UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

MARIANA RIVERA FREIRE

MODELO PARA SETORIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2017

MARIANA RIVERA FREIRE

Modelo para setorização de redes de distribuição de água

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento

Orientador: Prof. Tit. Woodrow Nelson Lopes Roma

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Freire, Mariana Rivera

F866m Modelo para setorização de redes de distribuição de água / Mariana Rivera Freire; orientador Woodrow Nelson Lopes Roma. São Carlos, 2017.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. sobrepressão. 2. gerenciamento de pressões. 3. perdas de água. 4. análise topográfica. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **MARIANA RIVERA FREIRE.**

Título da dissertação: "Modelo para setorização de redes de distribuição de água"

Data da defesa: 15.03.2017.

Comissão Julgadora:	**Resultado:**
Prof. Titular **Woodrow Nelson Lopes Roma (Orientador)** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)	APROVADO
Prof. Dr. **Erich Kellner** (Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)	APROVADO
Prof. Dr. **Milton Dall Aglio Sobrinho** (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP – Ilha Solteira)	Aprovado

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:
Profa. Associada **Maria Bernadete A. Varesche Silva**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luís Fernando Costa Alberto**

À Trento Engenharia

“Se vi mais longe foi por estar sobre os ombros de gigantes”.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais uma grata existência;

À Trento Engenharia representada por Edgard, Susana, Diego e Helena, vocês são minha base e exemplo;
Aos meus pais, Ângerson e Celina, sem seu apoio esse seria apenas mais um sonho;
A Clarissa Câmara de Freitas, a mais certa nas horas incertas;
A Lucas Mascarenhas, pelo início, pelo fim e por todo o meio de mais uma jornada;
A Alf, pelos momentos de descontração e amor incondicional;
A István Tóth, pelo incentivo diário;
Aos amigos e família de Salvador, vocês são meu porto seguro e não terminaria mais esse desafio sem o apoio e incentivo de vocês – bora pra cima!
Ao mestre miçangueiro, André Simões, pelas partidas de tênis, por todos os momentos lúdicos compartilhados ao longo do caminho e pelo companheirismo;
Ao meu orientador, Woodrow, pelas orientações profissionais e pessoais e, principalmente, pelo seu exemplo. A minha eterna gratidão. “Não existe coisa difícil, existem coisas desconhecidas”;
Ao SAAE – São Carlos, representados por Lu e Dirceu, muito obrigada pelas colaborações e pelo livre acesso para elaboração dessa pesquisa. Espero, através dela, contribuir para a melhoria do sistema;
A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo financiamento desta pesquisa;
A Universidade de São Paulo e, principalmente, à Secretaria de Pós-Graduação do Programa em Engenharia Hidráulica e Saneamento, representados por Sá, Priscila e Rose, vocês são demais! Obrigada por tudo!

Enfim, a todos, citados e não citados que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa e, principalmente, para o meu desenvolvimento pessoal ao longo destes dois anos.

“Se tratti di acqua anteponi l’esperienza alla teoria”
Leonardo da Vinci

RESUMO

Freire, M.R. (2017). **Modelo para setorização de redes de distribuição de água.** Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos**.**

Perdas de água em redes de distribuição acontecem por diversas razões, uma delas, o excesso de pressão, pode ser prevenido através da divisão das redes em Distritos de Medição e Controle. Este método vem sendo utilizado há algum tempo como modo de prevenir sobrepressão na rede, aumentando a confiabilidade e vida útil das tubulações e dispositivos do sistema. Atualmente, alguns autores propõem diferentes tipos de metodologias para uma eficiente definição de Distritos de Medição e Controle. Neste trabalho foi criada e aplicada uma metodologia baseada no estudo de uma área (Setor Aracy) na cidade de São Carlos – SP guiado por análise topográfica. A rede de distribuição do setor de abastecimento foi analisada indicando um subdimensionamento em alguns trechos, assim como, foi concluído que já existe uma setorização na área que não foi guiada por análise topográfica e sim por implantação dos loteamentos. Um estudo de setorização que tem como objetivo o gerenciamento de pressões deve ser norteado por análise da topografia do local juntamente com dispositivos gerenciadores de pressão (válvulas, boosters etc).

Palavras chave: sobrepressão, gerenciamento de pressões, perdas de água, análise topográfica.

ABSTRACT

Freire, M.R. (2017). **Model for water distribution networks sectorization**. Master thesis. São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos

Water losses in network distribution systems may happen due to many reasons, one of them, the overpressure, can be prevented through the partitioning of these networks in District Metered Areas. This method has been used for some time as a way of preventing network overpressure, enhancing the reliability and lifespan of pipes and system devices. Currently, some authors propose different methodologies to an efficient delimitation of the District Metered Areas. In this work, a methodology was conceived and applied based on the study of an area (Aracy Sector) in the city of São Carlos – SP guided by topographic analysis. The distribution network of the supply sector was analyzed indicating an undersize in some pipes, as well as, it was concluded that a sectorization already exists in the area that is not guided by topographic analysis, but by the implementation of the allotments. A sectorization study that aims to manage pressures should be guided by topographic analysis of the site, together with pressure management devices (valves, boosters etc).

Keywords: overpressure, pressure management, water losses, topographical analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Exemplo de rede ramificada. 3
Figura 2.2 - Exemplo de uma rede malhada. 4
Figura 2.3 - Medidas de combate às perdas em redes de distribuição. 8
Figura 2.4 - Esquema de um caso clássico de setorização de redes de distribuição de água. 15
Figura 3.1 - Localização da área que serviu de base para o estudo 19
Figura 3.2 - Localização dos reservatórios de distribuição 20
Figura 3.3 - Representação em planta baixa do arquivo inicial .SHP 21
Figura 3.4 - Tabela de atributos do arquivo .SHP inicial 22
Figura 3.5 - Arquivo .DWG fornecido pelo SAAE – São Carlos 23
Figura 3.6 - Modelo de arquivo inicial para o EPANET 25
Figura 3.7 - Etapas de tratamento de dados 26
Figura 3.8 - Etapa de explosão dos segmentos de reta 27
Figura 3.9 - Etapa de extração dos nós. 27
Figura 3.10 - Processo de eliminação de nós duplicados. 28
Figura 3.11 - Esquematização do tratamento dos nós 29
Figura 3.12 - Tratamento de dados para implementação em EPANET (parte 1) 30
Figura 3.13 - Tratamento de dados para implementação em EPANET (parte 2) 31
Figura 3.14 - Método para inserção de dados de vazão no EPANET 32
Figura 3.15 - Análise topográfica inicial para determinação de DMC's 34
Figura 3.16 - Seccionamento em paralelo da rede. 35
Figura 3.17 - Exemplo da criação de DMC's 36
Figura 4.1 - Tratamento de dados em GIS 37
Figura 4.2 - Modelo digital de terreno. 38
Figura 4.3 - Representação de cotas topográficas em EPANET 41
Figura 4.4 - Áreas de influência dos reservatórios 42
Figura 4.5 - Simulação 1: Vazão máxima, pressões mínimas 44
Figura 4.6 - Simulação 2: Vazão mínima, pressões máximas 45
Figura 4.7 - Análise de perda de carga unitária. 47
Figura 4.8 - Análise da rede quanto a velocidade 48
Figura 4.9 - Perfil longitudinal do trajeto crítico do subsetor Jardim Zavaglia. 51
Figura 4.10 - Perfil longitudinal do trajeto crítico do subsetor Antenor Garcia 52

