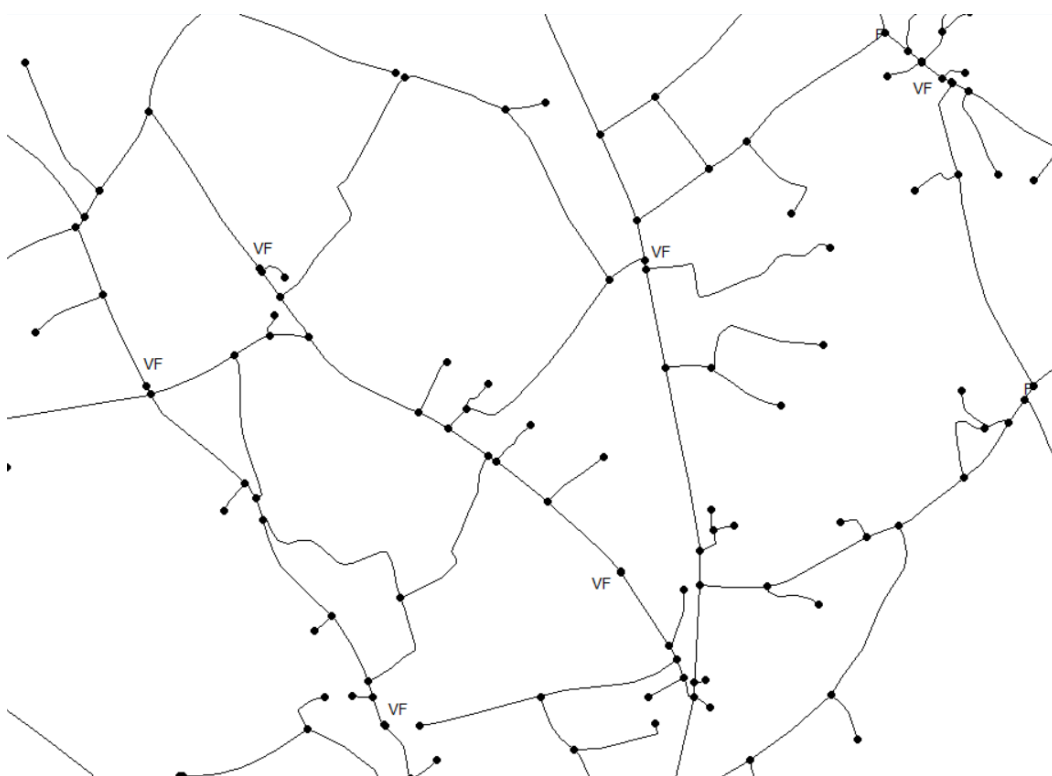


Figura 75: Algumas das válvulas de fronteiras (VF) fechadas do sistema

Realizou-se mais uma simulação no EPANET, confirmando se as condutas foram corretamente configuradas e posicionadas as válvulas fechadas. Na primeira tentativa o modelo resultou conforme representado na Figura 76:

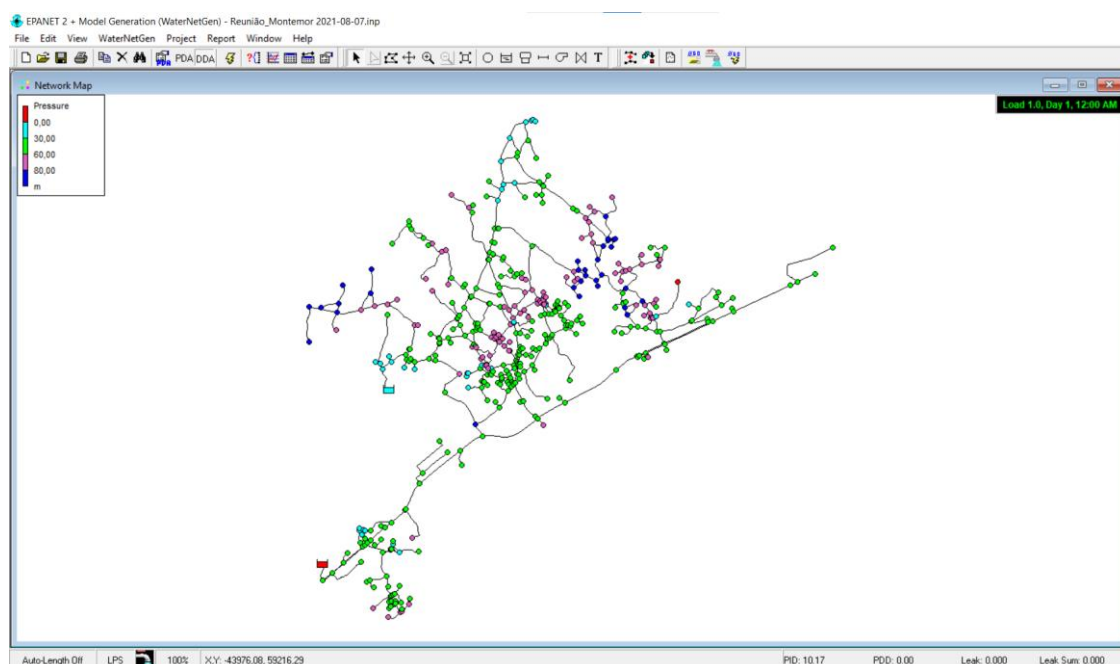


Figura 76: 1ª simulação no EPANET com a indicação de pressões nos nós

O resultado do modelo mostra os nós azuis como sendo os locais onde existem pressões muito elevadas, acima dos 80 m c.a, onde o ideal seria estarem entre 20 e 60 m c.a. (nós representados no modelo a azul-ciano e verde). Os nós na cor vermelha indicam os pontos onde a pressão é negativa. Contudo, faltam incluir ainda alguns elementos no modelo.

Avaliando os nós do sistema que indicaram pressões negativas (Figura 77), conclui-se que para as moradias existente ao final da Rua da Sertã, a pressão não é suficiente. Conforme indicado no Quadro 3, a diferença entre as cotas dos nós extremos desta conduta (Figura 78) é de cerca de 30m.

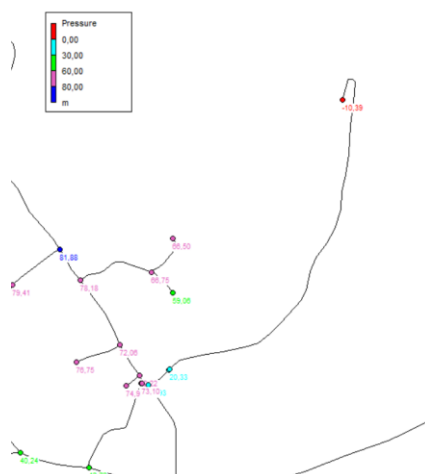
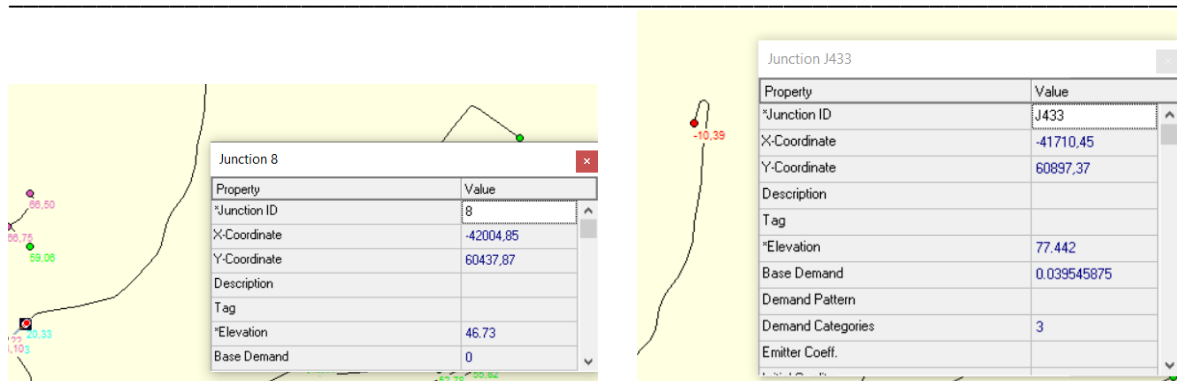


Figura 77: Nós com pressão negativa na Rua da Sertã



Quadro 3: Cotas dos nós na Rua da Sertã



Figura 78: Nós e Conduta da Rua da Sertã

Identificou-se a existência de uma instalação elevatória localizada no início da Rua da Sertã, o Hidropressor de Meãs (Figura 79). Este equipamento possui um mecanismo que faz o equipamento ligar e desligar, consoante a pressão de saída, ou seja, quando a pressão está muito alta o sistema para, e quando a pressão está muito baixa, ele arranca. O hidropressor tem um manómetro a medir a pressão de saída com a indicação de 4 bar (40 m c.a.).



Figura 79: Início da Rua Sertã, local de instalação do hidropressor de Meãs

Inseriu-se no modelo uma bomba para fazer elevar a pressão, seguida de uma VRP regulada para 40 m c.a. para simular as condições de pressão impostas pelo hidropressor (Figura 80).

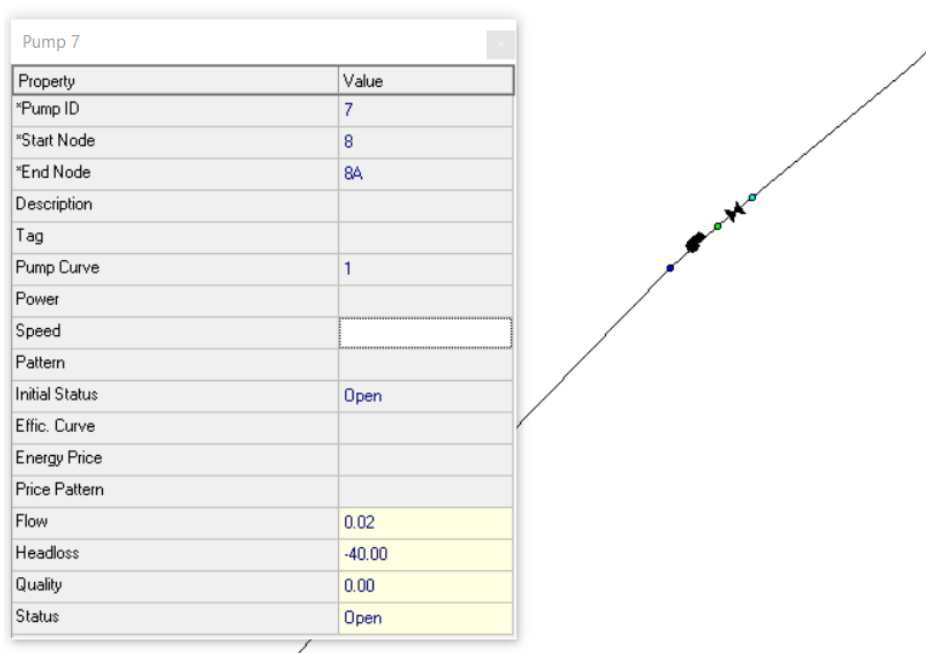


Figura 80: Representação no modelo Bomba e VRP

Num outro ponto do sistema, apresentado nas Figura 81 e 82, está instalada uma VRP, numa caixa enterrada na via. No local existia um pequeno reservatório, que foi desativado e, em sua substituição, foi instalada a VRP-Boleta, com 80mm de diâmetro, regulada para uma pressão à saída de 1 bar (aproximadamente 10m c.a), Figura 83.



