



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Miguel Ângelo Sousa Ferreira

Contributos para um sistema integrado
de modelação hidrológica e da rede de
drenagem de uma bacia urbana



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Miguel Ângelo Sousa Ferreira

Contributos para um sistema integrado
de modelação hidrológica e da rede de
drenagem de uma bacia urbana

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Luís da Silva Pinho

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é o culminar de cinco anos de um percurso académico cheio de pessoas indispensáveis e marcantes na minha vida.

Ao Professor José Luís Pinho, na qualidade de meu orientador, o meu agradecimento por todo o apoio em ajudar-me nas dificuldades presentes ao longo deste percurso, pela confiança, dedicação, entusiasmo, por toda a sabedoria que me transmitiu. O seu profissionalismo trouxe a esta dissertação um resultado final mais interessante.

Agradeço à empresa Águas do Porto, EM a disponibilização do cadastro da rede utilizada no caso de estudo analisado nesta dissertação.

Agradeço a todos os meus colegas e amigos de curso que me acompanharam nesta jornada, pelas muitas noites de lazer, apoio e de estudo partilhadas, que tornaram todos estes anos académicos inesquecíveis.

Agradeço à minha família, especialmente as minhas irmãs que sempre me apoiaram incondicionalmente, os seus incentivos e a preocupação de me acompanhar o máximo possível no meu percurso.

Aos meus pais não posso deixar menos do que um enorme OBRIGADO! As pessoas mais importantes da minha vida e que tornaram isto possível foram eles. Seria impensável eu ter iniciado o meu percurso académico se não tivesse o enorme incentivo que veio da parte deles, e sempre com a maior palavra amiga nos momentos menos bons no meu percurso. Seria impensável ser quem sou sem eles.

Contributos para um sistema integrado de modelação hidrológica e da rede de drenagem de uma bacia urbana

RESUMO

Com o elevado crescimento das cidades, que se acentuou nas últimas décadas, resultaram alterações significativas na ocupação do território e nas suas bacias hidrográficas e conseqüentemente na alteração do seu comportamento hidrológico. Essas alterações implicam modificação da quantidade e qualidade das águas recolhidas pelos sistemas de drenagem urbana. Por outro lado, uma maior consciencialização dos problemas ambientais, por parte dos governos e dos cidadãos, obriga a que se desenvolvam tecnologias inovadoras para garantir que os recursos hídricos permaneçam saudáveis, sustentáveis e as cidades ribeirinhas mantenham ou melhorem a sua qualidade de vida.

Esta dissertação tem como objetivo principal a contribuir para o desenvolvimento de um sistema integrado de modelação hidrológica e de redes de drenagem urbana, tendo em vista melhorar a sua gestão.

Utilizou-se na implementação dos modelos hidrológicos e hidrodinâmicos da rede o software SOBEK.

O trabalho desenvolvido centrou-se na análise e processamento de dados de um cadastro fornecido por uma entidade gestora de uma bacia de drenagem selecionada para aplicação nesta dissertação. Após esta análise procedeu-se à construção de um modelo da rede de drenagem principal e definiram-se vários cenários de simulação, baseados em dados históricos das séries de precipitação retirados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos e cenários estabelecidos com base na informação regulamentar para projetos de drenagem urbana.

Palavras-Chave

Modelação integrada

Drenagem urbana

Águas pluviais

Contributes for an integrated hydrological and drainage network modeling system of an urban basin

ABSTRACT

With the high growth of cities, which was intensified in the last decades, significant changes have occurred in the occupation of the territory and in its hydrographic basins, and consequently, in the alteration of its hydrological behavior. These modifications imply changes in the quantity and quality of water collected by urban drainage systems. On the other hand, increased awareness of environmental issues by governments and citizens requires innovative technologies to be developed to ensure that water resources remain healthy, sustainable and riverine towns maintain or improve their quality of life.

This dissertation aims to contribute to the development of an integrated system of hydrological and urban drainage networks modeling, in order to improve its management.

SOBEK software was used in the implementation of the hydrological and hydrodynamic models of the network.

The work developed focused on the analysis and data processing of a drainage network database provided by the management entity of a urban basin selected for application in this dissertation. After this analysis, a model of the main drainage network was constructed and several simulation scenarios were defined, based on historical data from the precipitation series taken from the National Water Resources Information System and scenarios established based on regulatory information for urban drainage projects design.

Keywords

Integrated Modeling

Urban drainage

Storm water

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Conteúdo da dissertação.....	3
2	FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO HIDRODINÂMICA/HIDROLÓGICA	5
2.1	Programas disponíveis para a modelação hidrodinâmica/hidrológica	5
2.1.1	Programa Sobek	5
2.1.2	Programa Swmm.....	7
2.1.3	Programa MicroDraining	8
2.1.4	Programa Mike Urban.....	9
2.2	Programa de sistemas de informação geográfica	9
3	CASO DE ESTUDO.....	11
3.1	Bacia de Aldoar – Porto – Informação disponibilizada	11
3.2	Análise do cadastro	14
4	CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO.....	25
4.1	Criação do projeto de modelação	25
4.2	Criação do modelo a partir do cadastro da rede processada.....	36
4.3	Execução de simulações	62
4.4	Adição de trechos na rede	62
5	DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO	71
6	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	77
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	87
7.1	Considerações finais.....	87
7.2	Trabalhos futuros.....	87

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre os módulos estruturais do SWMM (adaptado de Huber & Dickinson citado por Meller 2004).....	8
Figura 2 – Bacia da ribeira de Aldoar.....	11
Figura 3 – Interface principal do QGIS	12
Figura 4 – Visualização de todas as camadas de informação do cadastro da bacia de Aldoar	13
Figura 5 – Temas de informação selecionados para construção do modelo desenvolvido no âmbito da dissertação	13
Figura 6 – Visualização da tabela de atributos de um dos temas do cadastro	14
Figura 7 – Existência de informação relativa às secções das câmaras de visita: azul existentes, vermelho não existente	15
Figura 8 – Caixas de visita com (roxo) e sem (verde) informação relativa à cota da tampa e cota de soleira.....	16
Figura 9 – Localização de caixas de visita utilizadas para estimar cotas de tampas e de soleira	17
Figura 10 – Exemplo de valor incoerente da cota de soleira.....	18
Figura 11 – Exemplo de valor incoerente numa câmara de extremidade da rede	19
Figura 12 – Exemplo de omissão de câmaras de junção de coletores e de mudança de direção	20
Figura 13 – Exemplo de existência de câmaras repetidas	21
Figura 14 – Cadastro de coletores com indicação de existência (azul) ou não (vermelho) de informação relativa à respetiva secção transversal	22
Figura 15 – Secção de descarga do ribeiro de Aldoar	23
Figura 16 – Interface inicial do programa Sobek	25
Figura 17 Criador de novo projeto, Sobek	26
Figura 18 – Interface de gestão de casos, programa Sobek.....	27
Figura 19 – Janela Import Network, Sobek.....	28
Figura 20 – Janela Settings, programa Sobek.....	29
Figura 21 – Esquema conceptual de funcionamento do modelo hidrológico de Sacramento (Pinho & Vieira, 2006)	30
Figura 22 – Janela Settings no menu edit, programa Sobek.....	31
Figura 23 – Janela “Setting” no menu “edit” e separador “output options”, programa Sobek	31
Figura 24 – Janela “meteorological data”, programa Sobek	32
Figura 25 – Janela “meteorological data” em “edit/select” da precipitação, programa Sobek	33
Figura 26 – Janela “meteorological data” em “edit/select” da precipitação e em “new event”, programa Sobek	33
Figura 27 – Janela “meteorological data” para criação de um evento de precipitação, programa Sobek.....	34
Figura 28 – Janela “meteorological data”, tabela de preenchimento dos valores de precipitação, programa Sobek	35
Figura 29 – Janela do “meteorological data” selecionando o evento de precipitação, programa Sobek.....	35

Figura 30 – Janela “Schematisation” com editor de camadas do mapa de fundo, programa Sobek.....	37
Figura 31 – Janela “Schematisation”, adição de temas para o mapa de fundo, Programa Sobek	38
Figura 32 – Janela “Schematisation” inserção de temas no mapa de fundo, programa Sobek	38
Figura 33 – Janela “Schematisation” no menu de edição mostrando os tipos de nós disponíveis, programa Sobek.....	40
Figura 34 – Janela “Schematisation” no menu de edição mostrando os tipos de coletores disponíveis, programa Sobek.....	41
Figura 35 – Janela “Schematisation” mostrando como importar um ficheiro para construção da rede, programa Sobek	41
Figura 36 – Janela de edição após importação de um ficheiro, programa Sobek.....	42
Figura 37 – Janela “Schematisation” mostrando os elementos importados do cadastro, programa Sobek.....	43
Figura 38 – Janela “Schematisation” do menu de edição para alteração do tipo de nó, programa Sobek	44
Figura 39 – Janela “Schematisation” mostrando o novo tipo de nó após alteração, programa Sobek.....	44
Figura 40 – Janela “Schematisation” no menu de edição, adição de nó, programa Sobek	45
Figura 41 – Exemplo de adição de nó na janela de “Schematisation”, programa Sobek	46
Figura 42 – Edição das propriedades dos nós na janela de “Schematisation”, programa Sobek	46
Figura 43 – Janela de propriedades dos nós, programa Sobek.....	47
Figura 44 – Visualização de todos os nós na janela Schematisation, programa Sobek ..	47
Figura 45 – Método de introdução de dados nos nós na janela “Schematisation”, programa Sobek	48
Figura 46 – Janela de edição dos dados das câmaras de visita, programa Sobek	49
Figura 47 – Tipos de câmaras de visita considerados no programa Sobek	50
Figura 48 – Janela de edição dos dados de conjuntos de câmaras de visita, programa Sobek	51
Figura 49 – Folha Excel com dados necessários para preencher a informação relativa às câmaras de visita no programa Sobek	52
Figura 50 – Janela de edição de conjuntos de câmaras de visita após preenchimento, programa Sobek	52
Figura 51 – Janela “Schematisation” menu de edição com seleção do tipo de coletor, programa Sobek	53
Figura 52 – Janela “Schematisation” no menu de edição para inserção de coletores, programa Sobek	54
Figura 53 – Exemplo de inserção de coletor e identificação do sentido positivo, programa Sobek	54
Figura 54 – Janela “Schematisation”, mostrando a totalidade dos coletores inseridos, programa Sobek	55
Figura 55 – Método de introdução de dados dos coletores na janela “Schematisation”,	

programa Sobek	56
Figura 56 – Janela de edição dos dados inerentes aos coletores com definição da secção, programa Sobek	56
Figura 57 – Janela de edição dos dados inerentes aos coletores, definição das características altimétricas, programa Sobek	57
Figura 58 – Método de introdução de dados nos nós relativamente ao modelo precipitação-escoamento, programa Sobek	58
Figura 59 – Janela para o preenchimento dos dados de precipitação-escoamento, programa Sobek	59
Figura 60 – Janela de edição dos dados hidrológicos associados às câmaras de visita, programa Sobek	59
Figura 61 – Janela “Schematisation” no menu de edição, alteração do nó de fronteira, programa Sobek	60
Figura 62 – Janela “Schematisation” vista da rede construída, programa Sobek	60
Figura 63 – Janela para o preenchimento dos dados do nó fronteira, Sobek	61
Figura 64 – Janela de gestão de casos com a tarefa “Schematisation” concluída, programa Sobek	61
Figura 65 – Janela de gestão de casos com a “Simulation” terminada, programa Sobek	62
Figura 66 – Visualização dos coletores que se pretendem acrescentar ao modelo	63
Figura 67 – Folha Excel com dados de rede para processamento de informação a utilizar na construção de modelos Sobek e SWMM	64
Figura 68 – Numeração escolhida para os coletores e câmaras de visita	64
Figura 69 – Ficheiro DXF criado para importação no Sobek	65
Figura 70 – Criação de um novo caso, Sobek	66
Figura 71 – Janela de importação do ficheiro DXF criado anteriormente, programa Sobek	67
Figura 72 – Janela “Schematisation” mostrando os elementos importados do ficheiro DXF criado, programa Sobek	67
Figura 73 – Janela “Schematisation” ativação da ferramenta de edição para eliminar um coletor, programa Sobek	68
Figura 74 – Janela “Schematisation” com coletor eliminado, programa Sobek	68
Figura 75 – Janela “Schematisation” com inserção dos dois coletores utilizados na reconstituição da rede, programa Sobek	69
Figura 76 – Janela “Schematisation” com o modelo atualizado com a rede adicionada, programa Sobek	69
Figura 77 – Página de web do sistema nacional de informação de recursos hídricos	71
Figura 78 – Dados da precipitação diária máxima anual	72
Figura 79 – Visualização da bacia de Aldoar, QGIS	73
Figura 80 – Visualização da informação relativa aos segmentos, Sobek	74
Figura 81 – Regiões pluviométricas e parâmetros das curvas intensidade-duração-frequência (adaptado de Matos e Silva, 1986).	75
Figura 82 – Janela “results in maps”, programa Sobek	77
Figura 83 – Janela de visualização dos resultados nos segmentos, programa Sobek	78
Figura 84 – Janela de visualização dos resultados nos segmentos mostrando o tipo de variáveis calculadas, programa Sobek	78

Figura 85 – Janela de visualização dos resultados selecionando os segmentos que se deseja apresentar, programa Sobek	79
Figura 86 – Visualização dos resultados (em gráfico) dos segmentos selecionados, programa Sobek	80
Figura 87 – Exportar os dados dos resultados obtidos para o Excel, programa Sobek ..	81
Figura 88 – Apresentação dos dados em Excel dos resultados dos vários cenários	81
Figura 89 – Gráfico construído em Excel com os dados recolhidos do Sobek dos diferentes cenários	82
Figura 90 – Janela “results in maps” mostrando como ver o nível de água ao longo do período da simulação, programa Sobek	83
Figura 91 – Janela que mostra o nível de água ao longo do período da simulação, programa Sobek	84
Figura 92 – Janela que mostra o nível de água ao longo do período da simulação numa situação de pressão, Sobek	84
Figura 93 – Figura 93 – Janela de visualização dos resultados nos nós, programa Sobek	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de interpolação para estimativa da cota de soleira	20
Tabela 2 – Resumo dos cenários 4, 5 e 6	82

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Atualmente, a maioria da população mundial vive em áreas urbanas, levando a um crescimento acentuado das cidades. Os paradigmas de gestão da água evoluíram muito desde o seu nascimento, baseados no objetivo mais fundamental de um abastecimento seguro de água ao saneamento, à proteção contra inundações e a problemas específicos relacionados com as cidades costeiras (Brown et al., 2009). Esta transição é acompanhada por um reconhecimento crescente da complexidade inerente ao ambiente urbano. Como tal, estamos a avançar para a gestão combinada das várias componentes do sistema de águas urbanas (isto é, captação e tratamento de águas, distribuição, esgotos e drenagem pluvial, tratamento de águas residuais, serviços ecológicos), conceito conhecido como "integração", (Bach et al., 2014).

O processo de urbanização tem impactos acentuados na hidrologia das bacias hidrográficas, resultando em maiores taxas e volumes de escoamento, perdas de infiltração e escoamento de base. A criação de áreas impermeáveis e a simplificação da rede de drenagem também resultam numa resposta de escoamento muito mais rápida às chuvas, levando a tempos de concentração mais curtos e tempos de recessão reduzidos, (Freni et al., 2009).

A ciência da hidrologia urbana desenvolveu-se assim para melhorar a gestão dos sistemas de água urbanos para a saúde pública e saneamento, a proteção contra inundações e, mais recentemente, a proteção do ambiente e da habitabilidade das cidades, (Freni et al., 2009).

A capacidade de medir e modelar os processos hidrológicos (e suas consequências em termos de qualidade da água e impactos nas águas recetoras) depende da capacidade de se medir e prever a precipitação com altos níveis de precisão temporal e espacial, uma exigência ainda mais acentuada nas bacias urbanas. A disponibilização de resultados de medições com elevada resolução permitiu inovações no desenvolvimento de modelos de precipitação/escoamento para aplicação em bacias urbanas. As mudanças no comportamento chuva-escoamento, juntamente com o transporte de poluentes superficiais associados às diferentes atividades urbanas, resultam na degradação da qualidade da água nos meios recetores, (Freni et al., 2009).

O uso de modelos matemáticos para avaliar e caracterizar a drenagem urbana tornou-se um método comum para prever as características de qualidade de água durante diferentes condições ambientais (Fletcher et al., 2013).

Têm sido realizados vários estudos na tentativa de desenvolver os modelos de transformação e propagação de poluentes para aplicação na gestão da qualidade das águas pluviais. De fato, a carga de poluentes transportada por águas pluviais é afetada por vários processos que ocorrem nos sistemas de drenagem. A acumulação de poluentes na superfície da bacia é afetada principalmente pela deposição de poeiras atmosféricas, tráfego rodoviário, outras atividades humanas e transporte devido ao escoamento de águas pluviais e ao vento. Os poluentes entram no sistema de drenagem através das condutas, onde são depositados (principalmente durante períodos de tempo seco) e onde entram em suspensão em períodos húmidos, são transportados e estão ainda sujeitos a outros processos físico-químicos. Os modelos que incluem estes processos podem ser considerados uma solução efetiva para a simulação da qualidade de águas resultantes do escoamento urbano, desempenhando assim um papel central na avaliação da qualidade das respetivas massas de água recetoras (Fletcher et al., 2013).

No caso dos meios marinhos os poluentes provenientes das descargas de águas pluviais podem provocar destabilização da integridade dos ecossistemas costeiros colocando em risco a utilização dos bens e serviços proporcionados por estes sistemas.

Na última década, modelos de simulação, modelos de otimização, modelos de decisão, sistemas de bases de dados e sistemas de informação geográfica (SIG) têm sido ferramentas largamente utilizadas, isoladamente, na investigação e na gestão de sistemas aquáticos. A integração coerente destas ferramentas informáticas constitui um Sistema de Suporte à Decisão (SSD), garantindo aos seus utilizadores um meio valioso para manuseamento de toda a informação necessária ao processo de decisão (Pinho & Vieira, 2015).

O presente trabalho apresenta contributos para os procedimentos necessários na construção de modelos integrados de processos hidrodinâmicos e de transporte que

permitam simular redes de drenagem de águas pluviais, hidrodinâmica fluvial e costeira e processos hidrológicos.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo principal a implementação de modelos integrados de linhas de água com redes de drenagem de águas pluviais utilizando ferramentas computacionais de modelação hidrológica e hidrodinâmica.

Destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Análise e processamento de dados de cadastros de redes de drenagem para utilização na implementação de modelos hidráulicos;
- Implementação de um modelo que permita simular vários problemas de escoamento fluvial complexos, incluindo estruturas que alteram as características do escoamento como variações de secções e leitos fluviais, açudes e barragens;
- Modelação da componente hidrológica, permitindo obter um modelo integrado hidrológico/hidrodinâmica;
- Análise de séries de dados históricos disponíveis para a bacia hidrográfica utilizada no caso de estudo;
- Realização de simulações hidrológicas e hidrodinâmicas com base em previsões de precipitação. O modelo desenvolvido será utilizado para realizar simulações em situações características de escoamento.

1.3 Conteúdo da dissertação

No capítulo 1 inclui uma pequena introdução ao tema a que se dedica esta dissertação, bem como os objetivos e estruturação da mesma.

No capítulo 2 apresenta-se uma breve introdução aos programas de simulação hidrológica e hidrodinâmica existentes que poderão ser usados para cumprir com o objetivo desta dissertação.

O capítulo 3 apresenta o caso de estudo, apresentando-se a justificação para a escolha do *software* utilizado para visualizar o cadastro assim como para auxiliar na sua análise.

O capítulo 4 inclui todo o procedimento utilizado na implementação do modelo integrado recorrendo ao *software* SOBEK e utilizando os dados do cadastro da rede urbana disponibilizado.

No capítulo 5 procede-se à definição dos diferentes cenários de simulação bem como à definição dos métodos de cálculo utilizados.

O capítulo 6 apresentam-se os procedimentos de visualização de resultados de simulações.

No capítulo 7 apresentam-se as principais conclusões, incluindo dificuldades encontradas, avaliação do *software* utilizado e perspetivas para desenvolvimentos futuros.

2 FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO HIDRODINÂMICA/HIDROLÓGICA

2.1 Programas disponíveis para a modelação hidrodinâmica/hidrológica

Segundo Matos (2005), justifica-se o estudo com o recurso a modelos complexos (onda cinemática ou onda dinâmica) para a análise do desempenho de sistemas de drenagem, para a avaliação de impactos no meio recetor e para fundamentar estratégias de beneficiação e reabilitação.

Existem diferentes programas capazes de simular processos hidrológicos e hidrodinâmicos, apresentando-se neste capítulo alguns desses programas.

2.1.1 Programa Sobek

O software de modelação SOBEK foi desenvolvido pelo Delft Hydraulics. Os modelos criados com o programa poderão ser incluídos no Delft-FEWS (Flood Early Warning System), sendo utilizado para previsão hidrológica e construção de sistemas de vigilância e alerta.

O SOBEK é um software complexo baseado na resolução numérica das equações de Saint-Venant, sendo utilizado em diferentes tipos de aplicações: na previsão de cheias, na resolução de problemas de modelação hidrodinâmica, na reabilitação de sistemas fluviais e de drenagem, controlo de sistemas de irrigação, projeto de redes de esgotos, estudo da morfologia de leitos de rios, simulação de intrusão salina e qualidade de águas superficiais.

O programa é constituído por sete módulos diferentes: hidrologia, hidrodinâmica em canais/rios, redes de águas residuais, controlo em tempo real, qualidade da água e previsão de áreas inundáveis, permitindo a simulação de problemas envolvendo vários módulos em simultâneo. Permite fazer simulações 1D e 2D através de um algoritmo eficiente de resolução numérica das equações de Saint-Venant.

Para além das equações de Saint-Venant são ainda utilizadas na construção de modelos unidimensionais, expressões adequadas ao cálculo das características de escoamento em estruturas como por exemplo pontes, passagens hidráulicas, bombas, etc.

Nestas estruturas o escoamento depende dos níveis a montante e a jusante da estrutura, das suas dimensões e de um conjunto de parâmetros específicos de cada uma delas. (Pinho, et al., 2011). O programa permite uma abordagem integrada sendo possível trabalhar com vários módulos em simultâneo.

O programa calcula o caudal e a altura de água em redes de drenagem simples ou complexas, podendo ser constituídas por um elevado número de canais, secções e estruturas. É possível definir diferentes tipos de condições de fronteira, bem como definir entradas e saídas laterais usando séries temporais ou expressões numéricas. O processo de precipitação/escoamento em áreas urbanas poderá ser modelado, existindo vários tipos de áreas que poderão ser consideradas como superfícies de receção da precipitação, distinguindo-se zonas pavimentadas ou não pavimentadas, usos do solo, a zona não saturada, as águas subterrâneas, a ascensão capilar e a interação com os cursos de água em que ocorrem escoamentos com superfície livre. Para a qualidade da água e problemas ambientais o uso do módulo de Qualidade da Água oferece possibilidades quase ilimitadas (Ferreira, 2016).

A interface gráfica do programa SOBEK permite sobrepor a rede criada sobre um mapa (GIS ou foto aérea) onde é possível representar os canais, reservatórios, barragens, estações de bombagem, estações de tratamento, áreas urbanas e rurais, permitindo desta forma, o ajuste ou a modificação da rede conforme as necessidades, recorrendo-se a um conjunto intuitivo de ferramentas de edição da rede. A mesma interface permite visualizar os resultados de simulação, incluindo opções de animação em vista lateral e representação das propriedades do escoamento sobre a rede.

O programa é utilizado para construção de modelos unidimensionais sendo três as interfaces de construção de modelos: SOBEK-Rural, para hidrologia e linhas de água; SOBEK-Urban, para hidrologia e drenagem urbana e SOBEK-River para modelos de rios. Podem também ser construídos modelos hidrodinâmicos 2DH para simulação de escoamentos bidimensionais com base no módulo *Sobek*

Overland Flow. Para problemas onde é necessário caracterizar escoamentos a três dimensões poderá ser utilizado o DELFT3D (*Deltares*, 2011).

A utilização do programa SOBEK é bastante intuitiva e clara, sendo necessário apenas o conhecimento de algumas regras do seu funcionamento. O *software* permite criar um projeto, abrir ou editar um já existente e ainda permite tomar notas que poderão ser relevantes para o projeto.

2.1.2 Programa Swmm

A Environmental Protection Agency (EPA), em 1971, desenvolveu um programa designado *Storm Water Management Model* (SWMM), que é usado em todo o mundo para a simulação hidrológica e hidrodinâmica de escoamento de águas pluviais, redes unitárias de esgotos e outros sistemas de drenagem em áreas urbanas. Existem também muitas aplicações do programa para sistemas de drenagem em áreas rurais.

O SWMM é um modelo dinâmico de simulação hidrodinâmica e de qualidade da água. É usado para simulação de regimes permanentes ou variáveis em redes de drenagem de áreas urbanas. É reconhecido por ser o programa não comercial mais detalhado para estudos de águas pluviais, pois permite uma boa gestão ao nível das infraestruturas dos sistemas de drenagem, de forma a melhorar a sua operação e manutenção. Tem sido continuamente atualizado, sendo a versão 5.0 a mais recente (Ensinas, 2009).

Huber e Dickinson (1992) apresentam a estrutura do modelo SWMM em nove módulos (Figura 1), sendo quatro módulos computacionais (*Runoff*, *Transport*, *Extran* e *Storage/Treatment*) e cinco módulos de serviço (*Statistics*, *Graph*, *Combine*, *Rain*, *Temperature*), além do módulo Executivo.

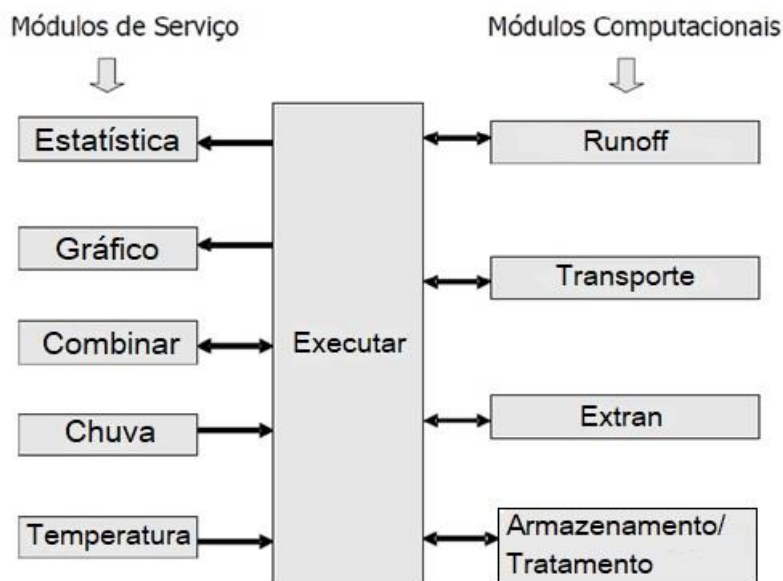


Figura 1 - Relação entre os módulos estruturais do SWMM (adaptado de Huber & Dickinson, citado por Meller, 2004).

Os módulos computacionais são os responsáveis pelos principais passos de cálculo, o módulo *Runoff* refere-se à transformação da precipitação em escoamento, o módulo *Transporte* ao transporte na rede de drenagem segundo o conceito da onda cinemática, o módulo *Extran* à modelação hidrodinâmica nos coletores e canais, e o módulo *Armazenamento/Tratamento* à simulação da evolução da qualidade da água.

Os módulos de pré- e pós-processamento auxiliam os módulos computacionais possuindo diversas funções, como organização da ordem das simulações (*Combinar*), dos dados de precipitação (*Chuva*) e de temperatura (*Temperatura*), apresentação da saída gráfica (*Gráfico*) e análises estatísticas (*Estatística*) dos resultados (Ensinas, 2009).

2.1.3 Programa MicroDraining

O *software microdraining* foi desenvolvido pela XP soluções, permitindo a criação de projetos de drenagem, integrada com outras ferramentas. A MicroDrainage integra-se com *software* proprietário de outras entidades, como AutoCAD e Civil3D, para oferecer a máxima produtividade, precisão e flexibilidade. Nos modelos de drenagem integrados, permite a visualização em 2DH ou em 3D, calcula os caudais e os volumes de escoamento, faz estimativas de armazenamento e permite avaliar a infiltração. Permite ainda analisar os percursos dos fluxos de inundação, simula eventos de precipitação e testa os projetos para determinar os níveis críticos e eliminar quaisquer falhas nos projetos

desenvolvidos. Permite ainda definir cenários de simulação relativos a eventos de tempestades consecutivos, considerando diferentes períodos de retorno. O modelo de drenagem pode incluir todos os elementos, tais como tubos, entradas laterais, caixas de visita, canais, estruturas de controlo de escoamento, estruturas de atenuação das ondas de cheia e estruturas de infiltração. As entidades 3D permitem integrar os cadastros das redes de drenagem com sistemas de informação BIM (Building Information Modeling) (XP Soluções, 1974).

2.1.4 Programa Mike Urban

O programa MIKE, foi desenvolvido pelo *Danish Hydraulic Institute (DHI)* e é um software de modelação de drenagem urbana, adequado à análise e definição de parâmetros relevantes dos sistemas de drenagem pluvial. Apresenta-se com uma elevada flexibilidade na criação de modelos e permite a integração com ferramentas SIG. O programa MIKE URBAN permite simular todos os tipos de redes de uma cidade, incluindo os sistemas de distribuição de água, os sistemas de drenagem de águas pluviais e a recolha e transporte de águas residuais domésticas e industriais em sistemas separativos ou unitários.

O programa funciona com diferentes módulos tais como: gestão do modelo (módulo principal), precipitação-escoamento, hidrodinâmica de redes de drenagem, gestão de estruturas de controlo do escoamento, transporte de poluentes, processos químicos e biológicos e simulação 2DH de inundações (DHI-WE, 2003).

2.2 Programa de sistemas de informação geográfica

Atualmente, no processo de planeamento e gestão de meios hídricos, a reprodução consistente e simplificadora da realidade através de modelos matemáticos, tem-se revelado, na prática, bastante interessante. Na última década, modelos de simulação, modelos de otimização, modelos de decisão, sistemas de bases de dados e sistemas de informação geográfica (SIG) têm sido ferramentas largamente utilizadas, isoladamente, na investigação e na gestão de sistemas aquáticos. A integração coerente destas ferramentas informáticas constitui um Sistema de Suporte à Decisão (SSD), garantindo aos seus utilizadores um meio valioso para manuseamento de toda a informação necessária ao processo de decisão. (Pinho & Vieira, 2002)

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem a integração dos dados que caracterizam a variabilidade espacial da bacia hidrográfica num único sistema, por isso, num plano conceptual, pode afirmar-se que os SIG são capazes de apoiar a modelação hidrológica.

A ligação de um SIG a um modelo de simulação dos processos de evaporação, precipitação e escoamento, permite efetuar a previsão do escoamento superficial e simultaneamente analisar a sua distribuição espacial numa bacia hidrográfica. (Santos, 2008).

Os SIG oferecem um conjunto de potencialidades no que se refere à cartografia ambiental, uma vez que a partir de toda a aquisição, manipulação e integração de informação, é possível a geração de cartas temáticas, possibilitando a relação dos elementos característicos do meio físico com os elementos socioeconómicos da bacia hidrográfica. (Faria & Pedrosa, 2005).

O QGIS é uma das ferramentas disponíveis para criar sistemas de informação geográfica. O software pretende ser um SIG fácil de usar, oferecendo funções e recursos comuns. O objetivo inicial do projeto era fornecer um visualizador de dados GIS, que evoluiu e que passou a ser usado por muitos para a criação e gestão de SIG.

O QGIS (anteriormente conhecido por Quantum GIS) funciona como um software de sistemas de informação geográfica (GIS), permitindo aos utilizadores analisar e editar informações espaciais, além de compor e exportar mapas, sendo uma ferramenta de sistemas de informação geográfica de código aberto e acesso livre.

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Bacia de Aldoar – Porto – Informação disponibilizada

Foi disponibilizado pela Águas do Porto, EM o cadastro existente da bacia urbana de Aldoar.

A figura 2 apresenta os limites desta bacia que inclui o parque da cidade do Porto, uma parte da Avenida da Boavista, sendo a descarga da ribeira de Aldoar, realizada no mar junto ao castelo do queijo, no local assinalado pelo marcador incluído na figura 2.



Figura 2 – Bacia da ribeira de Aldoar.

Os dados relativos ao cadastro da rede de drenagem foram processados com base no *software* QGIS que permite a leitura e manipulação de ficheiros com dados georreferenciados.

Após a instalação do programa QGIS, a janela principal apresenta o aspeto da figura 3. Para iniciar a inserção de camadas de informação ou temas, dever-se-á criar um novo projeto (botão canto superior esquerdo), como mostrado na figura 3, em seguida abrir os ficheiros com informação e formatos reconhecidos (painel esquerdo com designação “painel de pesquisar”) procurar no computador os ficheiros pretendidos e arrasta-los para o painel inferior esquerdo com a designação “painel das camadas”.

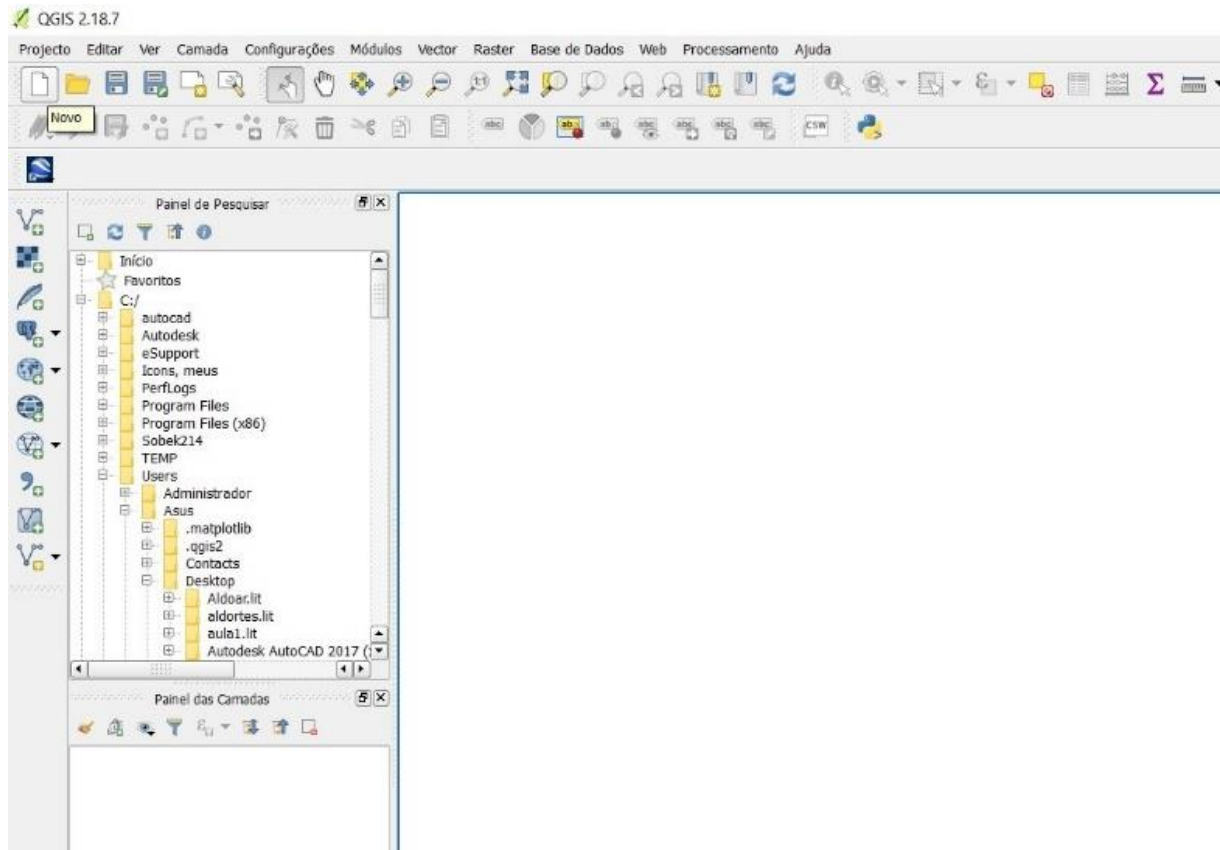


Figura 3 – Interface principal do QGIS

Após o carregamento de todas as camadas que foram fornecidas com o cadastro da rede da bacia de Aldoar, a interface do programa QGIS apresenta o aspeto da figura 4. A implementação do modelo criado no âmbito desta dissertação corresponde apenas à rede principal da bacia, que inclui o ribeiro de Aldoar. Esta opção resultou da análise a seguir apresentada e que revelou fortes restrições na qualidade do cadastro fornecido para efeitos de construção de modelos hidrodinâmicos.

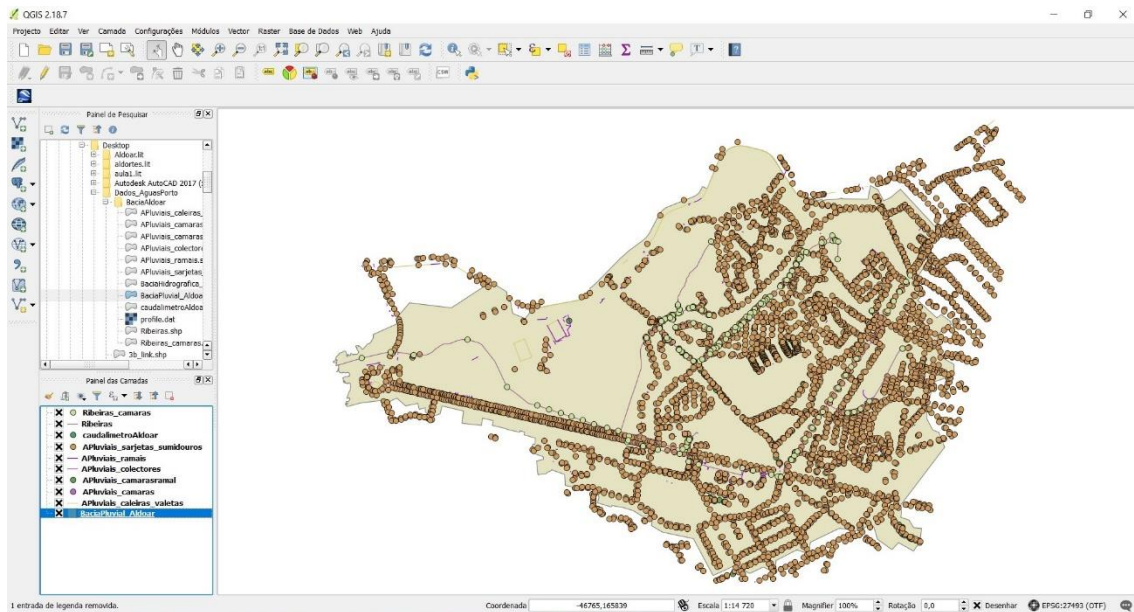


Figura 4 – Visualização de todas as camadas de informação do cadastro da bacia de Aldoar

Assim, o trabalho centrou-se nas camadas de informação “ribeiras_camaras”, “ribeiras” e “baciapluvial_aldoar”, que são apresentadas na figura 5.

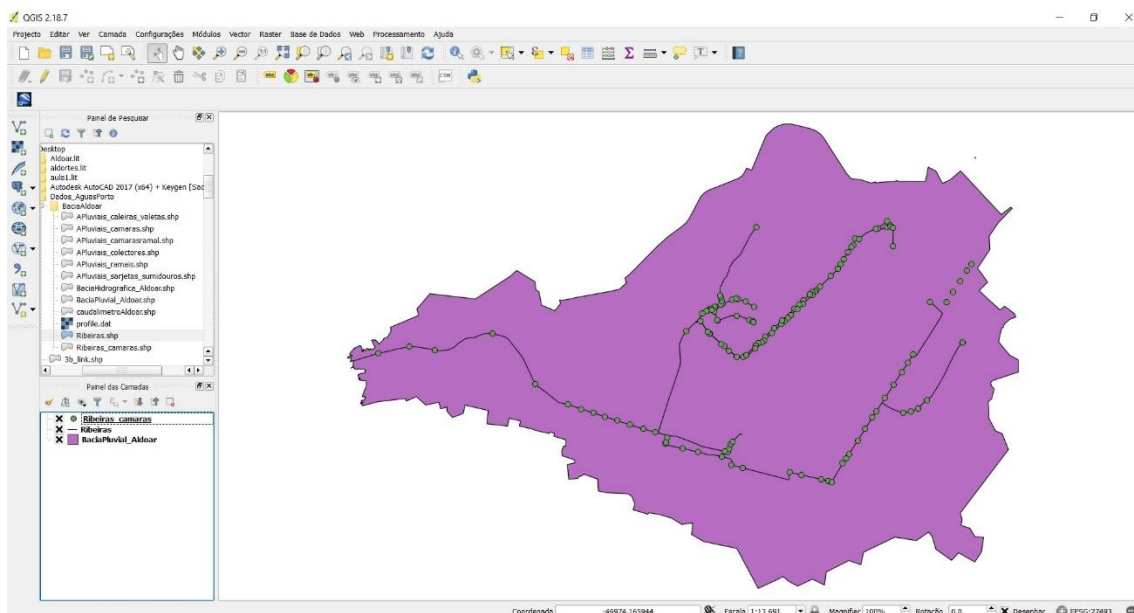


Figura 5 – Temas de informação selecionados para construção do modelo desenvolvido no âmbito da dissertação

A informação alfanumérica associada às entidades gráficas que neste caso representam os coletores e as caixas de visita da rede, fica acessível se após seleção do tema no “painel das camadas” se aceder (clique no botão direito do rato) a “abrir tabela de atributos”. Na

figura 6 apresenta-se uma vista com os dados da tabela de atributos de um dos temas do cadastro.

OBJECTID	IDEntidade	Arruamento	NomeRibeir	Bacalhda	FonteInfor	CickVida	XValue	YValue	ZValue	TipoCamara	CotaTerren	CotaSoleir	Profundide	CotaTampa	FormaTampa	DimensaoSe	Dimensao_1	Enabled
1	CM1160915	BOAVISTA...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
2	CM2160915	BOAVISTA...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
3	CM1160915	ANTUNES ...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	43.01000000...	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
4	CM4160915	VASCO VA...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
5	CM5160915	Av. BOAVISTA		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
6	CM1160915	ARISTIDES...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
7	CM7160915	BOAVISTA...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
8	CM1160915	BOAVISTA...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Outro	0.0000000000	0.0000000000	
9	CM5160915	BOAVISTA...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
10	CM10160915	BOAVISTA...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
11	CM11160915	BOAVISTA...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
12	CM2160915	A REVISTA...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
13	CM1160915	ANTUNES ...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	47.19000000...	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
14	CM14160915	ANTUNES ...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	51.00000000...	Circular	0.0000000000	0.0000000000	
15	CM15160915	ANTUNES ...		1	0	LevLocal	Servico	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	63.41000000...	Circular	0.0000000000	0.0000000000	

Figura 6 – Visualização da tabela de atributos de um dos temas do cadastro

A utilização do QGIS é fundamental para a análise do cadastro fornecido e o seu correto processamento de forma a que possa ser utilizado na construção do modelo hidráulico. São apresentadas a seguir as principais tarefas de processamento realizadas, mencionando-se os comandos QGIS utilizados e que permitiram obter a informação necessária para avançar com o trabalho proposto nesta dissertação.