Figura 4.11 - Perfil longitudinal do trajeto crítico do subsetor Aracy.....53
Figura 4.12 - Perfil longitudinal do trajeto crítico do subsetor Aracy e Presidente Collor54
Figura 4.13 - Estudo de topografia do subsetor abastecido pelo R1(Jd. Zavaglia) 56
Figura 4.14 - DMC's do subsetor abastecido pelo R1 (Zavaglia) 57
Figura 4.15 - Análise de pressões após criação dos DMC's 58
Figura 4.16 - Estudo de topografia do subsetor abastecido pelo R2 (Antenor Garcia)...60
Figura 4.17 - DMC's do subsetor abastecido pelo R2 (Antenor Garcia).....61
Figura 4.18 - Análise de pressões após criação dos DMC's 62
Figura 4.19 - Estudo de topografia do subsetor abastecido pelo R3 (Aracy) 64
Figura 4.20 - DMC's do subsetor abastecido pelo R3 (Aracy) – rede antes da setorização 65
Figura 4.21 - DMC's do subsetor abastecido pelo R3 (Aracy) – rede após setorização.66
Figura 4.22 - DMC's do subsetor abastecido pelo R3 (Aracy I e II) – rede após setorização 67
Figura 4.23 - Estudo de topografia do subestor abastecido pelo R4 (Aracy e Presidente Collor) 69
Figura 4.24 - DMC's do subsetor abastecido pelo R4 (Aracy e Presidente Collor) 70
Figura 4.25 - Análise de pressões após criação dos DMC's 71

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Índice total de perdas na distribuição de água por região. 5
Tabela 2.2 - Balanço hídrico entre sistema adutor e sistema de distribuição 5
Tabela 2.3 - Perdas reais por subsistema: Origem e Magnitude 7
Tabela 2.4 - Comparativo entre programas de modelagem hidráulica 10
Tabela 3.1 - Quadro de vazões 32
Tabela 4.1 - Somatório das vazões dos reservatórios 40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 Objetivos 2

1.1.1 Objetivo geral 2

1.1.2 Objetivos específicos 2

2. REVISÃO DA LITERATURA 3

2.1 Redes de distribuição de água e seus principais problemas 3

2.2 Perdas em Sistemas de Distribuição de Água 5

2.3 Efeitos da pressão em vazamentos em redes de distribuição de água 8

2.4 Modelagem hidráulica através de ferramentas computacionais 10

2.5 Aspectos da setorização de redes de distribuição de água – Distritos de Medição e Controle (DMC´s) 12

3. MATERIAIS E MÉTODOS 17

3.1 Caracterização da área de estudo 17

3.2 Dados coletados junto ao SAAE – São Carlos 20

3.2.1 Dados do arquivo .SHP 21

3.2.2 Dados do arquivo .DWG 23

3.3 Modelo de arquivos de entrada do EPANET 24

3.4 Caracterização do problema a ser estudado 26

3.5 Etapas de tratamento de dados 26

3.6 Descrição das etapas de tratamento de dados 26

3.7 Parâmetros utilizados para calibração no EPANET 32

3.8 Análises para decisão do melhor desenho para os setores de medição e controle 34

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 37

4.1 Resultados em modelagem do terreno 37

4.2 Resultados em EPANET 39

4.2.1 Análise de zonas de influência de reservatórios e consistência da rede ... 39

4.2.2 Análise comparativa de vazões e pressões 43

4.2.3 Análise de perda de carga unitária e velocidade 46

4.2.4 Análise da influência da variação topográfica versus perda de carga sobre a pressão..... 49

4.3 Setorização proposta..... 55

4.3.1 Setorização proposta para o subsetor de abastecimento Jardim Zavaglia (R1) 55

4.3.2 Setorização proposta para o subsetor de abastecimento Antenor Garcia (R2) 59

4.3.3 Setorização proposta para o subsetor de abastecimento Aracy (R3) 62

4.3.4 Setorização proposta para o subsetor de abastecimento Aracy e Presidente Collor (R4) 68

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 73

APÊNDICE A – Cartilha para transcrição de dados e análise para criação de DMC's.. 75

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 109

1. INTRODUÇÃO

A crise hídrica enfrentada pelo estado de São Paulo, que teve início no ano de 2014, foi uma das principais motivações para a elaboração deste trabalho visto que a redução de perdas no sistema de distribuição de água faz-se primordial em um momento crítico do abastecimento de água para pequenos e grandes consumidores.

Um dos grandes problemas enfrentados por companhias de saneamento no mundo está relacionado quantidade de perda de água tratada nas redes de distribuição de água e a melhoria da sua eficiência é considerada prioridade para elas (Gómez et al., 2013). No Brasil, foi feito o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (Brasil, 2016) no qual o levantamento realizado mostrou que existe uma perda de aproximadamente 37% da água tratada na rede de distribuição.

Alguns fatores são determinantes para esta perda, um deles é o excesso de pressão nas redes, problema comum em regiões de grande variação topográfica. Companhias de saneamento vêm desenvolvendo uma série de soluções para conservação da água. Entretanto, um esforço geral deve ser feito com vistas à prevenção da escassez dos recursos hídricos, tão fundamental para a sobrevivência humana.

Através da utilização de programa do tipo GIS (QGIS) juntamente com programa de modelagem hidráulica (EPANET) pôde-se ter uma análise real da situação de uma rede (Setor Aracy – São Carlos – SP) no que diz respeito ao gerenciamento de pressões. Uma solução frequentemente utilizada para a minimização de perdas em redes de distribuição devido a problemas de sobrepressão é a sua setorização, podendo ser feita através do uso de dispositivos (válvulas redutoras de pressão, registros etc) ou através do isolamento total da rede.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa foi definir uma metodologia de setorização de redes de distribuição de água que seja aplicável a redes de distribuição em operação, com vista à redução de perda de água tratada guiado por análise topográfica para o gerenciamento de pressões.

1.1.2 Objetivos específicos

- Transcrever uma rede em arquivo do tipo .SHP para um arquivo legível e interpretável pelo EPANET(.TXT ou .INP);
- Analisar o Setor Aracy, do município de São Carlos, de distribuição;
- Propor uma metodologia de setorização de redes de distribuição guiada pela análise topográfica que possa ser implementada em outros setores de abastecimento;
- Analisar a influência da perda de carga distribuída em relação à cota topográfica para a determinação de isozonas de pressão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo traz uma breve revisão da literatura sobre os estudos mais atuais e conceituação teórica acerca dos assuntos pertinentes ao desenvolvimento desta pesquisa.

2.1 Redes de distribuição de água e seus principais problemas

Uma rede de distribuição de água é o elemento final de um sistema de abastecimento de água. Segundo Porto (2006), um sistema de distribuição de água caracteriza-se por um conjunto de equipamentos (tubulações, reservatórios, bombas etc.) que tem como finalidade atender as condições de vazão e pressão convenientes a cada um dos pontos de consumo de uma cidade ou setor de abastecimento. No que concerne à sua concepção, as redes são caracterizadas como ramificadas ou malhadas.

Na Figura 2.1 está demonstrada a configuração de uma rede do tipo ramificada. Este tipo de concepção tem como característica principal ter o sentido da vazão conhecido em qualquer trecho, possuindo sempre uma linha tronco, que é a linha principal. Nesta configuração, toda distribuição fica condicionada à linha tronco, ou seja, caso haja um rompimento desta linha, toda a rede será afetada.