Figura 81: Identificação no QGIS de um reservatório desativado e uma VRP.



Figura 82: Local de instalação da VRP – Boleta na via, próximo a um reservatório desativado (Imagem Google Earth)

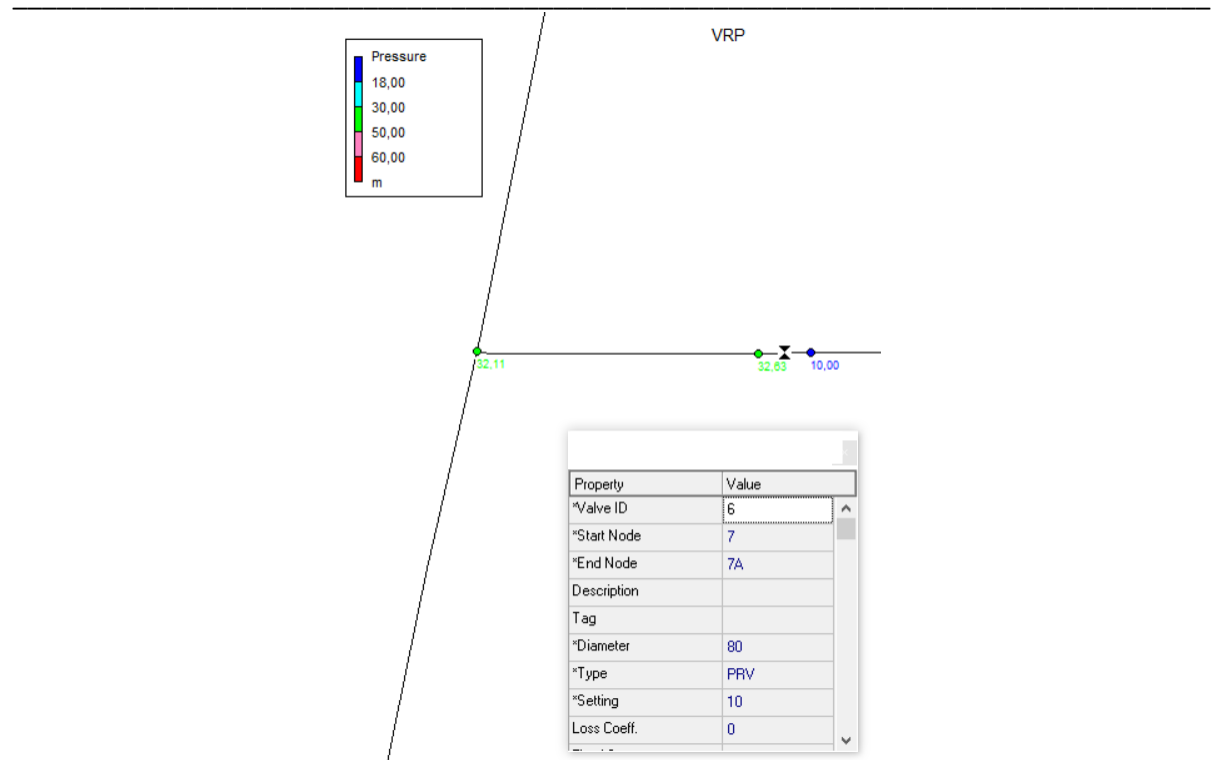


Figura 83: Representação da VRP-Boleta e suas propriedades no EPANET.

A zona mais alta do sistema não pode ser abastecida pelo Res. Cavalinha, pois as pressões não alcançam os valores mínimos necessários. Nesta zona o abastecimento é feito pelo Reservatório – Meco R2, que não faz parte do sistema de Montemor-o-Velho. Nas investigações realizadas no local concluiu-se, a partir dos resultados das medições de pressão na rede, a existência de duas válvulas de fronteira (VF) fechadas, que foram inseridas no modelo. Deste modo ambas as redes estão separadas, não interferindo mutuamente, Figura 84.

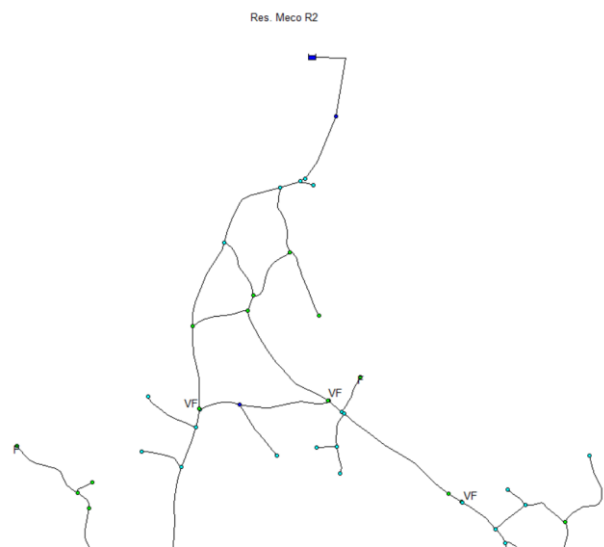


Figura 84: Zona mais alta do sistema, abastecida pelo Res. Meco R2

Na Figura 85 representa-se o sistema com inserção dos novos elementos anteriormente descritos.

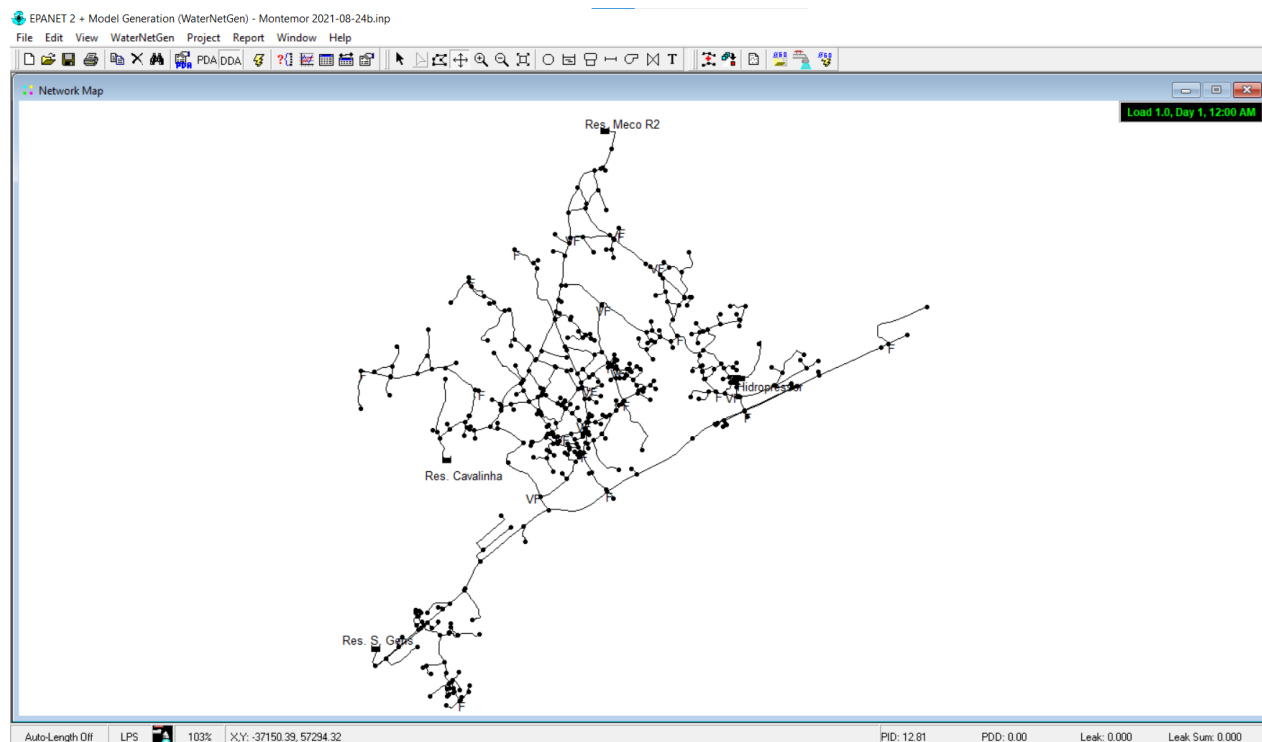
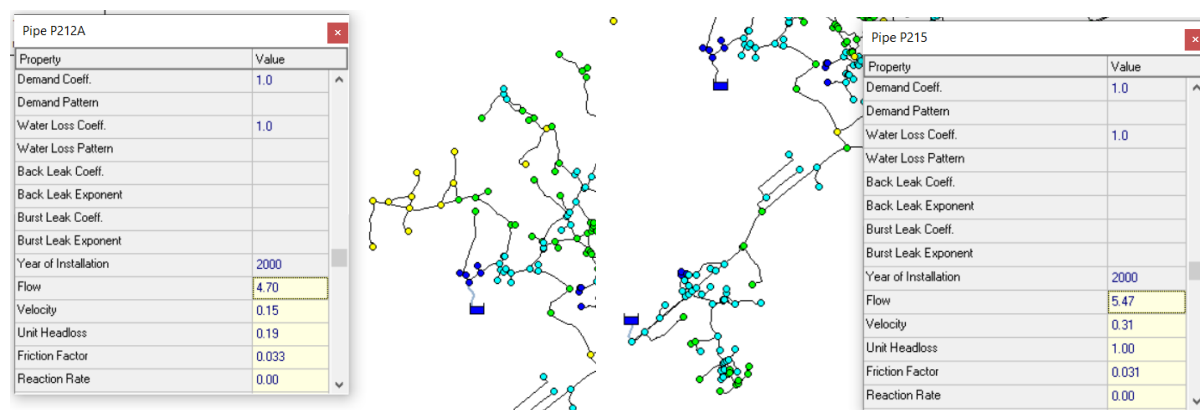


Figura 85: Modelo da Rede de Montemor-o-Velho

Para os consumos, a informação que estava nesta fase carregada nos nós do modelo eram os consumos médios dos utilizadores, levantados na base de dados de faturação, sem considerar as perdas no desenvolvimento das condutas. O caudal de 10,17 L/s é o total do sistema, resultando do somatório entre os dois reservatórios - Quadro 4.