3.2 Análise do cadastro

Após a análise aprofundada do cadastro disponibilizado, verificou-se que existem inúmeras deficiências e omissões de dados relevantes. Neste subcapítulo apresentam-se as soluções adotadas para colmatar as omissões de informação e solucionar outros problemas encontrados e, assim, se conseguir construir um modelo coerente.

No que se refere às câmaras de visita é necessário conhecer a sua secção transversal, a cota da tampa e a cota da soleira, verificando-se que nem todos os valores que são necessários estão presentes nos dados fornecidos. Na figura 7 são representadas em vermelho as caixas que não têm dados e em azul aquelas que apresentam toda a informação necessária.

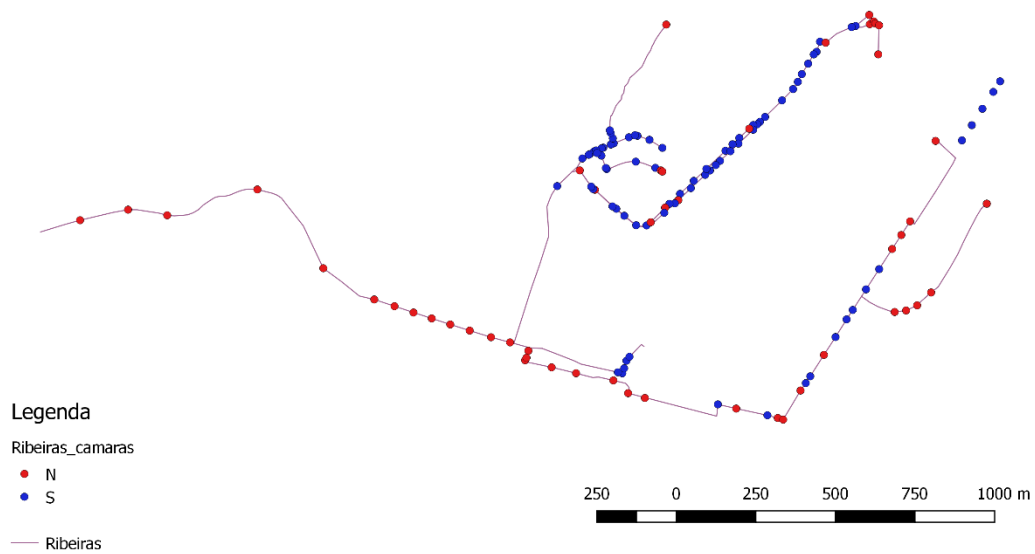


Figura 7 – Existência de informação relativa às secções das câmaras de visita: azul existente, vermelho não existente

Relativamente às cotas da tampa e da soleira, figura 8, apresenta-se a verde as caixas que não têm dados e a roxo no caso contrário.

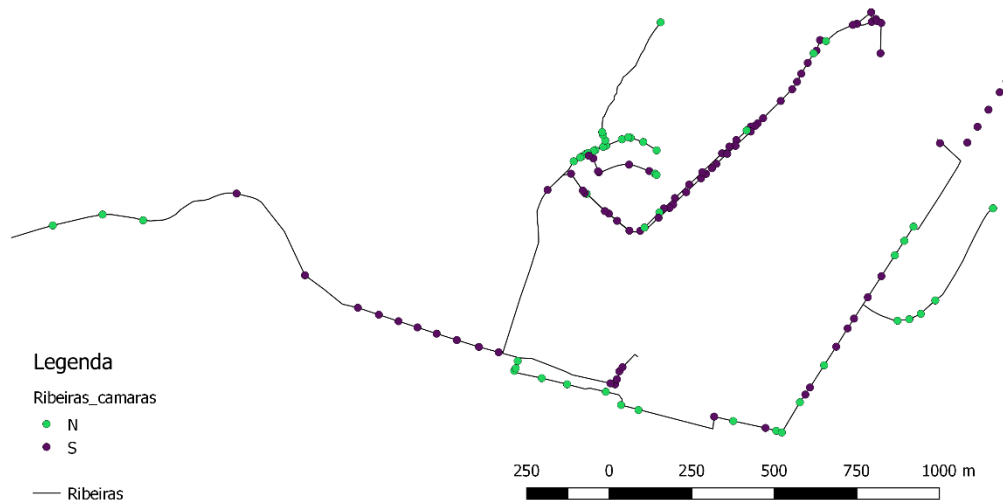


Figura 8 – Caixas de visita com (roxo) e sem (verde) informação relativa à cota da tampa e cota de soleira

Naturalmente que a solução mais correta para resolver a omissão de informação no cadastro seria realizar os trabalhos de levantamento necessários. Contudo, realizar estes levantamentos seria um processo moroso não compatível com o prazo disponível para o trabalho. Assim, optou-se por estimar a informação em falta para efeitos de construção do modelo hidráulico da rede.

No caso da secção transversal das caixas de visita foi adotado um processo simples de repetir para a caixa com secção omissa o valor da secção da caixa mais próxima a montante no coletor com informação existente. Quando se trata de uma caixa de junção de coletores, utiliza-se critério idêntico, optando-se pela maior secção das caixas a montante mais próximas com informação.

Salienta-se ainda que existem diferentes tipos de caixa no que se refere à secção transversal. Existem secções circulares, quadradas e retangulares.

A definição de cotas de tampas e de soleiras omissas no cadastro foi realizada por interpolação ou extrapolação, assumindo-se que a rua e os coletores mantêm as respetivas

inclinações entre as caixas mais próximas com informação e aquela em que se pretende estimar aquelas cotas.

Na figura 9 apresenta-se um exemplo de como foi resolvido o problema em causa usando a interpolação. As câmaras que apresentam informação de cotas no cadastro são a 52 e a 54, que foi utilizada para estimar as cotas da câmara 53, por interpolação, neste caso.

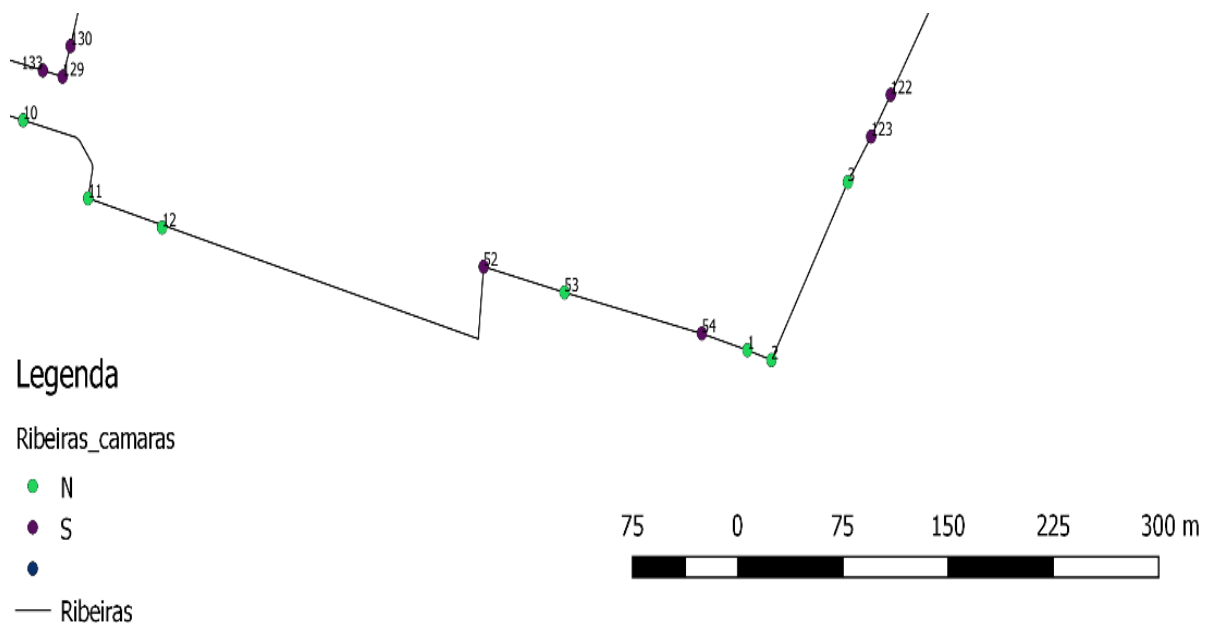


Figura 9 – Localização de caixas de visita utilizadas para estimar cotas de tampas e de soleira

Assim neste problema o cadastro contém a informação apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de interpolação para estimativa da cota de soleira

OBJECTID	Cota Soleira (m)	Distâncias (m)
52	36.64	0
53	x	59.14
54	39.29	159.34

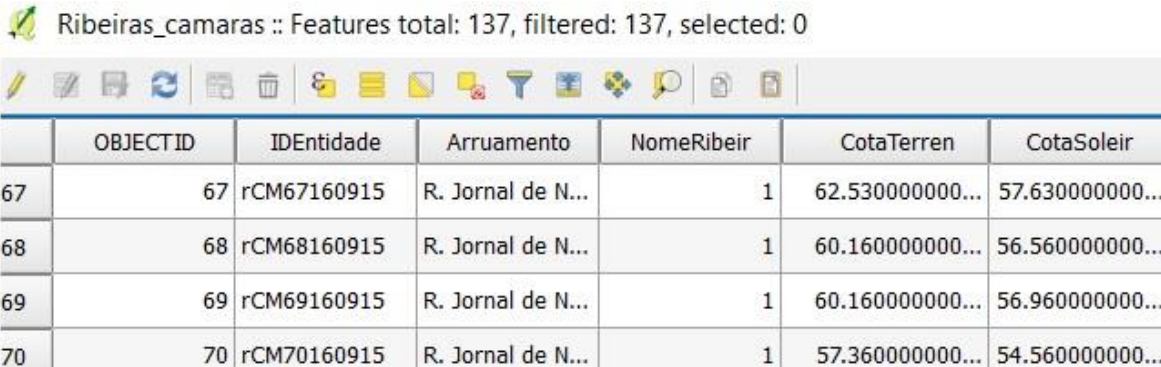
As distâncias que aparecem na tabela anterior, foram obtidas do cadastro, através das coordenadas de cada uma das caixas. Assim, com base nas cotas das caixas de visita vizinhas é possível estimar por interpolação a cota da soleira da caixa de visita 53.

$$x = 36,64 - \frac{(0 - 59,14) \times (36,64 - 39,29)}{(0 - 159,34)} = 37,62 \text{ m}$$

Este procedimento foi repetido para todos os valores omissos no cadastro. As cotas estimadas são apresentadas no anexo I.

Na rede em análise não existem elevações por bombagem, tendo-se, por isso, considerado que o escoamento deverá realizar-se por gravidade, e assim os coletores serão sempre descendentes no sentido do escoamento. Deste modo, foram “corrigidas” as cotas de soleira que implicavam elevação no sentido do escoamento.

Na figura 10 apresenta-se um exemplo da tabela de atributos dos coletores da rede em que surge uma cota de soleira (da câmara 69) mais elevado que o da câmara 68 localizada a montante daquela.



Ribeiras_camaras :: Features total: 137, filtered: 137, selected: 0

	OBJECTID	IDEntidade	Arruamento	NomeRibeir	CotaTerren	CotaSoleir
67	67	rCM67160915	R. Jornal de N...	1	62.530000000...	57.630000000...
68	68	rCM68160915	R. Jornal de N...	1	60.160000000...	56.560000000...
69	69	rCM69160915	R. Jornal de N...	1	60.160000000...	56.960000000...
70	70	rCM70160915	R. Jornal de N...	1	57.360000000...	54.560000000...

Figura 10 – Exemplo de valor incoerente da cota de soleira

Outro problema que resulta numa incoerência é a existência de extremidades de rede com cotas de soleira inferiores à da caixa de visita de jusante (figura 11). Neste exemplo a câmara 64 encontra-se numa extremidade da rede, e não sendo local de descarga, o escoamento terá que ser realizado no sentido da caixa de visita 63.

A solução adotada para estimar uma cota de soleira coerente com o funcionamento da rede, foi idêntica à que se utilizou para a situação descrita anteriormente., ou seja, foi feita

a extrapolação das cotas de soleira utilizando-se a informação das câmaras consecutivas a jusante.

Todos os valores incoerentes detetados foram corrigidos, sendo apresentados no anexo I.

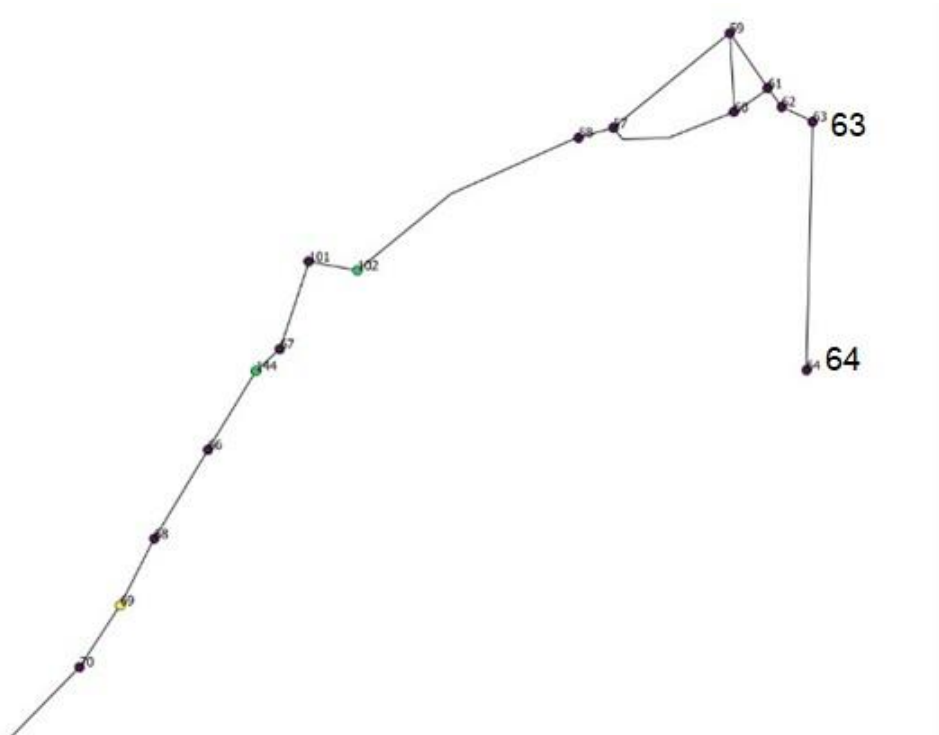


Figura 11 – Exemplo de valor incoerente numa câmara de extremidade da rede

Outra omissão detetada e que teve de ser corrigida para tornar possível a construção do modelo hidráulico refere-se a caixas de visita de junção de coletores ou de mudança de direção. Na figura 12 apresenta-se um exemplo em que é omissa a caixa de visita de junção dos coletores 223 e 120. Na mesma figura é também evidente a omissão de uma caixa de mudança de direção no coletor 285. Para se detetarem estas omissões o cadastro tem que ser criteriosamente analisado recorrendo às ferramentas de visualização do QGIS.

Para solucionar este tipo de omissão foram acrescentadas as câmaras em falta, durante o processo de construção do modelo Sobek e cujo procedimento será apresentado mais a diante.

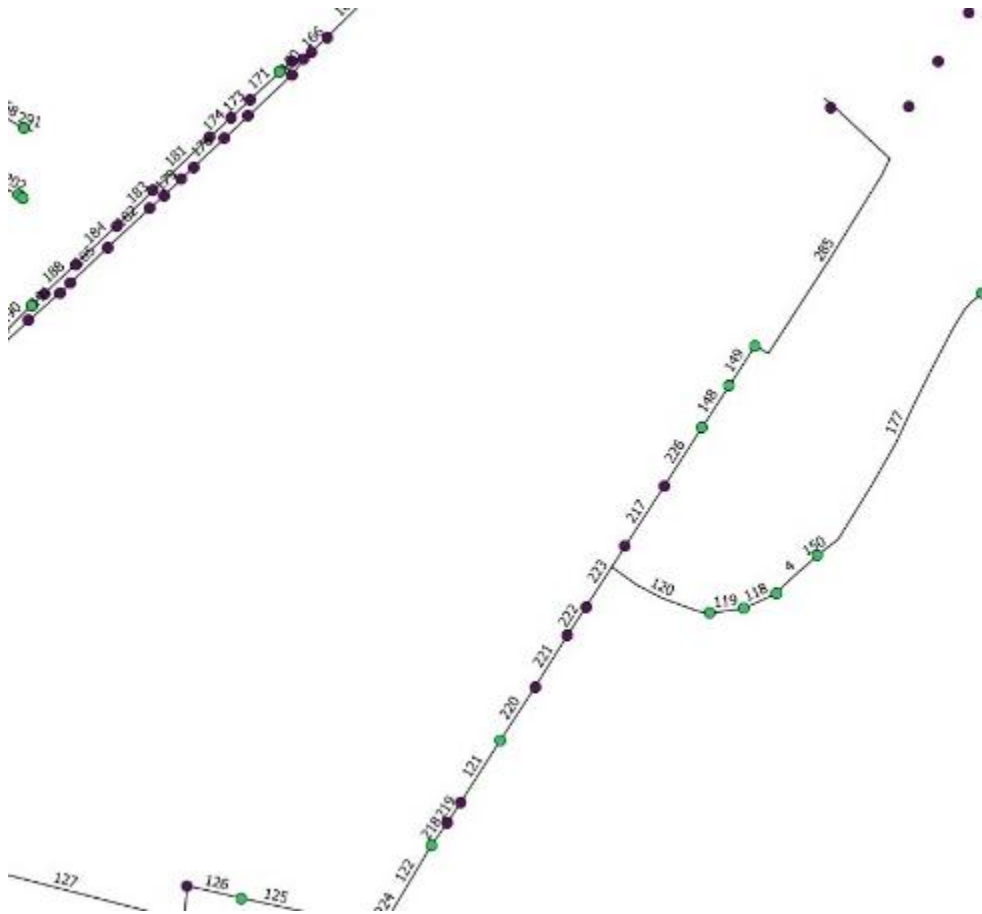


Figura 12 – Exemplo de omissão de câmaras de junção de coletores e de mudança de direção

Um outro problema relacionado com o cadastro relativo às câmaras de visita é a existência de repetições no cadastro. Como se mostra na figura 13 num mesmo local são consideradas duas câmaras (no exemplo câmaras 76 e 79).

A solução para estes casos é considerar uma delas e eliminar a outra. Optou-se por eliminar aquela que apresenta um afastamento maior em relação ao coletor, neste exemplo, a câmara 79. As restantes câmaras eliminadas pela mesma razão podem ser identificadas no anexo I.

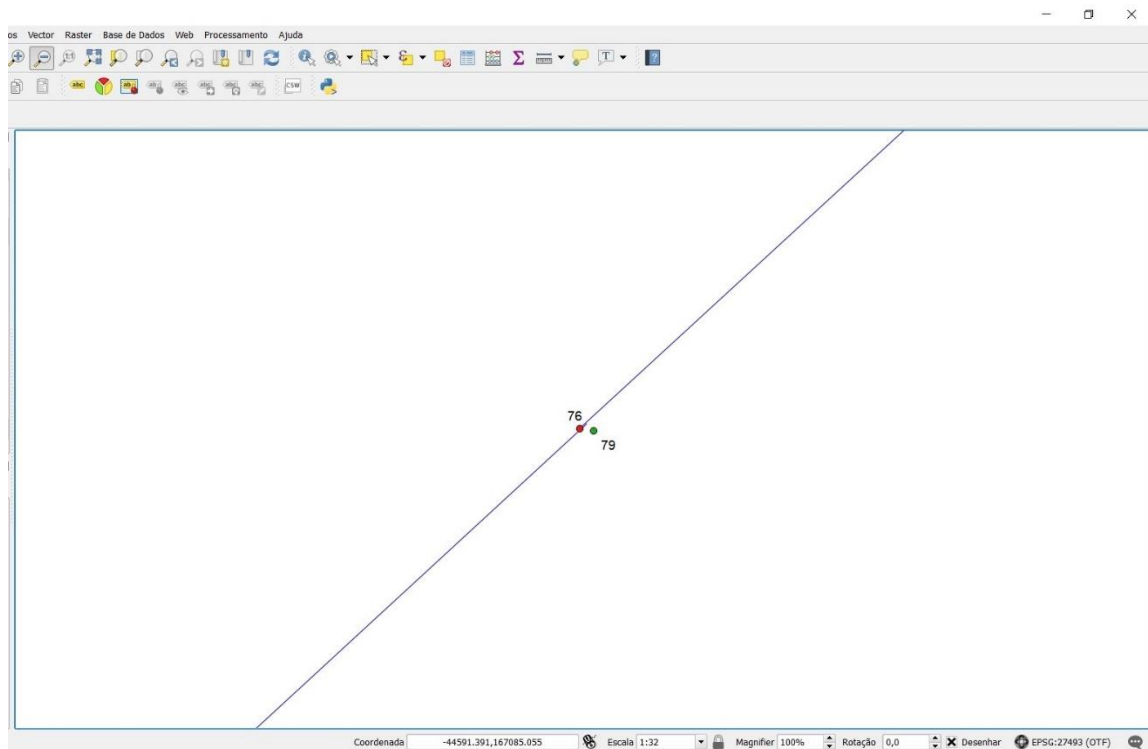


Figura 13 – Exemplo de existência de câmaras repetidas

Concluída a análise relativa às câmaras de visita passou-se à análise dos respetivos coletores. A informação altimétrica dos coletores no cadastro é associada às câmaras de visita. Assim, interessa no que se refere aos coletores verificar a informação relativa ao seu material constituente e dimensões.

Recorrendo-se a diferentes ferramentas de análise do QGIS, foi possível identificar os coletores que apresentam a informação necessária (representados a cor azul) e aqueles em que a informação é omissa (cor vermelha) (figura 14).

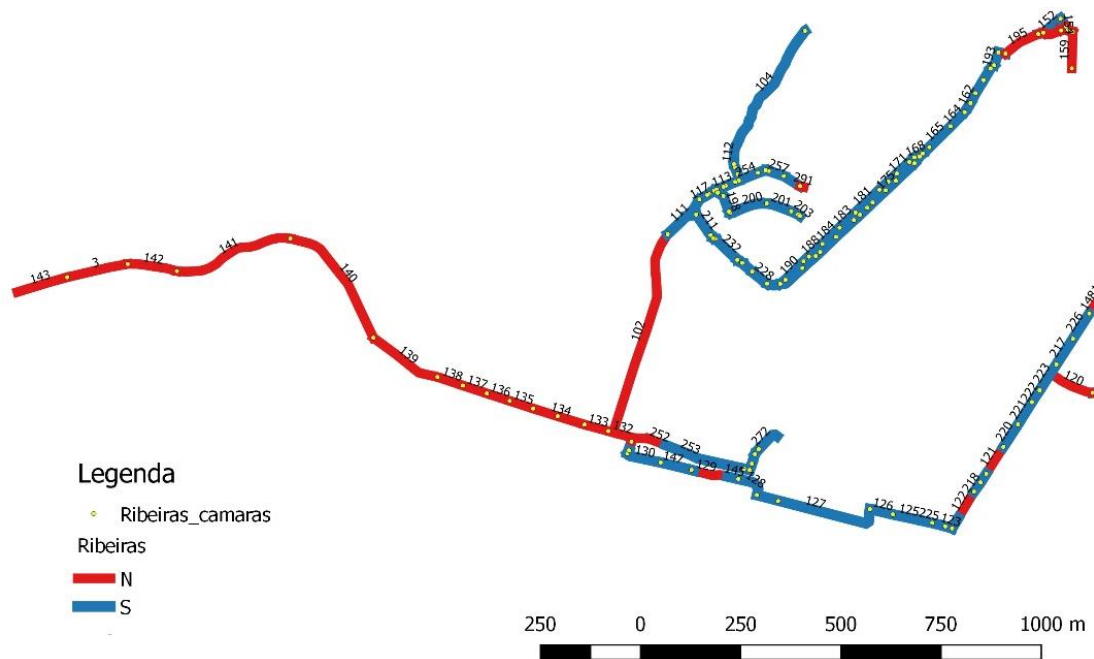


Figura 14 – Cadastro de coletores com indicação de existência (azul) ou não (vermelho) de informação relativa à respectiva secção transversal

Para definição da informação omissa foi considerado um processo simplificado que consistiu em adotar valores idênticos aos da secção dos coletores a montante com definição da respectiva secção transversal, sendo adotada a maior secção no caso de juncões.

Nos coletores do trecho 143 a 252 (figura 14), o método utilizado foi diferente. Como na extremidade do coletor 143 (secção da descarga para o mar) recorreu-se ao google earth, para estimar uma das suas dimensões, sendo considerada a secção quadrada (figura 15).

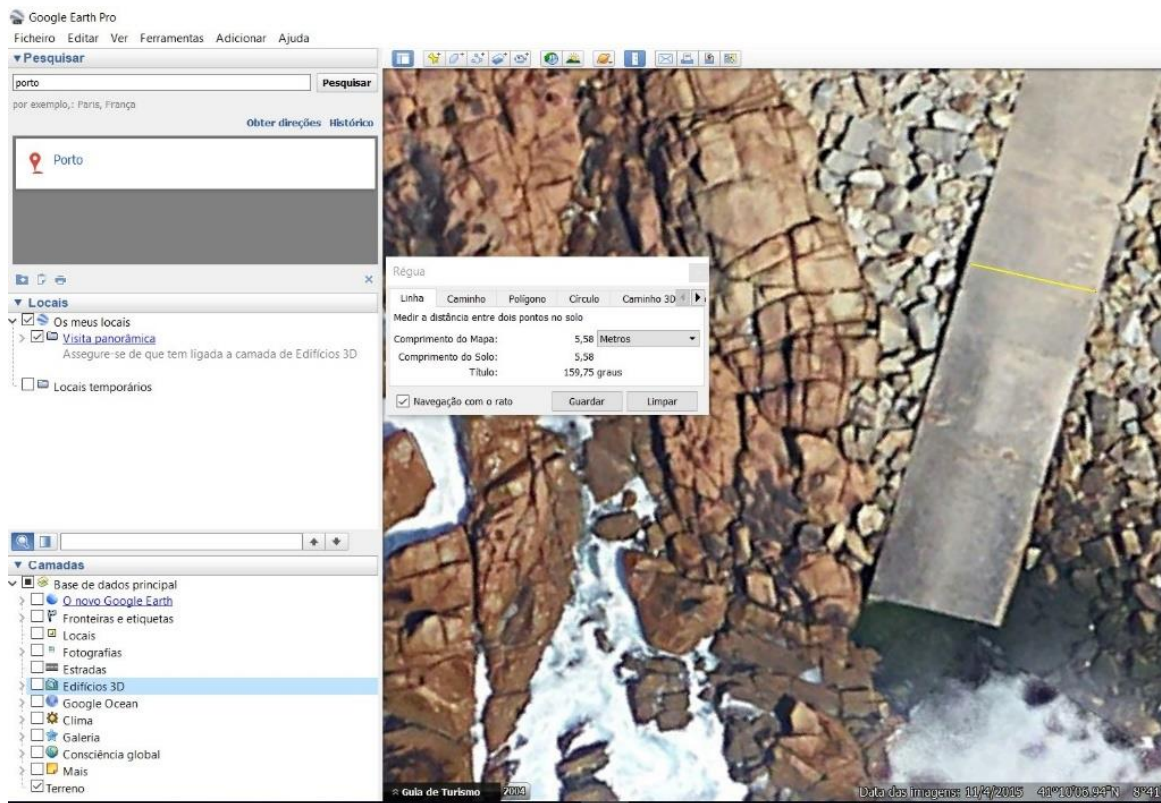


Figura 15 – Secção de descarga do ribeiro de Aldoar

4 CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO

Neste capítulo são apresentados todos os passos necessários para construir o modelo hidráulico de uma rede de drenagem, utilizando-se como exemplo a rede de drenagem da bacia de Aldoar apresentada no capítulo anterior. Completa-se com a apresentação do procedimento necessário para se acrescentarem ao modelo de escoamento principal trechos secundários de redes que para ela escoam.

4.1 Criação do projeto de modelação

Ao iniciar o programa a primeira janela a aparecer é a que se mostra na figura 16, onde surgem varias opções. No presente caso, como vamos criar um novo modelo, deverá ser seleccionada a opção “New Project”. Quando se pretende trabalhar com um projeto previamente criado, a opção será “Open Project”.

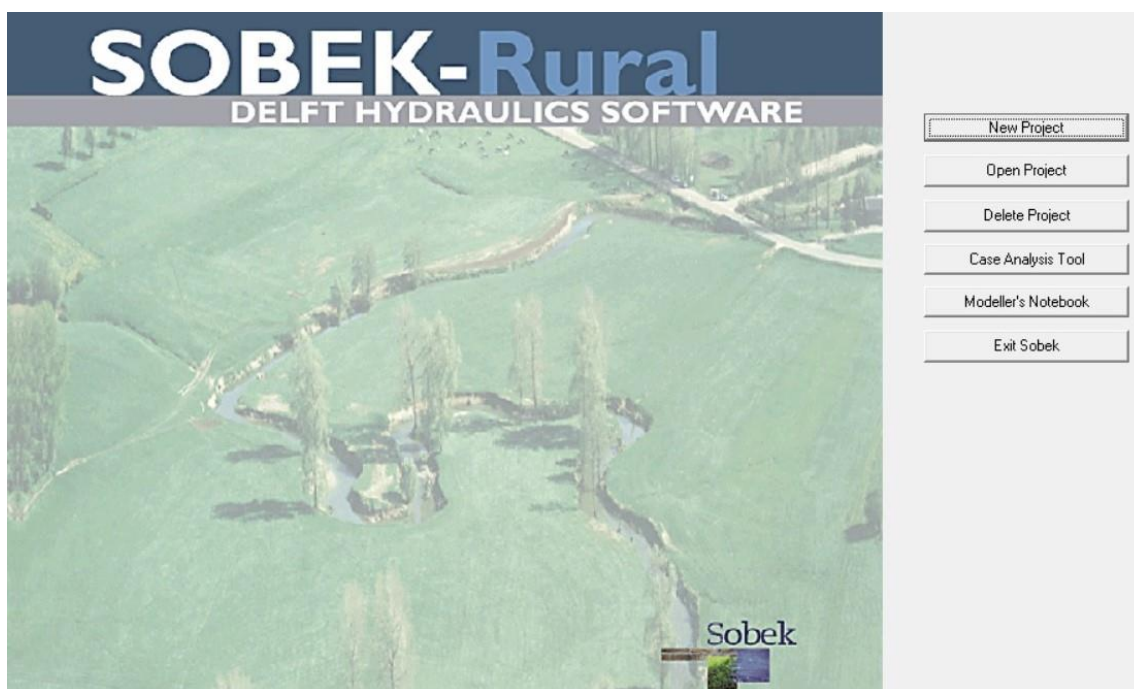


Figura 16 – Interface inicial do programa Sobek

Depois da opção inicial, aparecerá uma nova janela onde deverá ser definido o nome para o projeto, que neste trabalho é “ribeira” como se mostra na figura 17.

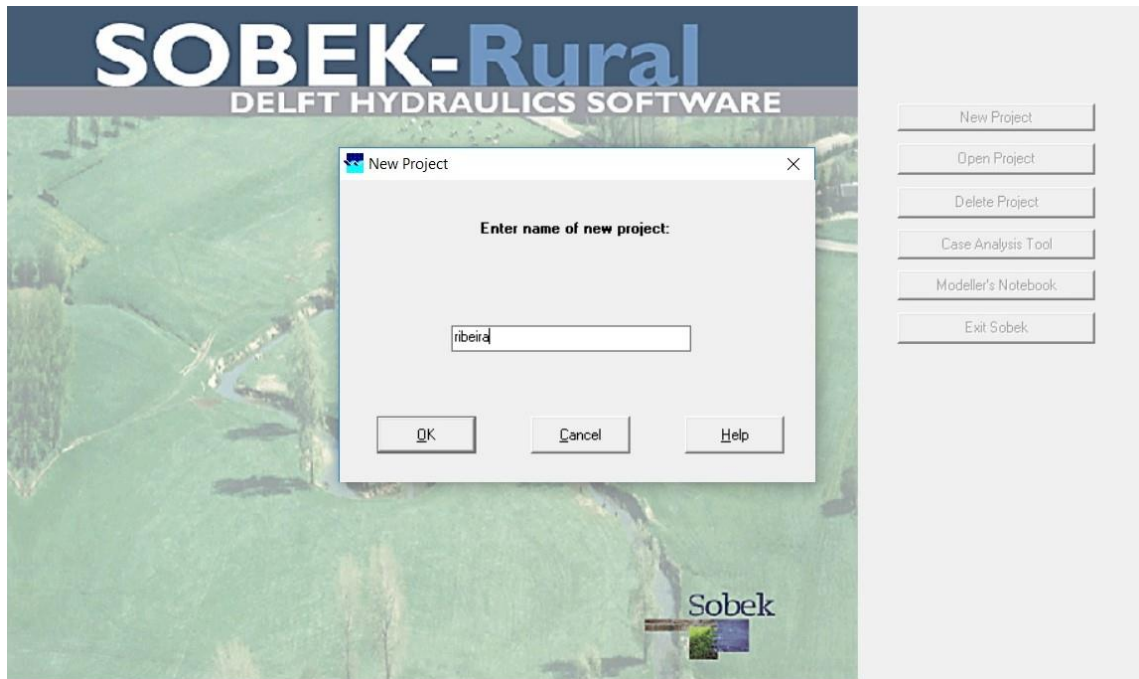


Figura 17 – Criador de novo projeto, Sobek

Definido o nome do projeto surge a interface "Case management" que se apresenta na figura 18. Esta interface orienta a construção de casos de modelação, fazendo a gestão de todos os ficheiros que lhes estão associados. Permite, por exemplo, guardar diferentes cenários de simulação dentro de um mesmo projeto com nomes diferentes.

Cada bloco representa uma tarefa específica no processo de construção de um modelo. As setas entre os blocos representam as relações entre as tarefas. Quando uma seta aponta do bloco "A" para o bloco "B", a tarefa do bloco B só pode ser executada após a conclusão da tarefa do bloco A (Deltares, 2014).

Esta interface é responsável por diferentes tarefas tais como:

- ✓ Administração de casos (que dados estão relacionados com os casos de simulação);
- ✓ Verificação da ordem de execução das tarefas de preparação de dados, execução do modelo e análise dos resultados;
- ✓ Disponibilização de um quadro computacional através de uma interface de utilizador, para que possa manipular um caso, escolher e executar tarefas pré-definidas, ver e verificar todas as tarefas e ver a relação entre as várias tarefas.

Quando a interface do gestor de casos aparece pela primeira vez, depois de ser adicionado um novo projeto, todos os blocos gráficos correspondentes às diferentes tarefas apresentam um fundo cinza e apresentam-se inativos. Para ativar os blocos de tarefas poderá recorrer-se ao menu “case” e seleccionar “Open as new” abrindo uma janela onde se deverá atribuir uma designação ao caso.

Depois de abrir o novo caso, os blocos de tarefas apresentam uma das seguintes cores:

- ✓ amarelo: a tarefa pode ser executada;
- ✓ verde: a tarefa foi executada pelo menos uma vez e pode ser executada novamente;
- ✓ vermelho: a tarefa não pode ser executada até a tarefa anterior ter sido executada.

Quando a tarefa está a ser executada, o fundo do bloco de tarefas é roxo, podendo-se executar uma tarefa clicando duas vezes no respetivo bloco gráfico. Quando se selecciona um bloco de tarefa amarelo ou verde, a cor mudará para roxo e depois de executada a respetiva tarefa mudará para verde.

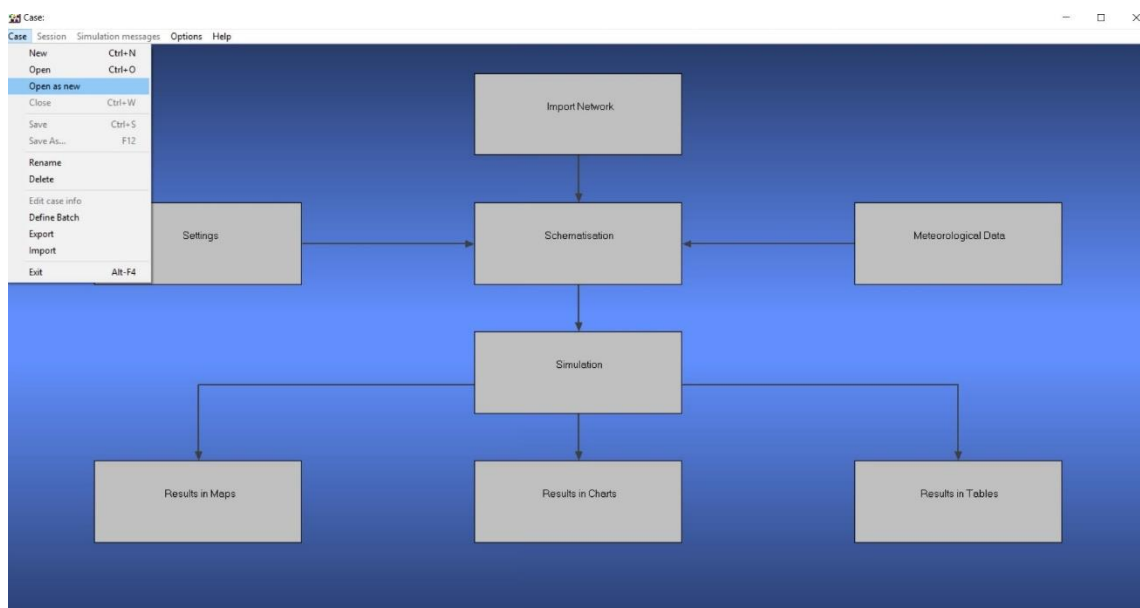


Figura 18 – Interface de gestão de casos, programa Sobek

Na fase inicial existem três tarefas que poderão ser executadas por qualquer ordem: “Meteorological data”, “Import Network” e “Settings”.

Na tarefa “Import Network” poder-se-á importar um modelo existente construído noutra programa ou definir que o modelo será construído pela primeira vez (figura 19). No presente trabalho foi essa a opção assumida.

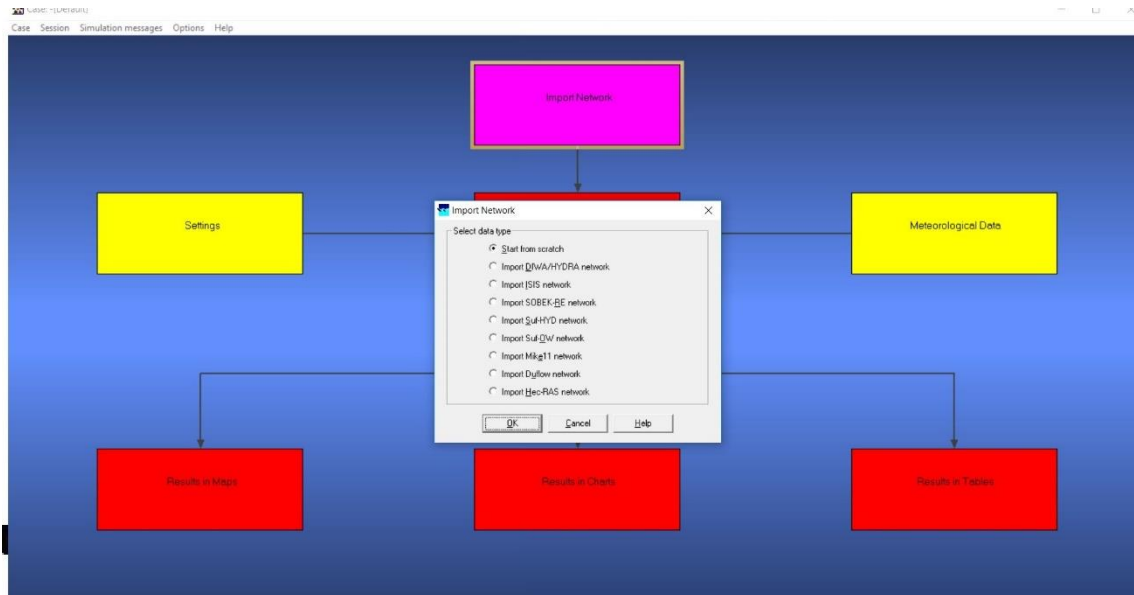


Figura 19 – Janela Import Network, Sobek

O bloco de tarefas "Settings" é usado para seleccionar os módulos SOBEK, como se mostra na figura 20, que se pretendem utilizar no projeto. No presente caso, como estamos a modelar uma rede urbana, foi seleccionado o módulo “1DFLOW (urban)” que é um módulo para simulação de fluxo unidimensional em redes de águas residuais e sistemas de drenagem de águas pluviais. Trata-se, portanto, de uma ferramenta que pode ser usada para simular e resolver problemas em sistemas de drenagem urbana, como determinação de capacidades de drenagem urbana, incluindo estações de tratamento, avaliação da frequência de possíveis inundações por entrada em pressão da rede de esgoto e projeto de bacias de retenção. O módulo SOBEK-Urban 1DFLOW também pode ser usado em combinação com SOBEK-Rural 1DFLOW e RR (Rainfall-Runoff).

Esta opção foi ativada devido ao facto de se pretender modelar trechos da ribeira de Aldoar com secções abertas. Contudo, se na esquematização do modelo não se utilizarem este tipo de secções pode-se manter ativa a opção, sem implicações para o modelo construído.

Finalmente, ativou-se o módulo “RR” (Rainfall-Runoff) responsável pela simulação de processos de precipitação-escoamento. Trata-se de um módulo em que se poderão definir

modelos hidrológico determinísticos para as diferentes áreas da bacia, permitindo simular o comportamento da água no solo e nos cursos de água em função da precipitação. Neste módulo são de esperar erros na previsão dos caudais devido a, previsões de precipitação incorretas, erros na estimativa da chuva média sobre a bacia, aproximações e simplificações na formulação no modelo, erros nos valores dos respetivos parâmetros de calibração e erros nas estimativas de evaporação (Deltares, 2014). Na figura 21 apresenta-se um esquema conceptual de um dos modelos hidrológicos considerados no programa: o modelo de Sacramento.