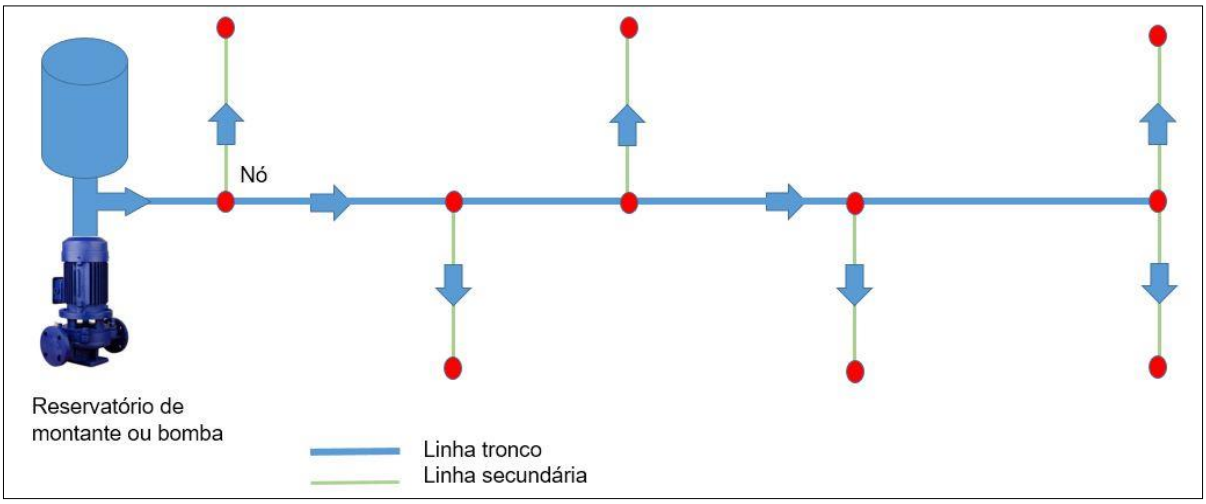


Figura 2.1 - Exemplo de rede ramificada.
Fonte: elaborada pela autora

Na Figura 2.2 está esquematizada uma rede malhada. Este tipo de rede tem como característica principal a flexibilidade. Como não possui uma tubulação tronco,

sendo formada por anéis ou malhas, existe a possibilidade da reversibilidade do sentido das vazões, sendo esta possibilidade condicionada às solicitações de demanda (Porto, 2006). Ao mesmo tempo em que esta configuração permite uma maior flexibilidade na distribuição de água, setores de medição devem ser criados a fim de facilitar a manutenção da rede com o mínimo de interrupção no fornecimento das áreas que não estão sob influência da manutenção.

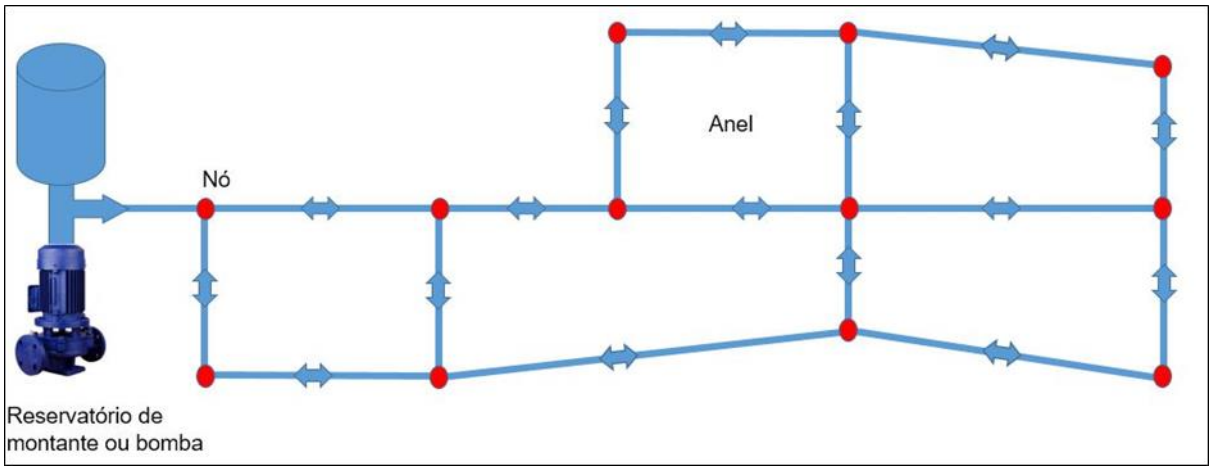


Figura 2.2 - Exemplo de uma rede malhada.
Fonte: elaborada pela autora

Um dos principais problemas enfrentados pelas companhias de abastecimento em redes de distribuição diz respeito a elevadas perdas de água tratada. Algumas situações levam ao elevado índice dessas perdas, entre elas, a influência da pressão destaca-se como uma problemática recorrente. Segundo o Report 26 - Leakage Control Policy & Practice (1985), a maneira mais simples e imediata de reduzir vazamentos é através do controle de pressão na rede por meio da instalação de dispositivos de controle, como válvulas redutoras de pressão.

A Norma Brasileira (NBR12218) estabelece o limite mínimo de pressão dinâmica em 100 kPa (aproximadamente 10 m.c.a.) e o limite máximo de pressão estática em 500 kPa (aproximadamente 50 m.c.a.). Entretanto, em locais de grande variação topográfica a ocorrência de rompimentos da rede devido a elevadas pressões ainda é uma realidade. Segundo Motta (2010), a utilização de válvulas redutoras de pressão deve ser empregada como um acessório a ser utilizado em situações pontuais, seu uso indiscriminado não é recomendado devendo ser feito um estudo mais aprofundado da rede através de programas de modelagem hidráulica de

redes de distribuição de forma a auxiliar na melhor concepção em termos econômicos e de controle da rede.

2.2 Perdas em Sistemas de Distribuição de Água

Dados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (Brasil, 2016), apontam para um índice de perdas variável no território nacional como mostra a Tabela 2.1, a seguir:

Região	Total de perdas (%)
Norte	47,9
Nordeste	46,9
Sudeste	32,6
Sul	33,4
Centro-Oeste	34,2
Brasil	36,7

Tabela 2.1 - Índice total de perdas na distribuição de água por região.
Fonte: adaptado de Brasil (2016)

Na região sudeste, a perda contabilizada no estudo com dados do ano de 2014 (Brasil, 2016) mostrou um total de perdas de 32,6%, havendo uma discreta redução em relação ao estudo de 2013, o qual indicava uma perda de água tratada de 33,4% (Brasil, 2014)

A Tabela 2.2 foi apresentada pela IWA no ano de 2000 e mostra o balanço hídrico com padrões de classificação de perdas que ocorrem entre as etapas de adução e distribuição.

Volume produzido (m³/ano)	Consumos autorizados (m³/ano)	Consumos autorizados faturados (m³/ano)	Consumos medidos faturados	Águas faturadas (m³/ano)
			Consumos não-medidos faturados (estimados)	
		Consumos autorizados não faturados (m³/ano)	Consumos medidos não-faturados (usos próprios, caminhão-pipa etc)	Águas não-faturadas (m³/ano)
			Consumos não-medidos, não-faturados (corpo de bombeiros, favelas etc)	
	Perdas de água (m³/ano)	Perdas aparentes (m³/ano)	Consumos não-autorizados (fraudes e falhas de cadastro)	
			Imprecisão dos medidores (hidrômetros)	
		Perdas reais (m³/ano)	Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
			Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro	
			Vazamentos e extravasamentos nos aquedutos e reservatórios de distribuição	

Tabela 2.2 - Balanço hídrico entre sistema adutor e sistema de distribuição
Fonte: Adaptado de Lambert e Hirner (2000)

Nesta tabela estão presentes os componentes do balanço hídrico, são eles:

- **Volume produzido (m^3/ano)**: é o volume de água de entrada em um sistema de transmissão ou de distribuição;
- **Consumos autorizados (m^3/ano)**: é o volume de água medido e/ou não medido usado por consumidores registrados para uso doméstico, comercial ou industrial;
- **Perdas de água (m^3/ano)**: volume referente à diferença entre o volume entregue pela companhia de abastecimento ao sistema e o consumo autorizado
- **Consumos autorizados faturados**: volume de água responsável pela receita da companhia de abastecimento, soma dos volumes informados nas contas emitidas para os consumidores. Fazem parte destes consumos, os volumes medidos em hidrômetros e por estimativas de volumes nos locais onde não há hidrômetro instalado;
- **Consumos autorizados não-faturados**: volume que não gera receita para a companhia de abastecimento, proveniente de usos regulados no sistema de distribuição. Fazem parte os volumes medidos e não medidos, a serem estimados, como água utilizada para combate a incêndios, na rega de espaços públicos e uso em atividades operacionais da própria companhia de abastecimento;
- **Perdas aparentes**: volume de água consumido, porém, não contabilizado pela companhia, podendo ser citados: erros de medição de hidrômetros, fraudes, falhas de cadastro etc.
- **Perdas reais**: volume correspondente àquele efetivamente perdido nas estações de tratamento de água, nos reservatórios (vazamentos e extravasamentos) e nas redes de distribuição de água;
- **Águas faturadas**: volume de água comercializado, traduzida no faturamento do fornecimento de água ao consumidor;
- **Águas não-faturadas**: a diferença entre o total anual da água que entra no sistema e o consumo total autorizado e faturado. Esses volumes englobam as perdas reais e aparentes, assim como o consumo autorizado não faturado.

É importante notar que o “volume não-faturado” é diferente do componente “perda”. Dentro do volume não-faturado existe uma parcela que é autorizada e não faz parte integrante do faturamento da companhia de saneamento. Parte deste volume é aquele disponibilizado com fins sociais, o qual representa uma grande parcela de água não faturada, porém, não caracterizada como perda.

Dentro do universo das perdas reais, na Tabela 2.3, é possível verificar sua origem e magnitude em um sistema de abastecimento de água.

	Local	Origem	Magnitude
Perdas reais	Adução de água bruta	Vazamentos na tubulação Limpezas (volumes além do necessário)*	Variável, função do estado de conservação e da eficiência operacional
	Tratamento	Vazamentos nas estruturas Lavagem de filtros* Descarga de lodo*	Significativa, função do estado de conservação e da eficiência operacional
	Reservação	Vazamentos nas estruturas Extravasamento Limpezas (volumes além do necessário)*	Variável, função do estado de conservação e da eficiência operacional
	Adução de água tratada	Vazamento na tubulação Descargas Limpezas (volumes além do necessário)*	Variável, função do estado de conservação e da eficiência operacional
	Distribuição	Vazamentos na rede Vazamentos nos ramais Descargas	Significativa, função do estado de conservação e, principalmente, das pressões

*É considerado perda o volume além do necessário para as operações

Tabela 2.3 - Perdas reais por subsistema: Origem e Magnitude
Fonte: adaptado de Marcka (2004)

É possível perceber que a magnitude de perdas nas redes de distribuição é significativa e possui grande influência da pressão, sendo a administração desta, uma importante ação mitigadora no controle de perdas reais do sistema.

Tardelli Filho (2006) ilustra, como demonstrado na Figura 2.3, os pontos de ocorrência de perdas reais na distribuição e suas principais ações de combate:

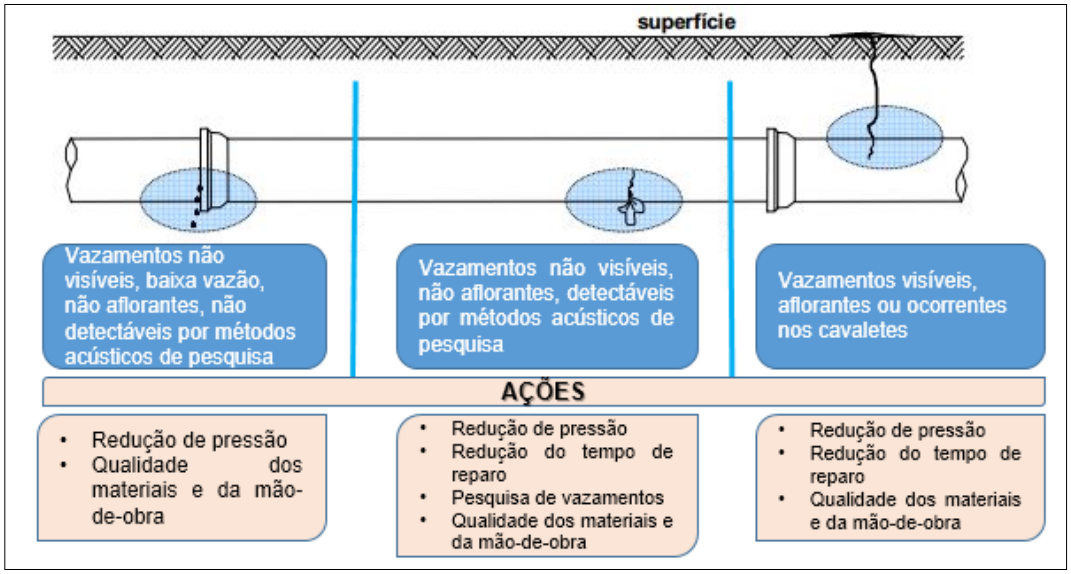


Figura 2.3 - Medidas de combate às perdas em redes de distribuição.
Fonte: adaptado de Tardelli Filho (2006)

Novamente, é ratificada a importância de um correto gerenciamento de pressões para um bom funcionamento e manutenção da rede.

2.3 Efeitos da pressão em vazamentos em redes de distribuição de água

Segundo Vilas-Boas (2008), os efeitos negativos de elevadas pressões na rede se apresentam desde produção de ruídos nas redes interiores de edificações, possibilidade de avaria e desgaste dos equipamentos e, principalmente, risco de rompimento da rede. Em Morrison et al. (2007) a expressão mais confiável que relaciona a pressão com a vazão de vazamento é dada pela Equação 2.1.

$$L_1 = L_0 \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} \qquad \text{Equação. 2.1}$$

Em que:
P_0 = pressão inicial na rede
L_0 = vazão inicial dos vazamentos
P_1 = pressão final na rede
L_1 = vazão final dos vazamentos
N1 = número que varia de 0,5 a 1,5, função do material.

De acordo com Gonçalves e Lima (2007), os valores de N1 variam de acordo com o material. Adota-se o valor N1=0,50 para tubos em ferro fundido e aço com a justificativa de que a seção do tubo não é alterada com o vazamento, N1=1,00 para

simplificação do método, levando em consideração que o vazamento se reduz linearmente em função da pressão, N1=1,15 para áreas em que apresentam vários tipos de materiais empregados na construção da rede e N1=1,50 para tubos em PVC e PEAD.