Quadro 4: Valores dos caudais referentes às condutas que saem dos reservatórios

Após efetuar uma nova simulação do modelo no EPANET obtiveram-se os seguintes resultados de pressão (Figura 86): os nós que estão representados a roxo e vermelho representam pressões excessivas, correspondendo a cor roxa a pressões entre os 60 e os 70 m c.a. e a cor vermelha a pressões acima dos 70 m c.a.; os nós representados a azul escuro significam pressões inferiores à mínima imposta pelo regulamento, que estabelece para moradias de rés do chão e 1º andar a pressão de 18 m c.a.; nos demais nós, nas cores azul-ciano e verde, a pressão está entre 20 e 60 m c.a., que é o ideal para este sistema.

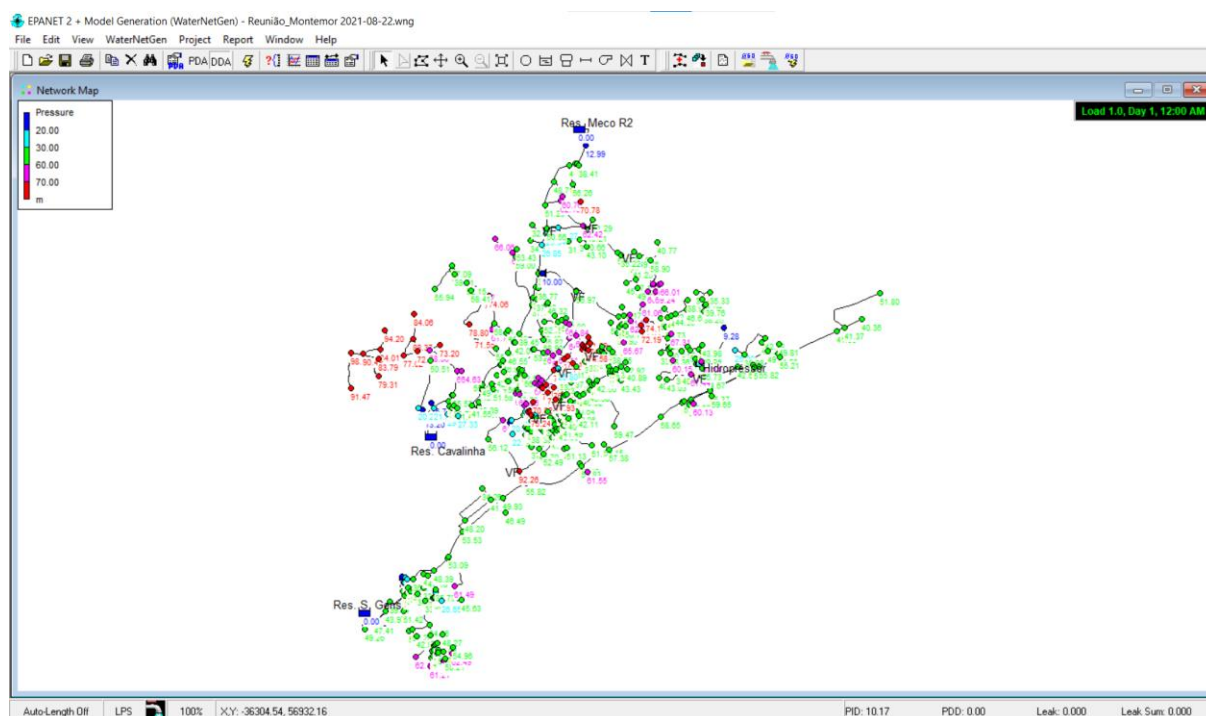


Figura 86: Simulação do Modelo com os consumos médios carregados nos nós do modelo

4.2.1. Padrões de consumo:

Para obter os valores dos caudais da rede, recorreu-se novamente ao sistema de telemetria da ABMG. Considerou-se o maior valor do caudal para cada rede, para alcançar no resultado de simulação as pressões mínimas.

Foram recolhidos os caudais para a rede alta, abastecida pelo Res. Cavalinha, no dia 17/08/2021 - domingo, que apresentou o caudal mais alto às 20h. Para a rede baixa, abastecida pelo Res. S. Gens, foram recolhidos os caudais do dia 05/06/2021 – sábado (não havia registos dos meses de julho e agosto), tendo o caudal mais elevado ocorrido às 19h (Tabela 2).

Carapinheira Alta (Res. Cavalinha)			Carapinheira Baixa (Res. S. Gens)		
Data/Hora	Caudal	Consumo	Data/Hora	Caudal	Consumo
17/8/2021 0:00	15,64	3,64	5/6/2021 0:00	29,8	7,8
17/8/2021 1:00	14,26	2,26	5/6/2021 1:00	27	5
17/8/2021 2:00	13	1	5/6/2021 2:00	23,16	1,16
17/8/2021 3:00	14,82	2,82	5/6/2021 3:00	23,76	1,76
17/8/2021 4:00	15,68	3,68	5/6/2021 4:00	24,84	2,84
17/8/2021 5:00	15,94	3,94	5/6/2021 5:00	24,72	2,72
17/8/2021 6:00	19,8	7,8	5/6/2021 6:00	26,28	4,28
17/8/2021 7:00	30,08	18,08	5/6/2021 7:00	37,6	15,6
17/8/2021 8:00	38,72	26,72	5/6/2021 8:00	47,88	25,88
17/8/2021 9:00	36,98	24,98	5/6/2021 9:00	51,6	29,6
17/8/2021 10:00	35,4	23,4	5/6/2021 10:00	54,52	32,52
17/8/2021 11:00	41,36	29,36	5/6/2021 11:00	52,8	30,8
17/8/2021 12:00	35,68	23,68	5/6/2021 12:00	54,84	32,84
17/8/2021 13:00	30,46	18,46	5/6/2021 13:00	44,8	22,8
17/8/2021 14:00	28,56	16,56	5/6/2021 14:00	43,88	21,88
17/8/2021 15:00	27,42	15,42	5/6/2021 15:00	44,08	22,08
17/8/2021 16:00	29,38	17,38	5/6/2021 16:00	43,6	21,6
17/8/2021 17:00	31,38	19,38	5/6/2021 17:00	54,32	32,32
17/8/2021 18:00	42,34	30,34	5/6/2021 18:00	55,48	33,48
17/8/2021 19:00	56,66	44,66	5/6/2021 19:00	67,16	45,16
17/8/2021 20:00	65,24	53,24	5/6/2021 20:00	64,04	42,04
17/8/2021 21:00	53,2	41,2	5/6/2021 21:00	53,64	31,64
17/8/2021 22:00	38,14	26,14	5/6/2021 22:00	43,76	21,76
17/8/2021 23:00	28,66	16,66	5/6/2021 23:00	36,96	14,96
Mínimo =	13	m ³ /h	Mínimo =	23,16	m ³ /h
Perdas =	12	m ³ /h	Perdas =	22	m ³ /h
Média	19,62	m ³ /h	Média	20,94	m ³ /h

Tabela 2: Caudais recolhidos da plataforma de telemetria da ABMG

O caudal mínimo no Res. Cavalinha é de 13 m³/h.. Deve-se ter em consideração que durante a madrugada (0h a 6h) tendem a aparecer as pressões mais elevadas, devido ao menor consumo. Logo, para este período separou-se o que são perdas, do que seria algum consumo noturno. Uma vez que o caudal mínimo noturno são 13 m³/h, para as perdas o valor considerado foi de 12 m³/h, tendo-se estimado um consumo noturno de 1 m³/h.

Para o Res. S. Gens, seguindo o mesmo raciocínio, observou-se um caudal mínimo noturno de 23,16 m³/h, assumiram-se 22 m³/h de perdas, pelo que se estimou um consumo noturno de 1,16 m³/h.

Para determinar os valores de consumo por hora, subtraiu-se ao caudal de cada hora o valor correspondente às perdas, por exemplo: 17/08/2021 0h (Cavalinha) → $Caudal - perdas = 15,64 - 12 = 3,64 \text{ m}^3/h$.

Para determinar os padrões de consumo dividiu-se o valor do consumo de cada hora pelo valor do respetivo consumo médio do dia (Tabela 3). Por exemplo, para o Cavalinha às 0h o cálculo do valor do padrão de consumo é:

$$\frac{\text{Consumo por hora}}{\text{Média do dia}} = \frac{3,64}{19,62} = 0,185556$$

Carapinha Alta (Res. Cavalinha)			Carapinha Baixa (Res. S. Gens)		
Data/Hora	Consumo	Padrão	Data/Hora	Consumo	Padrão
17/8/2021 0:00	3,64	0,185556	5/6/2021 0:00	7,8	0,372522
17/8/2021 1:00	2,26	0,115208	5/6/2021 1:00	5	0,238796
17/8/2021 2:00	1	0,050977	5/6/2021 2:00	1,16	0,055401
17/8/2021 3:00	2,82	0,143755	5/6/2021 3:00	1,76	0,084056
17/8/2021 4:00	3,68	0,187596	5/6/2021 4:00	2,84	0,135636
17/8/2021 5:00	3,94	0,20085	5/6/2021 5:00	2,72	0,129905
17/8/2021 6:00	7,8	0,397621	5/6/2021 6:00	4,28	0,20441
17/8/2021 7:00	18,08	0,921665	5/6/2021 7:00	15,6	0,745045
17/8/2021 8:00	26,72	1,362107	5/6/2021 8:00	25,88	1,236011
17/8/2021 9:00	24,98	1,273407	5/6/2021 9:00	29,6	1,413675
17/8/2021 10:00	23,4	1,192863	5/6/2021 10:00	32,52	1,553132
17/8/2021 11:00	29,36	1,496686	5/6/2021 11:00	30,8	1,470986
17/8/2021 12:00	23,68	1,207137	5/6/2021 12:00	32,84	1,568415
17/8/2021 13:00	18,46	0,941037	5/6/2021 13:00	22,8	1,088912
17/8/2021 14:00	16,56	0,84418	5/6/2021 14:00	21,88	1,044973
17/8/2021 15:00	15,42	0,786066	5/6/2021 15:00	22,08	1,054525
17/8/2021 16:00	17,38	0,885981	5/6/2021 16:00	21,6	1,031601
17/8/2021 17:00	19,38	0,987935	5/6/2021 17:00	32,32	1,54358
17/8/2021 18:00	30,34	1,546644	5/6/2021 18:00	33,48	1,598981
17/8/2021 19:00	44,66	2,276636	5/6/2021 19:00	45,16	2,15681
17/8/2021 20:00	53,24	2,714019	5/6/2021 20:00	42,04	2,007801
17/8/2021 21:00	41,2	2,100255	5/6/2021 21:00	31,64	1,511104
17/8/2021 22:00	26,14	1,33254	5/6/2021 22:00	21,76	1,039242
17/8/2021 23:00	16,66	0,849278	5/6/2021 23:00	14,96	0,714479
Média Consumo		19,62 m³/h	Média Consumo		20,94 m³/h
		Total Padrão 24,00m³/h			Total Padrão 24,00m³/h

Tabela 3: Consumo para o sistema e determinação dos valores dos padrões

Os valores para os padrões de consumo dependem dos valores dos consumos registados, portanto, durante a madrugada estes apresentam valores mais baixos. O somatório do valor para os padrões tem que ser igual a 24.