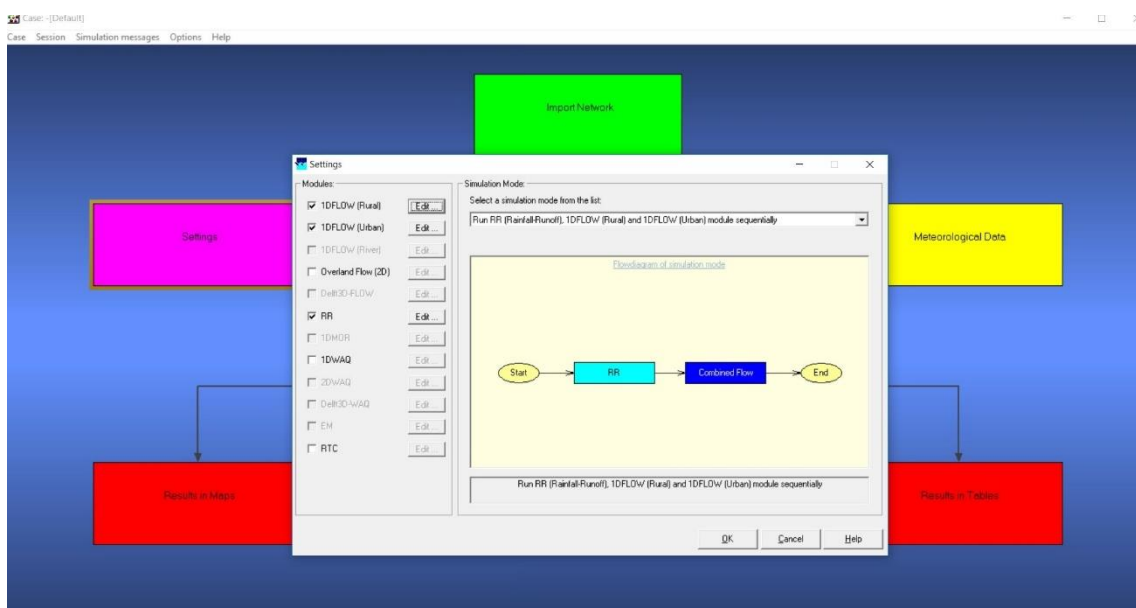


Figura 20 – Janela Settings, programa Sobek

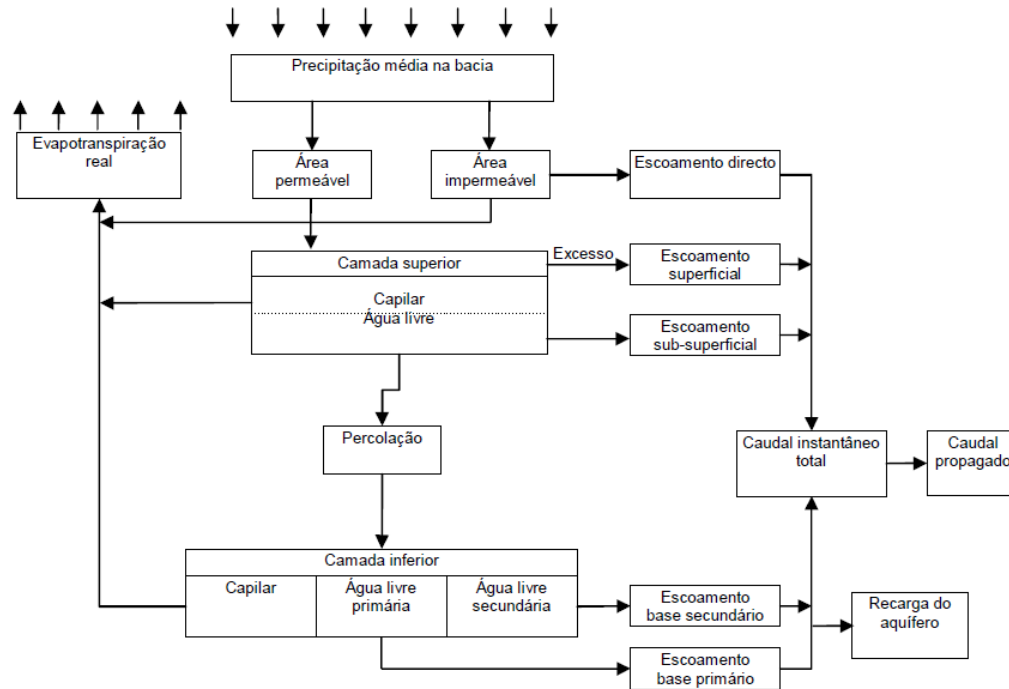


Figura 21 - Esquema conceptual de funcionamento do modelo hidrológico de Sacramento (Pinho & Vieira, 2006)

Para cada um dos módulos ativados é necessário definir um conjunto de parâmetros computacionais, como o tempo de cálculo, o período de simulação, as condições iniciais da simulação e definir os resultados que se pretendem registar durante a simulação (figura 22). O período de simulação foi definido como sendo coincidente com o período de registos históricos associado aos dados meteorológicos inseridos em “meteorological data”.

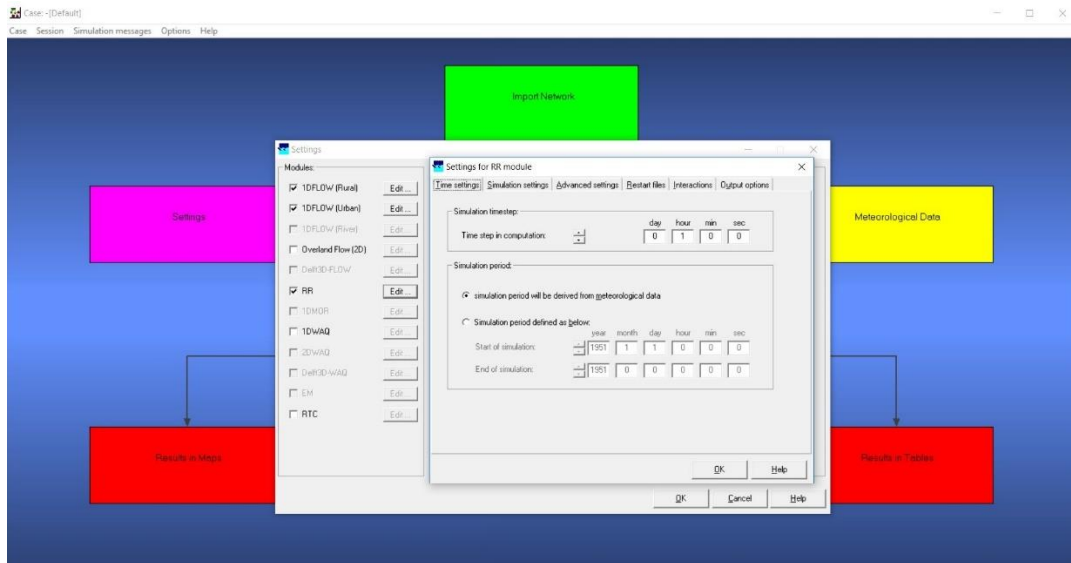


Figura 22 – Janela Settings no menu edit, programa Sobek

Ainda no “edit” de “settings”, no separador “output options” (figura 23), poderá definir-se o “timestep output” correspondente ao intervalo de gravação de resultados. Em “output parameters” selecionam-se as variáveis associadas aos nós de cálculo, segmentos, e estruturas que se pretendem registar nos resultados.

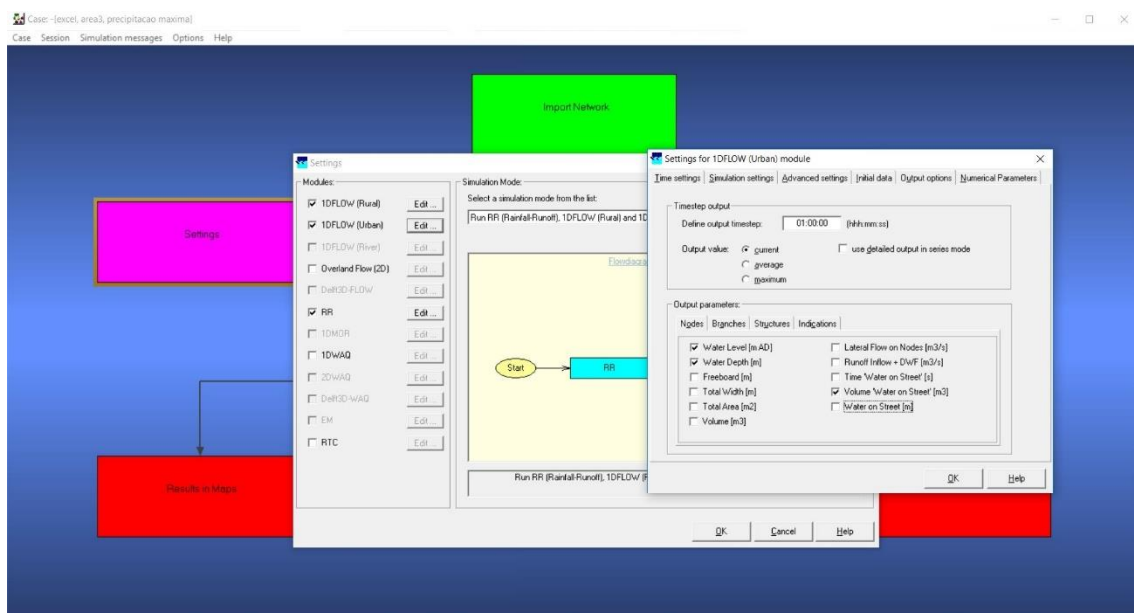


Figura 23 – Janela “Setting” no menu “edit” e separador “output options”, programa Sobek

Na tarefa “meteorological data” são definidos os valores das séries de dados meteorológicos que deverão ser associados à simulação, incluindo dados de precipitação e dados de evaporação.

Os dados de evaporação são automaticamente associados às séries temporais dos dados de precipitação. O período de simulação é determinado pela data de início e término dos dados de precipitação (Deltares, 2014). A janela para definição destes dados é apresentada na figura 24.

No capítulo 5 (definição de cenários), serão definidas diferentes simulações que serão utilizadas para avaliar a qualidade do modelo.

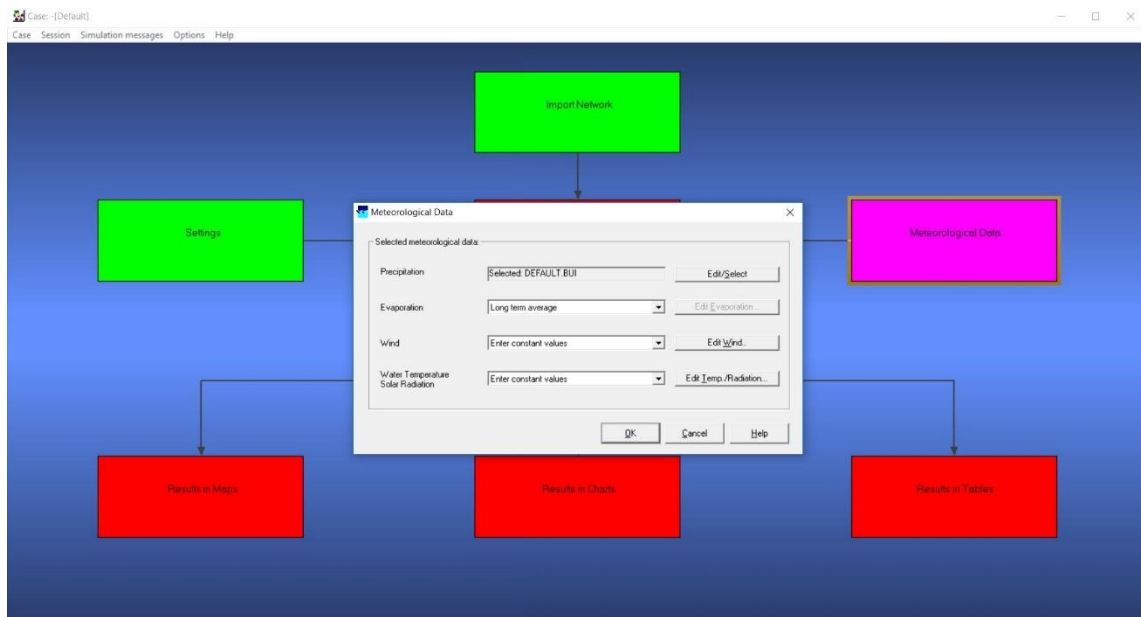


Figura 24 – Janela “meteorological data”, programa Sobek

Para se definir ou inserir uma série de dados de precipitação clica-se em “edit/select”, abrindo a janela que se pode observar na figura 25. É possível importar um evento, editar um evento existente, seleccionar um dos eventos pré-definidos e ainda criar um novo evento.

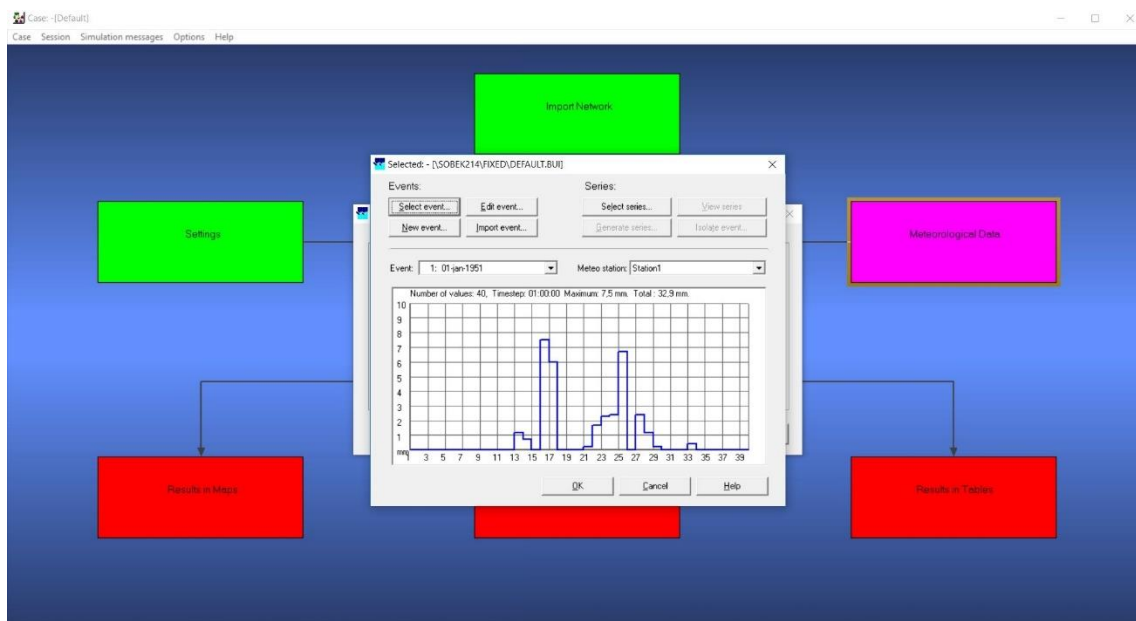


Figura 25 – Janela “meteorological data” em “edit/select” da precipitação, programa Sobek

Neste trabalho foram criados novos eventos de precipitação, logo ao clicar em “New event” abre-se a janela da figura 26, onde se seleciona o número de estações meteorológicas associadas ao evento de precipitação.

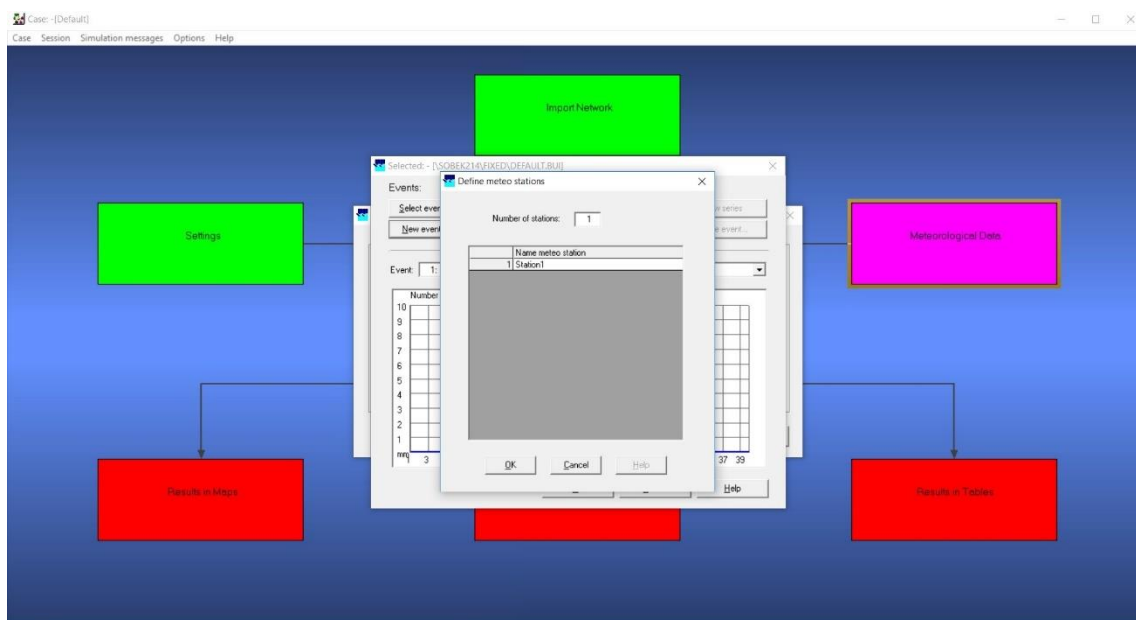


Figura 26 – Janela “meteorological data” em “edit/select” da precipitação e em “new event”, programa Sobek

Neste exemplo é definida uma estação. Ao clicar em “ok” abre-se uma outra janela conforme apresentado na figura 27. Nesta janela define-se o nome do evento, neste caso

“pre1”, a seguir definem-se as datas de início e fim da série de precipitações. O último elemento a preencher é o “timestep”, ou seja, a frequência de registo de valores na série de dados de precipitação.

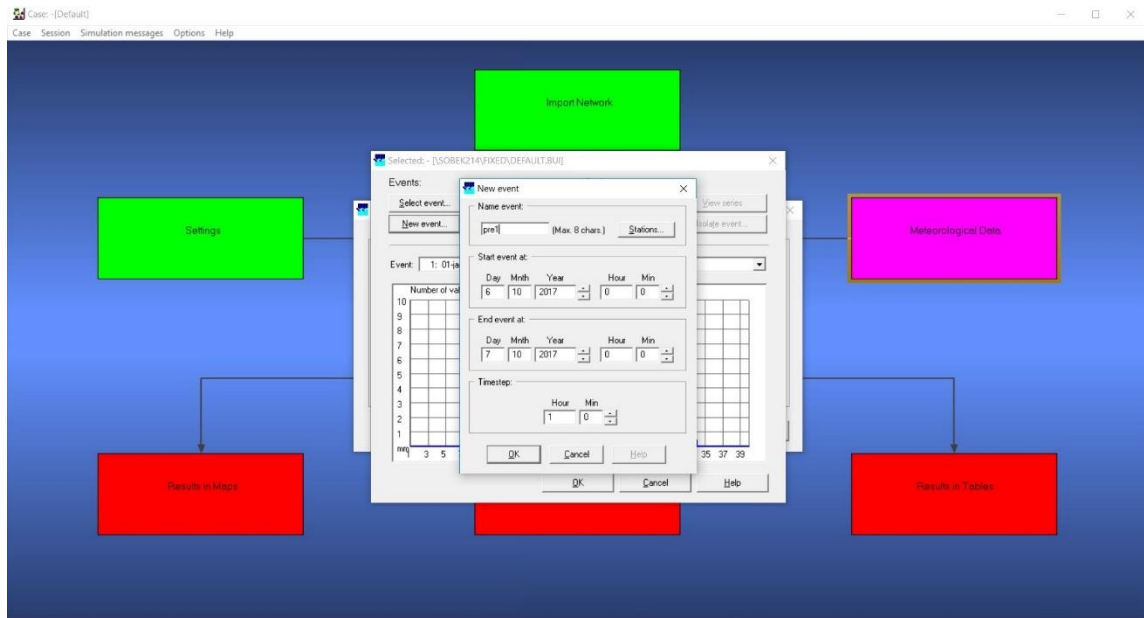


Figura 27 – Janela “meteorological data” para criação de um evento de precipitação, programa Sobek

Terminado este procedimento, surge uma janela conforme se pode visualizar na figura 28, com uma tabela onde deverão ser inseridos os valores da precipitação. Neste exemplo adotou-se um valor constante de 8 mm. Os valores podem ser inseridos copiando-se de um ficheiro excel.

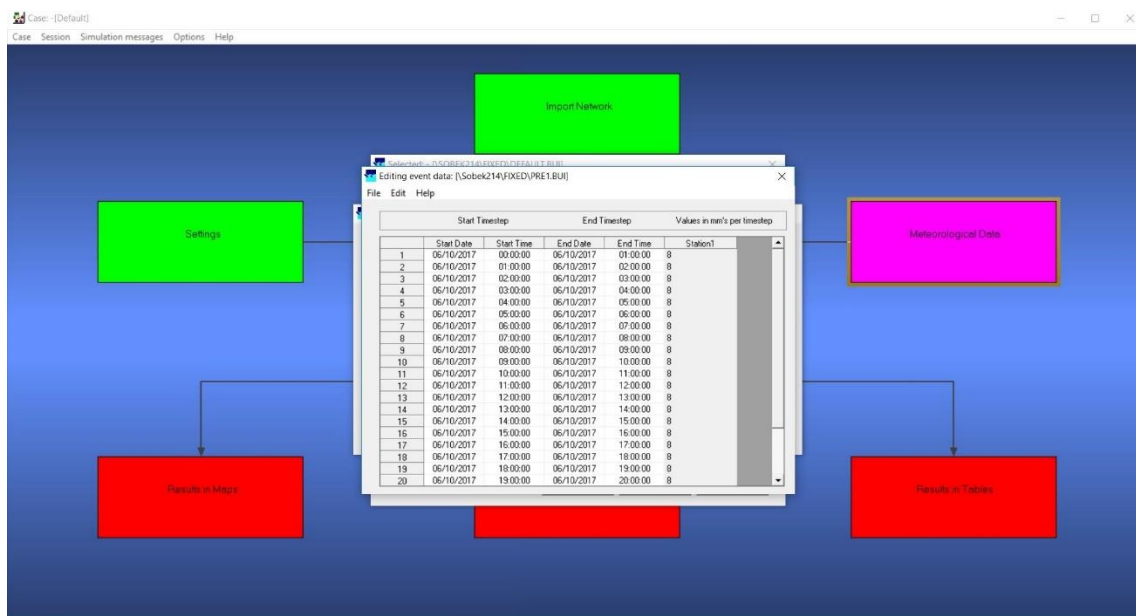


Figura 28 – Janela “meteorological data”, tabela de preenchimento dos valores de precipitação, programa Sobek

Ao fechar a janela anterior é exibida a janela de seleção do evento de precipitação (figura 25), devendo-se agora selecionar o evento “pre1” criado.

Na figura 29 apresenta-se o gráfico correspondente ao evento de precipitação “pre1”.



Figura 29 – Janela do “meteorological data” selecionando o evento de precipitação, programa Sobek

Quanto aos restantes dados necessários, como o vento, a evaporação, a temperatura e a radiação solar, são considerados nesta dissertação os valores pré-definidos. Estes valores deverão ser editados para que fiquem associados ao projeto em construção antes de se fechar definitivamente a janela “meteorological data”.

Ao terminar a edição das três tarefas anteriores, todas aparecem com fundo verde e o módulo “Schematisation” fica com fundo amarelo, indicando que será possível a sua edição.

4.2 Criação do modelo a partir do cadastro da rede processada

A construção do modelo deverá prosseguir com a definição da sua topologia recorrendo-se a uma ferramenta disponível para esse efeito no programa Sobek. Ao clicar em “schematisation” surge uma janela, devendo prosseguir-se clicando em “Edit Model”. O editor de rede, designado NETTER é uma das componentes do programa. Permite definir todos os elementos necessários utilizando um mapa de fundo. A mesma aplicação também é responsável pelo processamento e visualização de resultados do modelo (Deltares, 2014). Poderão ser realizadas as seguintes tarefas:

- ✓ Preparação interativa e gráfica de uma esquematização do modelo;
- ✓ Geração das redes unidimensionais sobre as camadas do mapa SIG;
- ✓ Executar diversas operações como: procurar por um determinado nó, mostrar os números e nomes do nó, mostrar os números dos trechos, etc;
- ✓ Executar operações sobre o mapa: zoom, ativar camadas do mapa, modificação das cores de camadas de mapas, adicionar informações de título no mapa, etc;
- ✓ Ver os resultados dos modelos de simulação;
- ✓ Imprima mapas ou esquemas numa ou mais páginas.

De um modo geral, o NETTER possui dois modos de edição. O primeiro modo é o modo de configuração da esquematização do modelo (objetos gráficos com significado hidráulico). O segundo modo de edição é o modo para editar os dados dos atributos dos objetos gráficos. Neste modo podem atribuir-se propriedades aos objetos da

esquematisação. Por exemplo, uma bomba deve ter definida uma capacidade de bombagem e a definição dos níveis de entrada em funcionamento (Deltares, 2014).

O modelo da rede de drenagem do ribeiro de Aldoar será construído com base em informação processada no QGIS.

Em primeiro lugar será inserida a informação relativa ao mapa de fundo da janela principal do editor NETTER. Deve começar-se por eliminar as camadas que aparecem por defeito. Para tal, deverá clicar-se sobre a palavra “Map” da legenda à esquerda que dará acesso à janela de configuração das camadas que farão parte do mapa de fundo (figura 30).

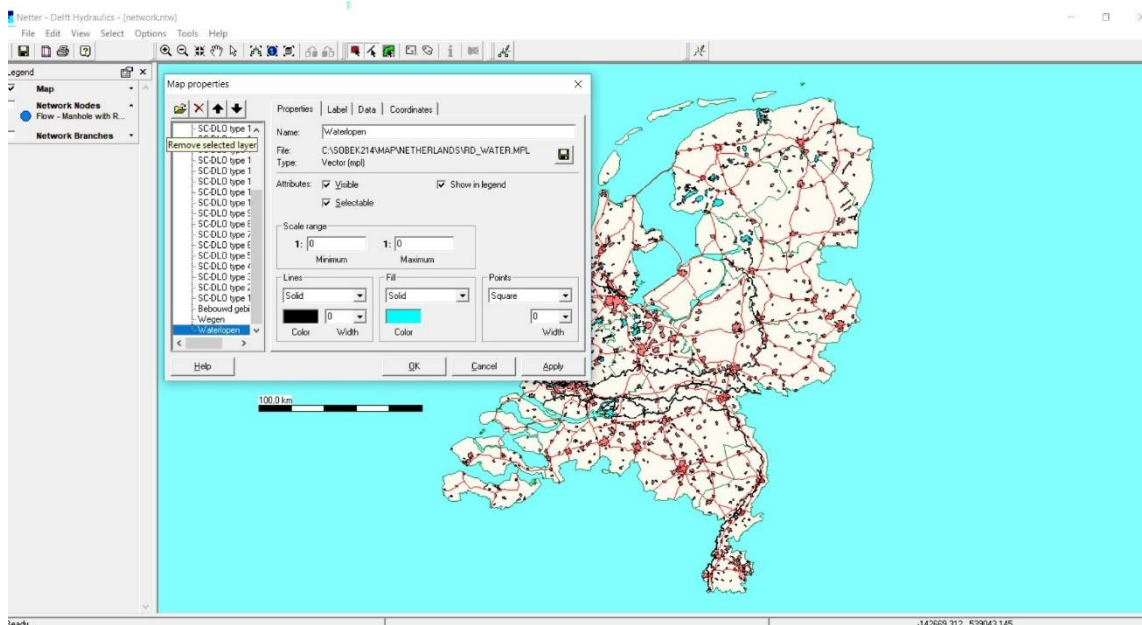


Figura 30 – Janela “Schematisation” com editor de camadas do mapa de fundo, programa Sobek

A inserção de novos temas será realizada conforme se apresenta na figura 31, carregando no canto superior esquerdo no ícone da pasta, abrindo-se uma janela para procurar os temas que se pretendem carregar. Neste caso seleccionaram-se os temas “camaras_ribeira” e “Ribeira”.

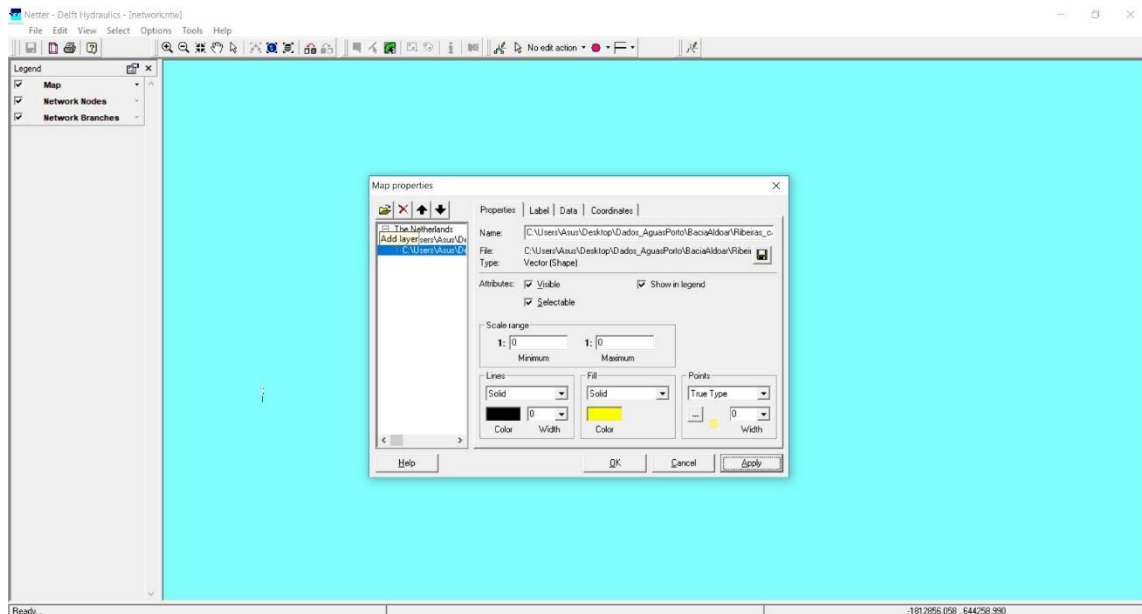



Figura 31 – Janela “Schematisation”, adição de temas para o mapa de fundo, Programa Sobek

Poderá acontecer que os temas inseridos não se encontrem visíveis, podendo este problema estar relacionado com as coordenadas que poderão ser distintas da área visível na janela. Para visualizar os temas inseridos pode recorrer-se ao botão  que se encontra na barra superior. O aspeto será o que se representa na figura 32.

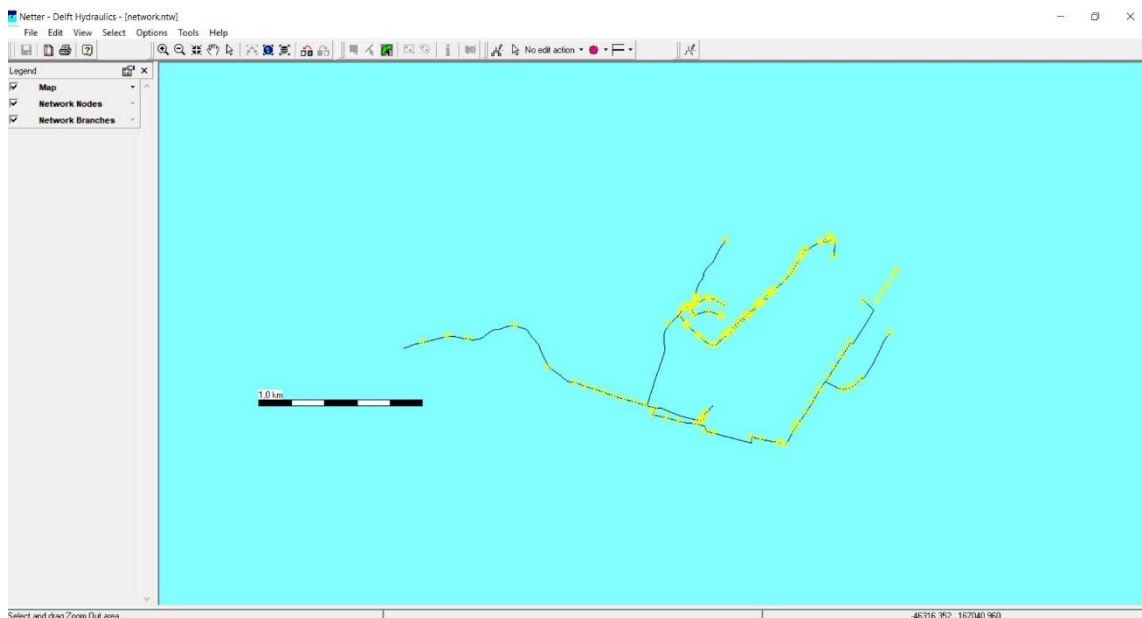





Figura 32 – Janela “Schematisation” inserção de temas no mapa de fundo, programa Sobek


Antes de avançar com a construção da topologia do modelo com base na importação das câmaras de visita, apresentam-se todos as ferramentas de edição disponíveis no programa NETTER.


No menu aparecem os seguintes comandos:


O botão  permite que fazer zoom em qualquer parte da janela principal ativa.


O botão  permite reduzir o zoom diminuindo a parte exibida da janela principal ativa.

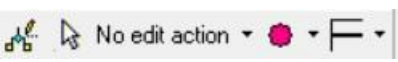
O botão  permite efetuar translações clicando no rato em qualquer localização da janela NETTER e arrastando a vista para outra posição.

O botão  redesenha a vista ajustando todos os objetos de esquemas no NETTER, ou seja, ajusta a janela de forma a mostrar toda a topologia do modelo.

O botão  permite colocar o rato em modo de seleção de elementos já inseridos.


O botão  permite seleccionar todos os elementos do trabalho de uma só vez, que se situem no interior da área retangular desenhada.


O botão  permite ativar o editor, no qual se encontram todos os elementos necessários para a construção do modelo. Logo a seguir aparecerá ao lado desse botão os seguintes


ícones  .

O primeiro que aparece “No edit action” será abordado mais adiante por estar relacionado com o desenho dos elementos no NETTER.

O botão seguinte dá acesso à lista de todos os elementos (do tipo nó) como se pode observar na figura 33. Para o presente trabalho utilizaram-se os seguintes:

O nó  1, Flow - Manhole representa uma caixa de visita simples. Estas caixas de visita podem ser interligadas por vários coletores (“Flow-Pipes”). O programa calcula os níveis do escoamento nestas localizações (“Manholes”) e os caudais nos coletores (“Flow-pipes”).

O nó  3, Flow - Manhole with Runoff é idêntico ao Flow – Manhole, mas com uma opção extra que permite associar uma área de escoamento à caixa de visita, sendo calculado o respetivo caudal por um modelo simples de precipitação/escoamento.

O nó  14, Flow - Boundary é um nó de fronteira que permite definir as condições de escoamento nas extremidades em que estas são conhecidas.

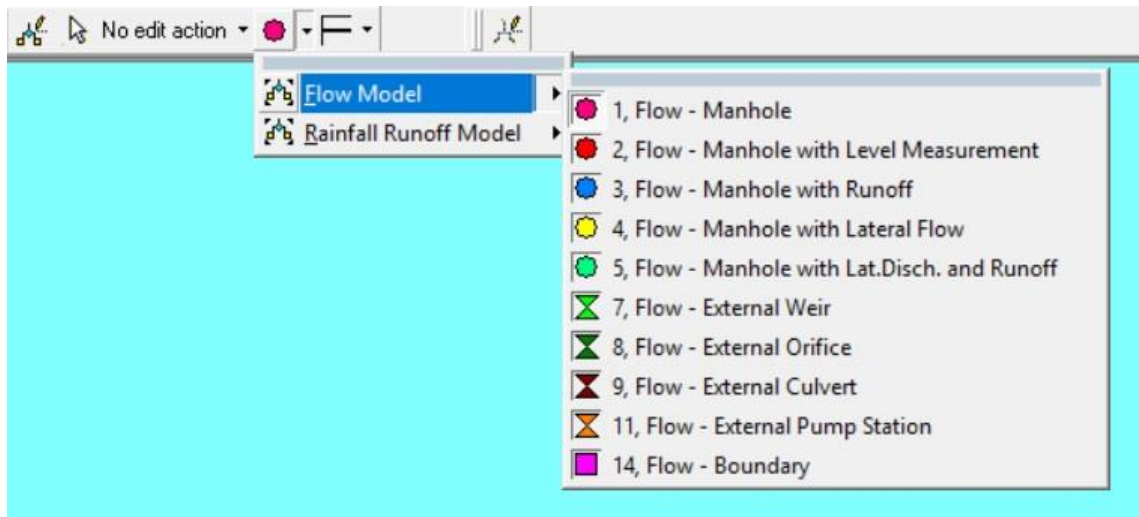




Figura 33 – Janela “Schematisation” no menu de edição mostrando os tipos de nós disponíveis, programa Sobek

O terceiro botão da edição permite definir os coletores entre caixas de visita. São elementos de ligação dos nós descritos anteriormente, como mostra na figura 34. Os tipos de coletores utilizados neste trabalho são:

O  4, Flow - Pipe e o  5, Flow - Pipe with Runoff permitem simular os coletores, tendo associados um comprimento, uma seção transversal e uma resistência que deverá ser idêntica à das condutas existentes no local em estudo. No segundo considera-se que existe um caudal de entrada contínuo ao longo do comprimento da conduta e que é estimado a partir dos dados de precipitação, através de um modelo simples de precipitação/escoamento.

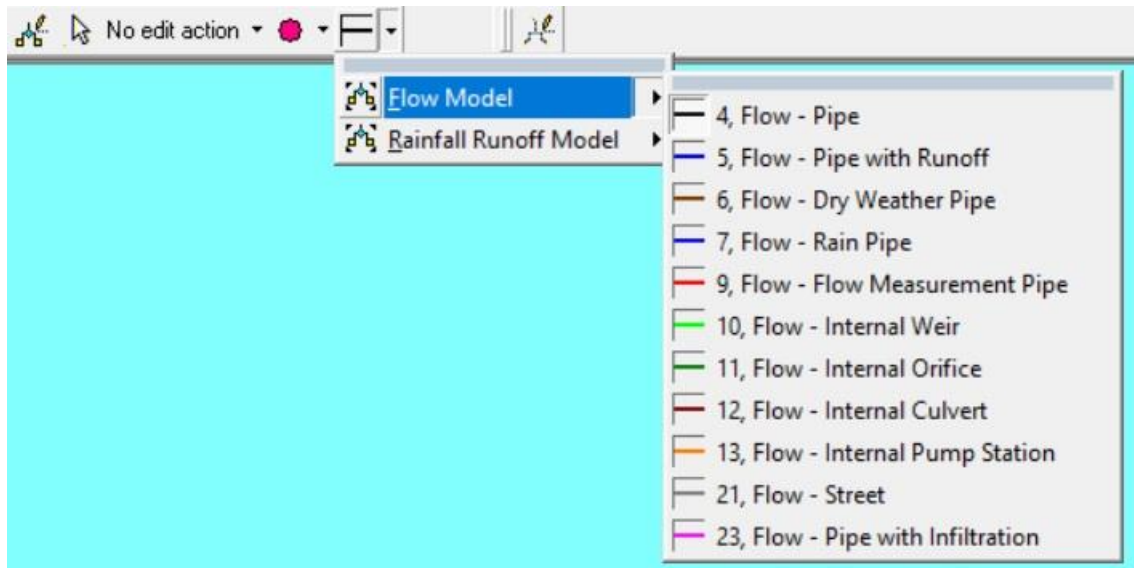


Figura 34 – Janela “Schematisation” no menu de edição mostrando os tipos de coletores disponíveis, programa Sobek

Para a construção da rede de drenagem optou-se por importar as caixas de visita. Como se apresenta na figura 35, seleciona-se no menu “file” a opção “import”. A janela acedida permite procurar o ficheiro com informação das caixas de visita, “Ribeiras_camaras.shp”.

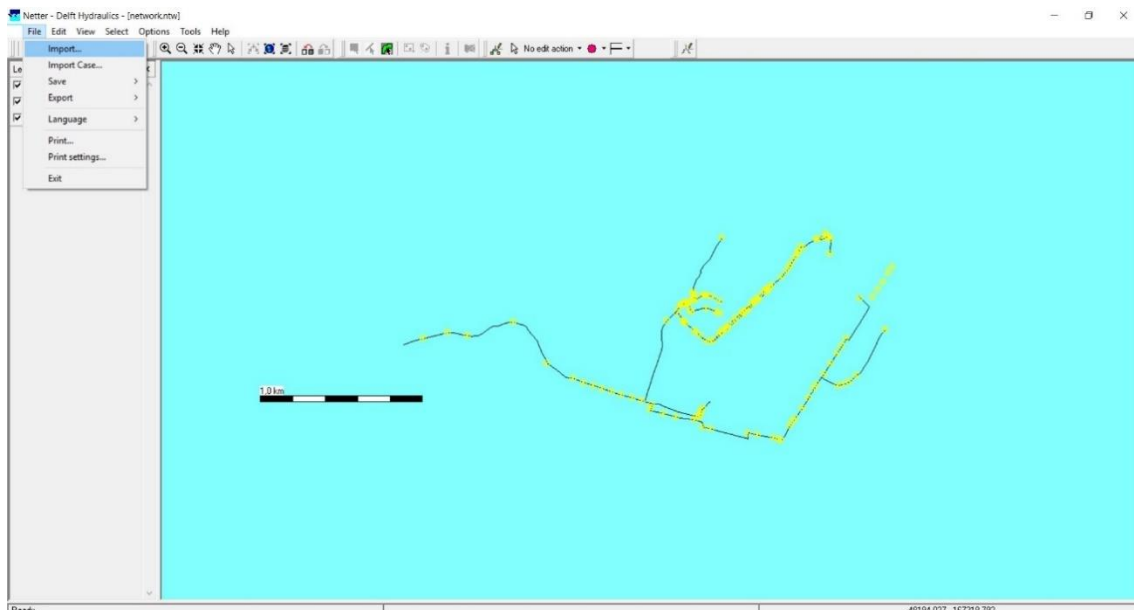


Figura 35 – Janela “Schematisation” mostrando como importar um ficheiro para construção da rede, programa Sobek

Após a seleção do ficheiro, fica disponível uma janela, como se observa na figura 36, na qual em “use as” se opta por “Add locations”. Outra alternativa seria importar as câmaras de visita e automaticamente gerar as ligações entre caixas com a opção “Network”.

Atendendo à qualidade do cadastro da rede resolveu-se usar apenas as câmaras e posteriormente criar de forma manual as ligações entre caixas.

Na informação relativa a “attributes” modificou-se o “ID” e “Name” para “OBJECTID”, campo que se encontra no cadastro da rede.

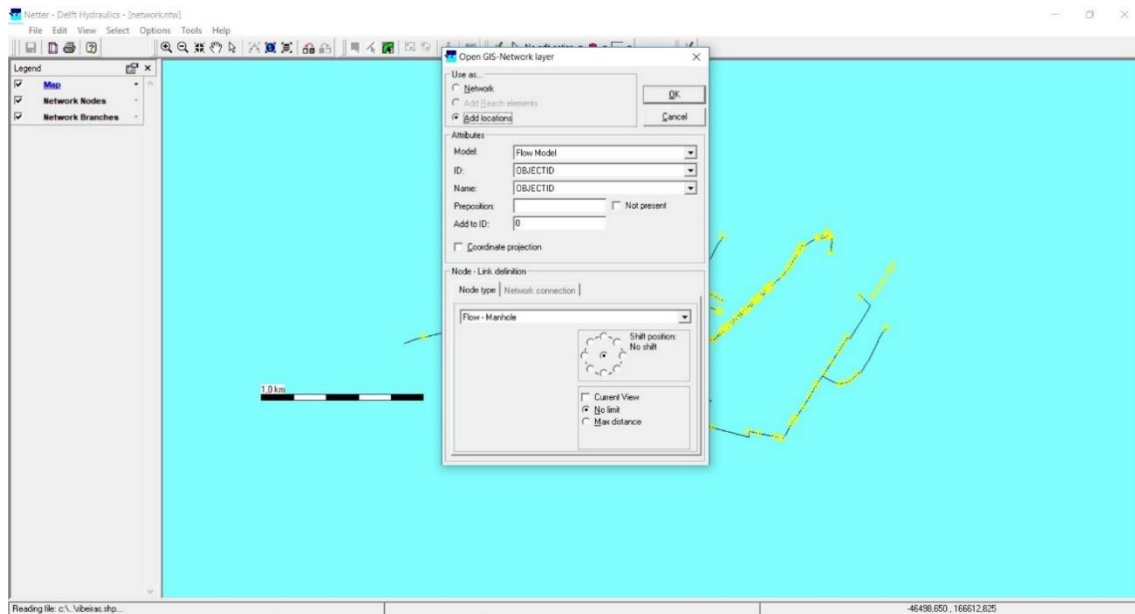


Figura 36 – Janela de edição após importação de um ficheiro, programa Sobek

Por fim, clicando em “ok” aparecem então as câmaras do modelo, como se apresenta na figura 37.