Em Morrison et al. (2007) é citado que a pressão em uma rede varia de acordo com a vazão. Assim, na medida em que a vazão aumenta (em horários de pico) a pressão irá reduzir, reduzindo assim o vazamento. Isto pode ser demonstrado através do seguinte raciocínio:

A pressão em qualquer ponto da rede pode ser calculada usando a Equação da Energia:

$$H_{ponto} = H_{rede} - \Delta H \qquad \text{Equação 2.2}$$

Pelo cálculo de perda de carga através da equação de Darcy-Weisbach:

$$\Delta H = f\,\frac{LV^2}{D2g} \qquad \text{Equação 2.3}$$

Em que:
ΔH = perda de carga distribuída
f = fator de atrito
L = comprimento do trecho
V = velocidade
D = diâmetro da tubulação
g = aceleração da gravidade

Ou, em termos da vazão:

$$\Delta H = C_1 f\,\frac{LQ^2}{D^5} \qquad \text{Equação 2.4}$$

Em que:
ΔH = perda de carga distribuída
C1 = constante
f = fator de atrito
L = comprimento do trecho
Q = vazão
D = diâmetro da tubulação

Ou, ainda, para uma rede definida:

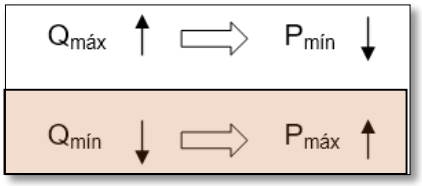
$$\Delta H = C_2\,Q^2 \qquad \text{Equação 2.5}$$

ΔH = perda de carga distribuída
C2 = constante
Q = vazão

Entende-se que com o aumento da vazão, aumenta-se a perda de carga, que substituída na Equação 2.4 traz

$$H_{ponto} = H_{rede} - C_2\, Q^2$$

Diminuindo, com isto, a pressão no ponto. Portanto:



2.4 Modelagem hidráulica através de ferramentas computacionais

Muitos programas de modelagem hidráulica foram desenvolvidos com o objetivo de auxiliar na elaboração de projetos de rede de distribuição de água.

Rego (2007) fez uma análise comparativa entre softwares de modelagem hidráulica, que deu origem à Tabela 2.4 apresentada a seguir, na qual estão apresentados os principais softwares com suas respectivas funcionalidades analisadas.

Item avaliado	EPANET	HIDROCAD	STRUMAP	SYNERGEE	WATERCAD
Custo	Muito bom	Bom	Não satisfaz	Não satisfaz	Não satisfaz
Facilidade de uso	Muito bom	Muito bom	Bom	Não satisfaz	Bom
Operacionalidade e flexibilidade	Bom	Não satisfaz	Muito bom	Bom	Bom
Robustez do modelo	Bom	Não satisfaz	Bom	Muito bom	Bom
Velocidade de processamento	Bom	Não satisfaz	Muito bom	Muito bom	Muito bom
Componentes representadas	Muito bom	Não satisfaz	Bom	Muito bom	Muito bom
Interface com o usuário	Muito bom	Bom	Bom	Não satisfaz	Bom
Características do modelo de qualidade	Bom	Não satisfaz	Não satisfaz	Não satisfaz	Muito bom
Integração com bases de dados CAD, SIG e SCADA	Bom	Bom	Bom	Bom	Muito bom

Tabela 2.4 - Comparativo entre programas de modelagem hidráulica
Fonte: adaptado de Rego (2007)

Atualmente, por ser um programa que tem distribuição gratuita e código aberto, o EPANET (Rossman, 2000) tornou-se uma das ferramentas de simulação mais utilizadas por gestores, projetistas, acadêmicos e estudantes (Vilas-Boas, 2008).

O EPANET é um software desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos por meio do qual pode-se calcular todo o balanço hidráulico de redes de distribuição de água. Deve-se mencionar que o programa não dimensiona, e sim, *verifica* o dimensionamento previamente calculado com as condições de contorno pré-estabelecidas e normatizadas como: perda de carga distribuída, velocidade máxima x diâmetro e material da tubulação da rede.

Dada a versatilidade do programa, é possível fazer a inclusão de dispositivos existentes na rede, tais como: válvulas de controle, bombas e reservatórios de diferentes tipos. Com isto, o cálculo do balanço hidráulico torna-se mais preciso e confiável. Segundo Lindell E. Ormsbee e Srinivasa Lingireddy (apud Vilas-Boas, 2008), uma boa calibração de uma rede implica em:

- Desvio de no máximo 10%, entre os valores de cálculo e observados, das variáveis de estado (pressão nos nós, vazão nos tubos e nível d'água num reservatório) em situações de estudo de uma rede de distribuição;

- Desvio máximo de 5% quando da calibração do modelo visando o dimensionamento, gestão ou controle da qualidade da água de uma rede.

Trata-se de um processo iterativo, sempre com vistas a atingir os parâmetros de calibração supracitados. Se a rede a ser analisada tiver sido concebida no formato ramificado, sua análise e/ou dimensionamento dar-se-á de maneira muito mais rápida pois, devido à característica de redes ramificadas terem o sentido da vazão sempre conhecido em qualquer trecho da rede, utilizando-se do conceito de vazão distribuída o valor da vazão é também conhecido em qualquer trecho da rede, restringindo assim as opções de diâmetro em relação a redes malhadas.

Para redes malhadas, existe uma gama de programas que realizam o seu dimensionamento, havendo sempre a necessidade de verificação de resultados por parte do projetista. Segundo Porto (2006), o método de Hardy Cross, é um método já consolidado e por ter um significado físico tem a análise de seus resultados intermediários facilitados. Este método baseia-se nos mesmos princípios e equações aplicados às redes ramificadas. Entretanto, é necessário que sejam satisfeitas as seguintes condições básicas para o equilíbrio do sistema:

i) A soma algébrica das vazões de cada nó da rede é igual a zero;

ii) A soma algébrica das perdas de carga (que partem e chegam ao mesmo nó) em qualquer circuito fechado dentro do sistema é também igual a zero (Porto, 2006).

Um aspecto que deve ser mencionado é citado por Porto (2006) e diz respeito a perdas de carga localizadas. Segundo o autor, em projetos de redes de distribuição de água, as perdas de carga localizadas costumam ser desprezadas. Isso se deve ao fato de que a magnitude de diâmetros e comprimentos envolvidos no dimensionamento de redes de distribuição são relativamente grandes, sendo a perda de carga ao longo dos trechos retilíneos de tubulação muito superior às perdas localizadas.

2.5 Aspectos da setorização de redes de distribuição de água – Distritos de Medição e Controle (DMC´s)

Na década de 80, o Report 26 - Leakage Control Policy & Practice, elaborado pela UK Water Authorities Association, definiu o conceito dos Distritos de Medição e Controle (DMC) como sendo uma área discreta de um sistema de distribuição comumente criado com o uso de válvulas de controle (e.g. válvulas redutoras de pressão, registros) ou por completa desconexão de tubulações nos quais as quantidades de água que entra e sai de determinado setor é medida.

Thornton (2003) reconheceu a importância do gerenciamento de pressões, o qual já vem sendo executado há mais de 20 anos em países como Japão e Reino Unido, como sendo a base para um efetivo gerenciamento de perdas em redes de distribuição.

Segundo Morrison et al. (2007), o projeto para um sistema de monitoramento de vazamentos possui dois objetivos: dividir a rede de distribuição em um número de DMC’s de modo a ter a vazão regularmente monitorada para que vazamentos ou rupturas possam ser identificados e calculados com segurança e rapidez e gerenciar as pressões em cada grupo dos DMC’s permitindo à rede operar em um nível ótimo de pressão. Os critérios estabelecidos e que devem ser levados em consideração na determinação de DMC’s são os seguintes:

• O nível econômico necessário de vazamentos;

• Meta final para quantidade de vazamentos;

• Tamanho (área geográfica e número de conexões);

• Tipo de habitação (e.g. blocos de apartamentos ou moradias de ocupação unifamiliar;

• Variação topográfica;

• Considerações acerca da qualidade da água;

• Pressões requeridas;

• Capacidade de combate a incêndios;

• Número de válvulas a serem fechadas;

• Número reduzido de medidores de vazão;

• Grandes consumidores devem ter suas vazões medidas à parte do DMC;

• Condições de infraestrutura.