O gráfico do padrão de consumo para Res. Cavalinha indica que o fator de ponta é de 2.7 (Gráfico 3), ou seja, na hora de maior consumo consome-se 2.7x o consumo médio.

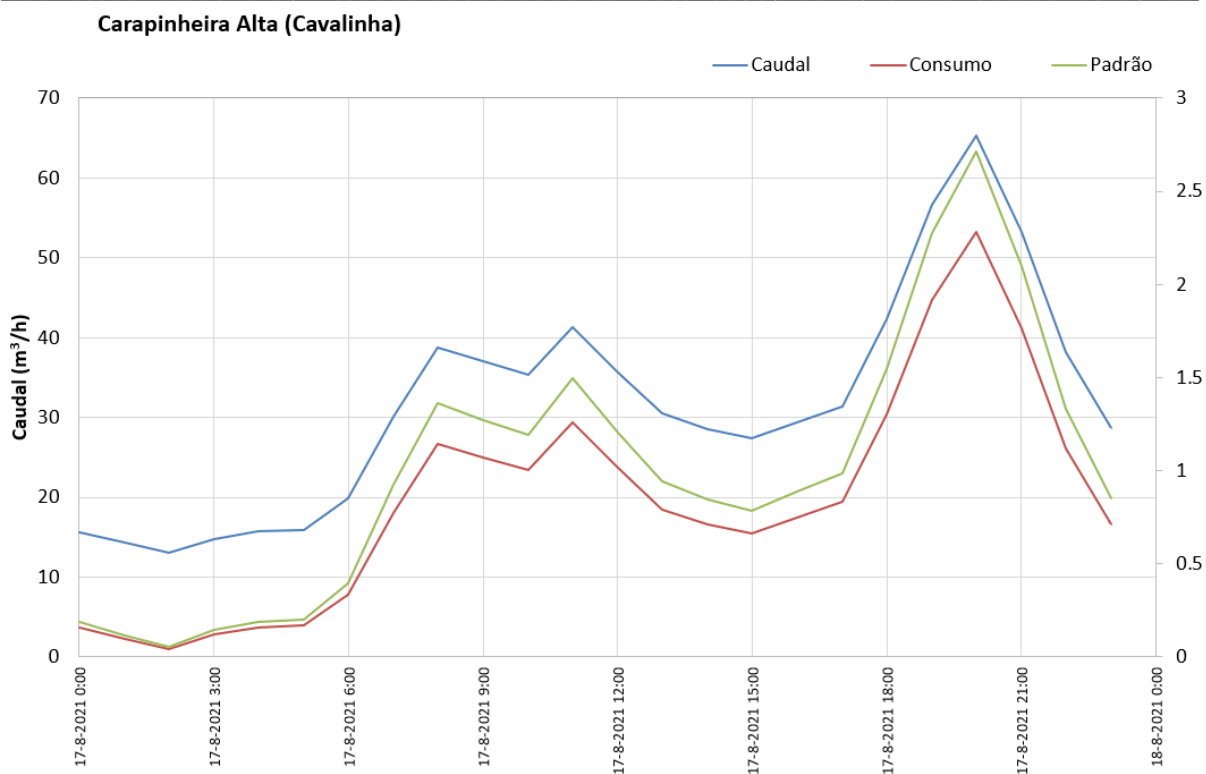


Gráfico 3: Padrão de consumo para o Res. Cavalinha

Para o Res. S. Gens o fator de ponta é de 2.2, ou seja, durante a hora de maior consumo consome-se 2.2x o consumo médio (Gráfico 4).

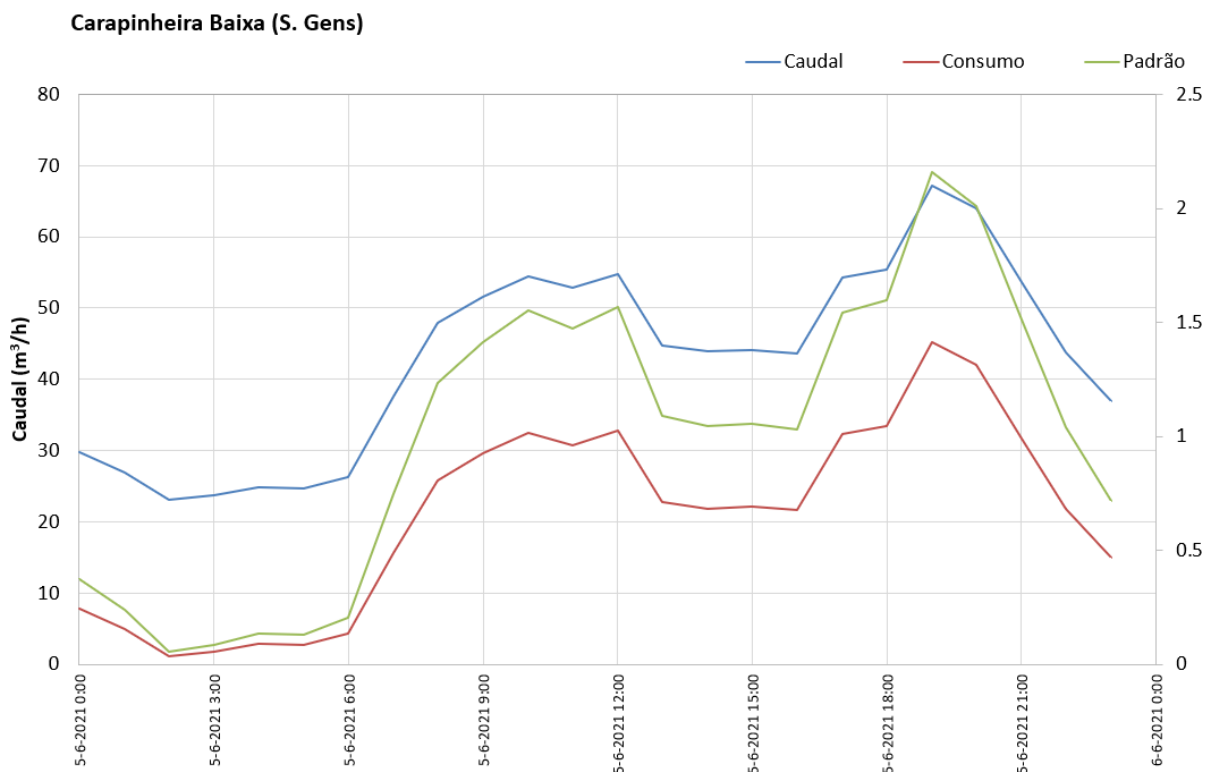


Gráfico 4: Padrão de consumo para o Res. S. Gens

Com os valores dos padrões de consumo definidos, foi preciso inserir estas informações no modelo, criando 2 padrões, respetivamente a rede alta (Cavalinha) e a rede baixa (S. Gens). No EPANET, utilizando a aba de “Patterns” inseriram-se os valores correspondentes aos respetivos padrões de consumo. Como os valores tinham sido calculados no software Excel, No EPANET exportaram-se ficheiros com a extensão .pat, que foram editados no software Bloco de Notas para inserir os valores do Excel e posteriormente carregados, novamente, no EPANET originando os padrões de consumo do modelo (Figuras 87 e 88).

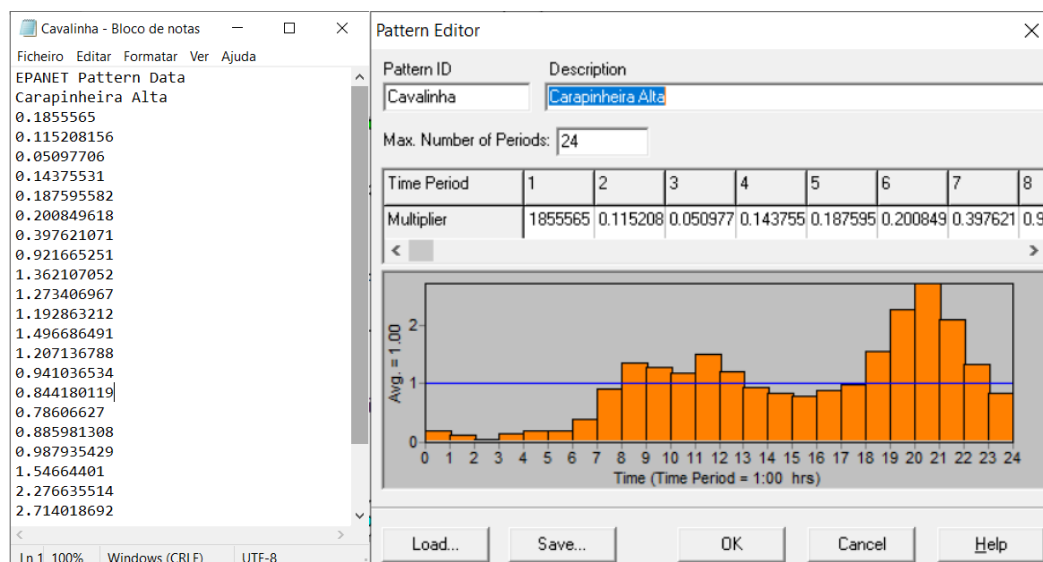


Figura 87: Criação do padrão de consumo para a rede alta (Cavalinha)

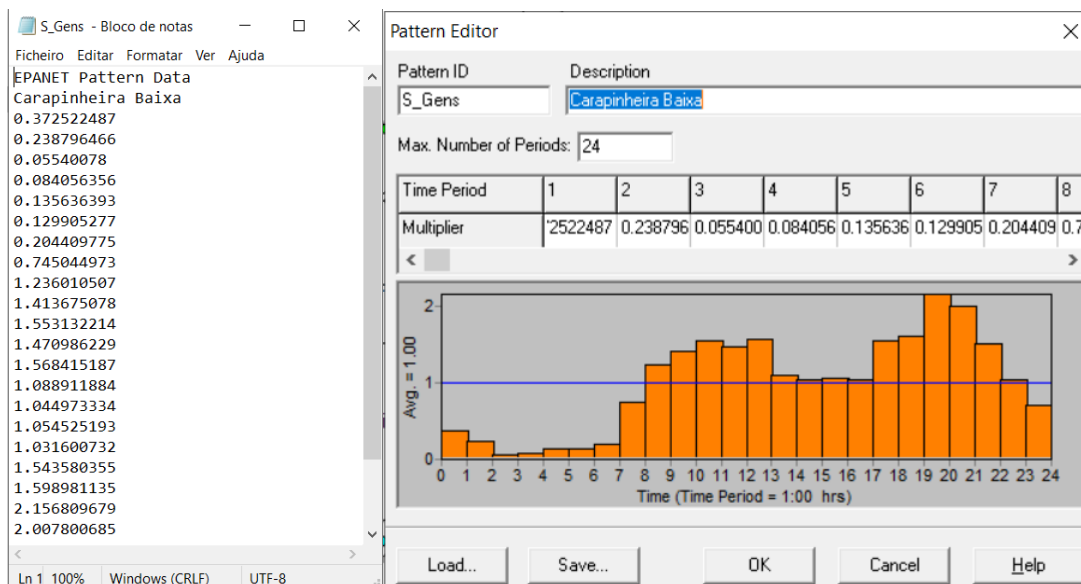


Figura 88: Criação do padrão de consumo para a rede baixa (S. Gens)

No seguimento, atribuíram-se os padrões aos respetivos nós, por meio das ferramentas “Selecionar zona” e “Editor de grupo” do EPANET.