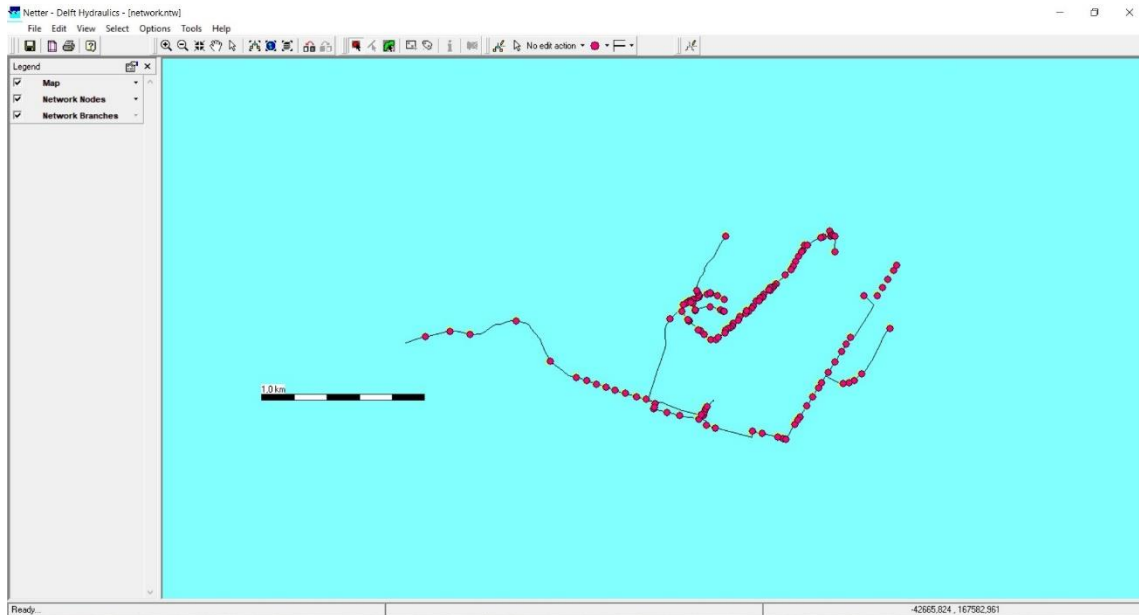



Figura 37 – Janela “Schematisation” mostrando os elementos importados do cadastro, programa Sobek

Como um dos objetivos do presente trabalho é a construção de um modelo que permita simular o escoamento na rede e, em simultâneo simular a geração do escoamento através de um modelo hidrológico, analisaram-se três formas diferentes de o fazer:

- Usar o “flow-manhole com runoff” e o “flow-pipe”;
- Usar o “flow-manhole” e o “flow-pipe com runoff”;
- Usar o “flow-manhole com runoff” e o “flow-pipe com runoff”.

Todas as metodologias permitem obter resultados idênticos, tendo-se optado por usar o “flow-manhole com runoff” (câmaras de visita) e o “flow-pipe” (coletores) para a construção do modelo.

Assim, torna-se necessário alterar o tipo de câmara de visita que resultou da importação. Para transformar em “flow-manhole with runoff”, primeiro tem que ser selecionado, no menu de edição, o nó pretendido, como foi mostrado na figura 33.

Em seguida deverão ser selecionadas todas as caixas de vista, através do botão de selecção de conjuntos de elementos em áreas. Clica-se em  e altera-se “No edit action”, para “Node” e “node type”, como se pode observar na figura 38. O resultado final da alteração efetuada é apresentado na figura 39.

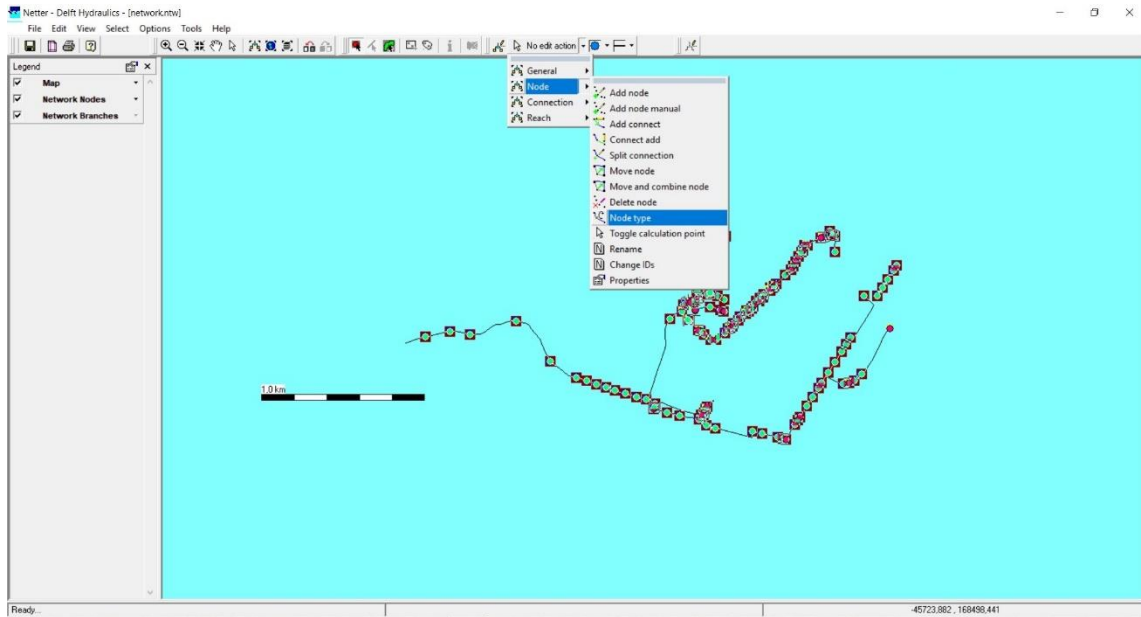


Figura 38 – Janela “Schematisation” do menu de edição para alteração do tipo de nó, programa Sobek

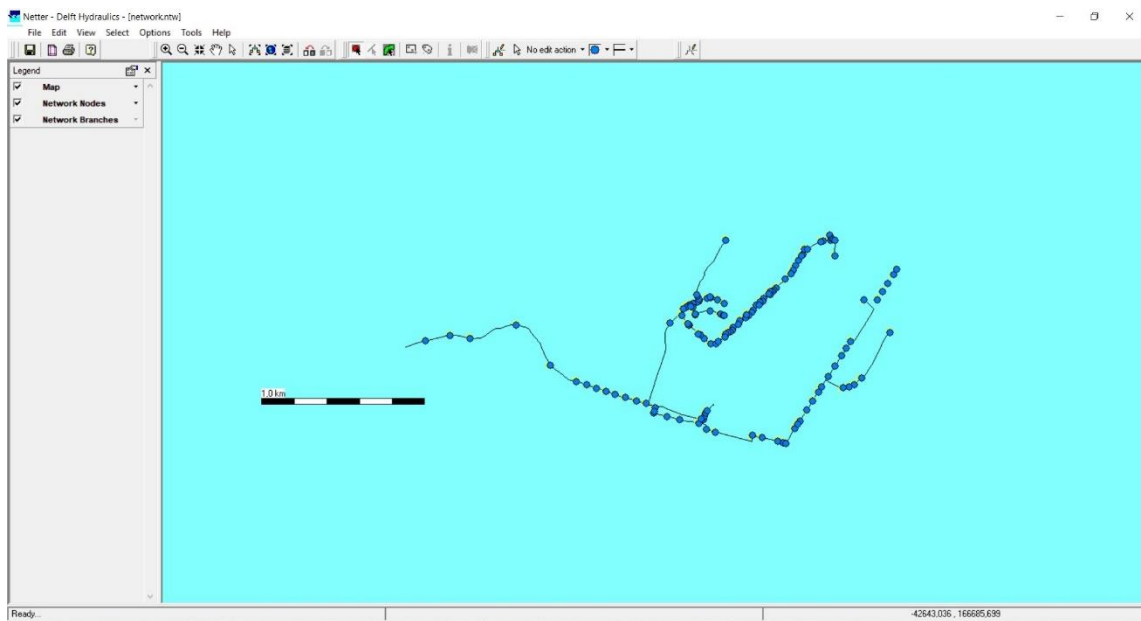


Figura 39 – Janela “Schematisation” mostrando o novo tipo de nó após alteração, programa Sobek

Na segunda etapa procedeu-se à edição manual da rede importada para completar os elementos em falta. Foi utilizado o mapa de fundo o que facilita a identificação das câmaras de visita omissas no cadastro (capítulo 3).

No menu “edit”, como apresentado na figura 40, devemos alterar “no edit action” para “node” - “add node”. O nó a adicionar deverá estar previamente selecionado no menu respetivo (“flow-manhole com runoff”).

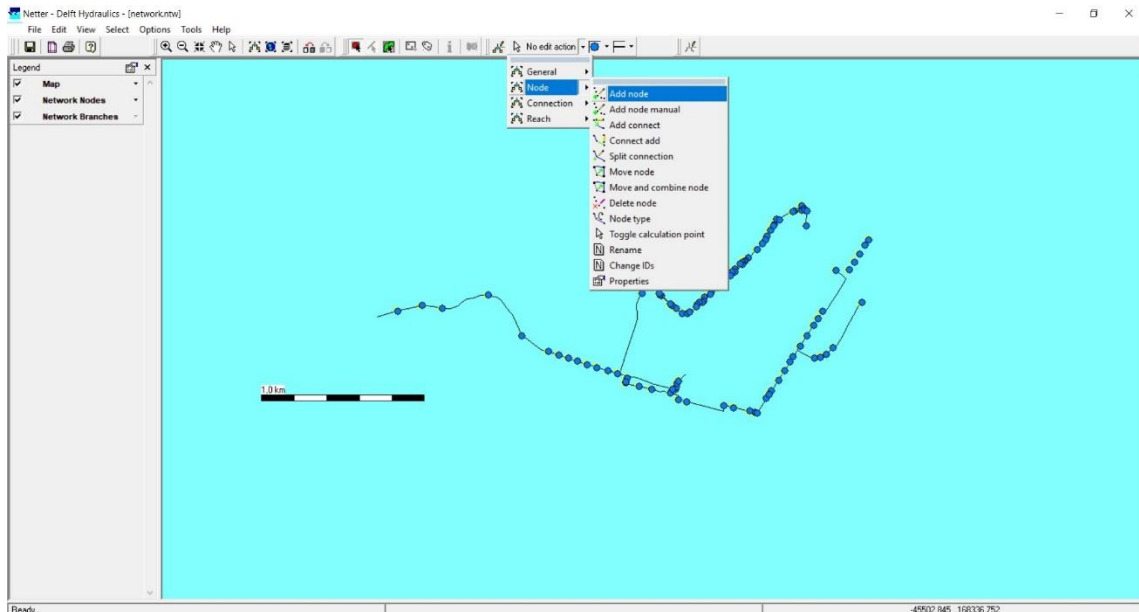


Figura 40 – Janela “Schematisation” no menu de edição, adição de nó, programa Sobek

Após clicar em adicionar nó, o cursor mudará para a forma de uma caneta, permitindo adicionar um nó de cada vez. Na figura 41, mostra-se um exemplo de acréscimo de dois nós em falta entre os nós 65 e 16, em locais de mudanças de direção. Para os criar basta colocar o cursor sobre o local onde se pretendem inserir e clicar no botão esquerdo do rato.



Figura 41 – Exemplo de adição de nó na janela de “Schematisation”, programa Sobek

Caso se pretenda alterar o ID do nó inserido ou outros atributos deverá seguir-se o procedimento apresentado na figura 42: clicar em “node” e “properties” seguido de seleção do nó que se pretende alterar.

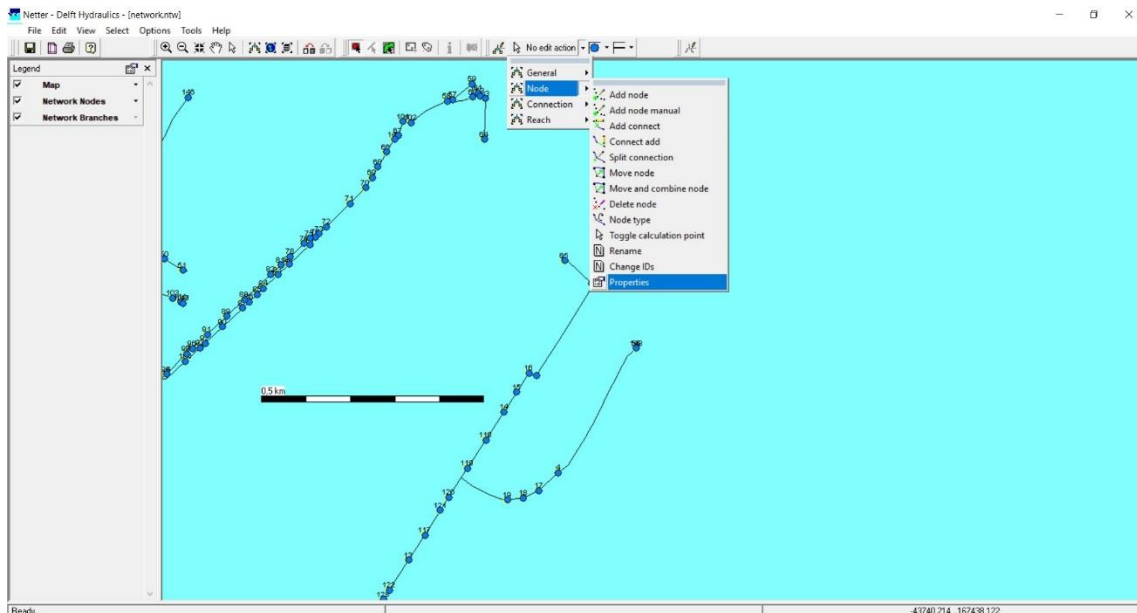


Figura 42 – Edição das propriedades dos nós na janela de “Schematisation”, programa Sobek

Essa alteração é realizada na janela que se mostra na figura 43, permitindo alterar o ID, o nome e no outro separador ainda permite, se for necessário, alterar as suas coordenadas. Neste trabalho foram alterados os ID para um número sequencial a partir do 149.

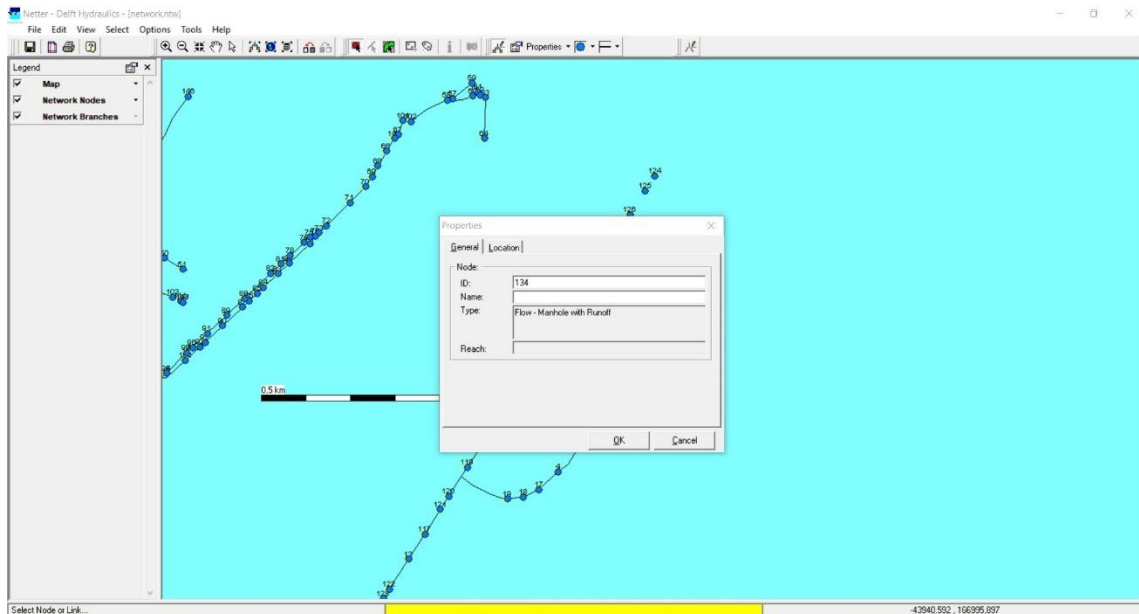


Figura 43 – Janela de propriedades dos nós, programa Sobek

Foram acrescentados 42 novos nós com as características apresentadas no anexo I e visíveis na figura 44 juntamente com os nós importados.

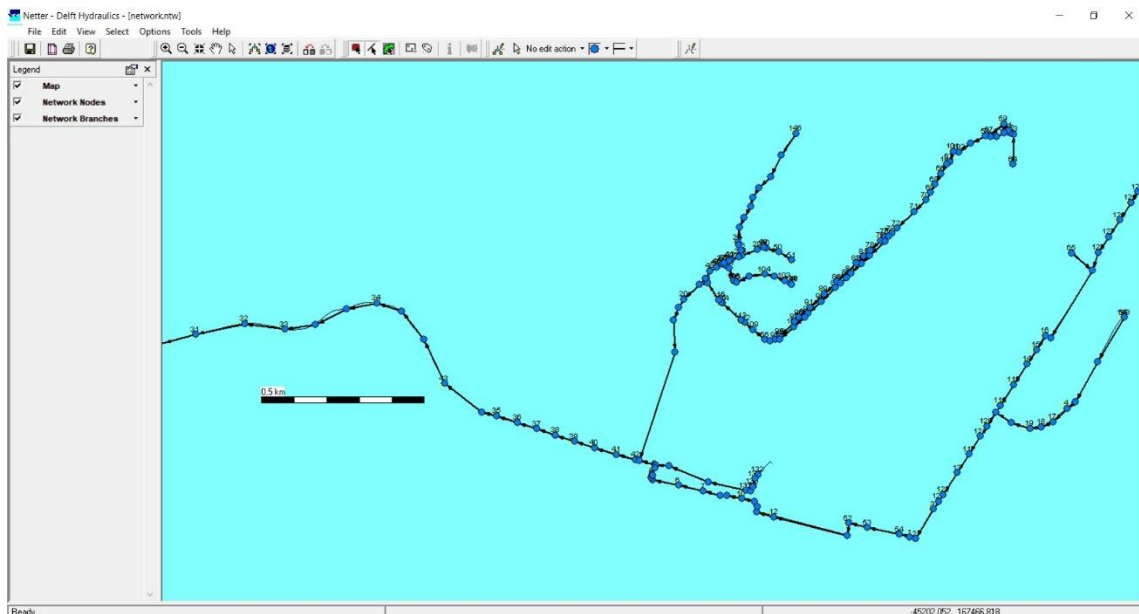


Figura 44 – Visualização de todos os nós na janela Schematisation, programa Sobek

Segue-se a inserção das características de cada uma das câmaras de visita. É necessário preencher vários dados que têm que ser inseridos de forma manual. Assim, podem ser utilizados dois métodos distintos.

Um dos métodos consiste em introduzir os dados necessários, um a um, em todas as câmaras. Desta forma, temos que seleccionar a câmara, de seguida clicar no botão direito do rato, em “model data” e “flow model”, como se pode observar na figura 45.

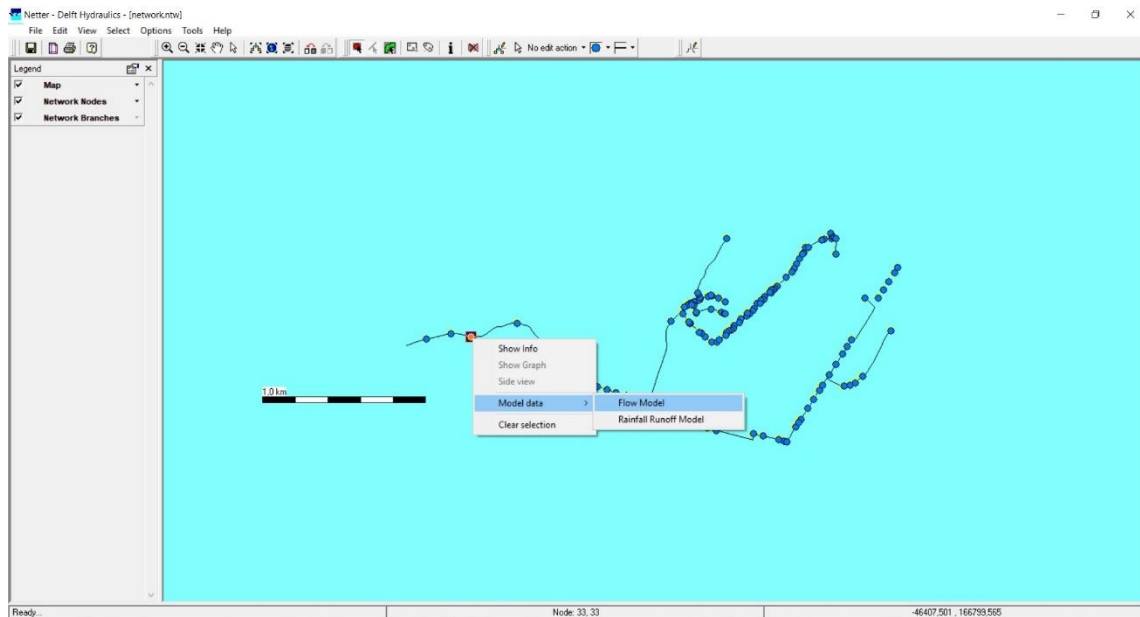


Figura 45 – Método de introdução de dados nos nós na janela “Schematisation”, programa Sobek

Este procedimento dá acesso a uma janela representada na figura 46, onde se terá que preencher os elementos do “storage”. Na parte de “storage reservoir” temos o “bottom level” que é a cota de fundo da caixa e em “storage área” deverá ser atribuída a área da sua secção transversal. Este último valor poderá ser variável em altura.

Em “water on street” deverá ser definido o “street level” que corresponde à cota da tampa (terreno). Terá ainda que ser definido um dos tipos possíveis para a situação da caixa de visita, entre os apresentados na figura 47:

Caso seja escolhido o tipo "Reservoir", haverá uma ligação aberta entre a tampa e a rua, se a rede entrar em carga. Isso significa que se o nível de água na caixa de visita exceder o nível da rua, inundará a "área de armazenamento" que pode ser definida para cada caixa.

Optando-se por uma caixa do tipo "Closed" significa que a tampa garante a estanquidade em caso de entrada da rede em carga. Não haverá interação entre a água na rede e a superfície da rua.

No tipo "loss" se a água atingir a cota de superfície da caixa será escoada para fora da rede. Este tipo de caixa pode ser usado se for necessário ligar a rede de drenagem a um modelo de escoamento superficial 2DH (módulo Overland Flow).

No presente trabalho considerou-se que as tampas serão todas estanques, portanto do tipo "closed". Deste modo, as simulações que impliquem que a rede de drenagem entre em carga, deverão ser interpretadas de modo cuidadoso, uma vez que não se poderá garantir a estanquidade das tampas em todas as situações.

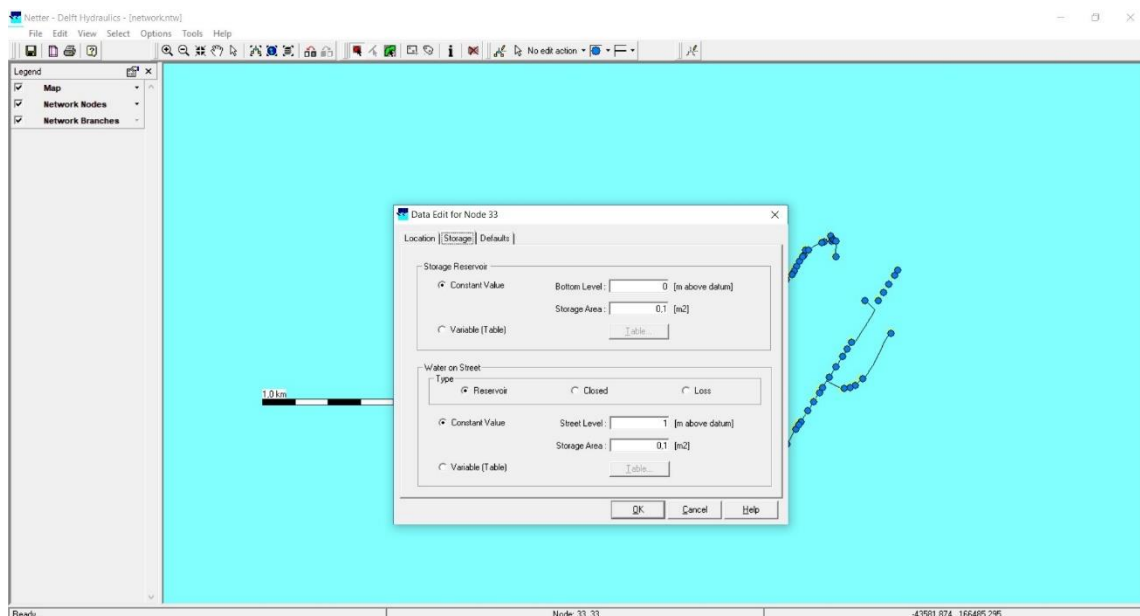


Figura 46 – Janela de edição dos dados das câmaras de visita, programa Sobek

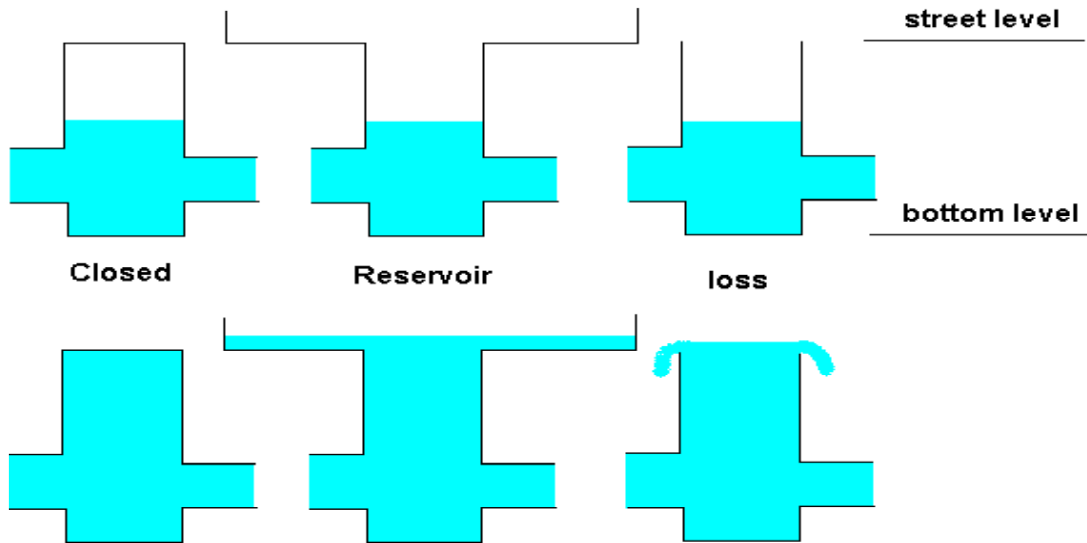


Figura 47 – Tipos de câmaras de visita considerados no programa Sobek

O segundo método, mais rápido e o mais utilizado, consiste em selecionar todas as câmaras de visita, repetir o procedimento representado na figura 45, dando neste caso acesso ao editor de conjuntos de objetos disponível no programa (figura 48).

A vantagem desta metodologia relaciona-se com a possibilidade de trocar informação com o Excel, copiando diretamente a informação necessária de uma só vez para todas as câmaras de visita.

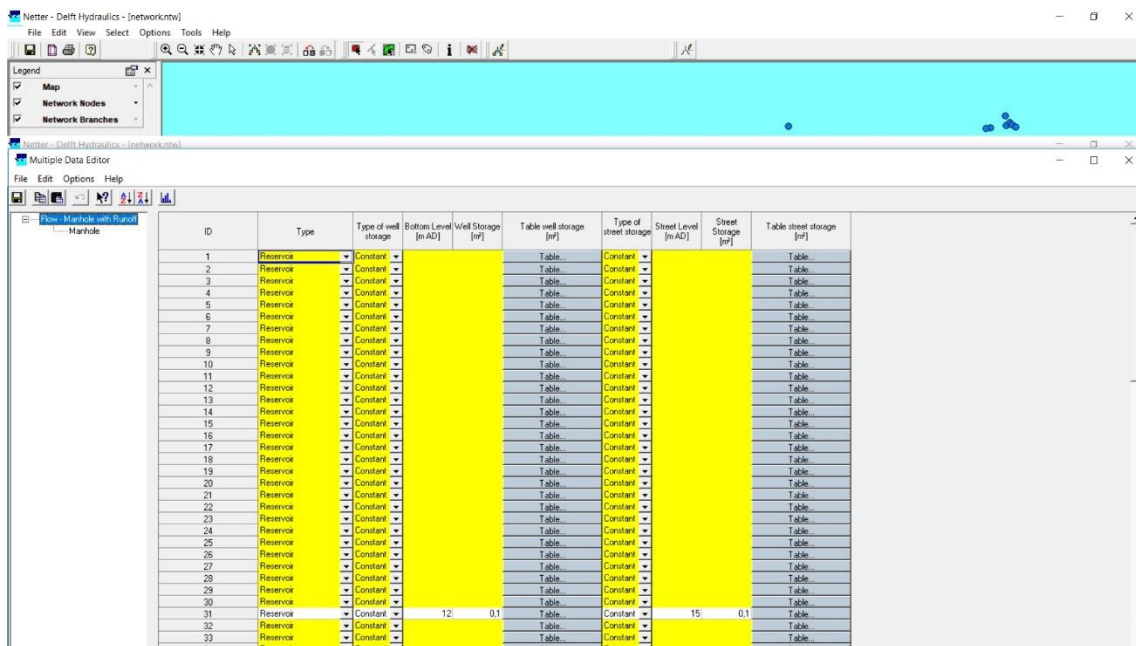


Figura 48 – Janela de edição dos dados de conjuntos de câmaras de visita, programa Sobek

A tabela de dados do cadastro processados no QGIS também pode ser editada no programa Excel. Para este trabalho foram retiradas as cotas de soleira, a cota da tampa, a dimensão e a forma da caixa.

Assim, com os dados necessários organizados num livro Excel, como se apresenta no anexo I e parcialmente na figura 49, é possível preencher os valores das características das câmaras no NETTER.

Contributos para um sistema integrado de modelação hidrológica e da rede de drenagem de uma bacia urbana

Profundida	CotaTampa	FormaTampa	DimensaoSe	Dimensao_1	ID	Bottom Level (m AD)	Well Storage (m ²)	Street Level (m AD)	Street Storage (m ²)
0	0	Circular	0	0	1				
0	0	Circular	0	0	2				
0	45.01	Circular	0	0	3				
0	0	Circular	0	0	4				
0	0	Circular	0	0	5				
0	0	Circular	0	0	6				
0	0	Circular	0	0	7				
0	0	Outro	0	0	8				
0	0	Circular	0	0	9				
0	0	Circular	0	0	10				
0	0	Circular	0	0	11				
0	0	Circular	0	0	12				
0	47.19	Circular	0	0	13				
0	51	Circular	0	0	14				
0	63.41	Circular	0	0	15				
0	64.96	Circular	0	0	16				
0	0	Circular	0	0	17				
0	0	Circular	0	0	18				
0	0	Circular	0	0	19				
6.2	30.38	Circular	600	0	20				
2.9	32.1	Circular	0	0	21				
1.8	0	Circular	500	0	22				
1.95	0	Circular	500	0	23				
2.1	0	Circular	600	0	24				
2.25	0	Circular	600	0	25				
2.55	0	Circular	600	0	26				
1.8	0	Circular	600	0	27				
3.1	0	Circular	600	0	28				

Figura 49 – Folha Excel com dados necessários para preencher a informação relativa às câmaras de visita no programa Sobek

Apresenta-se na figura 50 a janela de preenchimento das características das câmaras de visita depois de copiadas da folha Excel.

Os dados inseridos deverão ser gravados antes de abandonar o editor múltiplo.

ID	Type	Type of well storage	Bottom Level [m AD]	Well Storage [m ²]	Table well storage [m ²]	Type of street storage	Street Level [m AD]	Street Storage [m ²]	Table street storage [m ²]
CAM54	Reservoir	Constant	39.29	0.19	Table	Constant	42.29	0.1	Table
CAM53	Reservoir	Constant	37.62	0.19	Table	Constant	40.47	0.1	Table
CAM52	Reservoir	Constant	36.64	0.26	Table	Constant	38.94	0.1	Table
CAM1	Reservoir	Constant	39.95	0.26	Table	Constant	42.9	0.1	Table
CAM72	Reservoir	Constant	52.46	0.19	Table	Constant	54.73	0.1	Table
CAM73	Reservoir	Constant	51.96	0.26	Table	Constant	54.46	0.1	Table
CAM75	Reservoir	Constant	51.82	0.25	Table	Constant	53.97	0.1	Table
CAM74	Reservoir	Constant	51.76	0.26	Table	Constant	54.01	0.1	Table
CAM111	Reservoir	Constant	43.1	0.25	Table	Constant	44.93	0.1	Table
CAM103	Reservoir	Constant	42.37	0.19	Table	Constant	44.17	0.1	Table
CAM2	Reservoir	Constant	40.15	0.26	Table	Constant	43.22	0.1	Table
CAM149	Reservoir	Constant	11.17	0.19	Table	Constant	17.16	0.1	Table
CAM34	Reservoir	Constant	9.97	0.19	Table	Constant	15.99	0.1	Table
CAM150	Reservoir	Constant	12.63	0.19	Table	Constant	18.83	0.1	Table
CAM43	Reservoir	Constant	15.03	0.19	Table	Constant	20.75	0.1	Table
CAM152	Reservoir	Constant	8.54	0.19	Table	Constant	14.57	0.1	Table
CAM151	Reservoir	Constant	6.84	0.19	Table	Constant	12.96	0.1	Table
CAM53	Reservoir	Constant	5.35	0.19	Table	Constant	11.53	0.1	Table
CAM32	Reservoir	Constant	3.4	0.19	Table	Constant	9.67	0.1	Table
CAM31	Reservoir	Constant	0.98	0.19	Table	Constant	3.78	0.1	Table
CAM35	Reservoir	Constant	15.73	0.19	Table	Constant	21.74	0.1	Table
CAM153	Reservoir	Constant	15.56	0.19	Table	Constant	21.16	0.1	Table
CAM36	Reservoir	Constant	16.12	0.19	Table	Constant	22.44	0.1	Table
CAM37	Reservoir	Constant	16.49	0.19	Table	Constant	23.19	0.1	Table
CAM38	Reservoir	Constant	17.04	0.19	Table	Constant	23.91	0.1	Table
CAM39	Reservoir	Constant	17.43	0.19	Table	Constant	24.65	0.1	Table
CAM40	Reservoir	Constant	17.88	0.19	Table	Constant	25.42	0.1	Table
CAM41	Reservoir	Constant	18.7	0.19	Table	Constant	26.26	0.1	Table
CAM42	Reservoir	Constant	19.75	0.19	Table	Constant	27	0.1	Table
CAM154	Reservoir	Constant	19.95	0.26	Table	Constant	27.23	0.1	Table
CAM195	Reservoir	Constant	20.12	0.26	Table	Constant	28.03	0.1	Table
CAM5	Reservoir	Constant	20.82	0.26	Table	Constant	28.24	0.1	Table
CAM156	Reservoir	Constant	21.25	0.19	Table	Constant	28.84	0.1	Table
CAM157	Reservoir	Constant	24.78	0.19	Table	Constant	29.19	0.1	Table
CAM133	Reservoir	Constant	28	0.25	Table	Constant	29.7	0.1	Table
CAM129	Reservoir	Constant	28.05	0.26	Table	Constant	30.02	0.1	Table
CAM132	Reservoir	Constant	29.13	0.26	Table	Constant	31.13	0.1	Table
CAM131	Reservoir	Constant	28.9	0.26	Table	Constant	30.6	0.1	Table
CAM130	Reservoir	Constant	28.15	0.26	Table	Constant	29.89	0.1	Table
CAM184	Reservoir	Constant	35.47	0.19	Table	Constant	38.09	0.1	Table

Figura 50 – Janela de edição de conjuntos de câmaras de visita após preenchimento, programa Sobek

Terminada a tarefa de inserção dos dados das câmaras de visita, prossegue-se com a adição dos coletores de ligação entre câmaras.

Para inserir coletores recorre-se ao menu “edit”. Em primeiro lugar deve-se confirmar se está selecionado o elemento de ligação pretendido, ou seja, o “flow-pipe”, como apresentado na figura 51.

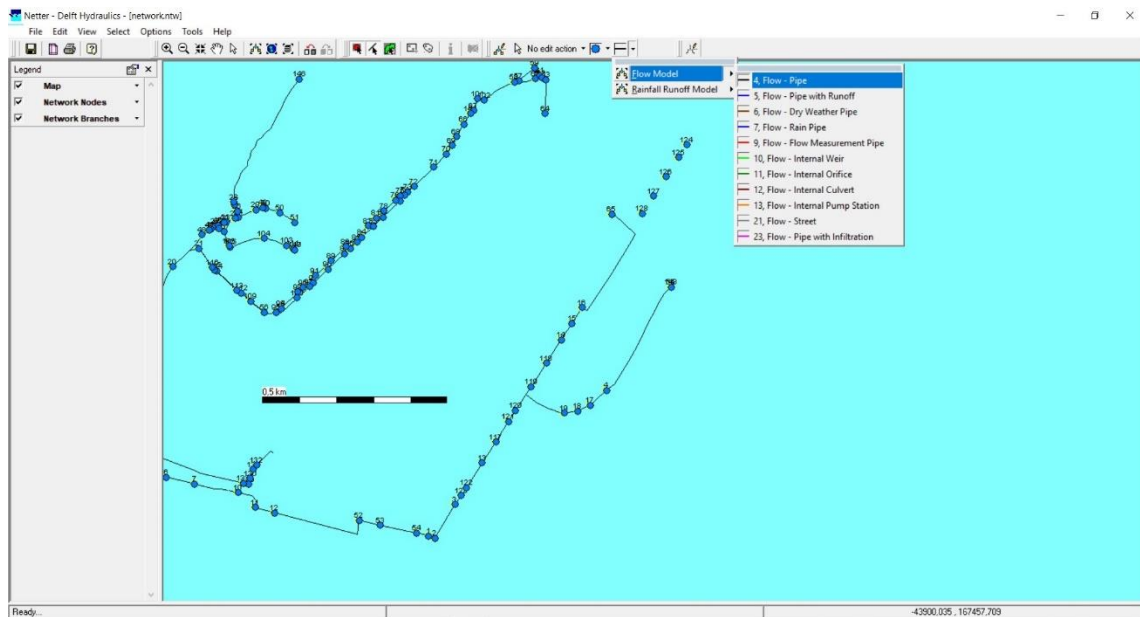


Figura 51 – Janela “Schematisation” menu de edição com seleção do tipo de coletor, programa Sobek

Após a seleção, deverá alterar-se “no edit action” para “connection” e “connection nodes”, como mostra a figura 52.

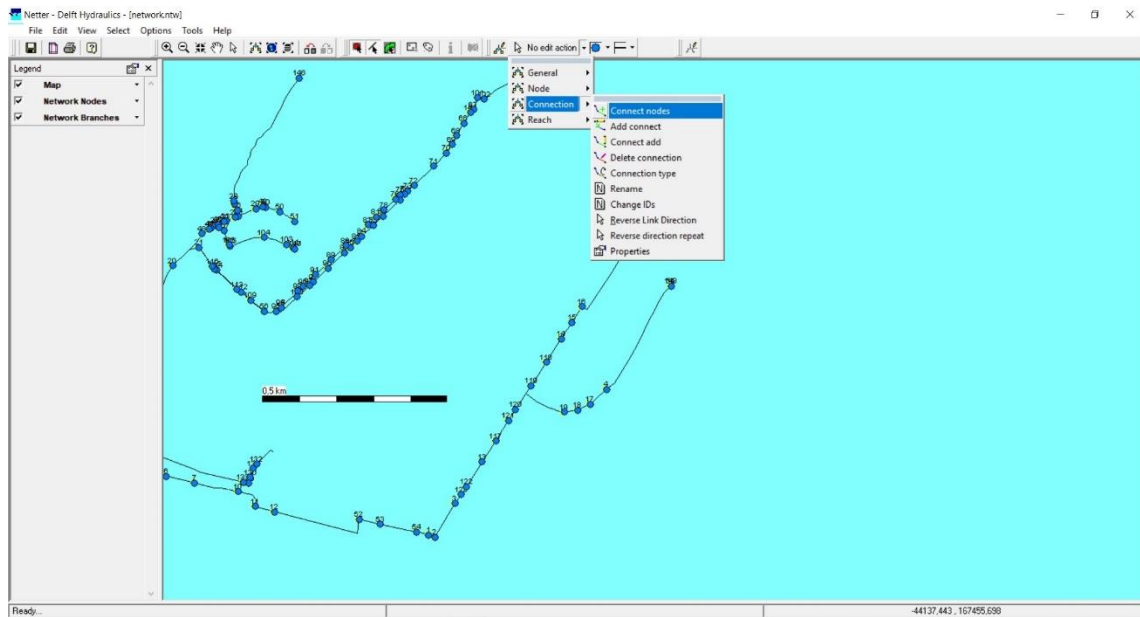


Figura 52 – Janela “Schematisation” no menu de edição para inserção de coletores, programa Sobek

Caso se pretenda que o escoamento seja considerado positivo no sentido das cotas descendentes, o coletor deverá ser inserido entre a câmara de montante e a câmara de jusante. O sentido positivo é identificado na extremidade do coletor, como se vê no exemplo da figura 53.



Figura 53 – Exemplo de inserção de coletor e identificação do sentido positivo, programa Sobek

Estendendo o mesmo procedimento a toda a rede, a sua configuração final é apresentada na figura 54.