O tamanho dos DMC's tem um impacto considerável atrelado ao custo de implantação: quanto menor for um DMC, maior será o seu custo. Isto acontece, pois, mais dispositivos controladores de vazão (válvulas e macromedidores) são utilizados. Com isto, a manutenção tende a ser mais onerosa, contudo, DMC's menores possuem os seguintes benefícios:

• Identificação mais rápida de vazamentos;

• Vazamentos menores poderão ser identificados e diferenciados de variações de vazões noturnas;

• A localização dos vazamentos poderá ser encontrada mais facilmente em relação a DMC's maiores;

• O custo destas detecções será menor, uma vez que será necessário cobrir uma distância menor em busca de vazamentos.

Motta (2010) realizou a subsetorização de dois setores de abastecimento através da análise das pressões da rede existente. No primeiro caso (Setor Ermelino Matarazzo – RMSP - SP), foi realizado um trabalho de diagnóstico do potencial para ações de redução de pressão que foram concretizadas, havendo resultados efetivos na redução de perdas reais. No segundo (Setor Fonte – Araraquara – SP), foi apenas realizado o estudo teórico, não sendo efetivamente implantada a subsetorização proposta.

Di Nardo & Di Natale (2011), descrevem uma metodologia para a criação dos DMC's com base na identificação de tubulações onde os limites (com o uso de válvulas ou registros) sejam colocados através da análise dos caminhos com menor dissipação de energia e com o auxílio de gráficos. Desta maneira, é possível a realização da setorização com níveis satisfatórios de serviço e confiança no projeto da rede.

Em Gómez et al. (2013), as vantagens da setorização são descritas de acordo com o potencial de redução nas perdas de água, gerenciamento das pressões e qualidade da rede existente. A criação dos DMC's também irá aumentar o tempo de vida útil dos materiais da rede, já que a setorização reduz a necessidade de renovação e consertos necessários através de um melhor acompanhamento da situação da rede pertencente a cada setor.

Souza Júnior (2014) elaborou um estudo no qual recomenda que por meio do gerenciamento das pressões, seja iniciada a implantação dos DMC's através do uso de macromedidores de vazão em áreas sob a influência de válvulas redutoras de pressão e boosters, adequando assim as pressões e a criação de áreas dos DMC's assim como, utilizar de ferramentas de modelagem hidráulica, para que seja feito o aperfeiçoamento dos estudos de rede.

A NBR12218 cita as seguintes diretrizes para elaboração de projetos de setores de medição:

• O setor deve abranger consumidores de mesma categoria de consumo;

• O número máximo de válvulas para gerenciamento e isolamento de um único setor deverá ser 20;

• A extensão máxima da rede abrangida pelo setor de medição deverá ser inferior a 25 quilômetros;

• A alimentação do setor de medição deve ser feita pelo menor número possível de pontos;

• Os dispositivos que limitam os setores (e.g. válvulas redutoras de pressão) são permanentemente instalados, já os dispositivos de medição (macromedidores, medidores de pressão), podem ser permanentes ou inseridos quando da realização de ensaios.

Na Figura 2.4, a seguir, é mostrado o esquema básico de um clássico caso de setorização em redes de distribuição de água.

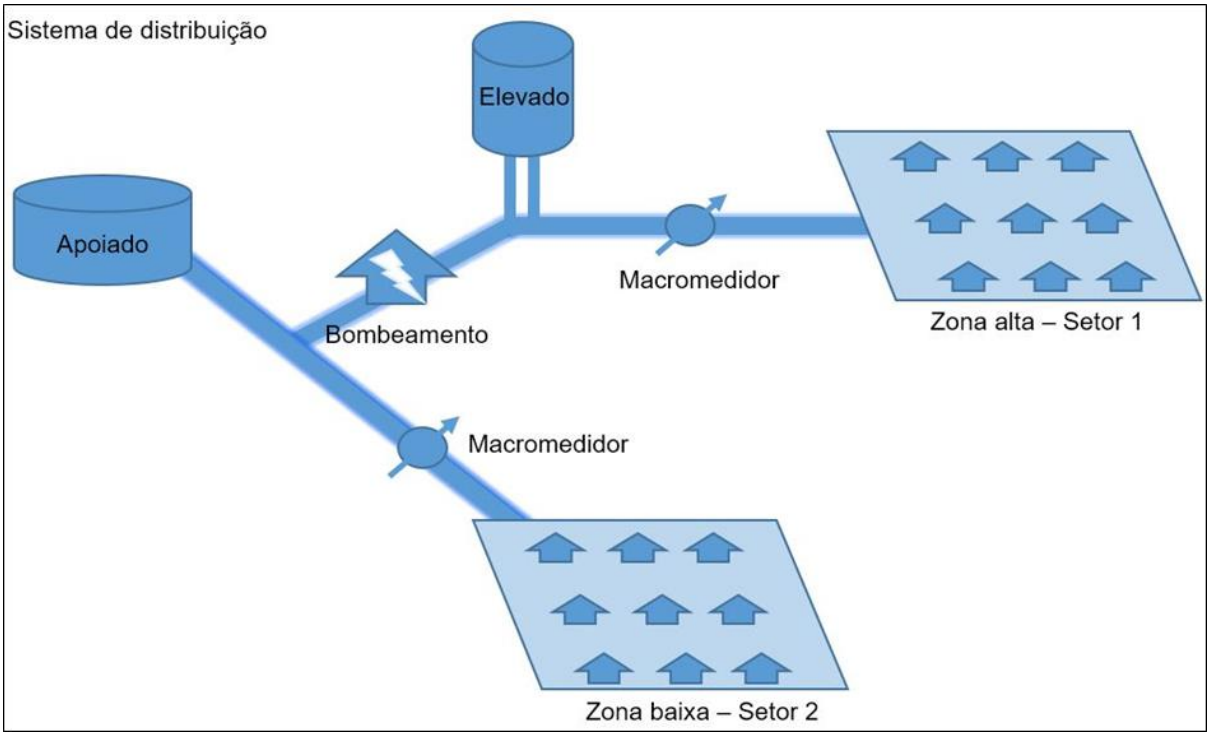


Figura 2.4 - Esquema de um caso clássico de setorização de redes de distribuição de água.

Fonte: adaptado de Gonçalves e Lima (2007)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo foram descritos os materiais e metodologias utilizados para a realização deste trabalho. É importante ressaltar que dada a natureza do trabalho, grande parte constituiu-se em criar uma metodologia para o tratamento dos dados existentes e fornecidos pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município de São Carlos. Em seguida, foi executada a análise hidráulica e decisão de melhor desenho da setorização da rede após a realização de uma série de procedimentos que serão demonstrados e discutidos neste capítulo.

3.1 Caracterização da área de estudo

A área que serviu de base para esse estudo foi o Setor de Distribuição Aracy, um conjunto de bairros localizado na porção Sudoeste do município de São Carlos, SP e que possui características residenciais e comerciais. Na Figura 3.1 está mostrada a localização do Setor em relação ao município.

O sistema estudado possui um total de 998 trechos e 790 nós, com quatro reservatórios responsáveis por abastecer toda a região. Dois reservatórios estão localizados nas cotas altimétricas inferiores e são responsáveis por abastecer as regiões conhecidas como Antenor Garcia e loteamento Jardim Zavaglia. Outros dois reservatórios estão localizados na parte superior do terreno (cotas altimétricas mais altas) e são responsáveis por abastecer a região conhecida como Cidade Aracy I e II e Presidente Collor. Na Figura 3.2 é mostrada a localização dos reservatórios, assim como, sua configuração local.

<u>Características dos reservatórios localizados na parte inferior do terreno:</u>

Reservatório 1 – Reservatório responsável por abastecer o loteamento Jardim Zavaglia, é um reservatório apoiado, possui 13,00 metros de diâmetro com cota do nível d’água mínimo a 5,00 metros da cota de terreno onde está instalado (772,00 m) e a cota do nível d’água máximo a 20 metros do solo;

Reservatório 2 – Reservatório responsável por abastecer o loteamento Antenor Garcia, é um reservatório elevado, possui 7,70 metros de diâmetro com cota do nível d’água mínimo a 13,00 metros da cota de terreno onde está instalado (772,00 m) e cota de nível d’água máximo também a 20 metros do solo.