Junction J11		Junction J450	
Property	Value	Property	Value
Tag		Tag	
*Elevation	20.245	*Elevation	26.709
Base Demand	0.007354733	Base Demand	0
Demand Pattern	Cavalinha	Demand Pattern	S_Gens
Demand Categories	3	Demand Categories	3
Emitter Coeff.		Emitter Coeff.	
Initial Quality		Initial Quality	
Source Quality		Source Quality	

Quadro 5: Padrões de consumo atribuídos aos nós

Para as perdas de água foram inseridos os valores no modelo (processo introduzido adiante, na secção 4.3), distribuindo em alguns nós os valores estipulados (Quadro 6), após realizar a conversão de m³/h para L/s:

$$\text{Perdas para a rede alta (Cavalinha)} = 12 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \frac{12}{3,6} = 3,33 \text{ L/s}$$

$$\text{Perdas para a rede baixa (S. Gens)} = 22 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \frac{22}{3,6} = 6,11 \text{ L/s}$$

Junction J2		Demands for Junction J2					
Property	Value	Base Demand	Time Pattern	Category	Pressure Lower-Bound	Pressure Threshold (%)	
Tag		1	0.022585533	Cavalinha			
*Elevation	15.529	2	0	Pipe: P233			
Base Demand	0.022585533	3	0	Loss: P233			
Demand Pattern	Cavalinha	4	0	Pipe: P451			
Demand Categories	5	5	0	Loss: P451			
Emitter Coeff.		6	0.5				
		7					

Quadro 6: Propriedades dos nós para adição das perdas

Por fim, ajustou-se o EPANET para gerar uma simulação de 24 horas com incrementos de 1h (Quadro 7).

Times Options	
Property	Hrs:Min
Total Duration	24:00
Hydraulic Time Step	1:00
Quality Time Step	0:00
Pattern Time Step	1:00
Pattern Start Time	0:00
Reporting Time Step	1:00
Report Start Time	0:00
Clock Start Time	12:00 AM
Statistic	NONE

Quadro 7: Configuração do modelo “Time Options”

Com as configurações devidamente realizadas, efetuou-se uma nova simulação do modelo. Utilizando o nó J2 como exemplo é possível analisar o gráfico das pressões ao longo do dia (Gráfico 5).

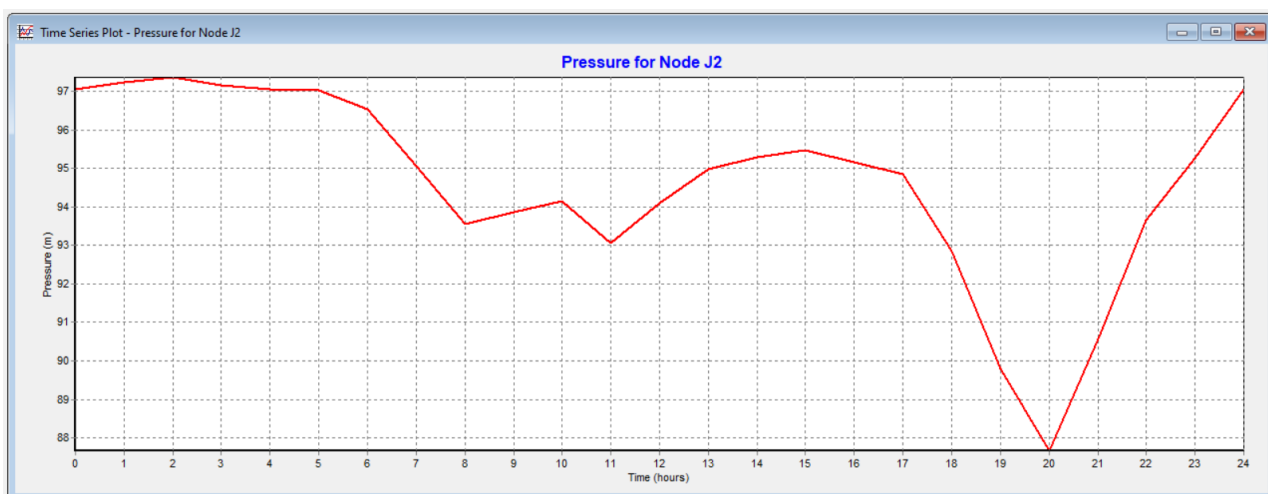


Gráfico 5: EPANET - Pressões ao longo do dia para o nó J2

Conclui-se que durante a madrugada e até ao início da manhã (0h – 07h) a pressão é muito elevada. Entretanto, no decorrer do dia, quando os consumos aumentam, a pressão desce. Às 20h a pressão baixa consideravelmente, devido ao elevado consumo. As pressões voltam a ter valores elevados após as 21h.

Para a conduta P212A, localizada na saída do Res. Cavalinha, o Gráfico 6 apresenta os valores do caudal, observando-se que durante a noite e até o início da manhã os caudais se mantêm entre 4 a 5 L/s, sobem durante as primeiras horas da manhã, têm um aumento durante a hora do almoço, baixando durante a tarde e o pico de consumo ocorre às 20h.

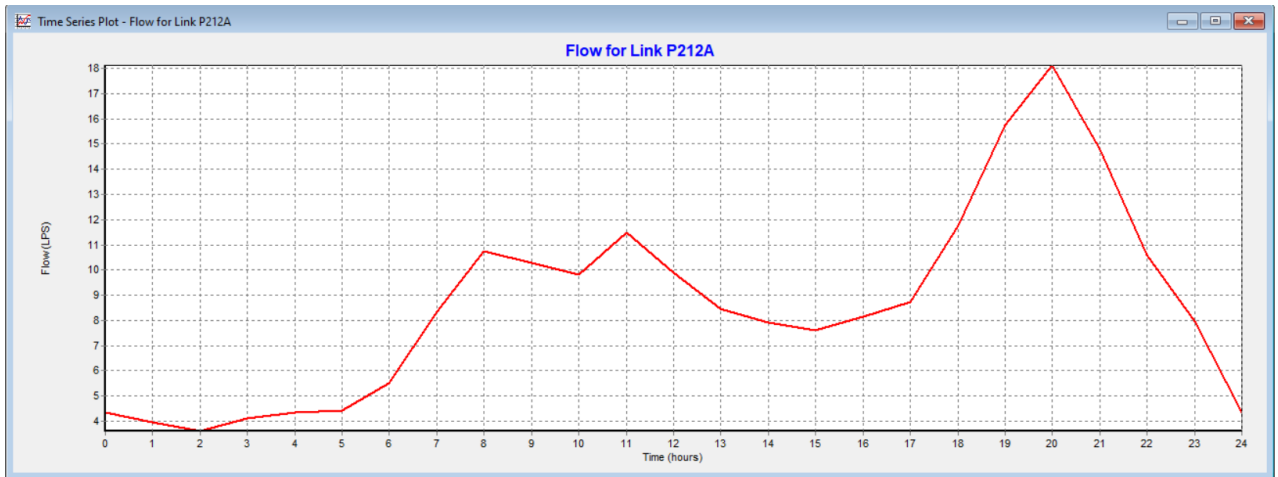


Gráfico 6: EPANET – Caudal da conduta P212A na saída do Res. cavalinha

O Gráfico 7, com os caudais para o Res. S. Gens, apresenta resultados semelhantes: o caudal aumenta à hora do almoço, desce durante a tarde, o pico é às 19h e volta a descer durante a noite.

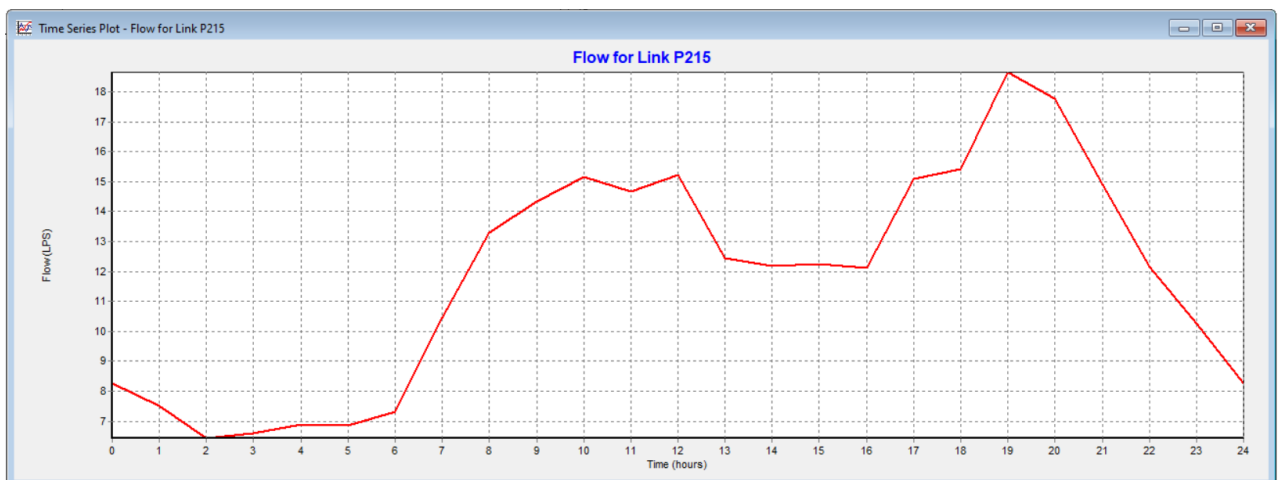


Gráfico 7: EPANET – Caudal da conduta P215 na saída do Res. S. Gens

Com estas informações, o EPANET fornece os dados simulados para os caudais da rede. Na sequência, foi preciso incluir os valores dos caudais medidos para um comparativo com os resultados do modelo. Para a inserção dos valores dos caudais medidos no modelo, realizou-se uma conversão para L/s, conforme ilustrado na Tabela 4, tendo-se depois introduzido os valores no respetivo ficheiro de calibração do EPANET (Figura 89).