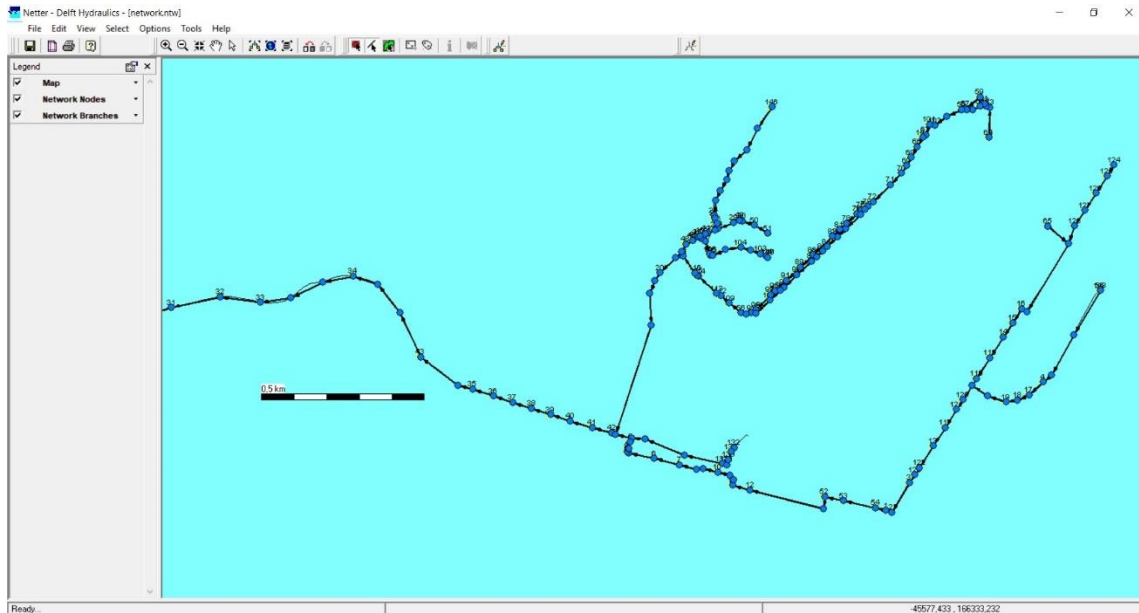


Figura 54 – Janela “Schematisation”, mostrando a totalidade dos coletores inseridos, programa Sobek

No caso dos coletores optou-se por definir as respetivas características trecho a trecho, como se verá adiante. Mas neste caso também se podia preencher como foi feito nas câmaras, selecionando-se todos os trechos.

Como ilustrado na figura 55, a edição da informação de um coletor fica acessível selecionando um trecho e clicando em seguida no botão direito do rato, acedendo-se a “model data” e “flow model”.

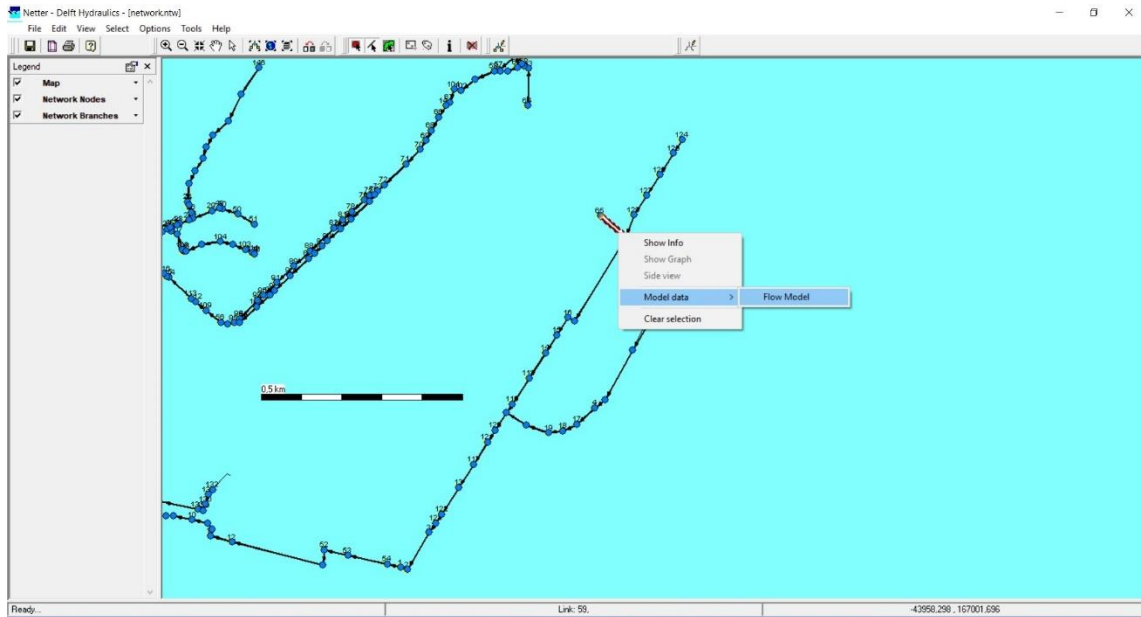


Figura 55 – Método de introdução de dados dos coletores na janela “Schematisation”, programa Sobek

Na janela que aparece na figura 56, define-se a “cross section”, ou seja, a secção do coletor. Em “type” definimos o tipo de secção que neste exemplo é retangular. O programa apresenta um conjunto de secções por defeito. Caso não exista a secção para o coletor em edição, poder-se-á inserir uma nova secção em “define dimensions”.

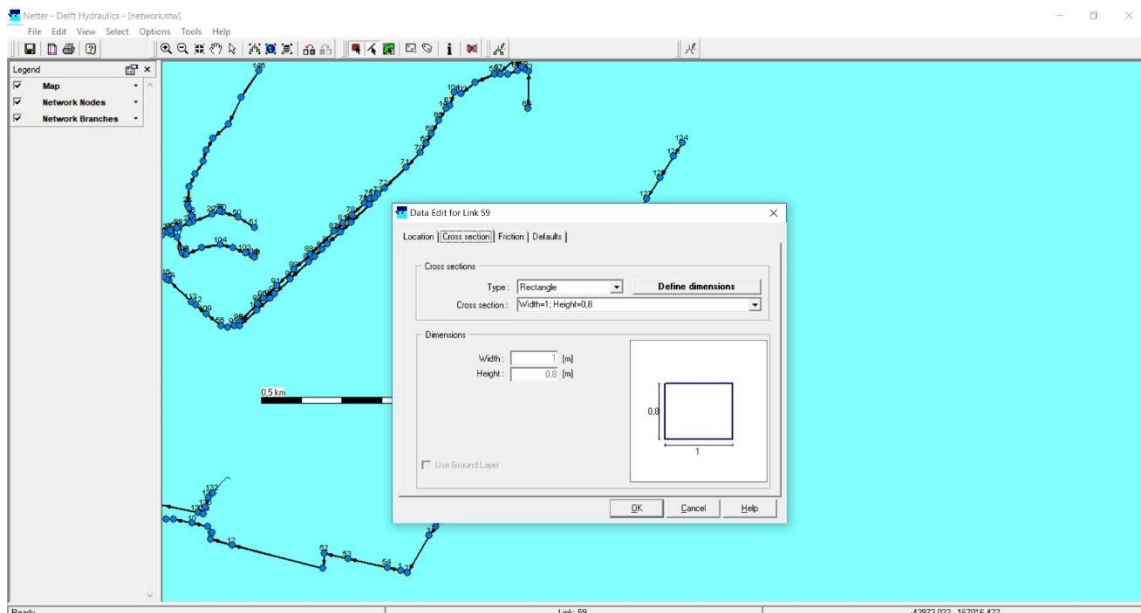


Figura 56 – Janela de edição dos dados inerentes aos coletores com definição da secção, programa Sobek

Após se definir a secção devemos mudar para o separador “location” e clicar em “get levels” para o programa assumir as cotas das câmaras a montante e jusante e a dimensão do coletor, como se pode visualizar na figura 57.

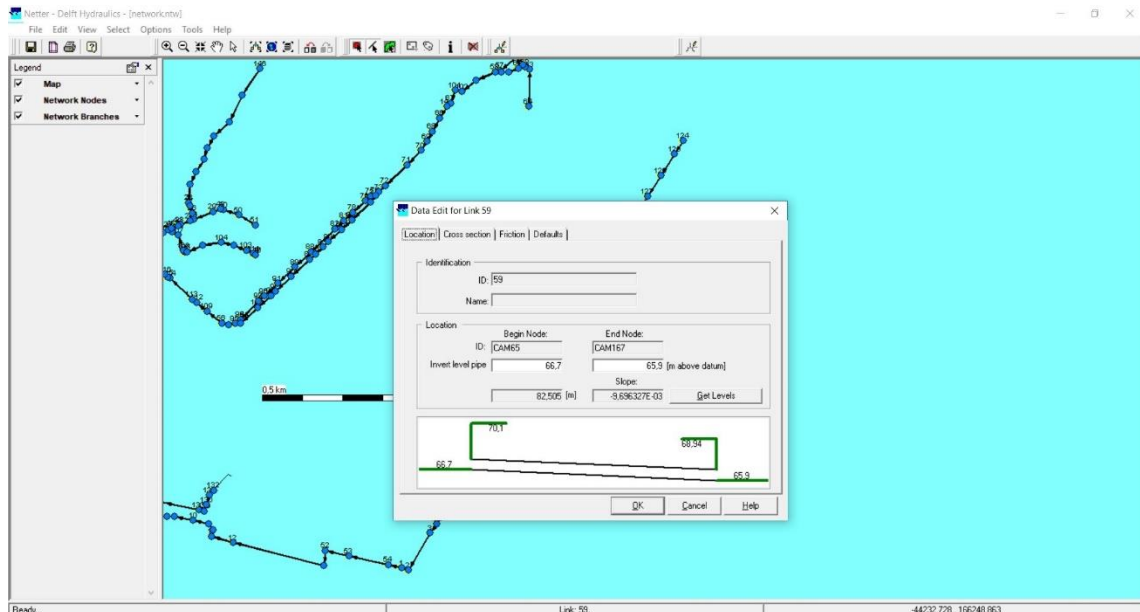


Figura 57 – Janela de edição dos dados inerentes aos coletores, definição das características altimétricas, programa Sobek

Este procedimento foi repetido para todos os coletores, sendo apresentadas as suas características no anexo II.

Como referido anteriormente, optou-se para o presente caso de estudo, por considerar um modelo hidrológico simples para permitir quantificar o escoamento superficial a partir da precipitação.

Esse escoamento será introduzido nas câmaras de visita. Para tal, ter-se-á que definir para todas as câmaras uma área de escoamento, entre outros. Esses dados são definidos num formulário cujo acesso, como ilustrado na figura 58, é realizado após seleccionar um nó e clicar no botão direito do rato em “model data” e “rainfall runoff model”.

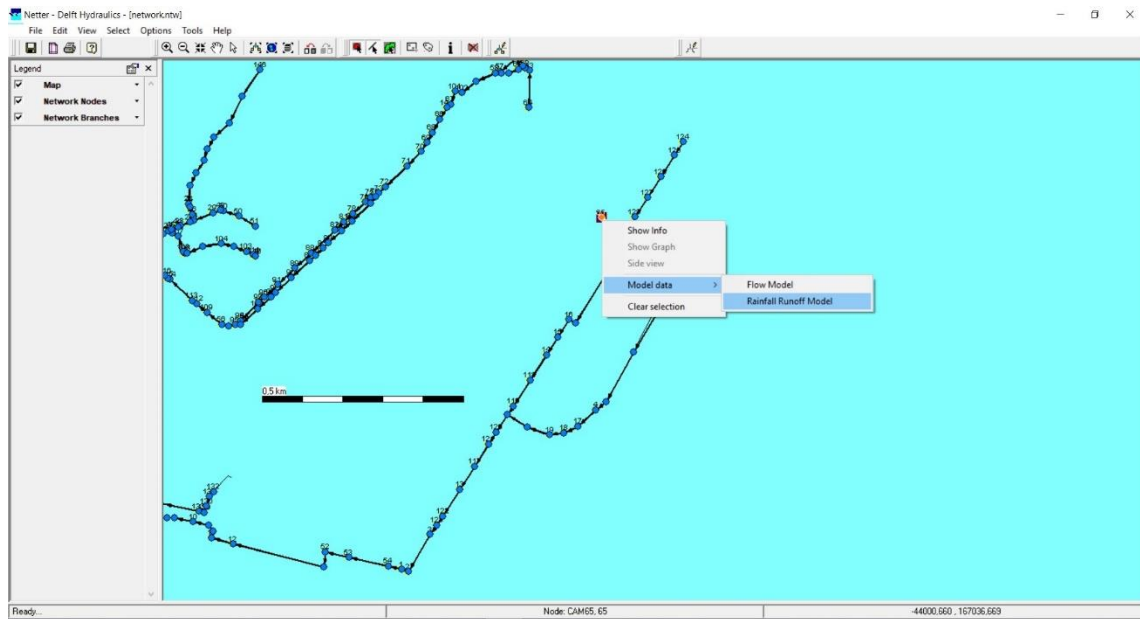


Figura 58 – Método de introdução de dados nos nós relativamente ao modelo precipitação-escoamento, programa Sobek

Ao abrir a janela apresentada na figura 59 deverá seleccionar-se o separador “surface” para se inserir a área em que o escoamento contribui para cada nó do modelo.

Como se pode ver na figura são considerados diferentes tipos de áreas. No caso relativo ao “runoff type” tem-se que escolher o tipo de inclinação da bacia, ou seja, inclinada (“with a slope”), plana (“flat”) e extremamente plana (“stretched flat”).

Por outro lado, tem-se que definir a “área type” entre pavimento impermeável (“closed paved”), pavimentado, mas com alguma infiltração (“open paved”), cobertura (“roof”) e superfície permeável (“unpaved”).

Neste trabalho foi considerada uma simplificação, decidida a partir da visualização do local da rede no Google Earth. decidiu-se que a bacia seria inclinada, considerado que 60% seria impermeável e 40% permeável.

A área total da bacia é de 4003058 m^2 . Esta área foi distribuída uniformemente pelas caixas de visita, uma vez que não estava disponível o modelo digital do terreno que permitiria estimar as áreas das sub-bacias para cada caixa/coletor. Considerou-se assim a afluência a cada caixa do escoamento gerado em bacias com uma área de 23006 m^2 .

Preencheu-se todos os dados necessários como se exemplifica na figura 59.

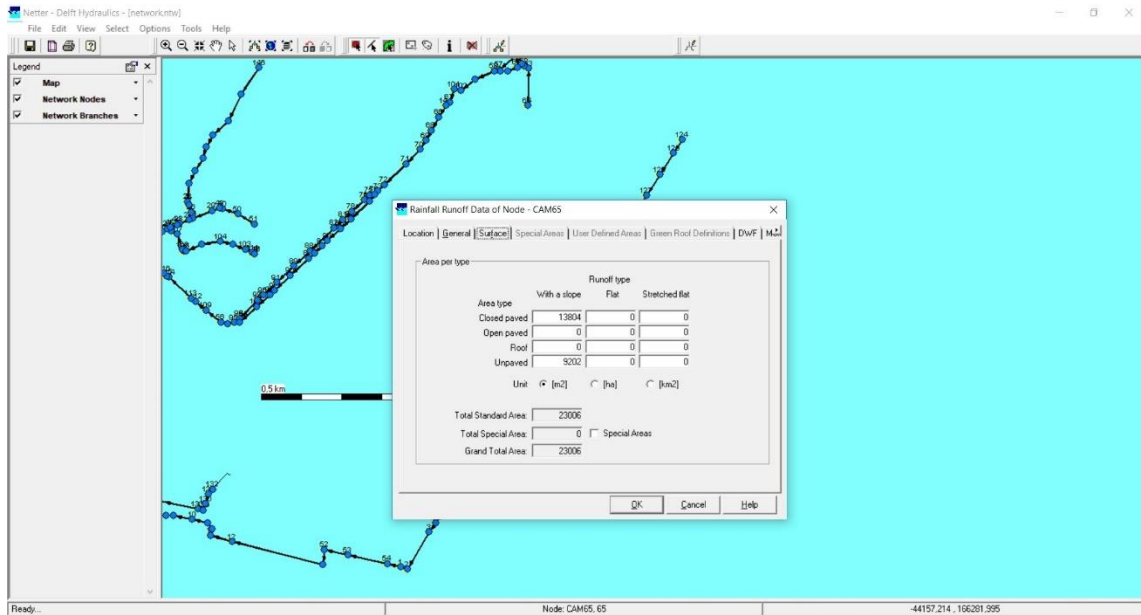


Figura 59 – Janela para o preenchimento dos dados de precipitação-escoamento, programa Sobek

Também neste caso pode recorrer-se ao editor múltiplo, conforme se ilustra na figura 60.

ID	Closed Sloped area [m²]	Closed Flat area [m²]	Closed Stretched area [m²]	Open Sloped area [m²]	Open Flat area [m²]	Open Stretched area [m²]	Rooftop Sloped area [m²]	Rooftop Flat area [m²]	Rooftop Stretched area [m²]	Unpaved Sloped area [m²]	Unpaved Flat area [m²]	Unpaved Stretched area [m²]	Number of people [t]	DWF definition [t]	Metro Station [t]	Area Adjustment Factor [t]	
CAM454	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM453	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM452	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM1	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM72	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM73	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM75	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM74	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM111	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM103	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM2	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM149	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM54	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM150	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM42	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM152	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM151	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM33	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM32	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM31	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM35	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM153	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM36	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM37	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM38	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM39	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM40	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM41	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM42	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM154	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM155	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM5	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM156	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM157	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM133	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM129	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM132	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM131	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM130	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM154	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM12	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1
CAM11	13804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Default (1)	Station	1

Figura 60 – Janela de edição dos dados hidrológicos associados às câmaras de visita, programa Sobek

No presente caso de estudo a rede de drenagem descarrega para o mar. Esta fronteira aberta foi simulada com um nó do tipo “flow-boundary” (figuras 61 e 62).

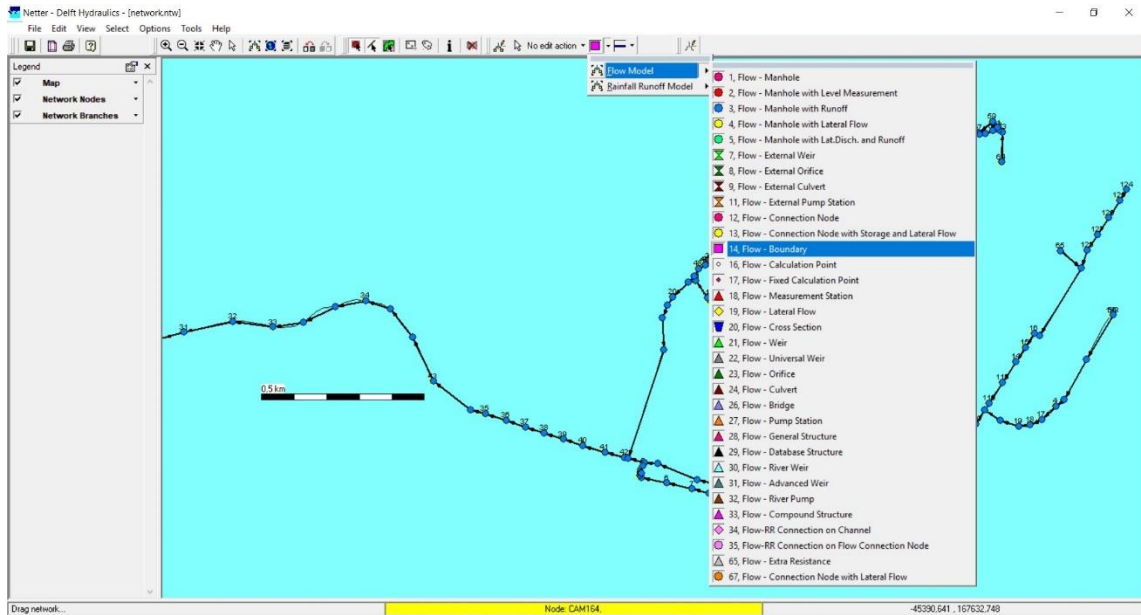


Figura 61 – Janela “Schematisation” no menu de edição, alteração do nó de fronteira, programa Sobek

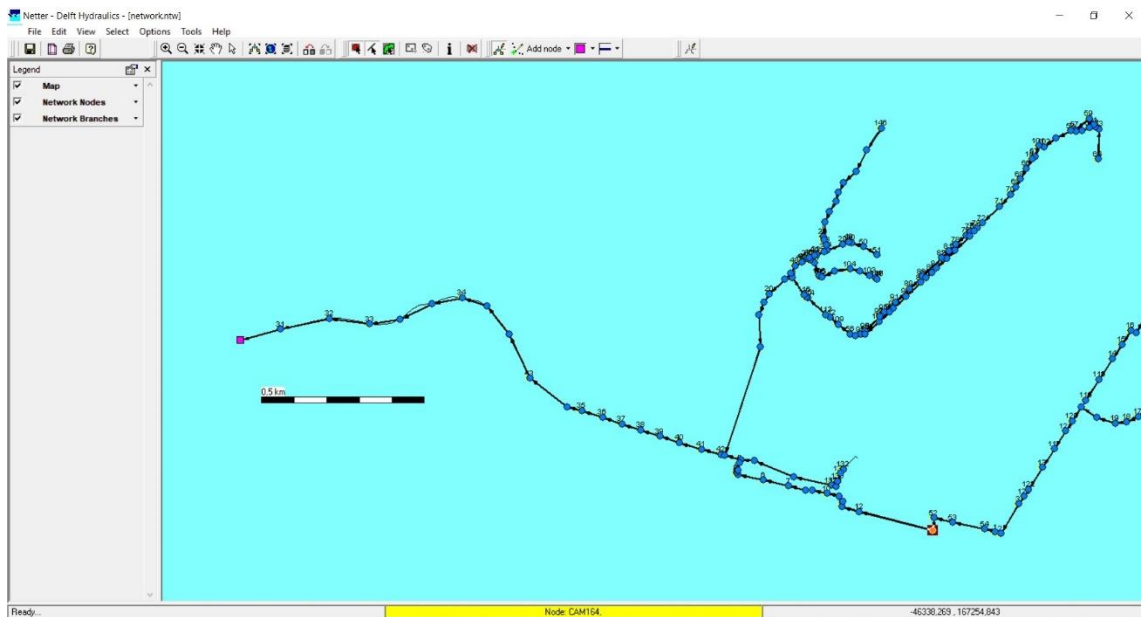


Figura 62 – Janela “Schematisation” vista da rede construída, programa Sobek

Após inserção do nó, deverá ser definida a respetiva informação hidráulica (figura 63). Neste local, o nível do mar irá ser naturalmente variável. Contudo adotou-se um valor constante e igual ao nível médio do mar.

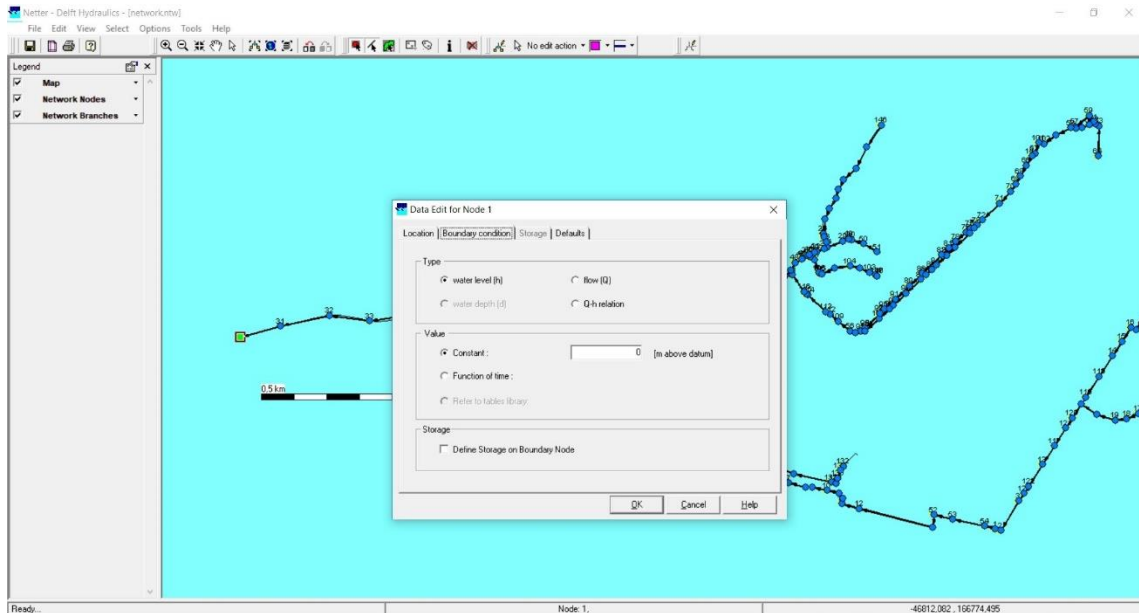


Figura 63 – Janela para o preenchimento dos dados do nó fronteira, Sobek

Completa-se assim a construção do modelo. Ao fechar o NETTER a janela “Schematisation” continuará aberta, por isso deve-se clicar em “ok” para a fechar. Neste momento deve aparecer já a verde como se apresenta na figura 64.

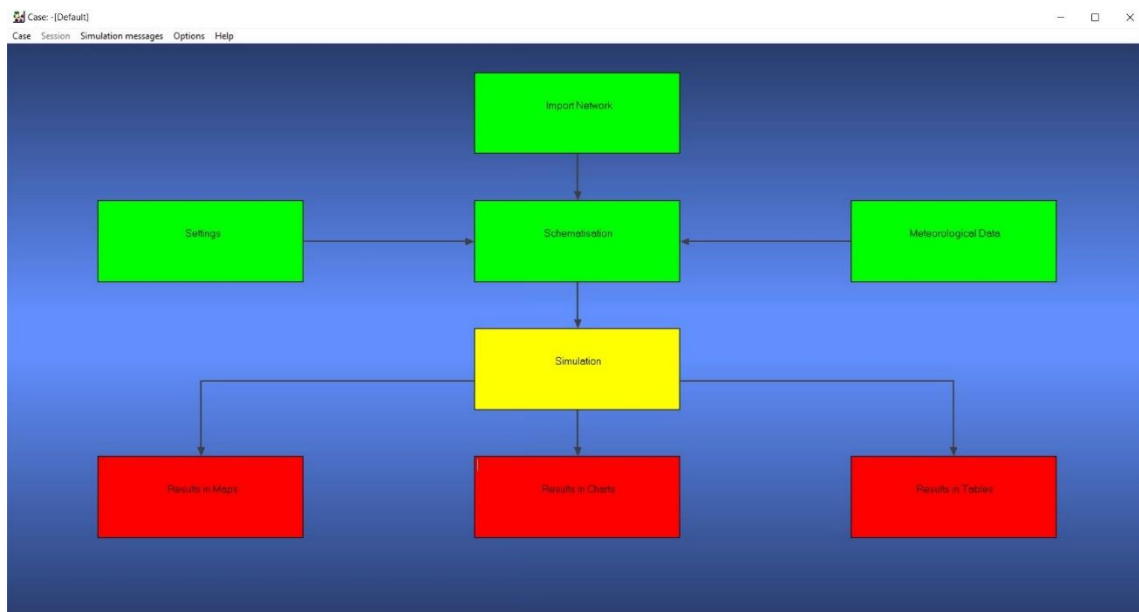


Figura 64 – Janela de gestão de casos com a tarefa “Schematisation” concluída, programa Sobek

4.3 Execução de simulações

A execução da simulação é acionada através da tarefa “simulation”.

Se o fundo do bloco associado à tarefa de simulação se apresentar a cor verde, significa que a simulação foi realizada com sucesso (figura 65). Caso contrário é porque existe algum problema que não deixou terminar a simulação. Pode analisar-se ocorrência de eventuais erros em “simulation messages” na barra superior e depois em “view”.

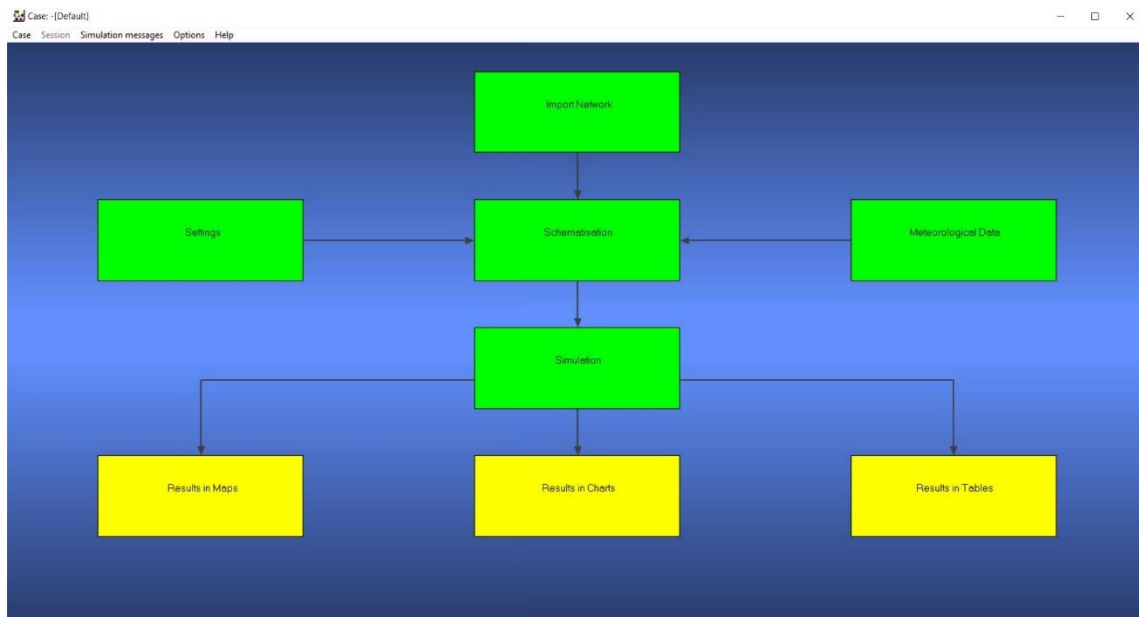


Figura 65 – Janela de gestão de casos com a “Simulation” terminada, programa Sobek

4.4 Adição de trechos na rede

Apesar das ferramentas de criação de modelos *ab initio* do programa Sobek facilitarem a execução de todas as tarefas necessárias, o recurso a metodologias baseadas em processos automáticos de processamento dos dados de cadastro, poderão simplificar o processo de construção de novos modelos. Assim, encontra-se em desenvolvimento no Laboratório de Hidroinformática da Universidade do Minho uma ferramenta que permite agilizar o processo de construção de modelos de redes de drenagem para o programa Sobek e programa SWMM. Foi utilizada uma versão dessa ferramenta baseada em programação em Excel, codificada em Microsoft visual basic, e que permite a construção da topologia do modelo, desde que estejam disponíveis no Excel todos os dados necessários da rede.

Salienta-se que este método ainda se encontra numa fase inicial de desenvolvimento. Contudo, mostra-se desde já as suas potencialidades para melhorar a eficiência na construção de um determinado modelo.

Na figura 66 apresenta-se um trecho com as câmaras de visita a cor amarela que se pretende acrescentar ao modelo construído. Pode-se verificar que este trecho implica acrescentar à rede modelada da ribeira de Aldoar 15 novas câmaras. O método usado para processar os dados necessários é idêntico ao descrito no subcapítulo 3.1.

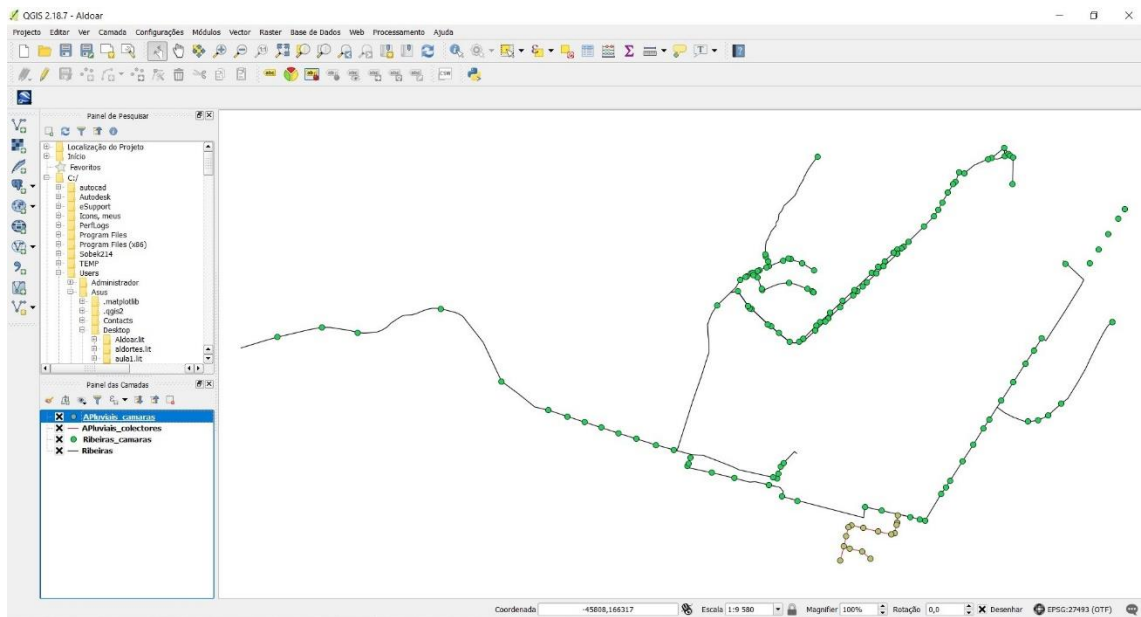


Figura 66 – Visualização dos coletores que se pretendem acrescentar ao modelo

Como se pode visualizar na figura 67, os dados necessários encontram-se organizados numa folha Excel.

Contributos para um sistema integrado de modelação hidrológica e da rede de drenagem de uma bacia urbana

ColetorID	CaixaMontante	CaixaSustante	Diâmetro	CotaSustante	CotaMontante	Nro Caixas	CaixaID	Xcoord	Ycoord	CotaTampa	CotaSolei	Diâmetro	IDSobek	Rede
1	1	2	600	39,76	38,84	15	1	-44575,10761	166190,0539	40,88	38,24	0,2	rede_1	
2	2	3	600	39,92	39,76		2	-44574,4943	166162,778	41,36	39,16	0,2	rede_2	Exportar SDOEK
3	3	4	600	40,35	39,92		3	-44576,8006	166153,5153	41,59	39,32	0,2	rede_3	Passo 1
4	4	5	600	40,82	40,35		4	-44583,4233	166126,9156	41,75	39,75	0,2	rede_4	
5	5	6	600	42,48	40,82		5	-44595,05823	166121,9475	41,98	40,22	0,2	rede_5	Exportar SWMM
6	6	7	500	42,78	42,28		6	-44640,1585	166131,6531	44,61	41,88	0,2	rede_6	
7	7	8	500	43,1	42,78		7	-44690,2138	166143,4759	43,27	42,28	0,2	rede_7	7 8
8	8	9	500	43,33	43,1		8	-44730,2631	166152,6336	45,75	42,6	0,2	rede_8	8 9
9	9	10	400	43,47	43,23		9	-44741,1582	166146,0992	43,7	42,83	0,2	rede_9	9 10
10	10	11	400	43,72	43,47		10	-44748,08838	166115,9767	44,7	43,07	0,2	rede_10	10 11
11	11	12	400	44,23	43,72		11	-44756,5564	166082,0218	45,92	43,32	0,2	rede_11	11 12
12	12	13	300	45,23	44,13		12	-44737,6027	166073,887	46,98	43,83	0,2	rede_12	12 13
13	13	14	300	45,74	45,23		13	-44693,7904	166063,3159	48,76	44,93	0,2	rede_13	13 14
14	14	15	300	44	43,62		14	-44666,0412	166038,2921	50,24	45,44	0,2	rede_14	14 15
15							15	-44768,614	166032,3045	46,85	43,7	0,2	rede_15	0 0

Figura 67 – Folha Excel com dados de rede para processamento de informação a utilizar na construção de modelos Sobek e SWMM

Nas colunas A e I são atribuídos os identificadores tanto das caixas como dos coletores. Na figura 68 mostra-se a numeração adotada, a preto a numeração das câmaras e a cinzento a dos coletores.

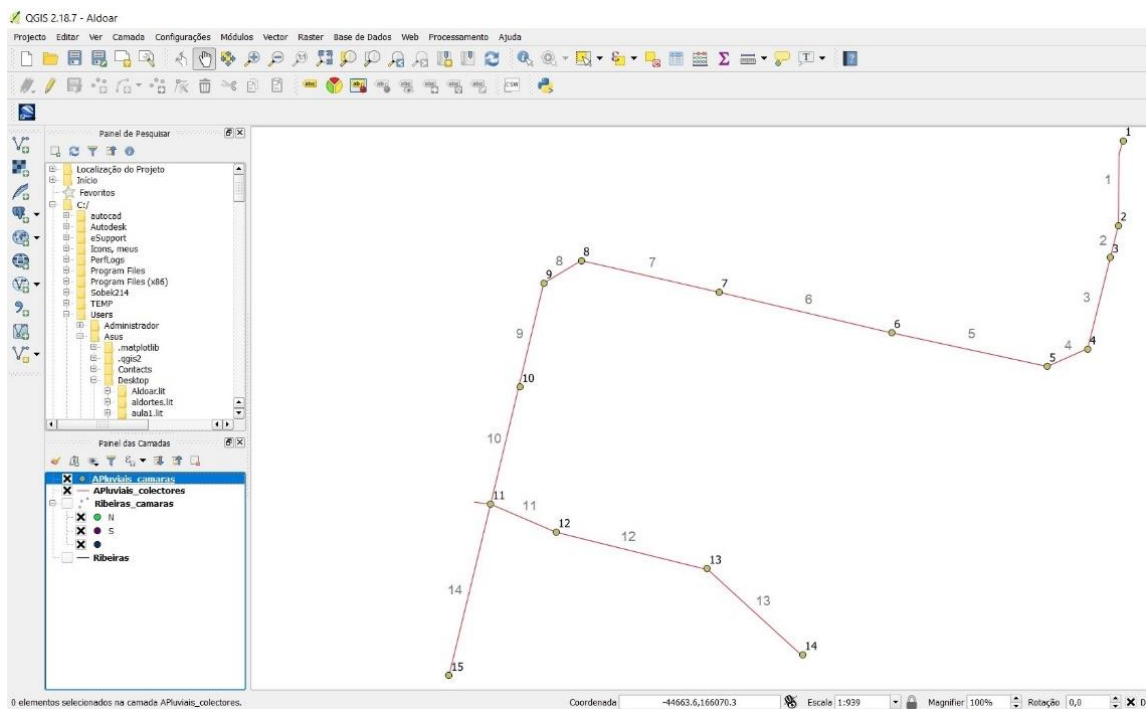


Figura 68 – Numeração escolhida para os coletores e câmaras de visita

Após a numeração, procede-se ao preenchimento das colunas B e C que contêm os identificadores da câmara a montante e da câmara de jusante de cada coletor.

Nas colunas J e K são inseridas as coordenadas das câmaras, obtidas a partir do cadastro. O mesmo sucede para as restantes colunas D, L, M e N que contêm os valores de cotas e diâmetros que constam do cadastro. Nas colunas E e F devem constar as cotas a jusante e montante de cada um dos coletores. A coluna O deverá conter o nome que se pretende atribuir ao coletor no programa Sobek.

A execução da rotina de processamento é ativada clicando no bloco “Exportar sobek passo 1”. É criado um ficheiro em formato DXF como se pode ver na figura 69 que se encontra no mesmo local que o ficheiro Excel, com o nome “rede.dxf”.

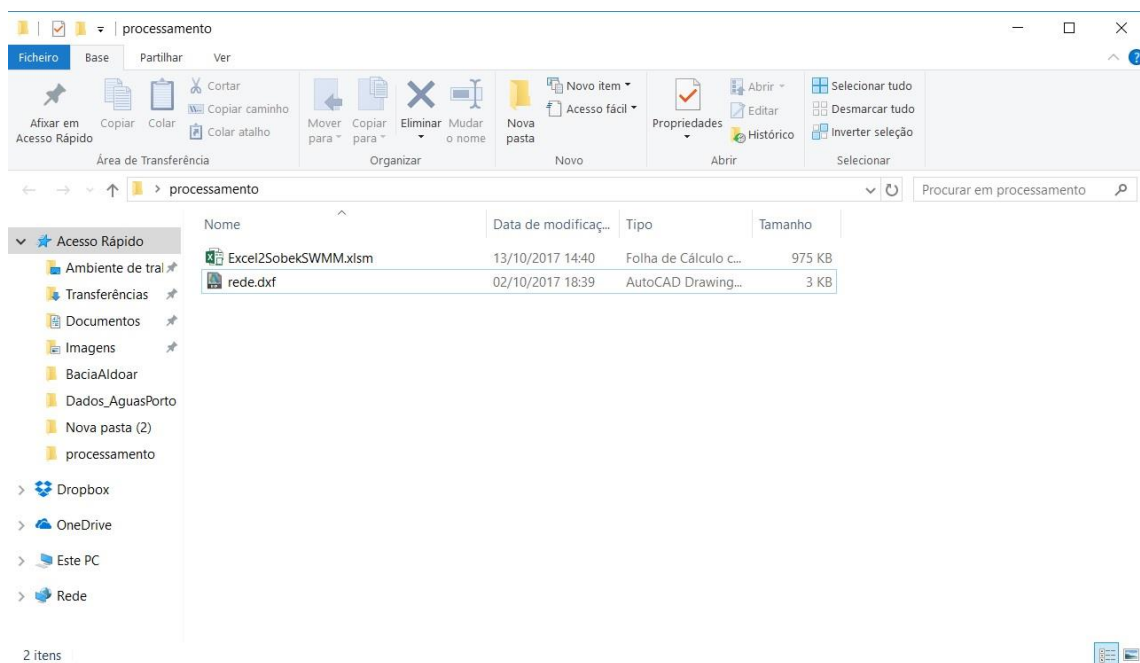


Figura 69 – Ficheiro DXF criado para importação no Sobek

Para se acrescentar a rede definida com a aplicação desenvolvida à correspondente ao modelo previamente construído deverá ser criado um novo caso no Sobek, contendo o modelo anterior. Deste modo, no gestor de casos deve criar-se um novo caso com base num caso existente, como se pode ver na figura 70.

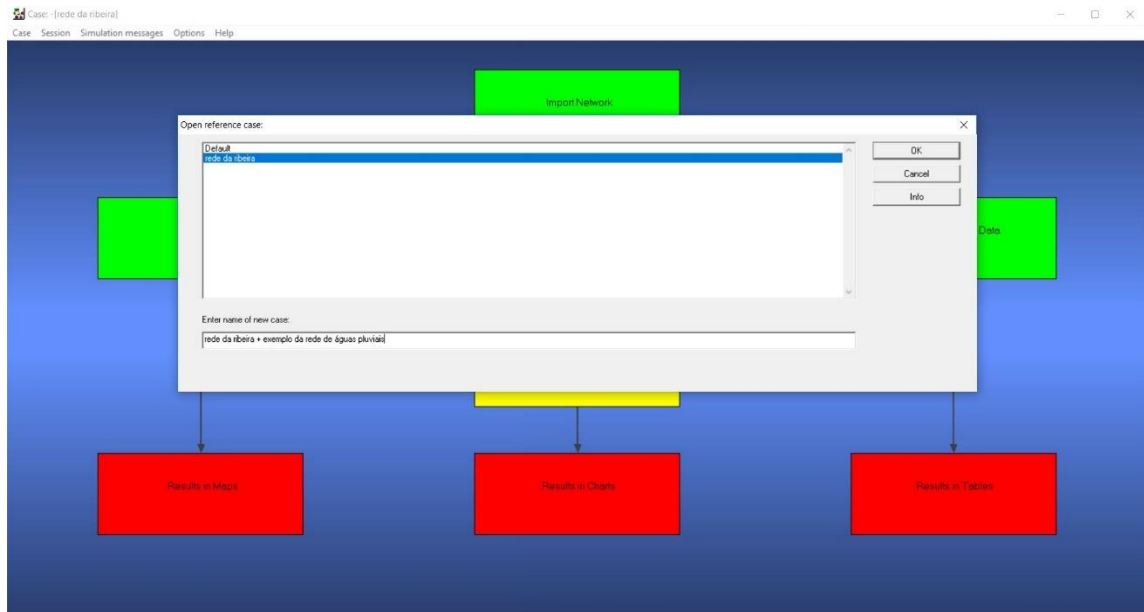


Figura 70 – Criação de um novo caso, Sobek

Para se acrescentar a nova rede será necessário ativar a tarefa “Schematisation” e editar o modelo. Aberto o NETTER aparecerá a rede existente na versão do modelo anterior. Para acrescentar a nova rede, tem-se que repetir os mesmos passos que foram seguidos para importar o modelo anterior.