Características dos reservatórios localizados na parte superior do terreno:

Reservatório 3 – Reservatório responsável por abastecer parte do Setor Aracy (I e II), é um reservatório apoiado, possui 15,00 metros de diâmetro com cota do nível d'água mínimo a 5 metros da cota de terreno (805,00 metros) e a cota do nível d'água máximo a 14,00 metros do solo;

Reservatório 4 – Reservatório responsável por abastecer parte do Setor Aracy e o loteamento Presidente Collor, possui 3,60 metros de diâmetro com cota do nível d'água mínimo a 16,00 metros da cota de implantação do terreno (805,00 metros) e cota do nível d'água máximo a 21,00 metros do solo

Os reservatórios localizados na porção superior do terreno (R3 e R4) possuem ainda um reservatório pulmão, responsável por manter os níveis dos outros dois reservatórios que seguem para a distribuição. O reservatório pulmão possui os mesmos níveis d'água do reservatório apoiado, recalcando através de uma bomba para o reservatório elevado.

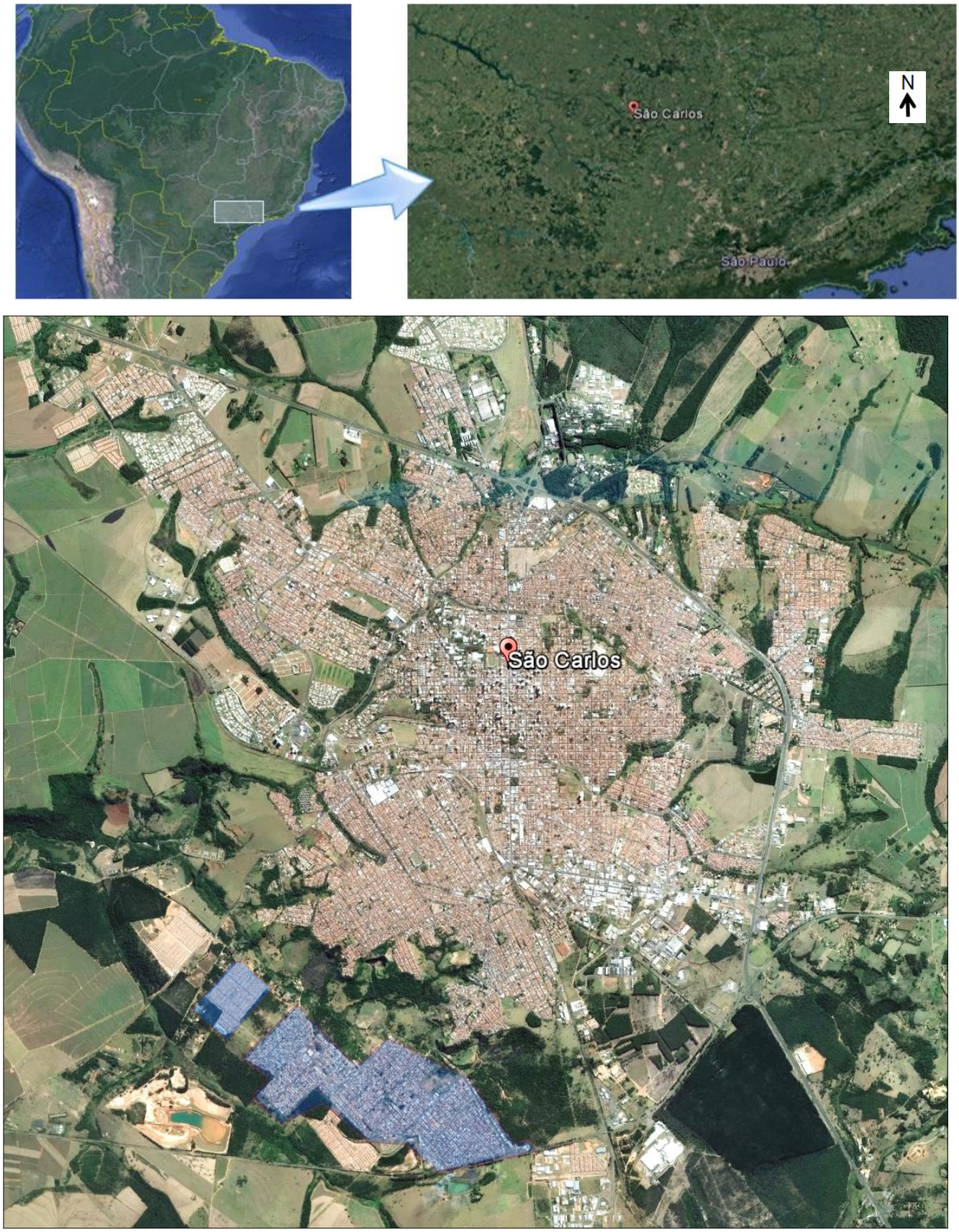


Figura 3.1 - Localização da área que serviu de base para o estudo

Figura 3.2 - Localização dos reservatórios de distribuição

3.2 Dados coletados junto ao SAAE – São Carlos

Os dados coletados junto ao setor de projetos do SAAE – São Carlos consistiram em: um arquivo do tipo shape (.SHP), que pode ser visualizado e editado em qualquer aplicação do tipo GIS (Geographic Information System) e um arquivo no formato .DWG, que pode ser visualizado e editado em qualquer aplicação do tipo CAD (Computer Aided Design). Para tratamento do arquivo .SHP foi utilizado o software QGIS – v. 2.14.2 (Essen) por se tratar de um programa de código aberto e já consolidado na área de georreferenciamento (OLIANI; PAIVA; ANTUNES, 2012). Para o arquivo .DWG foi utilizado o software Autodesk AutoCAD Civil 3D® somente para exportação do Modelo Digital de Terreno (MDT) gerado a partir das curvas de nível da topografia fornecida.

O tratamento dos dados coletados teve como finalidade gerar um arquivo que pudesse ser lido pelo programa de modelagem hidráulica escolhido para este trabalho, o EPANET, para, a partir de então, dar seguimento à análise hidráulica da rede. A análise a ser feita nesta pesquisa será estática, considerando o período de menor consumo no qual ocorre as pressões máximas na rede de distribuição.

3.2.1 Dados do arquivo .SHP

A característica principal de um programa GIS é o georreferenciamento dos seus arquivos. Esta propriedade torna possível ter um melhor controle de localização de pontos da rede onde seja necessário qualquer tipo de intervenção por parte da empresa de saneamento. O arquivo coletado está no sistema de coordenadas EPSG (European Petroleum Survey Group) 4326.

O arquivo .SHP inicial contém as linhas com as respectivas propriedades das tubulações da rede do local. Na Figura 3.3 estão mostradas, em planta, as linhas que representam a rede de distribuição na localidade estudada.