Carapinheira Alta (Cavalinha)			Carapinheira Baixa (Res. S. Gens)		
Horário	Caudal m ³ /h	L/s	Horário	Caudal m ³ /h	L/s
0:00	15,64	4,344	0:00	29,8	8,278
1:00	14,26	3,961	1:00	27	7,5
2:00	13,00	3,611	2:00	23,16	6,433
3:00	14,82	4,117	3:00	23,76	6,6
4:00	15,68	4,356	4:00	24,84	6,9
5:00	15,94	4,428	5:00	24,72	6,867
6:00	19,80	5,500	6:00	26,28	7,3
7:00	30,08	8,356	7:00	37,6	10,44
8:00	38,72	10,756	8:00	47,88	13,3
9:00	36,98	10,272	9:00	51,6	14,33
10:00	35,40	9,833	10:00	54,52	15,14
11:00	41,36	11,489	11:00	52,8	14,67
12:00	35,68	9,911	12:00	54,84	15,23
13:00	30,46	8,461	13:00	44,8	12,44
14:00	28,56	7,933	14:00	43,88	12,19
15:00	27,42	7,617	15:00	44,08	12,24
16:00	29,38	8,161	16:00	43,6	12,11
17:00	31,38	8,717	17:00	54,32	15,09
18:00	42,34	11,761	18:00	55,48	15,41
19:00	56,66	15,739	19:00	67,16	18,66
20:00	65,24	18,122	20:00	64,04	17,79
21:00	53,20	14,778	21:00	53,64	14,9
22:00	38,14	10,594	22:00	43,76	12,16
23:00	28,66	7,961	23:00	36,96	10,27

Tabela 4: Caudais medidos e conversão para L/s

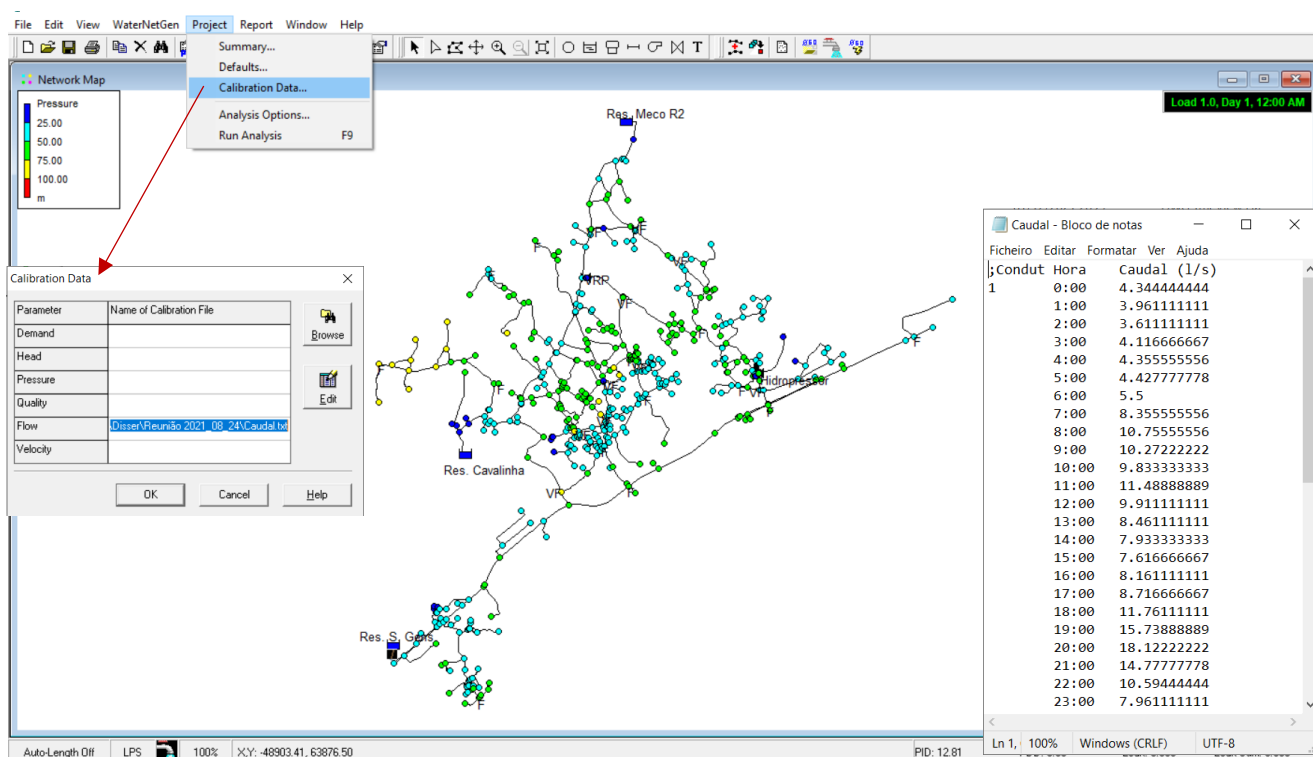


Figura 89: Adição dos valores do caudal para calibração do modelo

Após a inserção dos valores destes caudais, uma análise atenta aos resultados ilustrados no Gráfico 8 mostra que o modelo ainda não está correto, visto que há uma grande diferença entre os valores do caudal medido (pontos verdes, caudais atribuídos pela Tabela 4) e dos valores simulados pelo EPANET (linha vermelha), o que indica a necessidade de realizar a calibração do modelo.

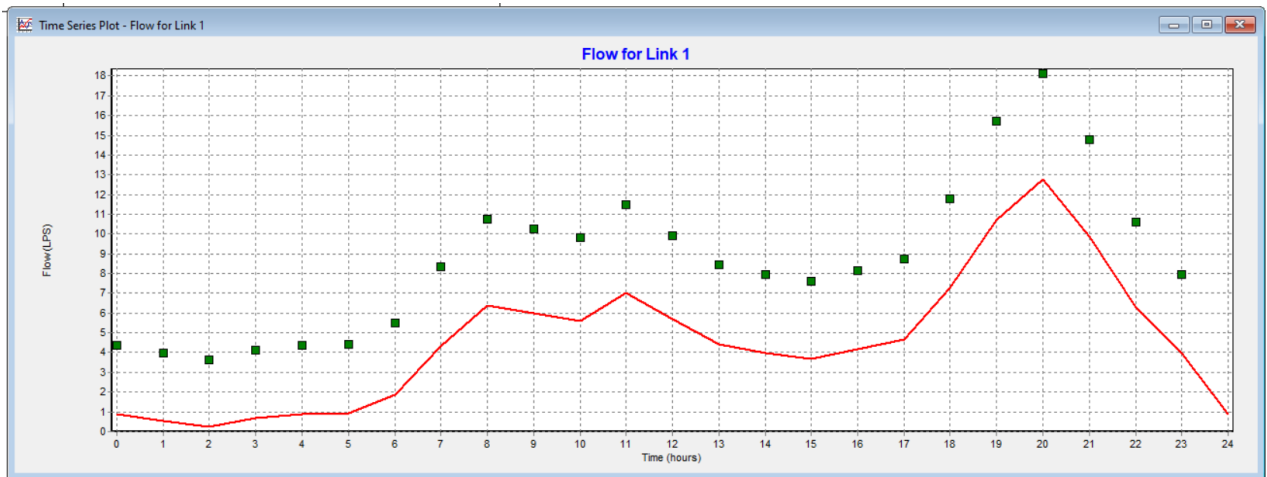


Gráfico 8: Valores dos caudais medidos no sistema e valores simulados pelo EPANET

4.3. Calibração do modelo

Como já referido, a calibração é feita a partir da comparação entre os resultados da simulação e as respetivas medições efetuadas na rede, com o objetivo deixar o modelo a produzir resultados semelhantes às medições realizadas no sistema real. Para efetuar a calibração do modelo foi preciso primeiro adicionar ao modelo os caudais correspondentes às perdas de água (fugas) apresentados na Tabela 5, em L/s.

Fugas		
J118	0,50	Cavalinha
J2	0,50	Cavalinha
J293	0,33	Cavalinha
J319	0,50	Cavalinha
J372	0,50	Cavalinha
J82	0,50	Cavalinha
J92	0,50	Cavalinha
J228	1,00	S_Gens
J292	1,00	S_Gens
J324	0,11	S_Gens
J401	1,00	S_Gens
J430	1,00	S_Gens
J449	1,00	S_Gens
J70	1,00	S_Gens

Tabela 5: Valores estimados para as fugas de água do sistema

Os dados utilizados para o estudo, fornecidos pelo Prof. Joaquim Sousa, são os consumos médios faturados no ano de 2020, referentes a um período atípico de quarentena devido à pandemia do novo coronavírus, SARS-CoV2. Estes valores são diferenciados, em comparação a épocas de consumos normais, e também aos caudais do ano de 2021. Uma vez que se usaram caudais medidos em 2021 e consumos faturados em 2020, para acertar os consumos, calcularam-se os pesos de cada nó no consumo do sistema em 2020 (Quadro 8) e multiplicaram-se esses pesos pelo consumo observado em 2021.

Junction J89	
Property	Value
*Junction ID	J89
X-Coordinate	-45263.43
Y-Coordinate	59817.82
Description	
Tag	
*Elevation	83.463
Base Demand	0.005903204
Demand Pattern	Cavalinha
Demand Categories	9

Quadro 8: O Base demand é o peso do nó no consumo total

Nas propriedades dos nós é possível identificar qual o peso (percentagem) do consumo para aquele nó, que por consequência influencia o consumo total da rede.

No Quadro 8, o exemplo do nó J89 representa 0.0059, ou seja 0.59% do consumo total da rede.

Com as correções feitas e adicionados ao modelo os valores das fugas e perdas, efetuou-se uma nova simulação da qual se obteve o Gráfico 9 para o caudal da conduta que sai do Res. Cavalinha (a linha vermelha representa os caudais calculados e os pontos verdes os caudais medidos).

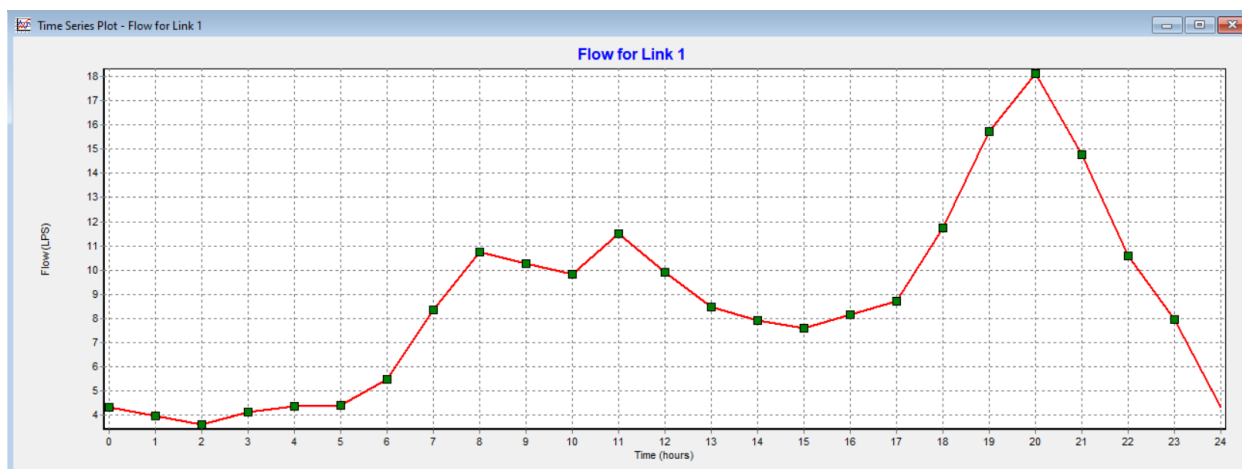


Gráfico 9: Caudais do modelo calibrado para a conduta P1 - Res. Cavalinha

Assim, com esta última simulação, obteve-se o modelo final calibrado, conforme ilustrado na Figura 90, podendo-se observar que o modelo apresenta nós com pressões elevadas, em particular na zona central.