Como podemos ver na figura 71 existe uma diferença neste caso que consiste em atribuir uma “preposition”, tendo sido adotada neste caso “rede_”. Esta preposição adicionada aos identificadores permite distinguir os elementos adicionados daqueles que foram atribuídos ao modelo existente.

No formulário de importação deverá optar-se em “Use as”, por “network”, para que sejam inseridas as câmaras de visita e os coletores. O “ID” e o “Name” deverão ser preenchidos com o campo “layer” dos atributos da informação do ficheiro DXF.

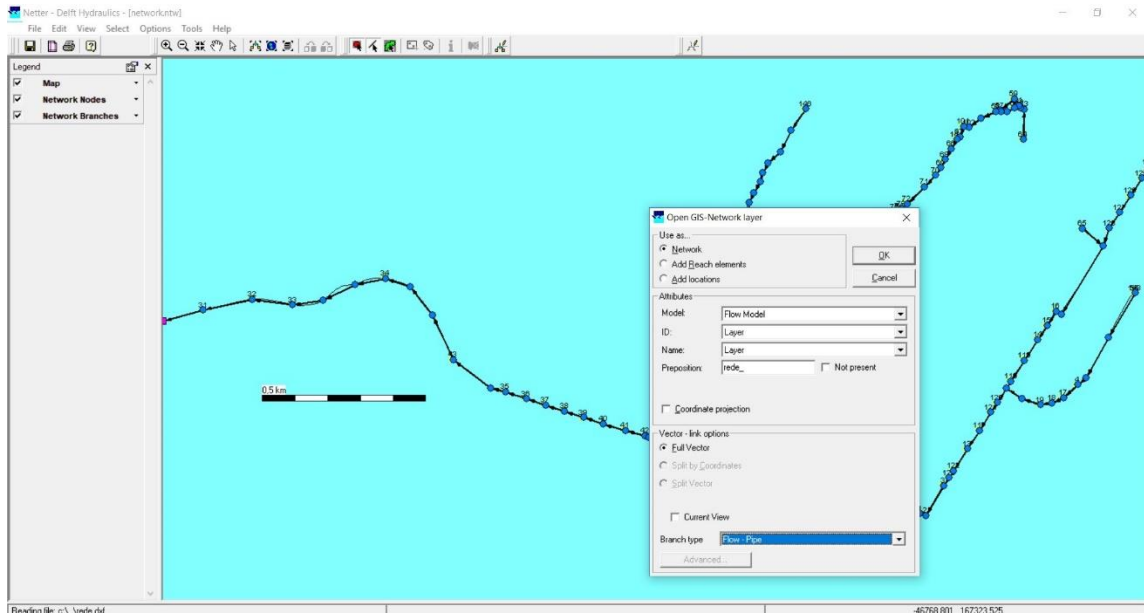


Figura 71 – Janela de importação do ficheiro DXF criado anteriormente, programa Sobek

A rede é importada com sucesso como se observa na figura 72.

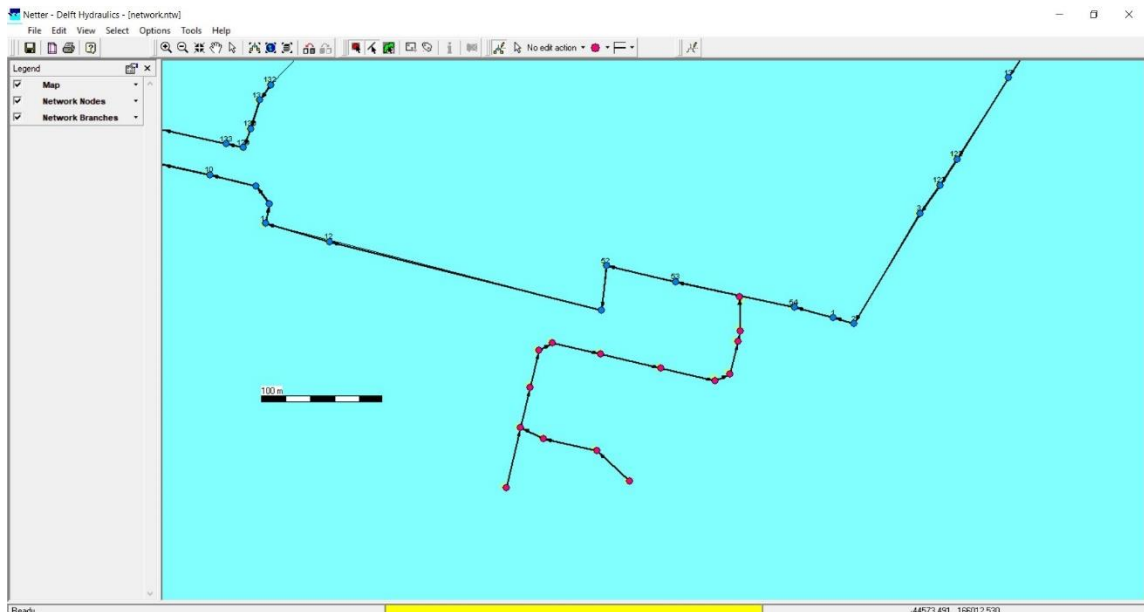


Figura 72 – Janela “Schematisation” mostrando os elementos importados do ficheiro DXF criado, programa Sobek

Para se efetivar a ligação da rede importada à rede existente, terá que se seguir o procedimento a seguir apresentado. O primeiro passo consiste em apagar o coletor onde se irá inserir a extremidade da nova rede. Para tal, acede-se ao menu editar, ativa-se a

ação a partir de “no edit action” - “reach”, “delete reach”, como se apresenta na figura 73.

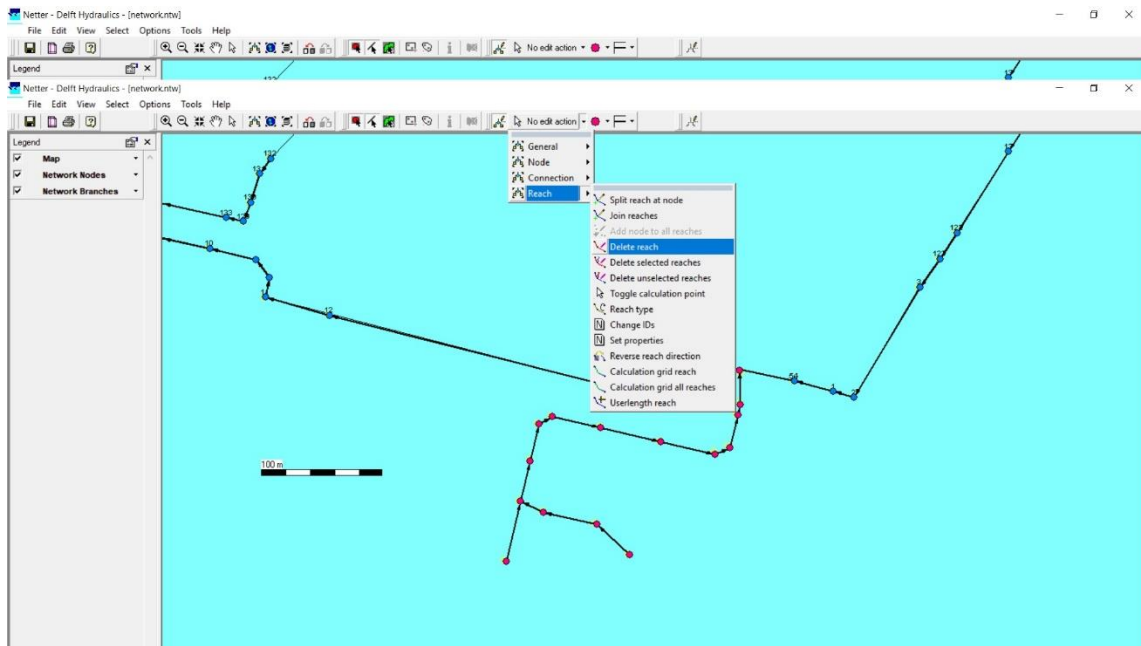


Figura 73 – Janela “Schematisation” ativação da ferramenta de edição para eliminar um coletor, programa Sobek

Clicando sobre o coletor, este será apagado, como se mostra na figura 74.

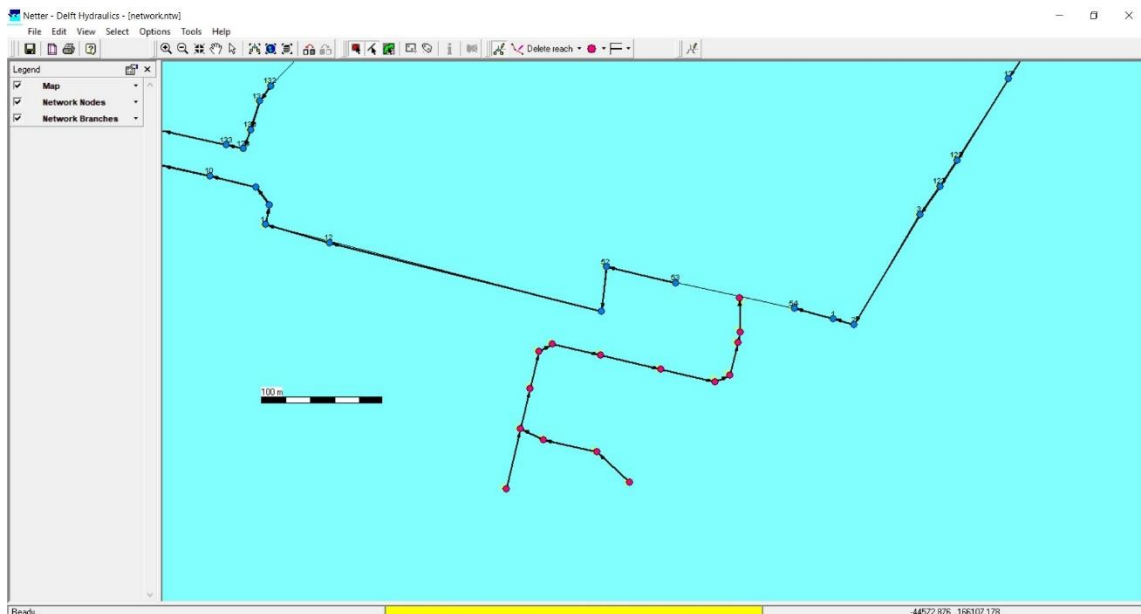


Figura 74 – Janela “Schematisation” com coletor eliminado, programa Sobek

O coletor eliminado terá que ser reconstituído, utilizando-se dois coletores, conforme se apresenta na figura 75.

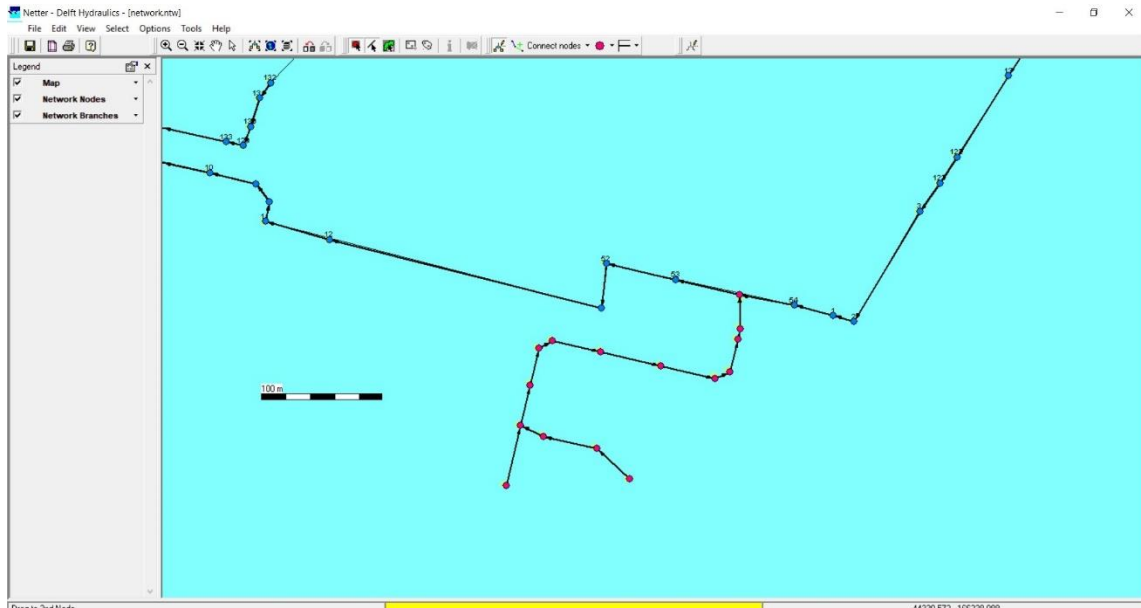


Figura 75 – Janela “Schematisation” com inserção dos dois coletores utilizados na reconstituição da rede, programa Sobek

Prossegue-se com a repetição dos passos apresentados no subcapítulo 4.1. A rede deverá apresentar a configuração da figura 76.

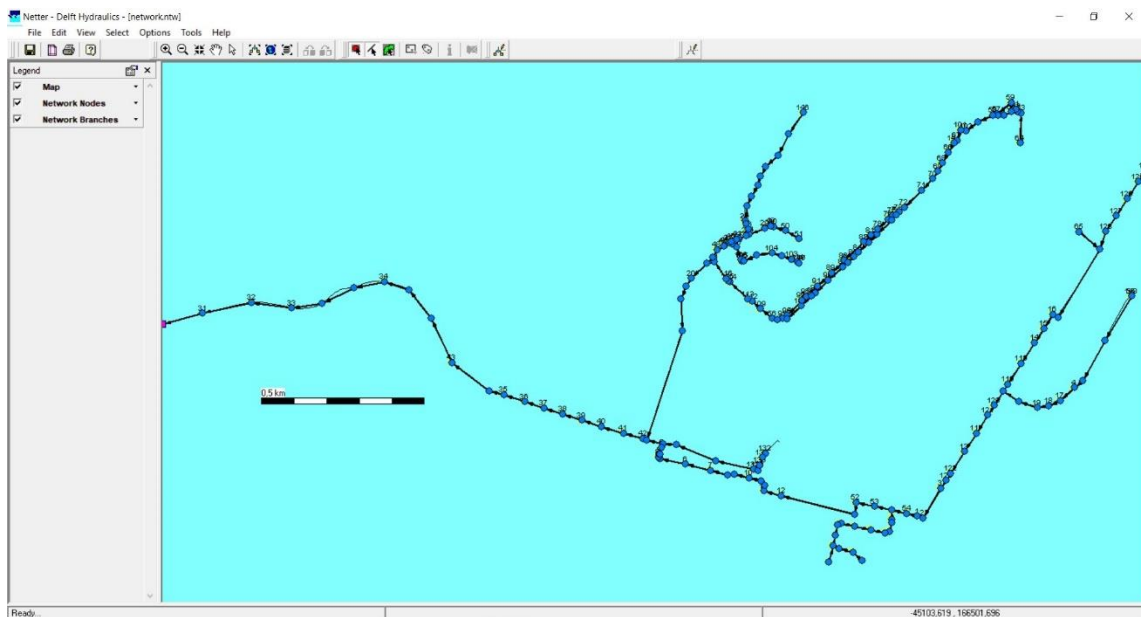


Figura 76 – Janela “Schematisation” com o modelo atualizado com a rede adicionada, programa Sobek

Finalmente, deverá atualizar-se a área de drenagem associada às novas caixas de visita. Optou-se por dividir a área de uma das caixas de visita do modelo anterior, que apresentava o valor de 23006 m^2 pelas novas câmaras, ficando com uma área de 1438

m^2 cada uma das novas câmaras, sendo atualizado para valor idêntico uma das câmaras da rede do modelo anterior. Manteve-se a distribuição de 60% para área impermeabilizada e 40% permeável, ficando assim respetivamente $863 m^2$ e $575 m^2$.

5 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Foram considerados seis cenários distintos para ilustrar as capacidades de simulação do programa Sobek Urban. Em três cenários foram utilizados dados históricos de precipitações obtidos através do SNIRH (sistema nacional de informação de recursos hídricos). Foi selecionada a estação meteorológica mais próxima da bacia de Aldoar que é a estação de Leça da Palmeira (figura 77).

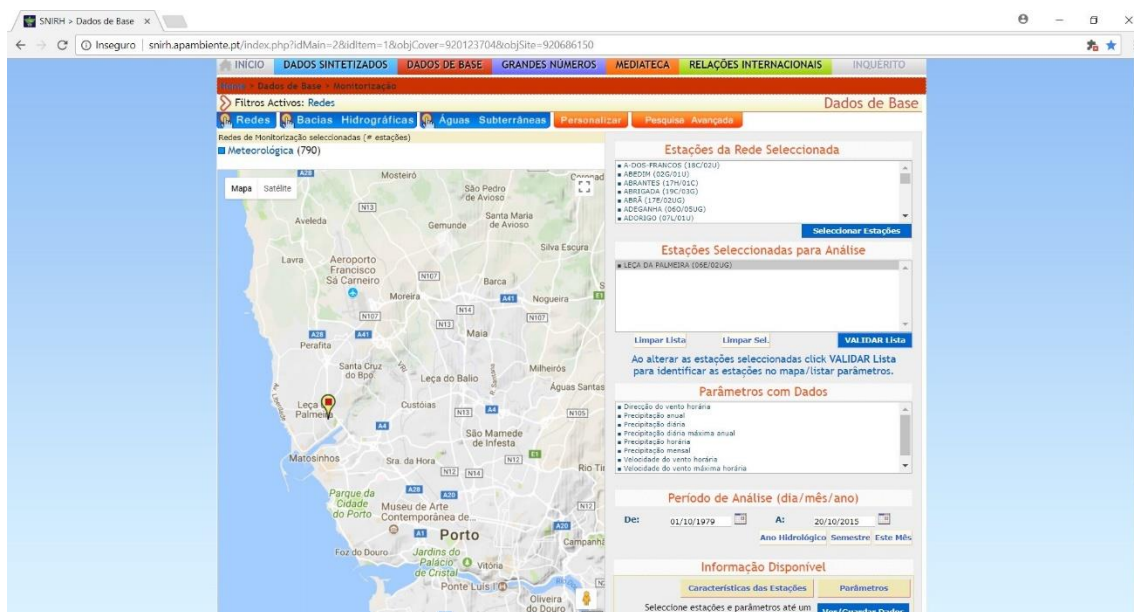


Figura 77 – Página de web do sistema nacional de informação de recursos hídricos

Os cenários considerados foram os seguintes:

Cenário 1 – Simula-se com resolução horária o escoamento na rede, nas condições do modelo implementado, para o período de Janeiro a Abril de 2014, utilizando-se precipitações diárias;

Cenário 2 – Simula-se com resolução horária o escoamento na rede, nas condições do modelo implementado, para o período de Setembro a Dezembro de 2014, utilizando-se precipitações diárias;

Cenário 3 – Simula-se um evento de precipitação com duração de três dias considerando um valor constante igual à média das precipitações máximas diárias anuais.

No caso do cenário 3, figura 78, a média foi calculada com base nos 17 registos disponíveis (anexo III).

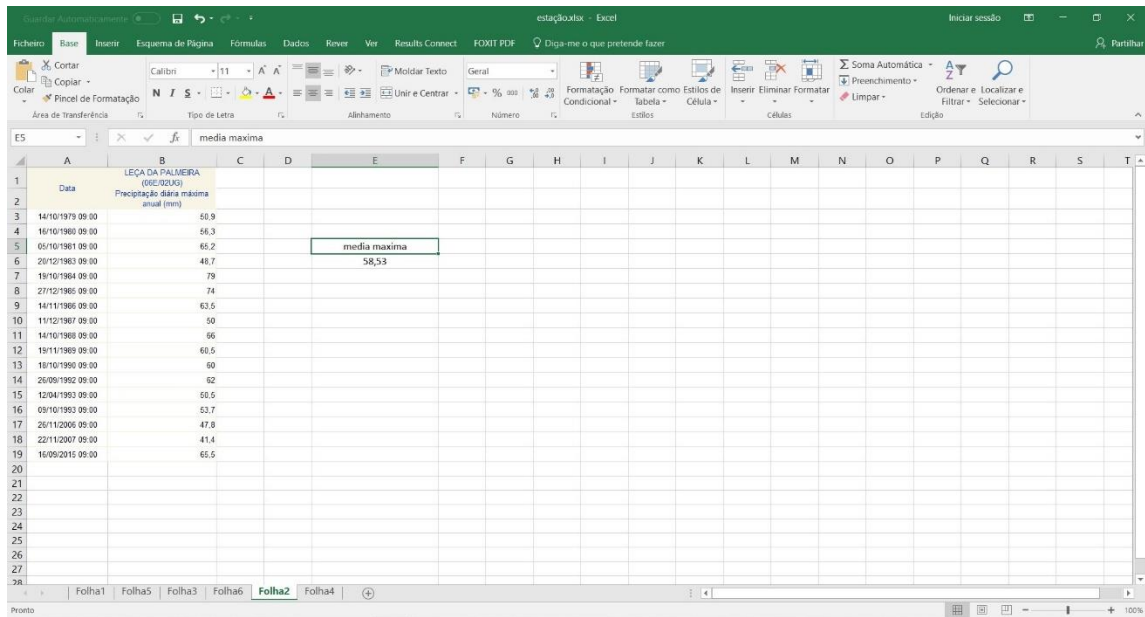


Figura 78 – Dados da precipitação diária máxima anual

Os três cenários seguintes foram definidos com base em eventos de precipitação obtidos a partir dos tempos de concentração da bacia e das curvas intensidade-duração-frequência (IDF). Para calcular o tempo de concentração da bacia de Aldoar, selecionou-se a fórmula de Picking.

$$t_c = 5,3 \times \left(\frac{L^2}{I}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Onde:

t_c = Tempo de concentração, em minutos;

L = Comprimento do talvegue, em quilómetros;

I = Declividade, em m/m.

A declividade relaciona-se com a velocidade de escoamento, podendo ser calculada da seguinte forma.

$$I = \frac{\Delta h}{L1} \quad (2)$$

em que,

$L1$ = Comprimento do talvegue, em metros;

Δh = Desnível altimétrico, ou seja, a diferença de cotas topográficas do local mais elevado da bacia e do local da secção de jusante, em metros.

Recorrendo ao cadastro da rede, como se mostra na figura 79, o nó 124 é o mais afastado da secção de descarga. A cota topográfica desse local é de 75,04m.

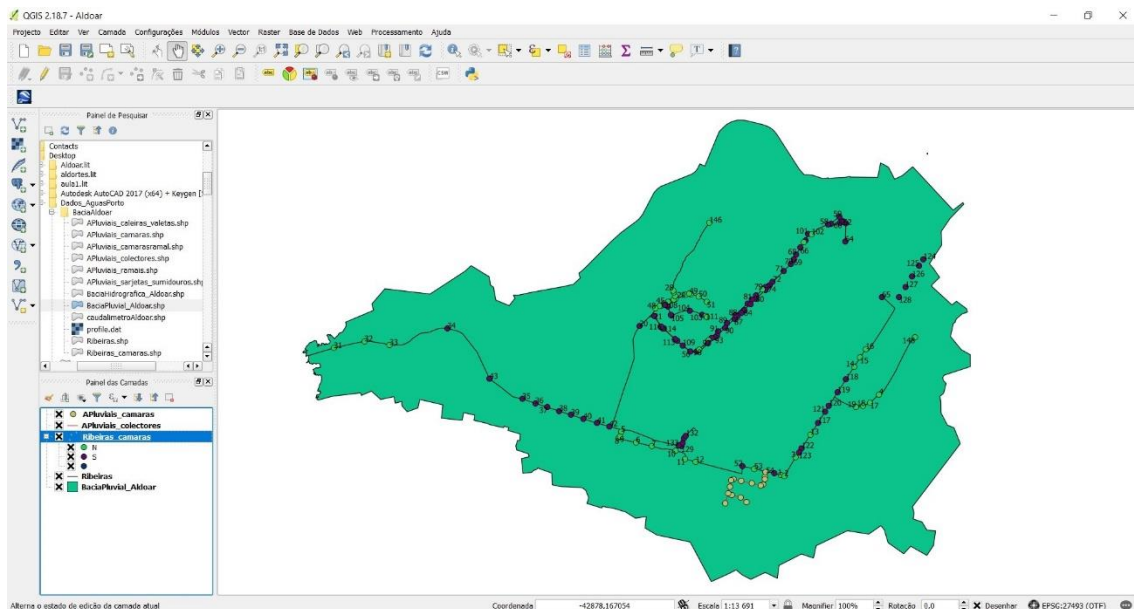


Figura 79 – Visualização da bacia de Aldoar, QGIS

Assim, calculou-se o comprimento do talvegue da bacia, (neste caso o percurso de coletores) entre o nó 124 até ao local da descarga, obtendo-se um valor de 3977,5m.

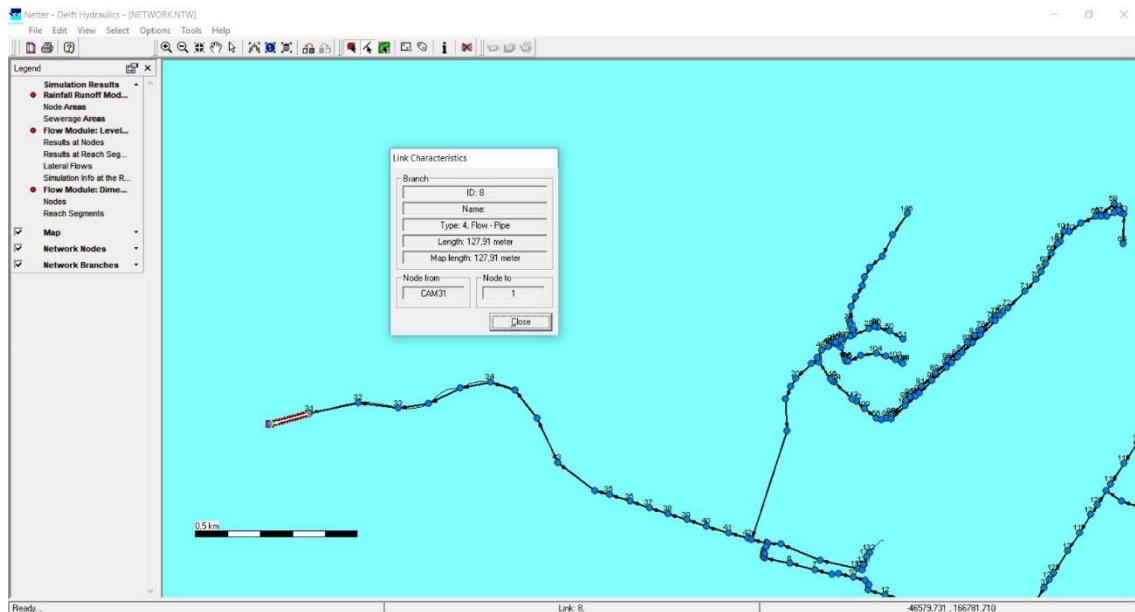


Figura 80 – Visualização da informação relativa aos segmentos, Sobek

A declividade vem assim, igual a:

$$I = \frac{(75,04 - 0)}{3977,5} = 0,0189 \text{ m/m}$$

O tempo de concentração:

$$t_c = 5,3 \times \left(\frac{3,9775^2}{0,0189} \right)^{\frac{1}{3}} = 50 \text{ min}$$

Consideraram-se ainda dois cenários adicionais resultantes de se considerar uma variação de +/-30% do valor obtido:

$$t_{c_{+30\%}} = 50 \times 0,30 + 50 = 65 \text{ min}$$

$$t_{c_{-30\%}} = 50 - 50 \times 0,30 = 35 \text{ min}$$

A intensidade de precipitação foi calculada recorrendo a MATOS e SILVA, 1986, que propuseram a utilização a nível nacional das curvas intensidade-duração-frequência (curvas IDF) que estabeleceram para Lisboa (região A). Para o efeito, sugerem que a intensidade média da precipitação resultante daquelas curvas seja agravada de 20% nas regiões montanhosas de altitude superior a 700 m (região B) e reduzida de 20% nas

regiões do Nordeste (região C). Na Figura 81 representam-se as regiões pluviométricas propostas por aqueles autores e indicam-se os valores que, em função do período de retorno, devem ser adotados nas três regiões para os parâmetros 'a' e 'n' das curvas IDF. Em conformidade com as séries de precipitação utilizadas por MATOS e SILVA, 1986, a duração t não deverá exceder 120 min.

$$I = a \times (t)^{-n} \quad (3)$$

onde:

I = Intensidade de precipitação, em mm/h;

t = É o tempo de concentração, em minutos;

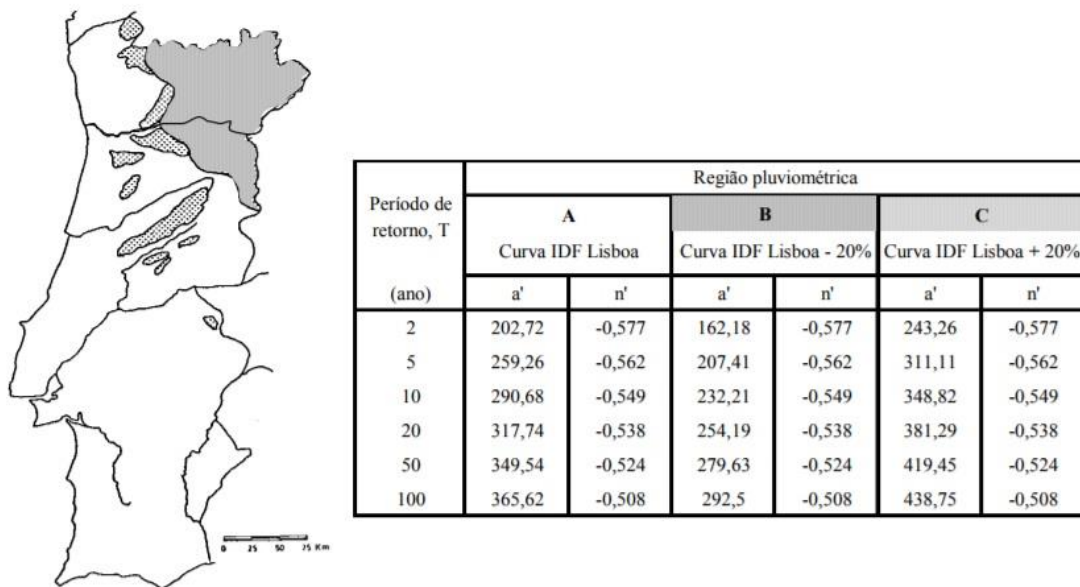


Figura 81 – Regiões pluviométricas e parâmetros das curvas intensidade-duração-frequência (adaptado de Matos e Silva, 1986).

Com a consideração de um período de retorno de 50 anos para as redes construídas, pode-se calcular as intensidades de precipitação, para os três cenários considerados:

$$I = 349,54 \times (50)^{-0,524} = 45 \text{ mm/h}$$

$$I = 349,54 \times (65)^{-0,524} = 30,51 \text{ mm/h}$$

$$I = 349,54 \times (35)^{-0,524} = 54,25 \text{ mm/h}$$

Assim na tabela 2 apresentam-se as características dos três cenários estabelecidos.

Tabela 2 – Resumo dos cenários 4, 5 e 6

	Tempo de concentração (Tc), em minutos	Intensidade de precipitação (I), em mm/h
Cenário 4	50	45
Cenário 5	35	54,25
Cenário 6	65	30,51

Criaram-se eventos de precipitação no programa sobek na tarefa “meteorological data”, correspondentes aos valores das intensidades calculadas.

No anexo III apresentam-se os eventos de precipitação para cada um dos cenários definidos.

6 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Neste capítulo serão mostrados todos os passos necessários para obter os resultados das simulações. Salienta-se que se utilizou como exemplo o cenário 1 anteriormente definido. O programa permite ver os resultados em três modos diferentes, como “results in maps”, “results in charts” e “results in Tables”.

Neste trabalho apenas apresentará como obter os resultados em “results in maps”, porque em ambos os três modos apresentam os mesmos resultados soque em maneiras diferentes.

Assim ao clicar no módulo “results in maps”, abre-se a janela que se mostra na figura 82. Esta janela é muito semelhante á da edição, onde a grande diferença é na barra do lado esquerdo “legend” que agora apresenta os resultados das simulações realizadas.

Ao ver na legenda, verificou-se que os resultados estão divididos em 3 grupos. O primeiro está relacionado com as dimensões dadas no “rainfall runoff”, o segundo mostra os resultados obtidos dos níveis e dos fluxos (que são as variáveis consideradas para este cenário) e por fim o terceiro mostra as dimensões dadas aos nós (câmaras) e aos segmentos (coletores).

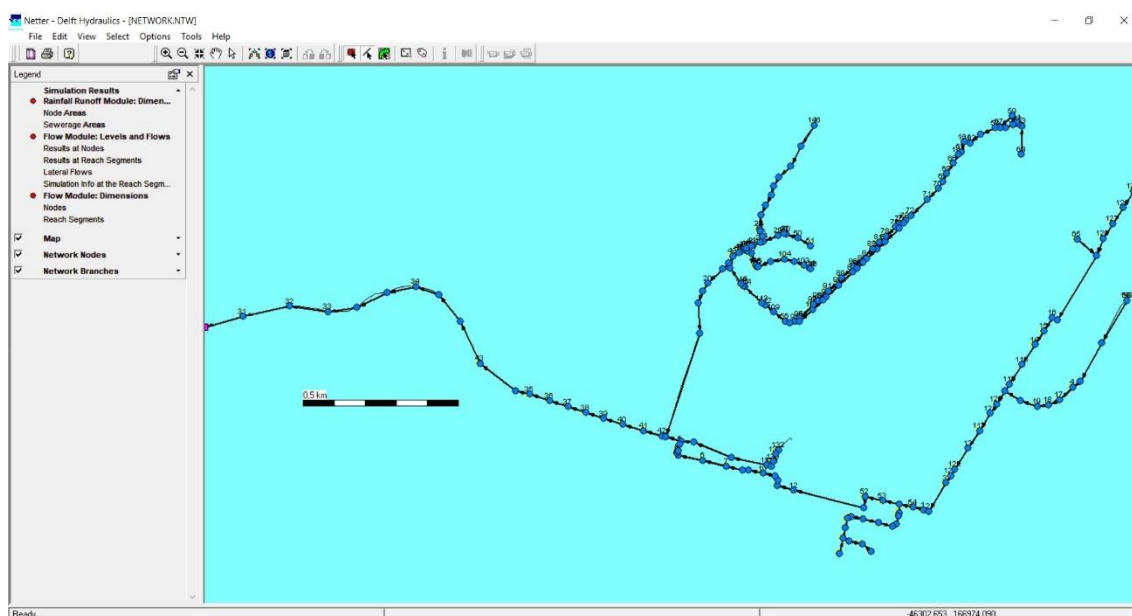


Figura 82 – Janela “results in maps”, programa Sobek

Se clicar em “results at reach segments”, abre-se uma pequena janela como se vê na figura 83 com o nome de “view data”, aparecendo a cor verde os elementos que apresentam resultados dessa simulação, que no caso são os coletores.

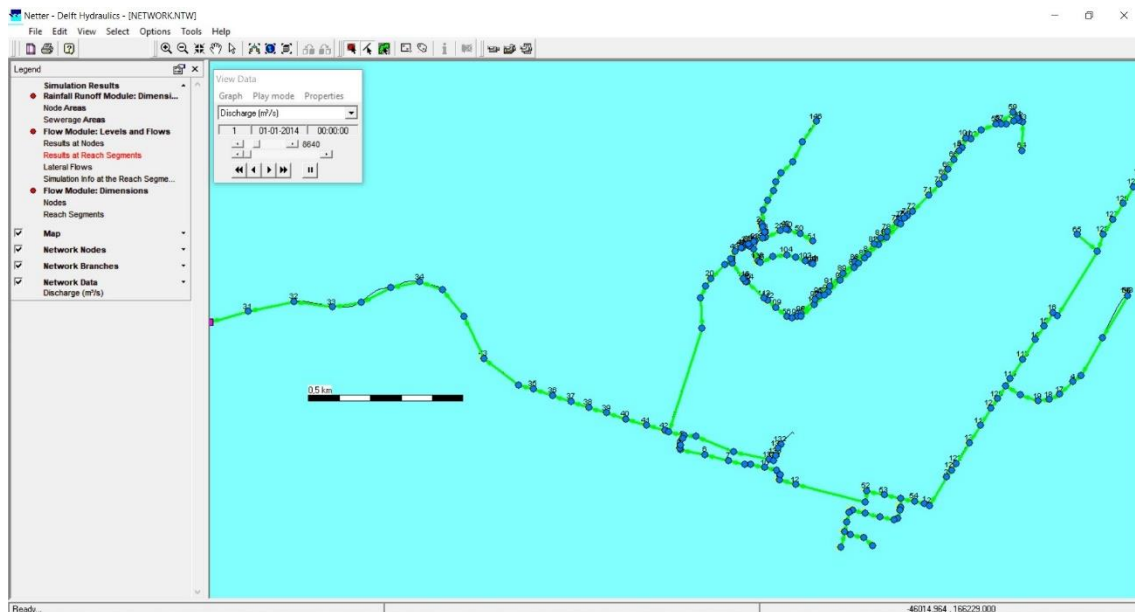


Figura 83 – Janela de visualização dos resultados nos segmentos, programa Sobek

Nessa mesma janela vê-se que o parâmetro de cálculo selecionado é o “Discharge” que representa o caudal ao longo do tempo, mas se clicar na seta ao lado pode-se alterar o parâmetro de cálculo o que no caso dos coletores só existe mais um que é a velocidade “velocity” (figura 84).

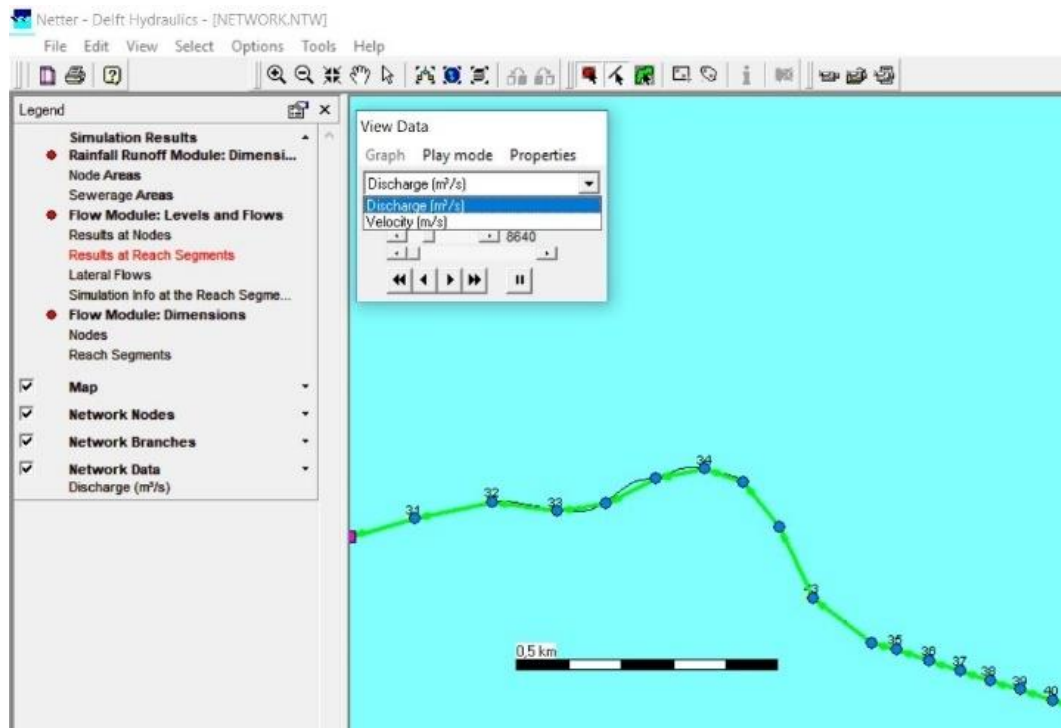


Figura 84 – Janela de visualização dos resultados nos segmentos mostrando o tipo de variáveis calculadas, programa Sobek

Para ver o valor do caudal seleciona-se um trecho, ou vários, conforme o que se desejar. Segue-se que na figura 85, mostra-se que foi selecionado três segmentos do modelo, onde após a seleção na janela “view data” no canto inferior direito aparecerá um novo botão com um desenho em azul.

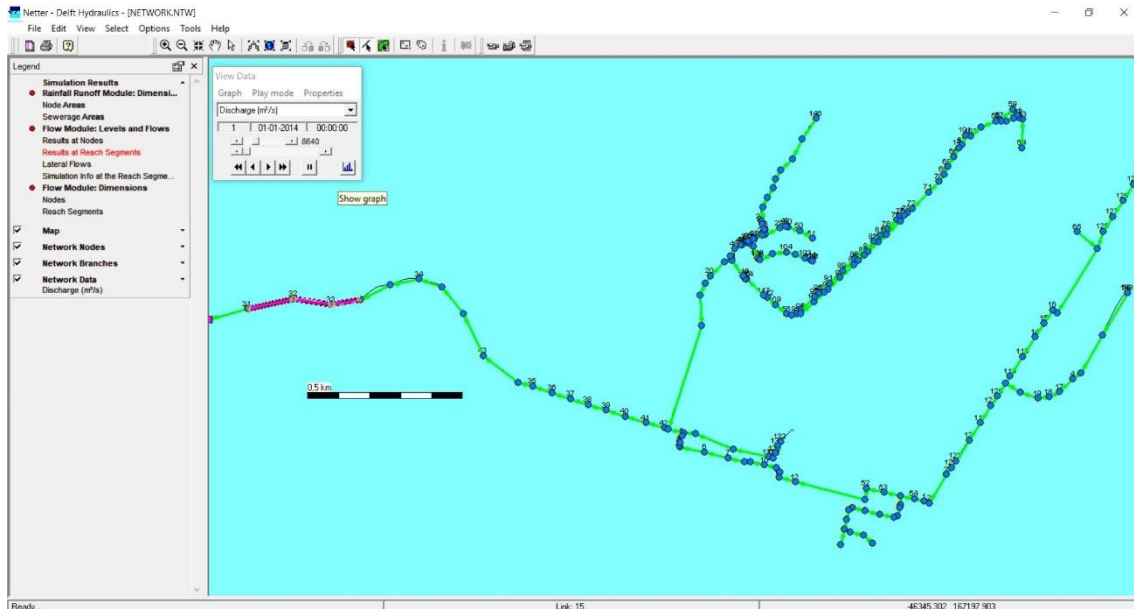


Figura 85 – Janela de visualização dos resultados selecionando os segmentos que se deseja apresentar, programa Sobek

Ao clicar nesse botão abre-se uma janela em que mostra um gráfico com o desenvolvimento do caudal ao longo do tempo da simulação (figura 86). No gráfico pode-se visualizar o caudal dos três segmentos por cores diferentes, como indica na sua legenda.