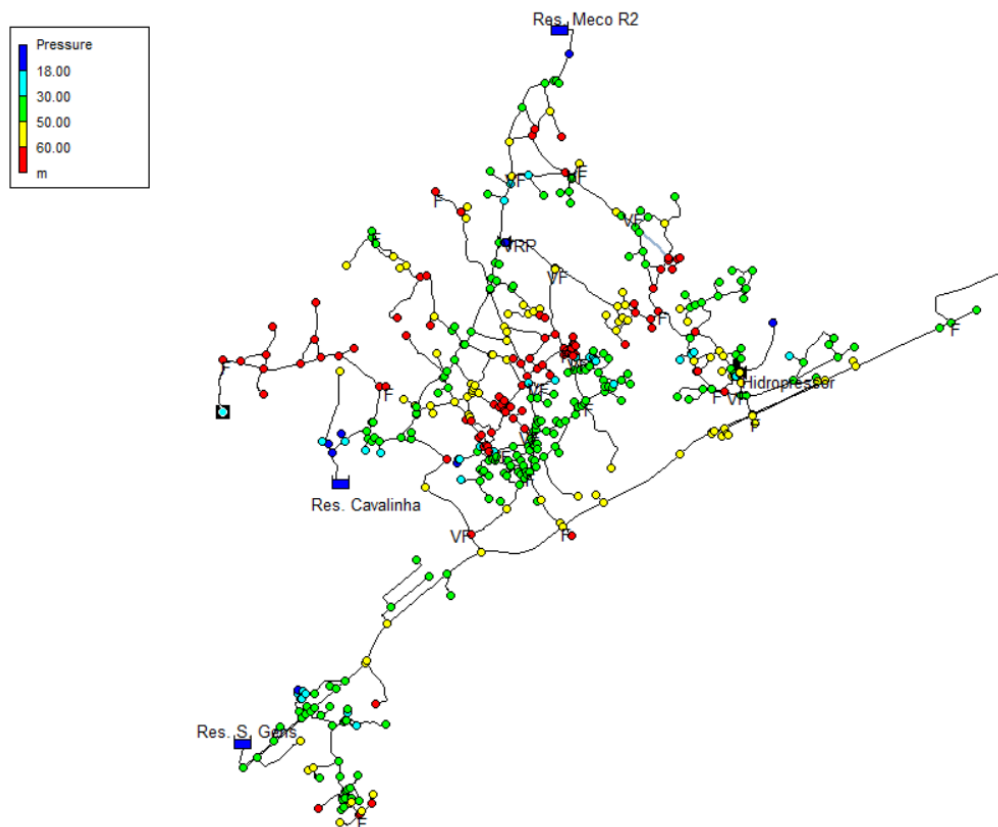


Figura 90: Modelo calibrado indicando pressões excessivas na zona central do sistema

4.4. Análise das pressões na rede de distribuição de água de Montemor-o-Velho

A simulação final do modelo calibrado apresentou pressões elevadas (Figura 90), mesmo após a inclusão dos elementos e correções feitas. De seguida sugerem-se algumas medidas a implementar para evitar os excessos de pressões observados.

Inserção de 4 novas Válvulas Redutoras de Pressão (VRP1, VRP2, VRP3 e VRP4, indicadas na Figura 92) nos pontos mais críticos em termos de pressão excessiva (nós representados a vermelho na Figura 91).

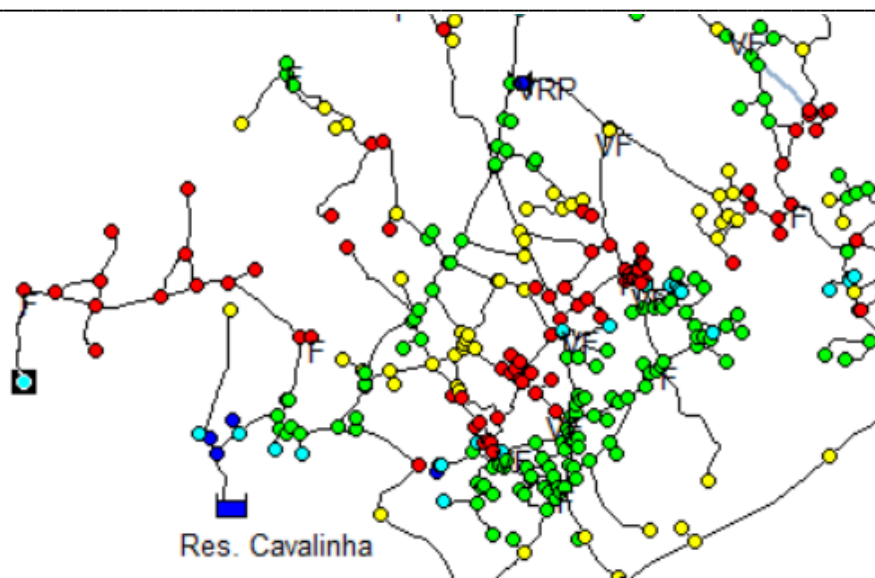


Figura 91: Pressões excessivas na zona central do sistema

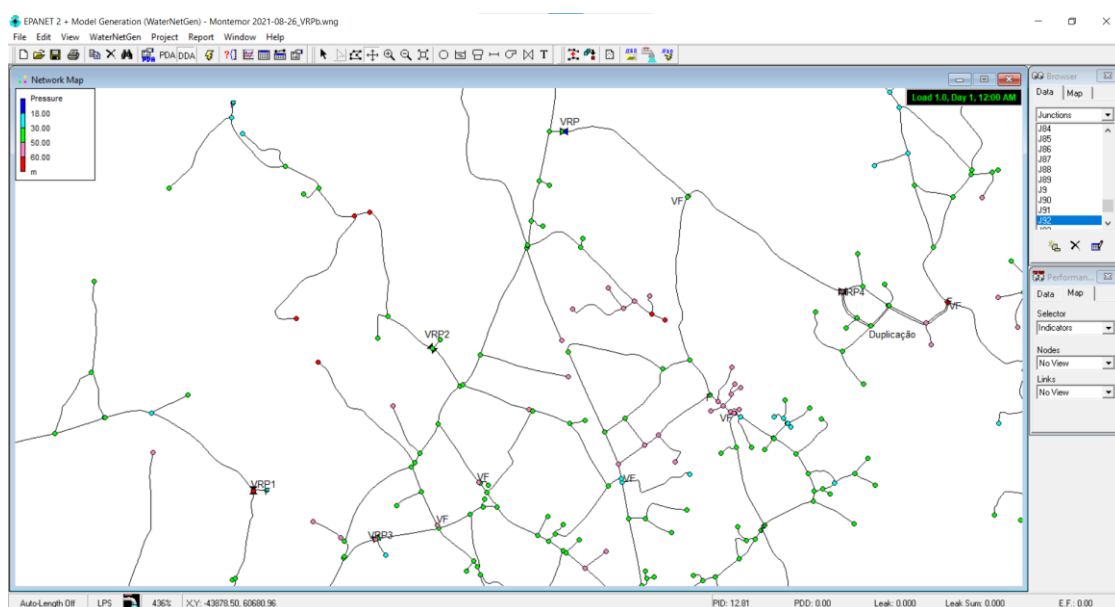


Figura 92: Inserção das VPR novas no modelo nos pontos de pressões elevadas

Analisando os resultados da última simulação, os nós localizados no lado esquerdo do sistema correspondem a habitações localizadas a cotas muito mais baixas do que o Res. Cavalinha, pelo que a água chega aí com pressão elevada (Figura 93), o que pode levar à ocorrência de roturas nas condutas.

(VF) fechadas adicionais para criar patamares de pressão independentes (Figura 95). Comparando o antes e o depois é possível identificar a redução da pressão nestas zonas.

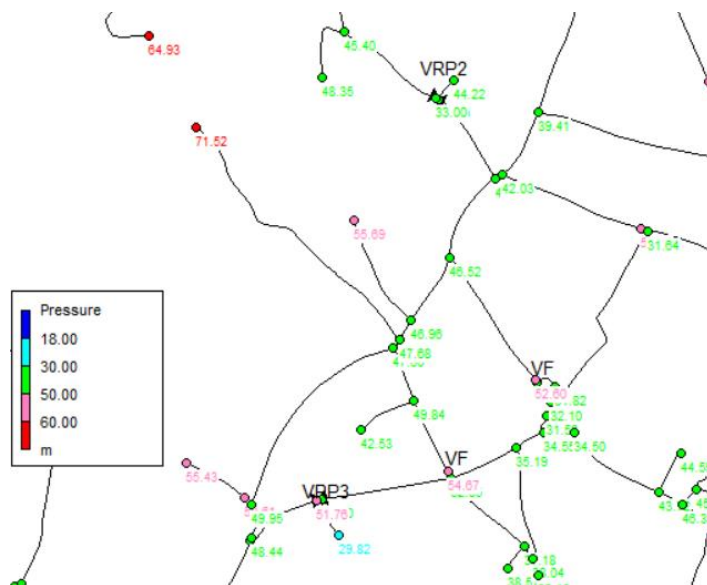


Figura 95: Pressões do modelo calibrado após a inclusão das VRP2 e VRP3

Outra solução para a zona central é a instalação da VRP4 para reduzir a pressão numa zona baixa e realizar a duplicação de algumas condutas para garantir a pressão adequada nas zonas altas existentes a jusante.

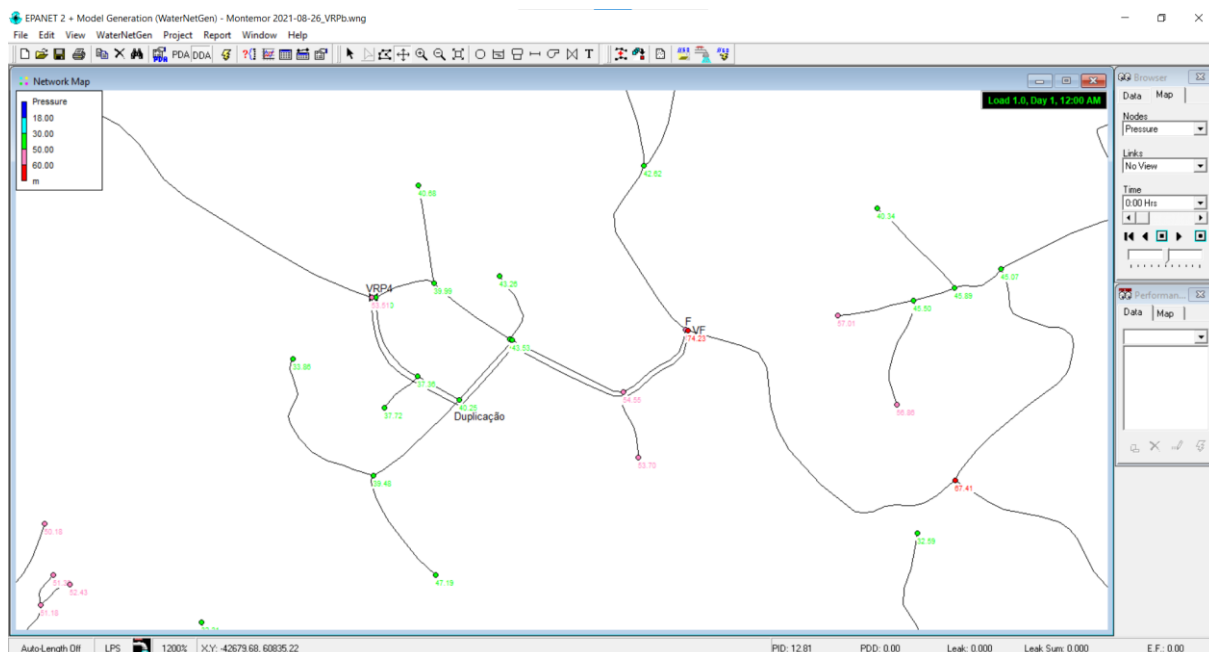


Figura 96: VRP4 e duplicação da conduta para manter as pressões na zona alta a jusante

Uma nova simulação foi feita após introduzir no modelo calibrado as soluções propostas e o resultado é o ilustrado na Figura 97.

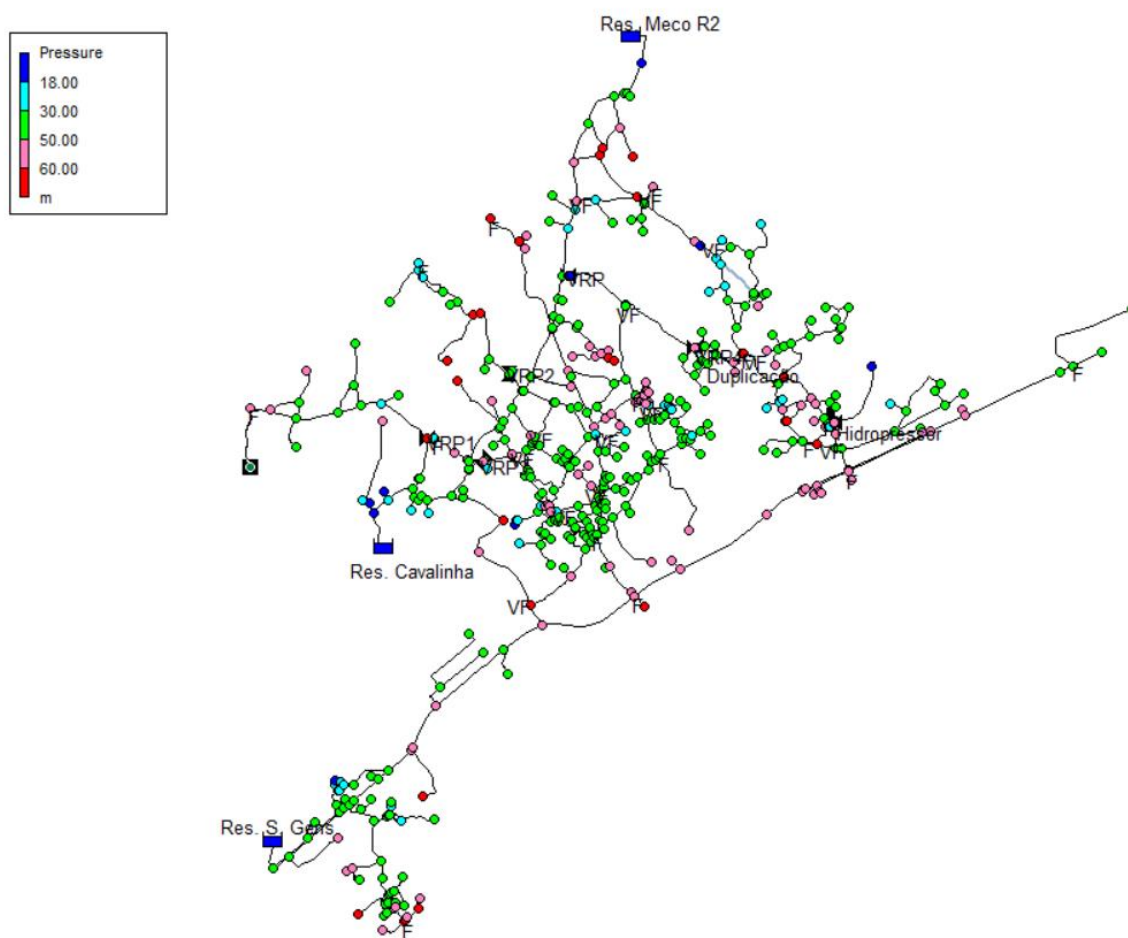


Figura 97: Simulação do modelo calibrado com as soluções propostas

Na última simulação feita os valores das pressões já estão mais de acordo com o estipulado pelo DR nº 23/95, em comparação com os resultados do modelo calibrado (Figura 90), ou seja, uma diminuição das pressões excessivas na zona central do sistema. Contudo, ainda persistem alguns pontos com pressão acima da máxima regulamentar, mas trata-se de ligeiros excessos, e em alguns deles nem há habitações nas imediações.

5. CONCLUSÕES

A partir de uma base de dados de cadastro das condutas no software QGIS, a contextualização do estudo iniciou-se com as informações do sistema distribuídas em camadas de pontos e linhas (nós e cotas, condutas), onde foram necessárias correções das condutas. Com a concretização de um ficheiro base, passou-se para uma versão do modelo no software EPANET 2.0, com o traçado da rede determinado foram inseridos os elementos que compõem a rede. No que diz respeito aos caudais da rede, encontrou-se uma discrepância nos dados recolhidos, pois os caudais medidos eram do ano de 2021 e os consumos faturados do ano de 2020, tendo sido necessário realizar uma correção dos valores utilizando os valores dos pesos de cada nó no consumo, e determinar os padrões de consumo, para então atribuí-los ao modelo.

Ao realizar uma 1ª simulação percebeu-se ainda faltavam informações da rede. Um levantamento em campo foi de grande relevância ao modelo, pois trouxe informações sobre as pressões, indicações dos locais onde estão as zonas de fronteiras e a válvula redutora de pressão já existente no sistema. A 2ª simulação apresentou pressões elevadas, partiu-se então para a calibração do modelo, com o objetivo de deixar o modelo a produzir resultados o mais próximo às medições praticadas no sistema real. Relativamente a este ponto foi feita uma calibração em relação aos valores de fugas (perdas de água) do sistema.

Na 3ª simulação do modelo, após a inserção de todos os elementos e realizada a calibração, obtiveram-se os resultados do funcionamento do sistema. Identificaram-se algumas anomalias, como pressões excessivas na zona central do sistema. Então, sugeriram-se algumas melhorias, nomeadamente, instalar 3 válvulas redutoras de pressão para as zonas críticas. E a instalação de uma VRP juntamente com a duplicação de algumas condutas, e, assim, conforme apresentado no modelo, garantir pressões dentro do estipulado pelo DR nº 23/95, evitando assim roturas por pressões em excesso no sistema.

Neste trabalho objetivou-se a modelação de um sistema de abastecimento de água. É importante salientar que a construção de um modelo matemático é um processo complexo, porém, depois do modelo concluído e devidamente calibrado, é possível obter diversas vantagens, e que a utilização da modelação por parte de uma Entidade Gestora proporcionará o melhor controlo, identificação de correções e melhorias nos sistemas, uma vez que com os resultados apresentados pelo software EPANET é possível interpretar, bem como prever e salvaguardar-se dos problemas que podem ocorrer no sistema.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABMG, 2021. <https://www.abmg.pt/abastecimento-de-agua/>. Águas do Baixo Mondego e Gândara - Abastecimento de Água.
- CM-VM, 2016. <https://www.cm-montemorvelho.pt/index.php/2-uncategorised/417>. Caraterização abastecimento água.
- Coelho, S.T., Loureiro, D., Alegre, H. (2006). *Guia Técnico 4: Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- ERSAR, 2021. <https://www.ersar.pt/pt/setor/caracterizacao/abastecimento-de-agua>. Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos - Abastecimento de Água.
- Hidraulicart, 2021. <https://www.hidraulicart.pt/grupo-hidropressor/>. Hidraulicart – Bombas de Água.
- Loureiro, D., Coelho, S. T. (2002). *EPANET 2.0 em português – Manual do Utilizador*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Lousada, S., Silva, P.S., Castanho, R. A., Naranjo-Gómez., J.M. (2019). “*Modelação de sistemas de abastecimento de água. O caso de Ilha da Madeira*”. Bitácora Urbano Territorial, 29 (2): 89-98.
- Nonio,2021.<https://inforestudante.ipc.pt/nonio/ensino/listagemMateriaisApoio.do?method=mostraEcra>. Plataforma Inforestudante – Hidráulica Urbana, Materiais de Apoio.
- Peveduto,2021. <https://www.tubofuro.pt/produto/tubo-pvc-autoblocante/>. Tubo PVC Autoblocante e PEAD.
- RGSPDADDAR. (1995). *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. Portugal.
- Santos, A. C. P. A e Pereira, J. A. R. (2016). *SIG no Gerenciamento de SAAS*. Artigos Técnicos- Revista DAE-SABESP, São Paulo, Brasil. Edição 202, Nº1641: 76-86.
- Silva, P. A. S. (2016). *Modelação e Calibração de um Sistema de Abastecimento de Água Sistema adutor de Câmara de Lobos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia, Universidade da Madeira.
- Simões, A. F. F. (2019). *Contributo para a eficiência do sistema de abastecimento de água de Montemor-o-Velho*. Relatório de Estágio, apresentado para a obtenção do grau de Mestre, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Sousa, E. R. (2001). *Sistemas de Abastecimento de Água*. Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Sousa, J. J., e Sá Marques, J. A. A. (2011). *Hidráulica Urbana, Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Água Residuais*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.

Vieira, L. L. (2011). *Sistemas de Informação Geográfica como suporte à gestão de sistemas de abastecimento de água. O caso da freguesia de Meirinhas, Pombal*. Dissertação de Mestrado, submetida para o grau de Mestre, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

Vilas-Boas, P. R. (2008). *Modelação de uma rede de Distribuição de Água*. Relatório de Projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.