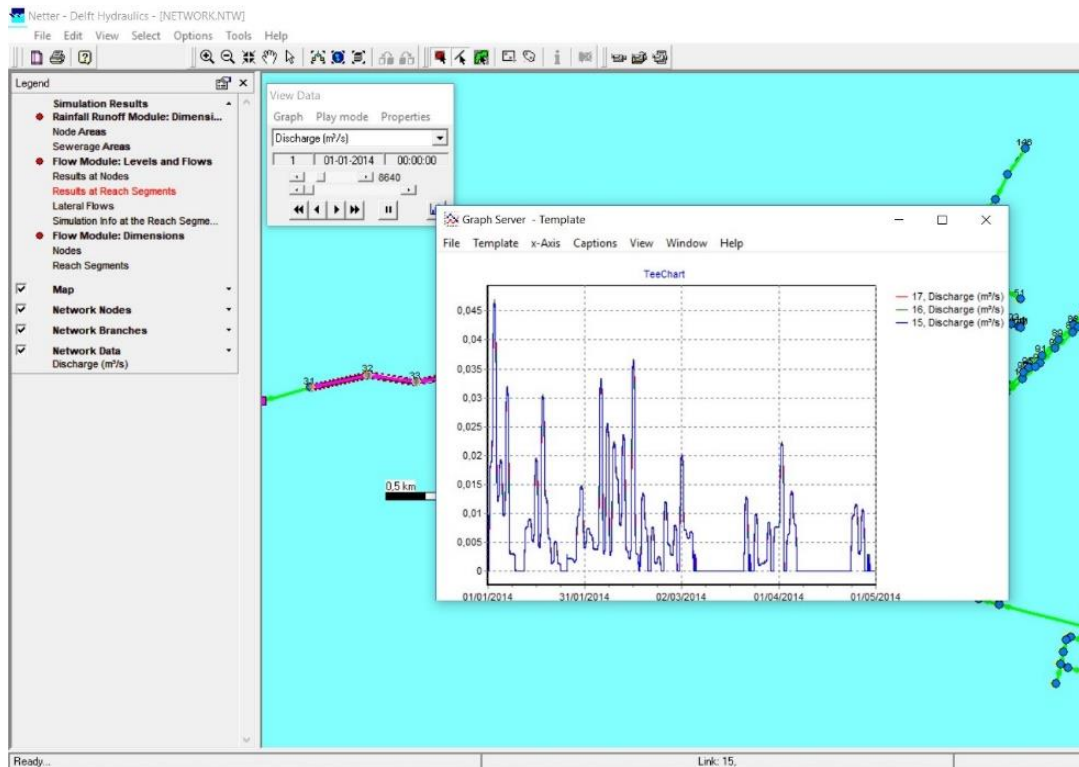


Figura 86 – Visualização dos resultados (em gráfico) dos segmentos seleccionados, programa Sobek

Estes valores dos caudais apenas pertencem a um dos cenários e que por vezes o objetivo é comparar o que acontece nos diferentes cenários. Uma forma simples para poder comparar dados é criar um gráfico com os dados inerentes aos diferentes cenários. Desta forma decidiu-se seleccionar apenas um coletor (para simplificar a análise), como pode-se ver na figura 87. De seguida clica-se em “file” e depois em “copy data to clipboard (paste in Excel).

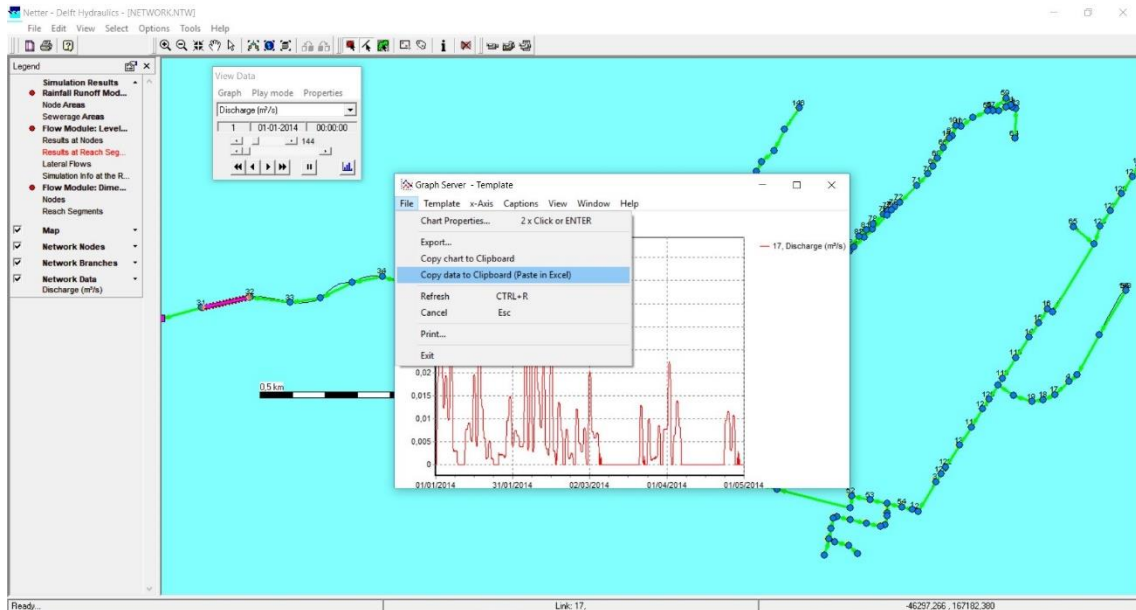


Figura 87 – Exportar os dados dos resultados obtidos para o Excel, programa Sobek

Após do passo anterior, em seguida abre-se o Excel e cola-se os dados. E o mesmo procedimento tem-se que fazer para todos os seis cenários existentes. Assim ficando com o aspeto conforme ilustra a figura 88.

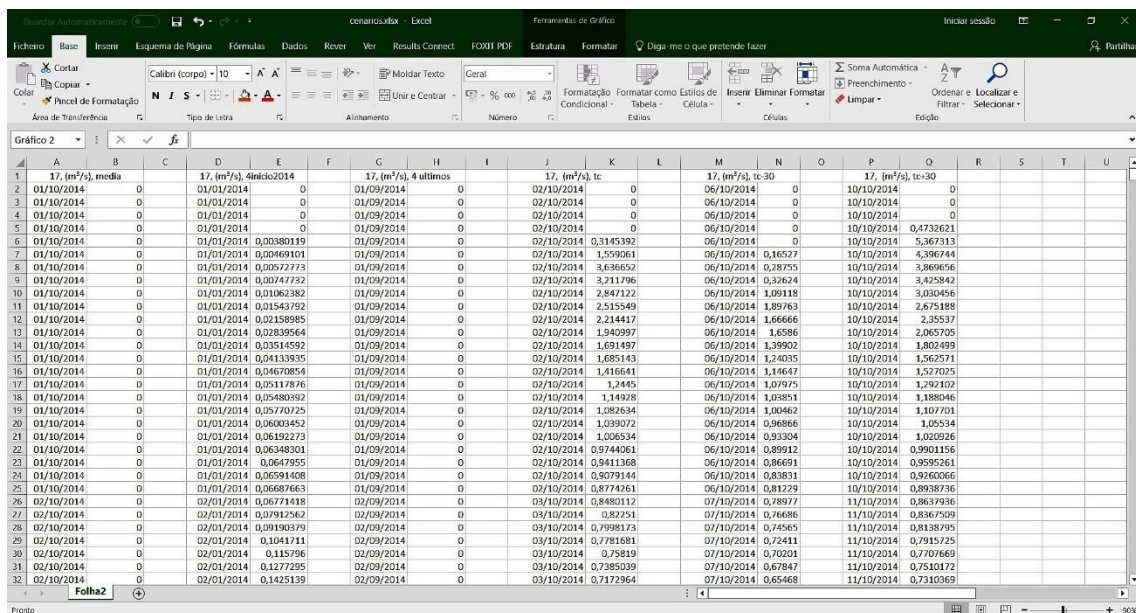


Figura 88 – Apresentação dos dados em Excel dos resultados dos vários cenários

Em seguida cria-se um gráfico com estes cenários, mostrando assim as diferenças de caudal percorrido naquele coletor em todos os cenários (figura 89). No qual no eixo vertical fica o caudal e no horizontal as datas dos períodos de simulação que foram

definidos para cada um dos cenários. Mostrando assim que o cenário que atinge maior caudal é o cenário 6, como pode-se ver o gráfico no anexo III.

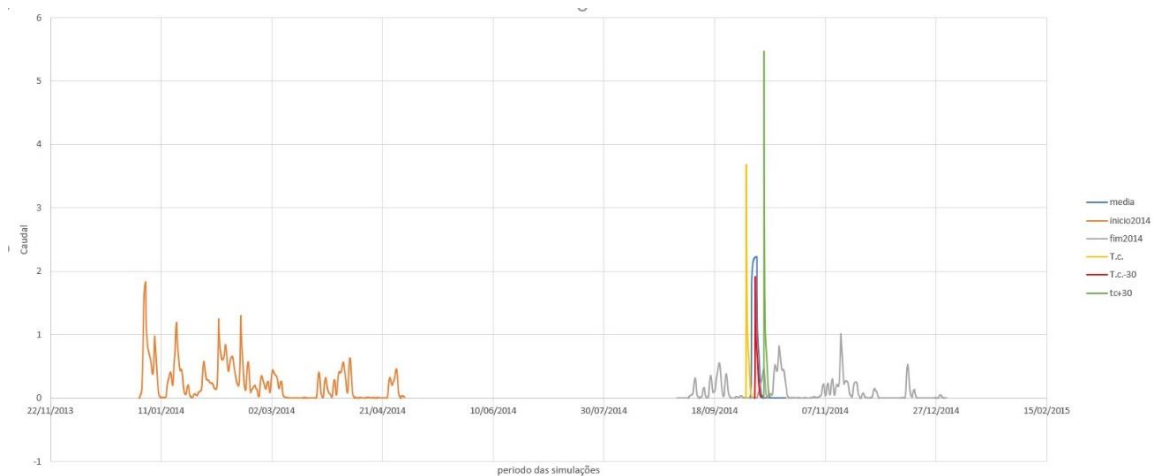


Figura 89 – Gráfico construído em Excel com os dados recolhidos do Sobek dos diferentes cenários

Naturalmente que dependendo do tipo de conclusões que pretendesse tirar, é possível realizar este procedimento para qualquer resultado obtido através das simulações dos cenários.

Contudo para além resultados em gráficos, também é possível ver o nível da água durante o tempo que foi definido como o período de simulação. Mas este tipo de visualização é apenas feito em 2D, o que não é possível ver todo modelo construído ao mesmo tempo, por isso tem que seleccionar-se apenas trechos para a sua visualização.

Na figura 90, mostra a seleção de um trecho que para o seleccionar tem que clicar-se em cima de um nó com o lado esquerdo do rato e com a tecla shift premida, clica-se noutra nó de um trecho ficando todo o trecho seleccionado. Assim de seguida clica-se sobre o trecho com lado direito do rato e depois em “side view”.

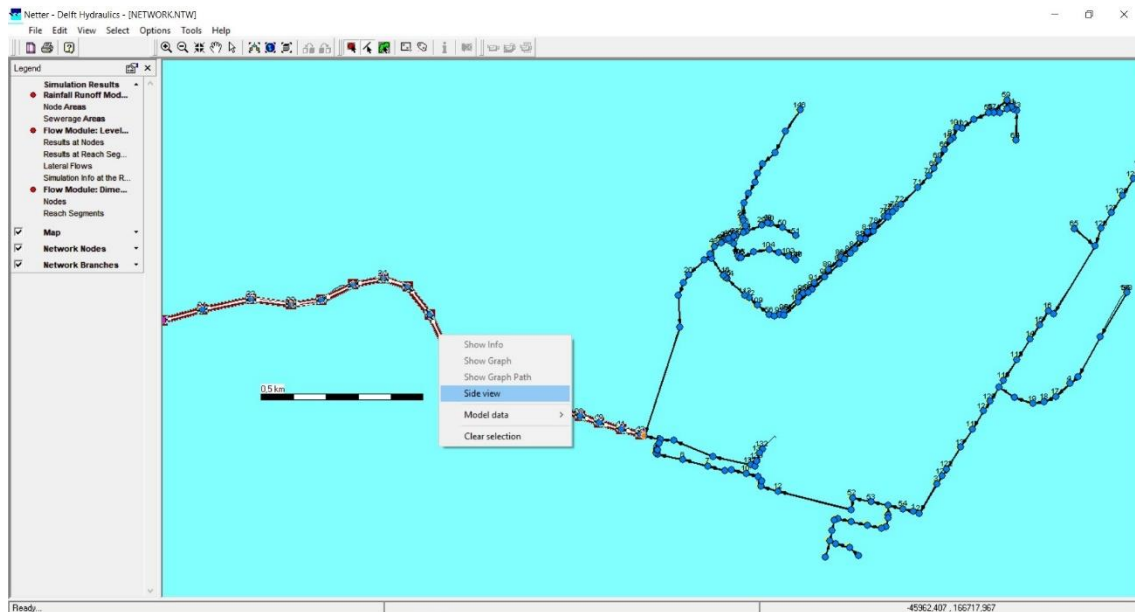


Figura 90 – Janela “results in maps” mostrando como ver o nível de água ao longo do período da simulação, programa Sobek

Após de ter-se selecionado, abre-se uma nova janela em que por cima abre outra com o nome de “setup animation” no qual apenas clica-se em “ok”, ficando apenas a janela da figura 91. Atendendo á figura vê-se a secção transversal do trecho selecionado e ao clicar na seta virada para a direita na janela de “actual time” que dará início á simulação, podendo-se ver o nível da água dentro do trecho ao longo do tempo da simulação. A zona pintada a amarelo representa os coletores e a linha a verde acima é a superfície. Logo se em algum momento o nível da água passar a zona amarela o trecho entra em pressão, ou seja, a água pode chegar a superfície e provocar inundações (figura 92).

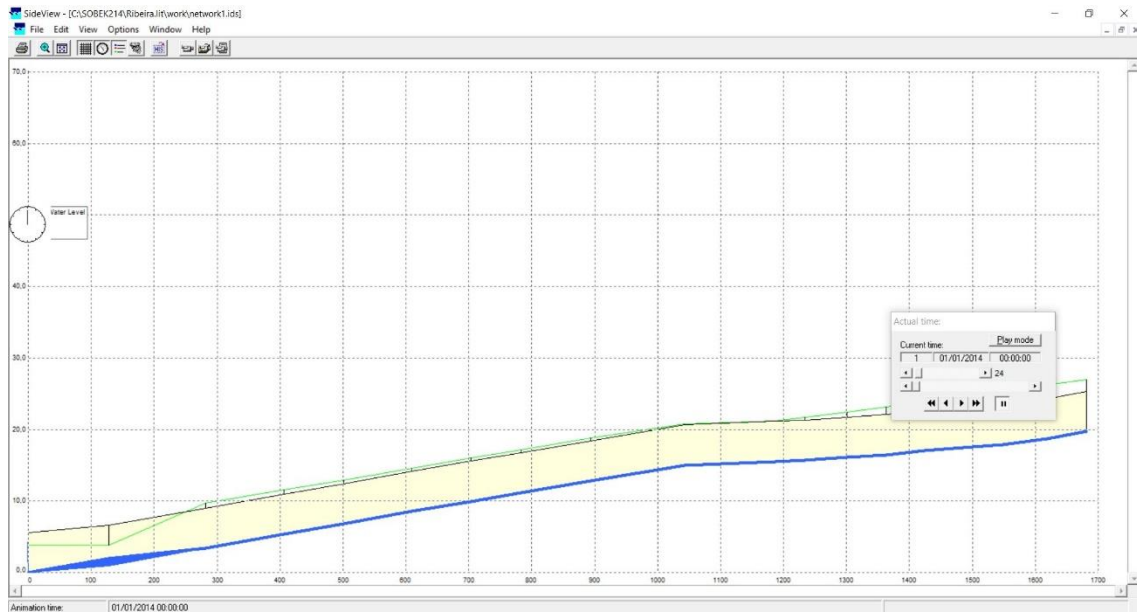


Figura 91 – Janela que mostra o nível de água ao longo do período da simulação, programa Sobek

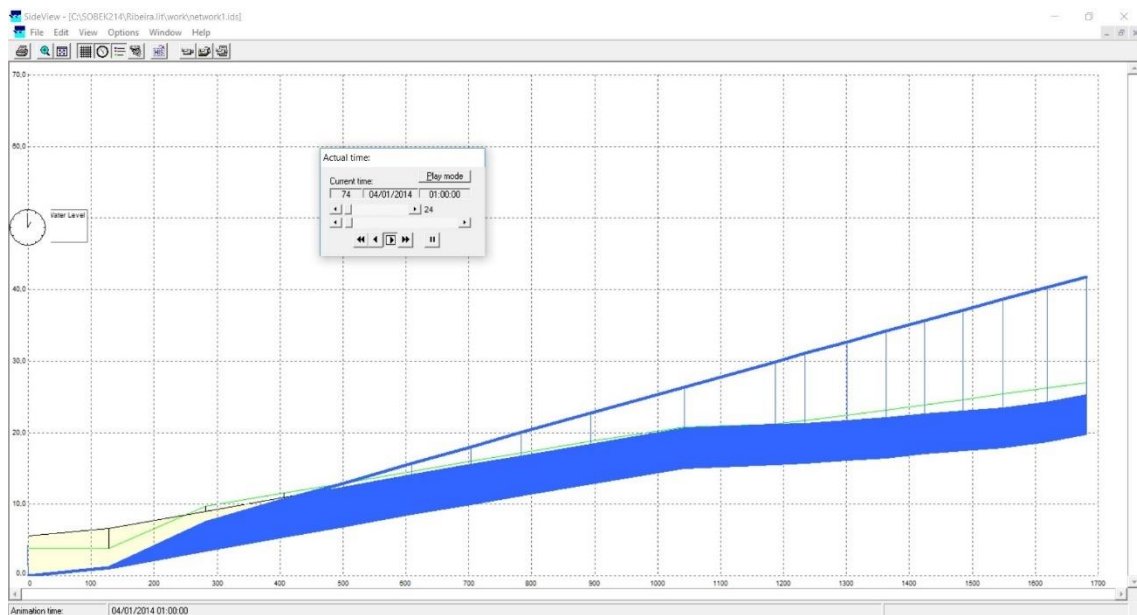


Figura 92 – Janela que mostra o nível de água ao longo do período da simulação numa situação de pressão, Sobek

Definido os resultados dos coletores, o mesmo acontece nos nós ao clicar em “results at nodes”, como vê-se na figura 93, sendo o mesmo processo para visualizar os resultados nos coletores. Mas nos nós verifica-se que o programa calcula um maior número de resultados, tais como:

O nível da água nas caixas (“waterlevel”);

A profundidade da água (“waterdepth”);

A água sobre a estrada (“water on street”).

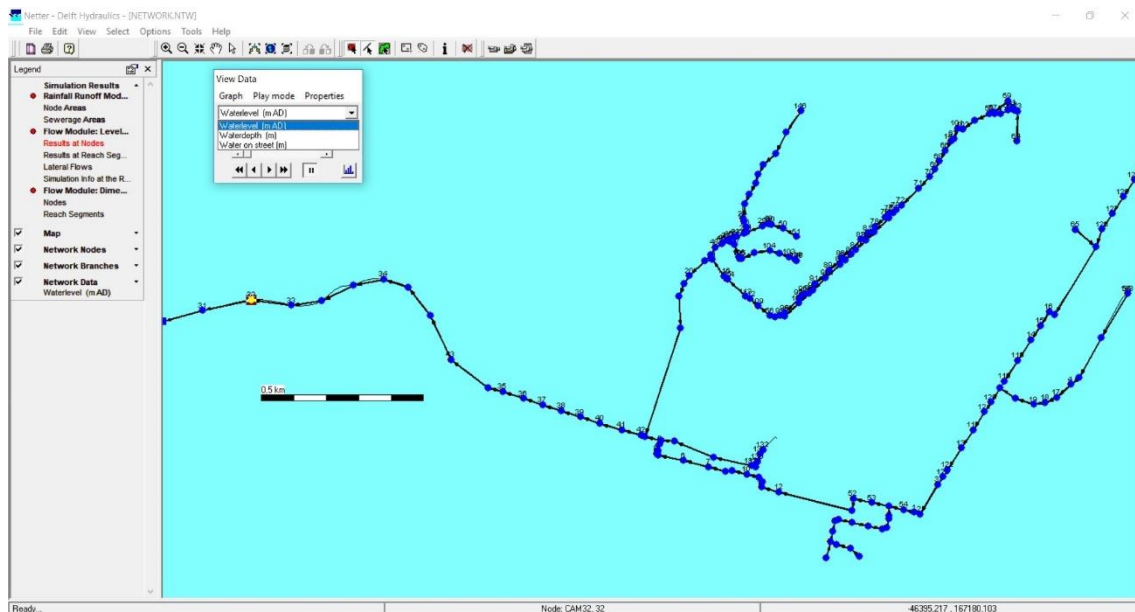


Figura 93 – Janela de visualização dos resultados nos nós, programa Sobek

Finalmente, assim dessa mesma forma vê-se os dados dos outros dois grupos que aparecem na legenda criados através das simulações. Estes não são tão importantes quanto o grupo dois devido que apenas mostram os valores que foram inseridos na “schematisation”.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

7.1 Considerações finais

Esta dissertação teve como principal objetivo a criação de um sistema integrado de modelação hidrológica e da rede de drenagem de uma bacia urbana, utilizando o software Sobek.

Considera-se que esse objetivo foi cumprido, apesar de diversas dificuldades relacionadas com o cadastro. De facto, o cadastro da bacia de Aldoar, teve que ser corrigido para poder ser utilizado na construção do modelo, utilizando-se para tal, ferramentas do QGIS. Atendendo à qualidade do cadastro, optou-se por identificar erros e omissões sistemáticos, propondo-se formas de os solucionar de forma expedita. A rede considerada foi simplificada, atendendo ao tempo necessário para construir o modelo.

Foram identificados os seguintes erros/omissões sistemáticos:

- Omissão das cotas da tampa e de soleira das câmaras;
- Omissão das secções transversais das câmaras;
- Valores incoerentes das cotas de soleira das câmaras;
- Repetições de câmaras no cadastro;
- Omissão das câmaras de junção e de mudança de direcção dos coletores;
- Omissão de informação relativa á respetiva secção transversal dos coletores.

Apresentou-se de forma detalhada o procedimento para implementação de modelos de redes de drenagem urbana com o programa Sobek Urban que foi objeto de estudo detalhado no âmbito desta dissertação.

O software avaliado e aplicado revelou ser muito eficiente para a modelação integrada de processos hidrológicos e drenagem em bacias urbanas.

7.2 Trabalhos futuros

Partindo do trabalho desenvolvido salientam-se algumas questões que poderão ser melhoradas e acrescentadas no futuro.

O modelo construído contém alguns aspetos que podem ser melhorados tais como:

- Realizar trabalho de campo para colmatar os erros e omissões do cadastro da rede;
- Utilizar uma metodologia mais desenvolvida para definir as áreas de escoamento superficial que contribuem para cada câmara;
- Definir os dados de evaporação e do vento para o local em causa.

De acordo com a regulamentação em vigor a localização das câmaras de visita é obrigatória:

- a) na confluência dos coletores;
- b) nos pontos de mudança de direção, de inclinação e de diâmetro dos coletores;
- c) Nos alinhamentos retos, com afastamento máximo de 60 m e 100 m, conforme se trate, respetivamente, de coletores não visitáveis ou visitáveis.

No modelo implementado a alínea a) e b) estão asseguradas, mas a alínea c) não foi confirmada, por isso um dos trabalhos a fazer é confirmar os trechos retos e se necessário acrescentar novas câmaras para cumprir o regulamento.

Outro trabalho que poderá ser realizado é a calibração do modelo, a partir de medições realizadas na bacia.

A construção do modelo poderá ser completada no futuro com o cadastro existente, adicionando-se os coletores de acordo com a metodologia especificada.

Finalmente o impacto da descarga desta rede de drenagem sobre às águas costeiras, poderá ser avaliado, complementando-se e ligando-se este modelo a um modelo existente no Laboratório de Hidroinformática da Universidade do Minho da zona costeira adjacente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bach, P. M., Rauch, W., Mikkelsen, P. S., McCarthy, D. T., & Deletic, A. (2014). A critical review of integrated urban water modelling—Urban drainage and beyond. *Environmental modelling & software*, 54, 88-107.

Brown, R.R., Keath, N., Wong, T.H.F., 2009. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Sci. Technol.* 59 (5), 847e855.

Decreto-Regulamentar Nº 23/95 – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Drenagem de Águas Residuais. *Diário da República*, I Série B, nº 1984, 1995.

Deltares, 2014. Hydrodynamics, Rainfall Runoff and Real Time Control - User Manual

Ensinas, Maria, 2009. Tese de Mestrado: Integração de Modelos Matemáticos de Simulação de Sistemas de Drenagem Urbana com Sistemas de Informação Geográfica

Faria, R., & Pedrosa, A. (2005). *Aplicação SIG na elaboração de cartografia temática de base na bacia hidrográfica do Rio Uíma – Santa Maria da Feira*.

Ferreira, João. 2016. Tese de Mestrado: Sistema de Previsão e Alerta de Cheias e Inundações para as bacias dos rios Selho e Este

Fletcher, T. D., Herve Andrieu, and Perrine Hamel. "Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art." *Advances in Water Resources* 51 (2013): 261-279.

Freni, Gabriele, Giorgio Mannina, and Gaspare Viviani. "Urban runoff modelling uncertainty: Comparison among Bayesian and pseudo-Bayesian methods." *Environmental modelling & software* 24.9 (2009): 1100-1111.

Freni, Gabriele, Giorgio Mannina, and Gaspare Viviani. "Uncertainty in urban stormwater quality modelling: The influence of likelihood measure formulation in the GLUE methodology." *Science of the total environment* 408.1 (2009): 138-145.

HUBER, W.C. e DICKINSON, R.E. (1992) - *Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual*. U.S. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia

MATOS, M. R. e SILVA, M. H., 1986, “Estudos de precipitação com aplicação no projecto de sistemas de drenagem pluvial. Curvas intensidade-duração-frequência da precipitação em Portugal”. *Encontro Nacional de Saneamento Básico/86*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

MATOS J. (2005) - *Modelação Integrada de Sistemas de Águas Residuais*. Seminário de Aspetos em Portugal e na União Europeia das diretivas incidentes no ciclo urbano da água. APRH, Covilhã, Portugal.

Pinho, J.L. & Vieira, J.M. 2006. Aspectos da aplicação do delft hydraulics ‘sobek’ no desenvolvimento de um sistema de gestão operacional da água em Alqueva.

Pinho & Vieira. 2015. Apontamentos de Gestão da Água, Universidade do Minho

Pinho, J., & Vieira, J. M. (2002).

Santos. (2008). O Sistema de Informação Geográfica aplicado à Modelagem Hidrológica.pdf

(Web) Deltares, 2011. Sobek 1D/2D modelling suite for integral water solutions. Deltares Systems.

(Web) DHI Water & Environment, 2003. Mike urban integrated urban water modelling

XP Soluções, 1974. Em < <https://www.environmental-expert.com/software/microdrainage-drainage-design-software-549503>> . Acesso em 2 de outubro de 2017.

Anexos

Anexo I

Legenda:

	Interpolação com duas camaras antes
	Valores dados
	Interpolação intermedia
	Câmaras adicionadas
	Valores que foram dados, mas que não se enquadravam na ordem logica do escoamento
	Câmaras eliminadas do cadastro por não se enquadrarem

Tabela:

OBJECTID	Cota Soleira	Cota Tampa	Forma Tampa	DimensaoSe	Dimensao_1	Area transversal
1	39.85	42.9	Circular	600	0	0,28
2	40.15	43.22	Circular	600	0	0,28
3	41.94	45.01	Circular	600	0	0,28
4	55.04	58.3	Circular	500	0	0,19
5	20.82	28.24	Circular	600	0	0,28
6	22.82	30.52	Circular	600	0	0,28
7	24.16	32.04	Circular	600	0	0,28
8	21.36	28.86	Circular	600	0	0,28
9	21.21	28.69	Circular	600	0	0,28
10	26.18	34.33	Circular	600	0	0,28
11	27.21	35.5	Circular	600	0	0,28
12	28.13	36.55	Circular	600	0	0,28
13	43.06	47.19	Circular	600	0	0,28
14	58.76	62.0	Circular	600	0	0,28
15	60.84	63.41	Circular	600	0	0,28
16	62.86	64.96	Circular	600	0	0,28
17	54.42	57.68	Circular	500	0	0,19
18	54.02	57.28	Circular	500	0	0,19
19	53.65	56.91	Circular	600	0	0,28
20	24.18	30.38	Circular	600	0	0,28
21	29.2	32.1	Circular	600	0	0,28
22	32.28	34.08	Circular	500	0	0,19
23	32.92	34.87	Circular	500	0	0,19
24	33.62	35.72	Circular	600	0	0,28
25	33.43	35.68	Circular	600	0	0,28
26	33.94	36.49	Circular	600	0	0,28
27	34.3	36.1	Circular	600	0	0,28

Contributos para um sistema integrado de modelação hidrológica e da rede de drenagem de uma bacia urbana

28	34.47	37.57	Circular	600	0	0,28
29	34.63	37.23	Circular	500	0	0,19
30	35.19	38.34	Circular	600	0	0,28
31	0.98	3.78	Circular	500	0	0,19
32	3.4	9.67	Circular	500	0	0,19
33	5.35	11.53	Circular	500	0	0,19
34	9.97	15.99	Circular	500	0	0,19
35	15.73	21.74	Circular	500	0	0,19
36	16.12	22.44	Circular	500	0	0,19
37	16.49	23.19	Circular	500	0	0,19
38	17.04	23.91	Circular	500	0	0,19
39	17.43	24.65	Circular	500	0	0,19
40	17.88	25.42	Circular	500	0	0,19
41	18.7	26.26	Circular	500	0	0,19
42	19.75	27	Circular	500	0	0,19
43	15.03	20.75	Circular	500	0	0,19
44	32.8	34.65	Circular	500	0	0,19
45	32.42	34.37	Circular	500	0	0,19
46	31.96	33.76	Circular	600	0	0,19
47	31.87	33.82	Circular	500	0	0,19
48	31.43	33.23	Circular	500	0	0,19
49	35.03	37.73	Circular	500	0	0,19
50	36.0	41.8	Circular	600	0	0,28
51	36.97	43.77	Circular	600	0	0,28
52	36.64	38.34	Circular	600	0	0,28
53	37.62	40.47	Circular	500	0	0,19
54	39.29	42.29	Circular	500	0	0,19
55	58.53	61.79		600	0	0,28
56	43.97	46.97	Circular	600	0	0,28
57	59.86	67.63	Circular	500	0	0,19
58	59.35	67.67	Circular	500	0	0,19
59	62.61	66.61	Circular	500	0	0,19
60	60.88	65.98	Circular	500	0	0,19
61	63.71	67.67	Circular	500	0	0,19
62	64.09	67.69	Circular	600	0	0,28
63	64.65	67.95	Circular	500	0	0,19
64	68.66	70.28	Circular	500	0	0,19
65	66.7	70.1	Circular	600	0	0,28
66	56.66	61.01	Circular	500	0	0,19
67	57.63	62.53	Circular	600	0	0,28
68	56.56	60.16	Circular	500	0	0,19
69	55.55	60.16	Circular	500	0	0,19
70	54.56	57.36	Circular	500	0	0,19
71	54.08	56.48	Circular	500	0	0,19
72	52.48	54.73	Circular	500	0	0,19
73	51.96	54.46	Circular	600	0	0,28

74	51.76	54.01	Circular	600	0	0,28
75	51.82	53.97	Rectangular	0.5	0.5	0,25
76	51.52	53.57	Circular	500	0	0,19
77	51.37	53.57	Circular	500	0	0,19
78	50.83	52.88	Rectangular	0.5	0.5	0,25
79	0	0		0	0	
80	50.56	52.56	Circular	600	0	0,28
81	50.56	52.56	Circular	500	0	0,19
82	49.64	51.94	Circular	500	0	0,19
83	49.96	51.96	Circular	600	0	0,28
84	49.53	51.78	Circular	500	0	0,19
85	49.24	51.39	Circular	500	0	0,19
86	49.1	51.68	Circular	500	0	0,19
87	48.93	51.68	Rectangular	0.5	0.5	0,25
88	47,84	50,95	Circular	0.5	0.5	0,25
89	46.66	50.31	Rectangular	0.5	0.5	0,25
90	47.3	50.4	Rectangular	0.5	0.5	0,25
91	46.11	49.76	Rectangular	0.5	0.5	0,25
92	46,53	49,9		0,5	0,5	0,25
93	46.33	49.43	Rectangular	0.5	0.5	0,25
94	44.68	48.38	Circular	500	0	0,19
95	44.32	48.02	Circular	500	0	0,19
96	45.48	48.98	Circular	500	0	0,19
97	45.43	49.03	Circular	600	0	0,28
98	0	0		0	0	
99	0	0		0	0	
100	45.53	48.93	Circular	500	0	0,19
101	58.24	63.64	Circular	600	0	0,28
102	58,9	64,29		500	0	0,19
103	42.37	44.17	Circular	500	0	0,19
104	39.9	41.6	Circular	600	0	0,28
105	36.43	38.23	Circular	500	0	0,19
106	35.95	37.65	Circular	500	0	0,19
107	33.94	35.63	Rectangular	600	600	0,28
108	33.13	34.41	Circular	500	0	0,19
109	42.53	44.43	Circular	600	0	0,28
110	0	45.6	Rectangular	0	0	
111	43.1	44.93	Rectangular	0,5	0,5	0,25
112	41.52	44.43	Circular	600	0	0,28
113	40.55	48.52	Circular	600	0	0,28
114	35.38	37.14	Circular	600	0	0,28
115	34.56	36.26	Circular	500	0	0,19
116	34.13	36.03	Circular	600	0	0,28
117	46.03	49.33	Circular	500	0	0,19
118	55.77	59.07	Circular	500	0	0,19
119	52.76	56.06	Circular	500	0	0,19

Contributos para um sistema integrado de modelação hidrológica e da rede de drenagem de uma bacia urbana

120	51.92	55.12	Circular	500	0	0,19
121	48.93	52.13	Circular	500	0	0,19
122	42.8	0	Circular	600	0	0,28
123	42.4	45.43	Circular	500	0	0,19
124	71.84	75.04	Circular	600	0	0,28
125	70.75	74.05	Circular	500	0	0,19
126	69.59	72.84	Circular	500	0	0,19
127	68.65	71.9	Circular	500	0	0,19
128	67.73	71.03	Circular	500	0	0,19
129	28.05	30.02	Circular	600	0	0,28
130	28.15	29.85	Circular	600	0	0,28
131	28.9	30.6	Circular	600	0	0,28
132	29.13	31.13	Circular	600	0	0,28
133	28	29.7	Rectangular	0.5	0.5	0,25
144	57,38	62,13	Circular	600	0	0,28
146	41.83	51.92	Circular	600	0	0,28
147	43,34	45,44	Circular	600	0	0,28
148	0	0		0	0	
149	11,17	17,18	Circular	500		0,19
150	12,83	18,83	Circular	500		0,19
151	6,84	12,95	Circular	500		0,19
152	8,54	14,57	Circular	500		0,19
153	15,56	21,18	Circular	500		0,19
154	19,95	27,23	Circular	600		0,28
155	20,12	28,03	Circular	600		0,28
156	21,25	28,64	Circular	500		0,19
157	24,78	29,19	Circular	500		0,19
158	21,2	28,68	Circular	500		0,19
159	21,47	28,98	Circular	500		0,19
160	25,08	33,08	Circular	500		0,19
161	25,4	33,44	Circular	500		0,19
162	26,84	35,08	Circular	500		0,19
163	27,04	35,3	Circular	500		0,19
164	35,47	38,09	Circular	500		0,19
165	52,48	55,74	Circular	600		0,28
166	63,56	65,49	Circular	500		0,19
167	65,9	68,94	Circular	600		0,28
168	53,06	56,32	Circular	500		0,19
169	55,37	58,63	Circular	500		0,19
170	56,86	60,12	Circular	500		0,19
171	22,49	28,67	Circular	600		0,28
172	23,46	29,64	Circular	600		0,28
173	60,63	66,62	Circular	500		0,19
174	60,45	67,4	Circular	500		0,19
175	59,11	65,86	Circular	500		0,19
176	44,54	48,18	Circular	500		0,19

177	44,14	47,49	Circular	500		0,19
178	41,08	42,83	Circular	500		0,19
179	38,44	40,26	Circular	500		0,19
180	37,1	39,03	Circular	500		0,19
181	40,63	50,39	Circular	500		0,19
182	39,16	49	Circular	500		0,19
183	38,11	48,01	Circular	500		0,19
184	37,42	47,36	Circular	500		0,19
185	36,85	46,82	Circular	500		0,19
186	36,07	46,08	Circular	500		0,19
187	35,38	45,42	Circular	500		0,19
188	23,88	30,06	Circular	600		0,28
189	28,95	31,92	Circular	600		0,28
190	30,92	32,55	Circular	500		0,19

Anexo II

ID	Cross Section	Level Upstream	Level Downstream
I_1	Round 1900	39,29	37,62
I_2	Round 1900	37,62	36,64
I_3	Round 1900	39,85	39,29
I_4	Round 700 mm	52,48	51,96
I_5	Round 500 mm	51,96	51,82
I_6	Round 600 mm	51,96	51,76
I_7	Round 400 mm	43,1	42,37
I_9	Round 1900	40,15	39,85
I_10	r_Width=5,4; Height=5,4	11,17	9,97
I_11	r_Width=5,4; Height=5,4	12,83	11,17
I_12	r_Width=5,4; Height=5,4	15,03	12,83
I_13	r_Width=5,4; Height=5,4	9,97	8,54
I_14	r_Width=5,4; Height=5,4	8,54	6,84
I_15	r_Width=5,4; Height=5,4	6,84	5,35
I_16	r_Width=5,4; Height=5,4	5,35	3,4
I_17	r_Width=5,4; Height=5,4	3,4	0,98
I_19	r_Width=5,4; Height=5,4	15,73	15,56
I_20	r_Width=5,4; Height=5,4	16,12	15,73
I_21	r_Width=5,4; Height=5,4	16,49	16,12
I_22	r_Width=5,4; Height=5,4	17,04	16,49
I_23	r_Width=5,4; Height=5,4	17,43	17,04
I_24	r_Width=5,4; Height=5,4	17,88	17,43
I_25	r_Width=5,4; Height=5,4	18,7	17,88
I_26	r_Width=5,4; Height=5,4	19,75	18,7
I_27	r_Width=5,4; Height=5,4	19,95	19,75
I_28	r_Width=5,4; Height=5,4	20,12	19,95
I_29	r_Width=2,2; Height=2	20,82	20,12

I_30	Round 500 mm	21,25	20,12
I_31	Round 500 mm	24,78	21,25
I_32	Round 500 mm	28	24,78
I_33	Round 500 mm	28,05	28
I_34	Round 300 mm	29,13	28,9
I_35	Round 300 mm	28,9	28,15
I_36	Round 300 mm	28,15	28,05
I_37	Round 1000 mm	36,64	35,47
I_38	Round 1000 mm	35,47	28,13
I_39	Round 1000 mm	28,13	27,21
I_40	r_Width=1,5; Height=1,5	27,21	27,04
I_41	r_Width=1,5; Height=1,5	27,04	26,84
I_42	r_Width=1,5; Height=1,5	26,84	26,18
I_43	r_Width=1,5; Height=1,5	26,18	25,4
I_44	r_Width=1,5; Height=1,5	25,4	25,08
I_45	r_Width=1,5; Height=1,5	25,08	24,16
I_46	Round 1000 mm	24,16	22,82
I_47	Round 1200 mm	22,82	21,47
I_48	Round 1200 mm	21,47	21,36
I_49	r_Width=2,2; Height=2	21,36	21,2
I_50	r_Width=2,2; Height=2	21,2	20,82
I_51	Round 400 mm	21,21	21,2
I_52	r_Width=1; Height=0,8	41,94	40,15
I_53	r_Width=1; Height=0,8	42,4	41,94
I_54	r_Width=1; Height=0,8	42,8	42,4
I_55	r_Width=1; Height=0,8	43,06	42,8
I_56	r_Width=1; Height=0,8	51,92	48,93
I_57	r_Width=1; Height=0,8	48,93	46,03
I_58	r_Width=1; Height=0,8	46,03	43,06
I_59	r_Width=1; Height=0,8	66,7	65,9
I_60	r_Width=1; Height=0,8	65,9	63,56
I_61	r_Width=1; Height=0,8	63,56	62,86
I_62	r_Width=1; Height=0,8	62,86	60,84
I_63	r_Width=1; Height=0,8	60,84	58,76
I_64	r_Width=1; Height=0,8	58,76	55,77
I_65	r_Width=1; Height=0,8	55,77	52,76
I_66	r_Width=1; Height=0,8	52,76	52,48
I_67	r_Width=1; Height=0,8	52,48	51,92
I_68	r_Width=0,8; Height=1	71,84	70,75
I_69	r_Width=1; Height=0,8	70,75	69,59
I_70	r_Width=1; Height=0,8	69,59	68,65
I_71	r_Width=1; Height=0,8	68,65	67,73
I_72	r_Width=1; Height=0,8	67,73	65,9
I_73	Round 400 mm	53,65	53,06
I_74	Round 400 mm	53,06	52,48
I_75	Round 400 mm	58,53	56,86

l_76	Round 400 mm	56,86	55,37
l_77	Round 400 mm	55,37	55,04
l_78	Round 400 mm	55,04	54,42
l_79	Round 400 mm	54,42	54,02
l_80	Round 400 mm	54,02	53,65
l_82	Round 500 mm	23,46	22,49
l_83	Round 500 mm	22,49	19,95
l_84	Round 400 mm	43,34	43,1
l_85	Round 400 mm	36,43	35,95
l_86	Round 400 mm	35,95	33,94
l_87	Round 400 mm	33,94	33,13
l_88	Round 500 mm	33,13	32,28
l_89	r_Width=1,1; Height=0,6	36,97	36
l_90	r_Width=1,1; Height=0,6	36	35,19
l_91	Round 400 mm	35,19	35,03
l_92	Round 600 mm	35,03	34,63
l_93	Round 600 mm	34,63	33,62
l_94	Round 600 mm	33,62	33,43
l_95	Round 600 mm	33,43	32,92
l_96	Round 600 mm	32,92	32,8
l_97	Round 600 mm	32,8	32,42
l_98	Round 600 mm	32,42	32,28
l_99	Round 500 mm	68,66	64,65
l_100	Round 500 mm	64,65	64,09
l_101	Round 500 mm	64,09	63,71
l_103	r_nao tendo certeza	63,71	60,88
l_104	r_nao tendo certeza	62,61	60,88
l_105	r_Width=20; Height=5	62,61	59,86
l_106	Round 500 mm	63,71	62,61
l_107	r_nao tendo certeza	60,88	60,63
l_108	r_nao tendo certeza	60,63	60,45
l_109	r_nao tendo certeza	60,45	59,86
l_110	r_Width=20; Height=5	59,86	59,35
l_111	Round 500 mm	59,35	59,11
l_112	Round 500 mm	59,11	58,9
l_113	Round 500 mm	58,9	58,24
l_114	Round 500 mm	58,24	57,63
l_115	Round 700 mm	57,63	57,38
l_116	Round 700 mm	57,38	56,66
l_117	Round 700 mm	56,66	56,56
l_118	Round 700 mm	56,56	55,55
l_119	Round 700 mm	55,55	54,56
l_120	Round 700 mm	54,56	54,08
l_121	Round 700 mm	54,08	52,48
l_122	Round 500 mm	51,82	51,52
l_123	Round 600 mm	51,76	51,37

I_124	Round 600 mm	51,37	50,56
I_125	Round 600 mm	50,56	49,96
I_126	Round 500 mm	51,52	50,83
I_127	Round 600 mm	50,83	50,56
I_128	Round 600 mm	50,56	49,64
I_129	Round 600 mm	49,64	44,66
I_130	Round 600 mm	49,96	49,53
I_131	Round 600 mm	49,53	49,24
I_132	Round 600 mm	49,24	49,1
I_133	Round 600 mm	49,1	48,93
I_134	Round 600 mm	44,66	46,66
I_135	Round 600 mm	46,66	46,11
I_136	Round 600 mm	46,11	45,48
I_137	Round 600 mm	48,93	47,3
I_138	Round 600 mm	47,3	47,55
I_139	Round 600 mm	47,55	46,33
I_140	Round 600 mm	46,33	45,53
I_141	Round 600 mm	45,48	45,43
I_142	Round 600 mm	45,43	44,68
I_143	Round 600 mm	44,68	44,32
I_144	Round 600 mm	45,53	44,54
I_145	Round 600 mm	44,54	44,32
I_146	Round 600 mm	43,97	42,53
I_147	Round 600 mm	42,53	41,52
I_148	Round 600 mm	41,52	40,55
I_149	Round 600 mm	40,55	35,38
I_150	Round 600 mm	35,38	34,56
I_151	Round 600 mm	34,56	34,13
I_152	Round 600 mm	34,13	29,2
I_153	r_Width=1,20; Height=1,555	29,2	28,95
I_154	Round 600 mm	44,32	44,14
I_155	Round 600 mm	44,14	43,97
I_156	r_Width=0,6; Height=0,4	39,9	38,44
I_157	r_Width=0,6; Height=0,4	38,44	37,1
I_158	r_Width=0,6; Height=0,4	37,1	36,43
I_159	Round 400 mm	42,37	41,08
I_160	Round 400 mm	41,08	39,9
I_161	Round 800 mm (Round 880 mm)	41,83	40,63
I_162	Round 800 mm (Round 880 mm)	40,63	39,16
I_163	Round 800 mm (Round 880 mm)	39,16	38,11
I_164	Round 800 mm (Round 880 mm)	38,11	37,42
I_165	Round 800 mm (Round 880 mm)	37,42	36,85
I_166	Round 800 mm (Round 880 mm)	36,85	36,07
I_167	Round 800 mm (Round 880 mm)	36,07	35,38
I_168	Round 800 mm (Round 880 mm)	35,38	34,47
I_169	Round 800 mm (Round 880 mm)	34,47	34,3

I_170	Round 800 mm (Round 800 mm)	34,3	33,94
I_171	Round 800 mm (Round 880 mm)	33,94	33,62
I_172	Round 500 mm	32,28	31,96
I_173	Round 500 mm	31,96	31,87
I_174	Round 500 mm	31,87	31,43
I_175	Round 500 mm	31,43	30,92
I_176	Round 500 mm	30,92	28,95
I_177	Round 500 mm	28,95	24,18
I_178	Round 500 mm	24,18	23,88
I_179	Round 500 mm	23,88	23,46
I_8	r_Width=5,4; Height=5,4	0,98	0
I_182	r_Width=5,4; Height=5,4	15,56	15,03

Anexo III

Cenário 1:

	start date	start time	end date	end time	station 1
1	01/01/2014	00:00:00	02/01/2014	00:00:00	1,7
2	02/01/2014	00:00:00	03/01/2014	00:00:00	29,2
3	03/01/2014	00:00:00	04/01/2014	00:00:00	40,7
4	04/01/2014	00:00:00	05/01/2014	00:00:00	12,3
5	05/01/2014	00:00:00	06/01/2014	00:00:00	12,5
6	06/01/2014	00:00:00	07/01/2014	00:00:00	5,3
7	07/01/2014	00:00:00	08/01/2014	00:00:00	25,4
8	08/01/2014	00:00:00	09/01/2014	00:00:00	2,5
9	09/01/2014	00:00:00	10/01/2014	00:00:00	0,1
10	10/01/2014	00:00:00	11/01/2014	00:00:00	0,1
11	11/01/2014	00:00:00	12/01/2014	00:00:00	0,1
12	12/01/2014	00:00:00	13/01/2014	00:00:00	0,2
13	13/01/2014	00:00:00	14/01/2014	00:00:00	7,1
14	14/01/2014	00:00:00	15/01/2014	00:00:00	10
15	15/01/2014	00:00:00	16/01/2014	00:00:00	2,4
16	16/01/2014	00:00:00	17/01/2014	00:00:00	18,7
17	17/01/2014	00:00:00	18/01/2014	00:00:00	26,8
18	18/01/2014	00:00:00	19/01/2014	00:00:00	5,8
19	19/01/2014	00:00:00	20/01/2014	00:00:00	10,6
20	20/01/2014	00:00:00	21/01/2014	00:00:00	1,3
21	21/01/2014	00:00:00	22/01/2014	00:00:00	1
22	22/01/2014	00:00:00	23/01/2014	00:00:00	5
23	23/01/2014	00:00:00	24/01/2014	00:00:00	0,1
24	24/01/2014	00:00:00	25/01/2014	00:00:00	0,1
25	25/01/2014	00:00:00	26/01/2014	00:00:00	1,5
26	26/01/2014	00:00:00	27/01/2014	00:00:00	0,7
27	27/01/2014	00:00:00	28/01/2014	00:00:00	2,3

28	28/01/2014	00:00:00	29/01/2014	00:00:00	2,5
29	29/01/2014	00:00:00	30/01/2014	00:00:00	16
30	30/01/2014	00:00:00	31/01/2014	00:00:00	4,8
31	31/01/2014	00:00:00	01/02/2014	00:00:00	6,2
32	01/02/2014	00:00:00	02/02/2014	00:00:00	4,9
33	02/02/2014	00:00:00	03/02/2014	00:00:00	5
34	03/02/2014	00:00:00	04/02/2014	00:00:00	2,8
35	04/02/2014	00:00:00	05/02/2014	00:00:00	3
36	05/02/2014	00:00:00	06/02/2014	00:00:00	29,9
37	06/02/2014	00:00:00	07/02/2014	00:00:00	10
38	07/02/2014	00:00:00	08/02/2014	00:00:00	13,8
39	08/02/2014	00:00:00	09/02/2014	00:00:00	19,9
40	09/02/2014	00:00:00	10/02/2014	00:00:00	5,7
41	10/02/2014	00:00:00	11/02/2014	00:00:00	14,8
42	11/02/2014	00:00:00	12/02/2014	00:00:00	14,8
43	12/02/2014	00:00:00	13/02/2014	00:00:00	7,4
44	13/02/2014	00:00:00	14/02/2014	00:00:00	4,3
45	14/02/2014	00:00:00	15/02/2014	00:00:00	3,8
46	15/02/2014	00:00:00	16/02/2014	00:00:00	30,6
47	16/02/2014	00:00:00	17/02/2014	00:00:00	1,8
48	17/02/2014	00:00:00	18/02/2014	00:00:00	1,8
49	18/02/2014	00:00:00	19/02/2014	00:00:00	16,3
50	19/02/2014	00:00:00	20/02/2014	00:00:00	0,1
51	20/02/2014	00:00:00	21/02/2014	00:00:00	3,1
52	21/02/2014	00:00:00	22/02/2014	00:00:00	4,5
53	22/02/2014	00:00:00	23/02/2014	00:00:00	2,8
54	23/02/2014	00:00:00	24/02/2014	00:00:00	0
55	24/02/2014	00:00:00	25/02/2014	00:00:00	9,2
56	25/02/2014	00:00:00	26/02/2014	00:00:00	4,8
57	26/02/2014	00:00:00	27/02/2014	00:00:00	2,7
58	27/02/2014	00:00:00	28/02/2014	00:00:00	6,3
59	28/02/2014	00:00:00	01/03/2014	00:00:00	1,2
60	01/03/2014	00:00:00	02/03/2014	00:00:00	11,6
61	02/03/2014	00:00:00	03/03/2014	00:00:00	7,5
62	03/03/2014	00:00:00	04/03/2014	00:00:00	7,2
63	04/03/2014	00:00:00	05/03/2014	00:00:00	2,5
64	05/03/2014	00:00:00	06/03/2014	00:00:00	6,4
65	06/03/2014	00:00:00	07/03/2014	00:00:00	0,1
66	07/03/2014	00:00:00	08/03/2014	00:00:00	0,2
67	08/03/2014	00:00:00	09/03/2014	00:00:00	0,1
68	09/03/2014	00:00:00	10/03/2014	00:00:00	0
69	10/03/2014	00:00:00	11/03/2014	00:00:00	0
70	11/03/2014	00:00:00	12/03/2014	00:00:00	0
71	12/03/2014	00:00:00	13/03/2014	00:00:00	0
72	13/03/2014	00:00:00	14/03/2014	00:00:00	0
73	14/03/2014	00:00:00	15/03/2014	00:00:00	0

74	15/03/2014	00:00:00	16/03/2014	00:00:00	0
75	16/03/2014	00:00:00	17/03/2014	00:00:00	0,1
76	17/03/2014	00:00:00	18/03/2014	00:00:00	0
77	18/03/2014	00:00:00	19/03/2014	00:00:00	0
78	19/03/2014	00:00:00	20/03/2014	00:00:00	0
79	20/03/2014	00:00:00	21/03/2014	00:00:00	0
80	21/03/2014	00:00:00	22/03/2014	00:00:00	0
81	22/03/2014	00:00:00	23/03/2014	00:00:00	11,4
82	23/03/2014	00:00:00	24/03/2014	00:00:00	0,3
83	24/03/2014	00:00:00	25/03/2014	00:00:00	0
84	25/03/2014	00:00:00	26/03/2014	00:00:00	8,5
85	26/03/2014	00:00:00	27/03/2014	00:00:00	2,1
86	27/03/2014	00:00:00	28/03/2014	00:00:00	1,3
87	28/03/2014	00:00:00	29/03/2014	00:00:00	0,1
88	29/03/2014	00:00:00	30/03/2014	00:00:00	7,5
89	30/03/2014	00:00:00	31/03/2014	00:00:00	0
90	31/03/2014	00:00:00	01/04/2014	00:00:00	10,6
91	01/04/2014	00:00:00	02/04/2014	00:00:00	8,3
92	02/04/2014	00:00:00	03/04/2014	00:00:00	13,9
93	03/04/2014	00:00:00	04/04/2014	00:00:00	5,2
94	04/04/2014	00:00:00	05/04/2014	00:00:00	0,7
95	05/04/2014	00:00:00	06/04/2014	00:00:00	18,4
96	06/04/2014	00:00:00	07/04/2014	00:00:00	0,4
97	07/04/2014	00:00:00	08/04/2014	00:00:00	0
98	08/04/2014	00:00:00	09/04/2014	00:00:00	0,1
99	09/04/2014	00:00:00	10/04/2014	00:00:00	0
100	10/04/2014	00:00:00	11/04/2014	00:00:00	0,1
101	11/04/2014	00:00:00	12/04/2014	00:00:00	0
102	12/04/2014	00:00:00	13/04/2014	00:00:00	0
103	13/04/2014	00:00:00	14/04/2014	00:00:00	0,1
104	14/04/2014	00:00:00	15/04/2014	00:00:00	0,1
105	15/04/2014	00:00:00	16/04/2014	00:00:00	0
106	16/04/2014	00:00:00	17/04/2014	00:00:00	0,1
107	17/04/2014	00:00:00	18/04/2014	00:00:00	0
108	18/04/2014	00:00:00	19/04/2014	00:00:00	0,1
109	19/04/2014	00:00:00	20/04/2014	00:00:00	0
110	20/04/2014	00:00:00	21/04/2014	00:00:00	0
111	21/04/2014	00:00:00	22/04/2014	00:00:00	0
112	22/04/2014	00:00:00	23/04/2014	00:00:00	0
113	23/04/2014	00:00:00	24/04/2014	00:00:00	8,4
114	24/04/2014	00:00:00	25/04/2014	00:00:00	3,8
115	25/04/2014	00:00:00	26/04/2014	00:00:00	6,3
116	26/04/2014	00:00:00	27/04/2014	00:00:00	11,8
117	27/04/2014	00:00:00	28/04/2014	00:00:00	0,3
118	28/04/2014	00:00:00	29/04/2014	00:00:00	0
119	29/04/2014	00:00:00	30/04/2014	00:00:00	0,7

120	30/04/2014	00:00:00	01/05/2014	00:00:00	0,3
-----	------------	----------	------------	----------	-----

Cenário 2:

	start date	start time	end date	end time	
1	01/09/2014	00:00:00	02/09/2014	00:00:00	0
2	02/09/2014	00:00:00	03/09/2014	00:00:00	0
3	03/09/2014	00:00:00	04/09/2014	00:00:00	0
4	04/09/2014	00:00:00	05/09/2014	00:00:00	0
5	05/09/2014	00:00:00	06/09/2014	00:00:00	0
6	06/09/2014	00:00:00	07/09/2014	00:00:00	1,3
7	07/09/2014	00:00:00	08/09/2014	00:00:00	2,3
8	08/09/2014	00:00:00	09/09/2014	00:00:00	13,9
9	09/09/2014	00:00:00	10/09/2014	00:00:00	0,1
10	10/09/2014	00:00:00	11/09/2014	00:00:00	0
11	11/09/2014	00:00:00	12/09/2014	00:00:00	0,6
12	12/09/2014	00:00:00	13/09/2014	00:00:00	6,6
13	13/09/2014	00:00:00	14/09/2014	00:00:00	0
14	14/09/2014	00:00:00	15/09/2014	00:00:00	0,1
15	15/09/2014	00:00:00	16/09/2014	00:00:00	16,1
16	16/09/2014	00:00:00	17/09/2014	00:00:00	2,2
17	17/09/2014	00:00:00	18/09/2014	00:00:00	3,8
18	18/09/2014	00:00:00	19/09/2014	00:00:00	16,9
19	19/09/2014	00:00:00	20/09/2014	00:00:00	22,6
20	20/09/2014	00:00:00	21/09/2014	00:00:00	2,6
21	21/09/2014	00:00:00	22/09/2014	00:00:00	0
22	22/09/2014	00:00:00	23/09/2014	00:00:00	17,6
23	23/09/2014	00:00:00	24/09/2014	00:00:00	1,5
24	24/09/2014	00:00:00	25/09/2014	00:00:00	0,1
25	25/09/2014	00:00:00	26/09/2014	00:00:00	0
26	26/09/2014	00:00:00	27/09/2014	00:00:00	0
27	27/09/2014	00:00:00	28/09/2014	00:00:00	0,7
28	28/09/2014	00:00:00	29/09/2014	00:00:00	0,3
29	29/09/2014	00:00:00	30/09/2014	00:00:00	1,2
30	30/09/2014	00:00:00	01/10/2014	00:00:00	0,1
31	01/10/2014	00:00:00	02/10/2014	00:00:00	0,1
32	02/10/2014	00:00:00	03/10/2014	00:00:00	0
33	03/10/2014	00:00:00	04/10/2014	00:00:00	0
34	04/10/2014	00:00:00	05/10/2014	00:00:00	0
35	05/10/2014	00:00:00	06/10/2014	00:00:00	0
36	06/10/2014	00:00:00	07/10/2014	00:00:00	0
37	07/10/2014	00:00:00	08/10/2014	00:00:00	4,2
38	08/10/2014	00:00:00	09/10/2014	00:00:00	10,4
39	09/10/2014	00:00:00	10/10/2014	00:00:00	20,1
40	10/10/2014	00:00:00	11/10/2014	00:00:00	0

41	11/10/2014	00:00:00	12/10/2014	00:00:00	0,2
42	12/10/2014	00:00:00	13/10/2014	00:00:00	2,6
43	13/10/2014	00:00:00	14/10/2014	00:00:00	1,3
44	14/10/2014	00:00:00	15/10/2014	00:00:00	24
45	15/10/2014	00:00:00	16/10/2014	00:00:00	12,7
46	16/10/2014	00:00:00	17/10/2014	00:00:00	31,9
47	17/10/2014	00:00:00	18/10/2014	00:00:00	11,8
48	18/10/2014	00:00:00	19/10/2014	00:00:00	17,1
49	19/10/2014	00:00:00	20/10/2014	00:00:00	5
50	20/10/2014	00:00:00	21/10/2014	00:00:00	0
51	21/10/2014	00:00:00	22/10/2014	00:00:00	0
52	22/10/2014	00:00:00	23/10/2014	00:00:00	0,1
53	23/10/2014	00:00:00	24/10/2014	00:00:00	0,1
54	24/10/2014	00:00:00	25/10/2014	00:00:00	0
55	25/10/2014	00:00:00	26/10/2014	00:00:00	0,1
56	26/10/2014	00:00:00	27/10/2014	00:00:00	0
57	27/10/2014	00:00:00	28/10/2014	00:00:00	0
58	28/10/2014	00:00:00	29/10/2014	00:00:00	0,1
59	29/10/2014	00:00:00	30/10/2014	00:00:00	0
60	30/10/2014	00:00:00	31/10/2014	00:00:00	0
61	31/10/2014	00:00:00	01/11/2014	00:00:00	0,1
62	01/11/2014	00:00:00	02/11/2014	00:00:00	0,6
63	02/11/2014	00:00:00	03/11/2014	00:00:00	0,1
64	03/11/2014	00:00:00	04/11/2014	00:00:00	0,5
65	04/11/2014	00:00:00	05/11/2014	00:00:00	1,4
66	05/11/2014	00:00:00	06/11/2014	00:00:00	9,1
67	06/11/2014	00:00:00	07/11/2014	00:00:00	0,1
68	07/11/2014	00:00:00	08/11/2014	00:00:00	9,6
69	08/11/2014	00:00:00	09/11/2014	00:00:00	0,8
70	09/11/2014	00:00:00	10/11/2014	00:00:00	13,2
71	10/11/2014	00:00:00	11/11/2014	00:00:00	0,2
72	11/11/2014	00:00:00	12/11/2014	00:00:00	8,2
73	12/11/2014	00:00:00	13/11/2014	00:00:00	6,3
74	13/11/2014	00:00:00	14/11/2014	00:00:00	37,1
75	14/11/2014	00:00:00	15/11/2014	00:00:00	1,8
76	15/11/2014	00:00:00	16/11/2014	00:00:00	10,2
77	16/11/2014	00:00:00	17/11/2014	00:00:00	9,1
78	17/11/2014	00:00:00	18/11/2014	00:00:00	1,3
79	18/11/2014	00:00:00	19/11/2014	00:00:00	0,3
80	19/11/2014	00:00:00	20/11/2014	00:00:00	9,9
81	20/11/2014	00:00:00	21/11/2014	00:00:00	9,1
82	21/11/2014	00:00:00	22/11/2014	00:00:00	0,5
83	22/11/2014	00:00:00	23/11/2014	00:00:00	0
84	23/11/2014	00:00:00	24/11/2014	00:00:00	3,1
85	24/11/2014	00:00:00	25/11/2014	00:00:00	0,1
86	25/11/2014	00:00:00	26/11/2014	00:00:00	0,1

87	26/11/2014	00:00:00	27/11/2014	00:00:00	0
88	27/11/2014	00:00:00	28/11/2014	00:00:00	0,3
89	28/11/2014	00:00:00	29/11/2014	00:00:00	5,8
90	29/11/2014	00:00:00	30/11/2014	00:00:00	3,6
91	30/11/2014	00:00:00	01/12/2014	00:00:00	0
92	01/12/2014	00:00:00	02/12/2014	00:00:00	0
93	02/12/2014	00:00:00	03/12/2014	00:00:00	0
94	03/12/2014	00:00:00	04/12/2014	00:00:00	0
95	04/12/2014	00:00:00	05/12/2014	00:00:00	0
96	05/12/2014	00:00:00	06/12/2014	00:00:00	0
97	06/12/2014	00:00:00	07/12/2014	00:00:00	0
98	07/12/2014	00:00:00	08/12/2014	00:00:00	0
99	08/12/2014	00:00:00	09/12/2014	00:00:00	0
100	09/12/2014	00:00:00	10/12/2014	00:00:00	0
101	10/12/2014	00:00:00	11/12/2014	00:00:00	0
102	11/12/2014	00:00:00	12/12/2014	00:00:00	0,1
103	12/12/2014	00:00:00	13/12/2014	00:00:00	0
104	13/12/2014	00:00:00	14/12/2014	00:00:00	25,4
105	14/12/2014	00:00:00	15/12/2014	00:00:00	1,6
106	15/12/2014	00:00:00	16/12/2014	00:00:00	0
107	16/12/2014	00:00:00	17/12/2014	00:00:00	5,4
108	17/12/2014	00:00:00	18/12/2014	00:00:00	0
109	18/12/2014	00:00:00	19/12/2014	00:00:00	0
110	19/12/2014	00:00:00	20/12/2014	00:00:00	0
111	20/12/2014	00:00:00	21/12/2014	00:00:00	0
112	21/12/2014	00:00:00	22/12/2014	00:00:00	0
113	22/12/2014	00:00:00	23/12/2014	00:00:00	0
114	23/12/2014	00:00:00	24/12/2014	00:00:00	0
115	24/12/2014	00:00:00	25/12/2014	00:00:00	0
116	25/12/2014	00:00:00	26/12/2014	00:00:00	0
117	26/12/2014	00:00:00	27/12/2014	00:00:00	0,1
118	27/12/2014	00:00:00	28/12/2014	00:00:00	0
119	28/12/2014	00:00:00	29/12/2014	00:00:00	1,8
120	29/12/2014	00:00:00	30/12/2014	00:00:00	0,2
121	30/12/2014	00:00:00	31/12/2014	00:00:00	0
122	31/12/2014	00:00:00	01/01/2015	00:00:00	0

Cenário 3:

	start date	start time	end date	end time	
1	01/10/2014	00:00:00	02/10/2014	00:00:00	0
2	02/10/2014	00:00:00	03/10/2014	00:00:00	0
3	03/10/2014	00:00:00	04/10/2014	00:00:00	0
4	04/10/2014	00:00:00	05/10/2014	00:00:00	58,53
5	05/10/2014	00:00:00	06/10/2014	00:00:00	58,53

6	06/10/2014	00:00:00	07/10/2014	00:00:00	58,53
7	07/10/2014	00:00:00	08/10/2014	00:00:00	0
8	08/10/2014	00:00:00	09/10/2014	00:00:00	0
9	09/10/2014	00:00:00	10/10/2014	00:00:00	0
10	10/10/2014	00:00:00	11/10/2014	00:00:00	0
11	11/10/2014	00:00:00	12/10/2014	00:00:00	0
12	12/10/2014	00:00:00	13/10/2014	00:00:00	0
13	13/10/2014	00:00:00	14/10/2014	00:00:00	0
14	14/10/2014	00:00:00	15/10/2014	00:00:00	0
15	15/10/2014	00:00:00	16/10/2014	00:00:00	0
16	16/10/2014	00:00:00	17/10/2014	00:00:00	0
17	17/10/2014	00:00:00	18/10/2014	00:00:00	0
18	18/10/2014	00:00:00	19/10/2014	00:00:00	0
19	19/10/2014	00:00:00	20/10/2014	00:00:00	0

Cenário 4:

	start date	start time	end date	end time	station 1
1	02/10/2014	00:00:00	02/10/2014	00:50:00	0
2	02/10/2014	00:50:00	02/10/2014	01:40:00	0
3	02/10/2014	01:40:00	02/10/2014	02:30:00	0
4	02/10/2014	02:30:00	02/10/2014	03:20:00	0
5	02/10/2014	03:20:00	02/10/2014	04:10:00	45
6	02/10/2014	04:10:00	02/10/2014	05:00:00	0
7	02/10/2014	05:00:00	02/10/2014	05:50:00	0
8	02/10/2014	05:50:00	02/10/2014	06:40:00	0
9	02/10/2014	06:40:00	02/10/2014	07:30:00	0
10	02/10/2014	07:30:00	02/10/2014	08:20:00	0
11	02/10/2014	08:20:00	02/10/2014	09:10:00	0
12	02/10/2014	09:10:00	02/10/2014	10:00:00	0
13	02/10/2014	10:00:00	02/10/2014	10:50:00	0
14	02/10/2014	10:50:00	02/10/2014	11:40:00	0
15	02/10/2014	11:40:00	02/10/2014	12:30:00	0
16	02/10/2014	12:30:00	02/10/2014	13:20:00	0
17	02/10/2014	13:20:00	02/10/2014	14:10:00	0
18	02/10/2014	14:10:00	02/10/2014	15:00:00	0
19	02/10/2014	15:00:00	02/10/2014	15:50:00	0
20	02/10/2014	15:50:00	02/10/2014	16:40:00	0
21	02/10/2014	16:40:00	02/10/2014	17:30:00	0
22	02/10/2014	17:30:00	02/10/2014	18:20:00	0
23	02/10/2014	18:20:00	02/10/2014	19:10:00	0
24	02/10/2014	19:10:00	02/10/2014	20:00:00	0
25	02/10/2014	20:00:00	02/10/2014	20:50:00	0
26	02/10/2014	20:50:00	02/10/2014	21:40:00	0
27	02/10/2014	21:40:00	02/10/2014	22:30:00	0

28	02/10/2014	22:30:00	02/10/2014	23:20:00	0
29	02/10/2014	23:20:00	03/10/2014	00:10:00	0
30	03/10/2014	00:10:00	03/10/2014	01:00:00	0
31	03/10/2014	01:00:00	03/10/2014	01:50:00	0
32	03/10/2014	01:50:00	03/10/2014	02:40:00	0
33	03/10/2014	02:40:00	03/10/2014	03:30:00	0
34	03/10/2014	03:30:00	03/10/2014	04:20:00	0
35	03/10/2014	04:20:00	03/10/2014	05:10:00	0
36	03/10/2014	05:10:00	03/10/2014	06:00:00	0
37	03/10/2014	06:00:00	03/10/2014	06:50:00	0
38	03/10/2014	06:50:00	03/10/2014	07:40:00	0
39	03/10/2014	07:40:00	03/10/2014	08:30:00	0
40	03/10/2014	08:30:00	03/10/2014	09:20:00	0
41	03/10/2014	09:20:00	03/10/2014	10:10:00	0
42	03/10/2014	10:10:00	03/10/2014	11:00:00	0
43	03/10/2014	11:00:00	03/10/2014	11:50:00	0
44	03/10/2014	11:50:00	03/10/2014	12:40:00	0
45	03/10/2014	12:40:00	03/10/2014	13:30:00	0
46	03/10/2014	13:30:00	03/10/2014	14:20:00	0
47	03/10/2014	14:20:00	03/10/2014	15:10:00	0
48	03/10/2014	15:10:00	03/10/2014	16:00:00	0
49	03/10/2014	16:00:00	03/10/2014	16:50:00	0
50	03/10/2014	16:50:00	03/10/2014	17:40:00	0
51	03/10/2014	17:40:00	03/10/2014	18:30:00	0
52	03/10/2014	18:30:00	03/10/2014	19:20:00	0
53	03/10/2014	19:20:00	03/10/2014	20:10:00	0
54	03/10/2014	20:10:00	03/10/2014	21:00:00	0
55	03/10/2014	21:00:00	03/10/2014	21:50:00	0
56	03/10/2014	21:50:00	03/10/2014	22:40:00	0
57	03/10/2014	22:40:00	03/10/2014	23:30:00	0
58	03/10/2014	23:30:00	04/10/2014	00:20:00	0
59	04/10/2014	00:20:00	04/10/2014	01:10:00	0
60	04/10/2014	01:10:00	04/10/2014	02:00:00	0
61	04/10/2014	02:00:00	04/10/2014	02:50:00	0
62	04/10/2014	02:50:00	04/10/2014	03:40:00	0
63	04/10/2014	03:40:00	04/10/2014	04:30:00	0
64	04/10/2014	04:30:00	04/10/2014	05:20:00	0
65	04/10/2014	05:20:00	04/10/2014	06:10:00	0
66	04/10/2014	06:10:00	04/10/2014	07:00:00	0
67	04/10/2014	07:00:00	04/10/2014	07:50:00	0
68	04/10/2014	07:50:00	04/10/2014	08:40:00	0
69	04/10/2014	08:40:00	04/10/2014	09:30:00	0
70	04/10/2014	09:30:00	04/10/2014	10:20:00	0
71	04/10/2014	10:20:00	04/10/2014	11:10:00	0
72	04/10/2014	11:10:00	04/10/2014	12:00:00	0
73	04/10/2014	12:00:00	04/10/2014	12:50:00	0

74	04/10/2014	12:50:00	04/10/2014	13:40:00	0
75	04/10/2014	13:40:00	04/10/2014	14:30:00	0
76	04/10/2014	14:30:00	04/10/2014	15:20:00	0
77	04/10/2014	15:20:00	04/10/2014	16:10:00	0
78	04/10/2014	16:10:00	04/10/2014	17:00:00	0
79	04/10/2014	17:00:00	04/10/2014	17:50:00	0
80	04/10/2014	17:50:00	04/10/2014	18:40:00	0
81	04/10/2014	18:40:00	04/10/2014	19:30:00	0
82	04/10/2014	19:30:00	04/10/2014	20:20:00	0
83	04/10/2014	20:20:00	04/10/2014	21:10:00	0
84	04/10/2014	21:10:00	04/10/2014	22:00:00	0
85	04/10/2014	22:00:00	04/10/2014	22:50:00	0
86	04/10/2014	22:50:00	04/10/2014	23:40:00	0
87	04/10/2014	23:40:00	05/10/2014	00:30:00	0

Cenário 5:

	start date	start time	end date	end time	
1	06/10/2014	00:00:00	06/10/2014	01:05:00	0
2	06/10/2014	01:05:00	06/10/2014	02:10:00	0
3	06/10/2014	02:10:00	06/10/2014	03:15:00	0
4	06/10/2014	03:15:00	06/10/2014	04:20:00	0
5	06/10/2014	04:20:00	06/10/2014	05:25:00	30,51
6	06/10/2014	05:25:00	06/10/2014	06:30:00	0
7	06/10/2014	06:30:00	06/10/2014	07:35:00	0
8	06/10/2014	07:35:00	06/10/2014	08:40:00	0
9	06/10/2014	08:40:00	06/10/2014	09:45:00	0
10	06/10/2014	09:45:00	06/10/2014	10:50:00	0
11	06/10/2014	10:50:00	06/10/2014	11:55:00	0
12	06/10/2014	11:55:00	06/10/2014	13:00:00	0
13	06/10/2014	13:00:00	06/10/2014	14:05:00	0
14	06/10/2014	14:05:00	06/10/2014	15:10:00	0
15	06/10/2014	15:10:00	06/10/2014	16:15:00	0
16	06/10/2014	16:15:00	06/10/2014	17:20:00	0
17	06/10/2014	17:20:00	06/10/2014	18:25:00	0
18	06/10/2014	18:25:00	06/10/2014	19:30:00	0
19	06/10/2014	19:30:00	06/10/2014	20:35:00	0
20	06/10/2014	20:35:00	06/10/2014	21:40:00	0
21	06/10/2014	21:40:00	06/10/2014	22:45:00	0
22	06/10/2014	22:45:00	06/10/2014	23:50:00	0
23	06/10/2014	23:50:00	07/10/2014	00:55:00	0
24	07/10/2014	00:55:00	07/10/2014	02:00:00	0
25	07/10/2014	02:00:00	07/10/2014	03:05:00	0
26	07/10/2014	03:05:00	07/10/2014	04:10:00	0
27	07/10/2014	04:10:00	07/10/2014	05:15:00	0

28	07/10/2014	05:15:00	07/10/2014	06:20:00	0
29	07/10/2014	06:20:00	07/10/2014	07:25:00	0
30	07/10/2014	07:25:00	07/10/2014	08:30:00	0
31	07/10/2014	08:30:00	07/10/2014	09:35:00	0
32	07/10/2014	09:35:00	07/10/2014	10:40:00	0
33	07/10/2014	10:40:00	07/10/2014	11:45:00	0
34	07/10/2014	11:45:00	07/10/2014	12:50:00	0
35	07/10/2014	12:50:00	07/10/2014	13:55:00	0
36	07/10/2014	13:55:00	07/10/2014	15:00:00	0
37	07/10/2014	15:00:00	07/10/2014	16:05:00	0
38	07/10/2014	16:05:00	07/10/2014	17:10:00	0
39	07/10/2014	17:10:00	07/10/2014	18:15:00	0
40	07/10/2014	18:15:00	07/10/2014	19:20:00	0
41	07/10/2014	19:20:00	07/10/2014	20:25:00	0
42	07/10/2014	20:25:00	07/10/2014	21:30:00	0
43	07/10/2014	21:30:00	07/10/2014	22:35:00	0
44	07/10/2014	22:35:00	07/10/2014	23:40:00	0
45	07/10/2014	23:40:00	08/10/2014	00:45:00	0
46	08/10/2014	00:45:00	08/10/2014	01:50:00	0
47	08/10/2014	01:50:00	08/10/2014	02:55:00	0
48	08/10/2014	02:55:00	08/10/2014	04:00:00	0
49	08/10/2014	04:00:00	08/10/2014	05:05:00	0
50	08/10/2014	05:05:00	08/10/2014	06:10:00	0
51	08/10/2014	06:10:00	08/10/2014	07:15:00	0
52	08/10/2014	07:15:00	08/10/2014	08:20:00	0
53	08/10/2014	08:20:00	08/10/2014	09:25:00	0
54	08/10/2014	09:25:00	08/10/2014	10:30:00	0
55	08/10/2014	10:30:00	08/10/2014	11:35:00	0
56	08/10/2014	11:35:00	08/10/2014	12:40:00	0
57	08/10/2014	12:40:00	08/10/2014	13:45:00	0
58	08/10/2014	13:45:00	08/10/2014	14:50:00	0
59	08/10/2014	14:50:00	08/10/2014	15:55:00	0
60	08/10/2014	15:55:00	08/10/2014	17:00:00	0
61	08/10/2014	17:00:00	08/10/2014	18:05:00	0
62	08/10/2014	18:05:00	08/10/2014	19:10:00	0
63	08/10/2014	19:10:00	08/10/2014	20:15:00	0
64	08/10/2014	20:15:00	08/10/2014	21:20:00	0
65	08/10/2014	21:20:00	08/10/2014	22:25:00	0
66	08/10/2014	22:25:00	08/10/2014	23:30:00	0
67	08/10/2014	23:30:00	09/10/2014	00:35:00	0

Cenário 6:

	start date	start time	end date	end time	
1	10/10/2014	00:00:00	10/10/2014	00:35:00	0
2	10/10/2014	00:35:00	10/10/2014	01:10:00	0
3	10/10/2014	01:10:00	10/10/2014	01:45:00	0
4	10/10/2014	01:45:00	10/10/2014	02:20:00	0
5	10/10/2014	02:20:00	10/10/2014	02:55:00	54,25
6	10/10/2014	02:55:00	10/10/2014	03:30:00	0
7	10/10/2014	03:30:00	10/10/2014	04:05:00	0
8	10/10/2014	04:05:00	10/10/2014	04:40:00	0
9	10/10/2014	04:40:00	10/10/2014	05:15:00	0
10	10/10/2014	05:15:00	10/10/2014	05:50:00	0
11	10/10/2014	05:50:00	10/10/2014	06:25:00	0
12	10/10/2014	06:25:00	10/10/2014	07:00:00	0
13	10/10/2014	07:00:00	10/10/2014	07:35:00	0
14	10/10/2014	07:35:00	10/10/2014	08:10:00	0
15	10/10/2014	08:10:00	10/10/2014	08:45:00	0
16	10/10/2014	08:45:00	10/10/2014	09:20:00	0
17	10/10/2014	09:20:00	10/10/2014	09:55:00	0
18	10/10/2014	09:55:00	10/10/2014	10:30:00	0
19	10/10/2014	10:30:00	10/10/2014	11:05:00	0
20	10/10/2014	11:05:00	10/10/2014	11:40:00	0
21	10/10/2014	11:40:00	10/10/2014	12:15:00	0
22	10/10/2014	12:15:00	10/10/2014	12:50:00	0
23	10/10/2014	12:50:00	10/10/2014	13:25:00	0
24	10/10/2014	13:25:00	10/10/2014	14:00:00	0
25	10/10/2014	14:00:00	10/10/2014	14:35:00	0
26	10/10/2014	14:35:00	10/10/2014	15:10:00	0
27	10/10/2014	15:10:00	10/10/2014	15:45:00	0
28	10/10/2014	15:45:00	10/10/2014	16:20:00	0
29	10/10/2014	16:20:00	10/10/2014	16:55:00	0
30	10/10/2014	16:55:00	10/10/2014	17:30:00	0
31	10/10/2014	17:30:00	10/10/2014	18:05:00	0
32	10/10/2014	18:05:00	10/10/2014	18:40:00	0
33	10/10/2014	18:40:00	10/10/2014	19:15:00	0
34	10/10/2014	19:15:00	10/10/2014	19:50:00	0
35	10/10/2014	19:50:00	10/10/2014	20:25:00	0
36	10/10/2014	20:25:00	10/10/2014	21:00:00	0
37	10/10/2014	21:00:00	10/10/2014	21:35:00	0
38	10/10/2014	21:35:00	10/10/2014	22:10:00	0
39	10/10/2014	22:10:00	10/10/2014	22:45:00	0
40	10/10/2014	22:45:00	10/10/2014	23:20:00	0
41	10/10/2014	23:20:00	10/10/2014	23:55:00	0
42	10/10/2014	23:55:00	11/10/2014	00:30:00	0
43	11/10/2014	00:30:00	11/10/2014	01:05:00	0
44	11/10/2014	01:05:00	11/10/2014	01:40:00	0
45	11/10/2014	01:40:00	11/10/2014	02:15:00	0

46	11/10/2014	02:15:00	11/10/2014	02:50:00	0
47	11/10/2014	02:50:00	11/10/2014	03:25:00	0
48	11/10/2014	03:25:00	11/10/2014	04:00:00	0
49	11/10/2014	04:00:00	11/10/2014	04:35:00	0
50	11/10/2014	04:35:00	11/10/2014	05:10:00	0
51	11/10/2014	05:10:00	11/10/2014	05:45:00	0
52	11/10/2014	05:45:00	11/10/2014	06:20:00	0
53	11/10/2014	06:20:00	11/10/2014	06:55:00	0
54	11/10/2014	06:55:00	11/10/2014	07:30:00	0
55	11/10/2014	07:30:00	11/10/2014	08:05:00	0
56	11/10/2014	08:05:00	11/10/2014	08:40:00	0
57	11/10/2014	08:40:00	11/10/2014	09:15:00	0
58	11/10/2014	09:15:00	11/10/2014	09:50:00	0
59	11/10/2014	09:50:00	11/10/2014	10:25:00	0
60	11/10/2014	10:25:00	11/10/2014	11:00:00	0
61	11/10/2014	11:00:00	11/10/2014	11:35:00	0
62	11/10/2014	11:35:00	11/10/2014	12:10:00	0
63	11/10/2014	12:10:00	11/10/2014	12:45:00	0
64	11/10/2014	12:45:00	11/10/2014	13:20:00	0
65	11/10/2014	13:20:00	11/10/2014	13:55:00	0
66	11/10/2014	13:55:00	11/10/2014	14:30:00	0
67	11/10/2014	14:30:00	11/10/2014	15:05:00	0
68	11/10/2014	15:05:00	11/10/2014	15:40:00	0
69	11/10/2014	15:40:00	11/10/2014	16:15:00	0
70	11/10/2014	16:15:00	11/10/2014	16:50:00	0
71	11/10/2014	16:50:00	11/10/2014	17:25:00	0
72	11/10/2014	17:25:00	11/10/2014	18:00:00	0
73	11/10/2014	18:00:00	11/10/2014	18:35:00	0
74	11/10/2014	18:35:00	11/10/2014	19:10:00	0
75	11/10/2014	19:10:00	11/10/2014	19:45:00	0
76	11/10/2014	19:45:00	11/10/2014	20:20:00	0
77	11/10/2014	20:20:00	11/10/2014	20:55:00	0
78	11/10/2014	20:55:00	11/10/2014	21:30:00	0
79	11/10/2014	21:30:00	11/10/2014	22:05:00	0
80	11/10/2014	22:05:00	11/10/2014	22:40:00	0
81	11/10/2014	22:40:00	11/10/2014	23:15:00	0
82	11/10/2014	23:15:00	11/10/2014	23:50:00	0
83	11/10/2014	23:50:00	12/10/2014	00:25:00	0
84	12/10/2014	00:25:00	12/10/2014	01:00:00	0
85	12/10/2014	01:00:00	12/10/2014	01:35:00	0
86	12/10/2014	01:35:00	12/10/2014	02:10:00	0
87	12/10/2014	02:10:00	12/10/2014	02:45:00	0
88	12/10/2014	02:45:00	12/10/2014	03:20:00	0
89	12/10/2014	03:20:00	12/10/2014	03:55:00	0
90	12/10/2014	03:55:00	12/10/2014	04:30:00	0
91	12/10/2014	04:30:00	12/10/2014	05:05:00	0

92	12/10/2014	05:05:00	12/10/2014	05:40:00	0
93	12/10/2014	05:40:00	12/10/2014	06:15:00	0
94	12/10/2014	06:15:00	12/10/2014	06:50:00	0
95	12/10/2014	06:50:00	12/10/2014	07:25:00	0
96	12/10/2014	07:25:00	12/10/2014	08:00:00	0
97	12/10/2014	08:00:00	12/10/2014	08:35:00	0
98	12/10/2014	08:35:00	12/10/2014	09:10:00	0
99	12/10/2014	09:10:00	12/10/2014	09:45:00	0
100	12/10/2014	09:45:00	12/10/2014	10:20:00	0
101	12/10/2014	10:20:00	12/10/2014	10:55:00	0
102	12/10/2014	10:55:00	12/10/2014	11:30:00	0
103	12/10/2014	11:30:00	12/10/2014	12:05:00	0
104	12/10/2014	12:05:00	12/10/2014	12:40:00	0
105	12/10/2014	12:40:00	12/10/2014	13:15:00	0
106	12/10/2014	13:15:00	12/10/2014	13:50:00	0
107	12/10/2014	13:50:00	12/10/2014	14:25:00	0
108	12/10/2014	14:25:00	12/10/2014	15:00:00	0
109	12/10/2014	15:00:00	12/10/2014	15:35:00	0
110	12/10/2014	15:35:00	12/10/2014	16:10:00	0
111	12/10/2014	16:10:00	12/10/2014	16:45:00	0
112	12/10/2014	16:45:00	12/10/2014	17:20:00	0
113	12/10/2014	17:20:00	12/10/2014	17:55:00	0
114	12/10/2014	17:55:00	12/10/2014	18:30:00	0
115	12/10/2014	18:30:00	12/10/2014	19:05:00	0
116	12/10/2014	19:05:00	12/10/2014	19:40:00	0
117	12/10/2014	19:40:00	12/10/2014	20:15:00	0
118	12/10/2014	20:15:00	12/10/2014	20:50:00	0
119	12/10/2014	20:50:00	12/10/2014	21:25:00	0
120	12/10/2014	21:25:00	12/10/2014	22:00:00	0
121	12/10/2014	22:00:00	12/10/2014	22:35:00	0
122	12/10/2014	22:35:00	12/10/2014	23:10:00	0
123	12/10/2014	23:10:00	12/10/2014	23:45:00	0
124	12/10/2014	23:45:00	13/10/2014	00:20:00	0

Anexo III