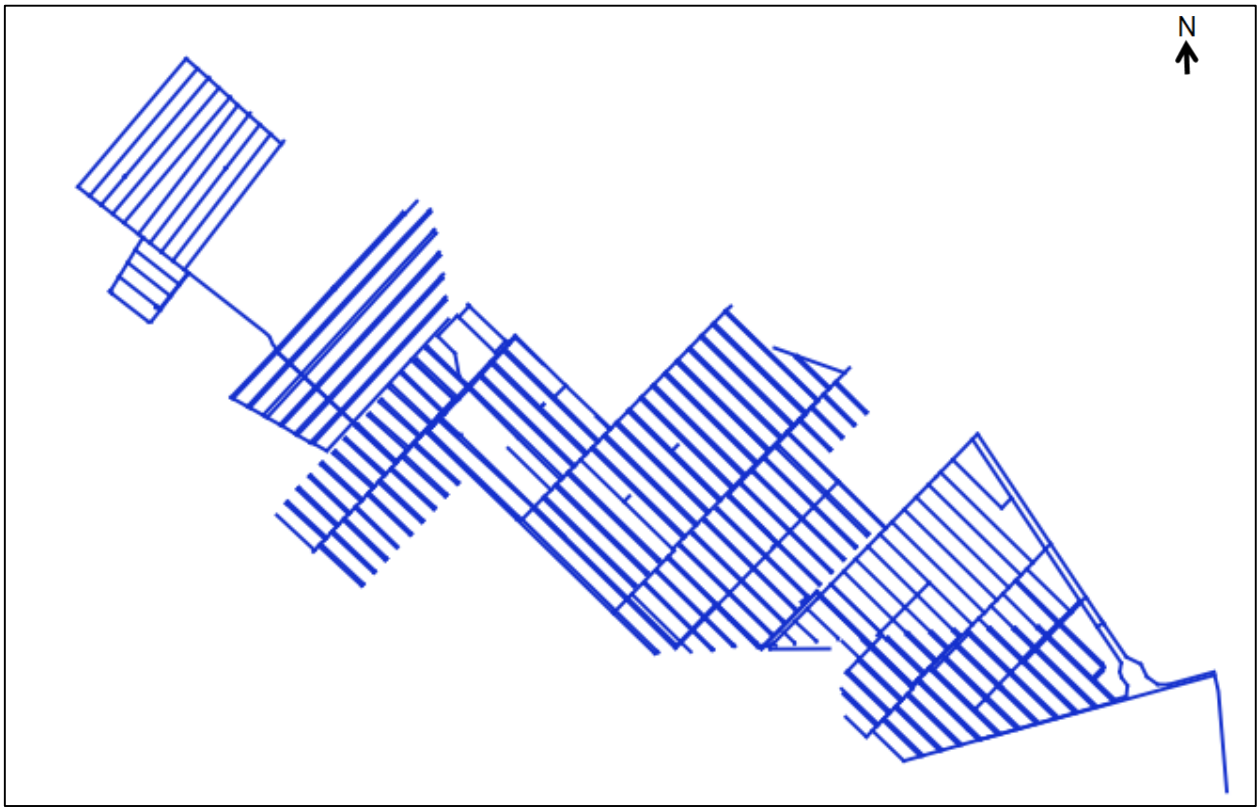


Figura 3.3 - Representação em planta baixa do arquivo inicial .SHP
Fonte: SAAE – São Carlos

Atrelado a este arquivo .SHP, existe um arquivo do tipo database (.DBF) no qual constam as principais características da rede de distribuição de água: diâmetro e material da tubulação, extensão dos trechos e coordenadas dos trechos, além de outras características que não influenciam na modelagem hidráulica da rede. Na Figura 3.4 é mostrada a tabela de atributos do arquivo inicial.

Tabela de atributo - Agua_Aracy_original :: Total de Feições: 986, filtrado: 986, selecionado: 0

	gid	id_agua_ln	seglog_id	setor_id	tipo	diametro	material	profund	pressao	vazao	condicoes	reserv	distancia	data_exec	ano_exec	no_proj	data_cad	obs	longitude	Compriment
0	237	257	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	8.975232	8.975232
1	305	338	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	2.278327	2.278327
2	349	386	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	49.944738	49.944738
3	381	430	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	25.859098	25.859098
4	554	609	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	230.891770	230.891770
5	555	610	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	62.924742	62.924742
6	556	611	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	10.146963	10.146963
7	557	612	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	29.799574	29.799574
8	709	809	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	238.547553	238.547553

Figura 3.4 - Tabela de atributos do arquivo .SHP inicial
Fonte: SAAE – São Carlos

Os dados do arquivo .SHP possuem quase todas as informações necessárias para que a rede possa ser lida, após tratamento dos dados, pelo EPANET, faltando apenas a inserção dos valores de elevações dos nós, fator mais importante para a determinação de isozonas de pressão. As cotas dos nós deverão ser extraídas no ambiente GIS através da interpolação das cotas da superfície do Modelo Digital de Terreno (MDT) a ser gerado a partir das curvas de nível do arquivo .DWG fornecido pelo SAAE – São Carlos.

3.2.2 Dados do arquivo .DWG

O arquivo coletado junto ao SAAE consiste em uma planta baixa com curvas de nível através das quais foi elaborado o Modelo Digital do Terreno (MDT) com auxílio do programa da Autodesk, o AutoCAD Civil 3D®. Na Figura 3.5, a seguir, está mostrado o arquivo fornecido pela companhia de saneamento

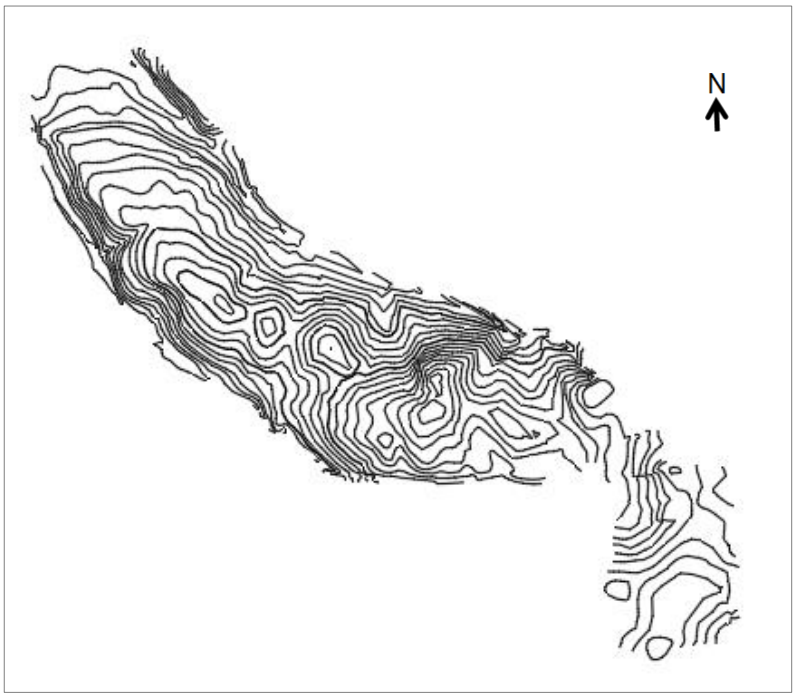


Figura 3.5 - Arquivo .DWG fornecido pelo SAAE – São Carlos
Fonte: SAAE – São Carlos

Neste arquivo, as curvas de nível são entidades do tipo *polyline* com elevações que, quando tratadas, darão origem ao Modelo Digital de Terreno (MDT)

que deverá ser trabalhado em ambiente GIS para interpolação das cotas dos nós da rede a ser estudada.

3.3 Modelo de arquivos de entrada do EPANET

No ambiente do EPANET podem ser feitas análises tanto quantitativas quanto qualitativas da água. No caso da análise a ser executada nessa pesquisa, que é de característica quantitativa e estática, parâmetros de qualidade não deverão ser incluídos na calibração do modelo.

O EPANET necessita de alguns dados para que a rede possa ser representada em planta e possa ser executada a verificação hidráulica. São eles:

Dados iniciais dos nós:

Identificação do nó;

Cota no nó (m);

Consumo base (l/s);

Dados iniciais das tubulações:

Identificação do trecho;

Nó inicial;

Nó final;

Comprimento do trecho (m);

Diâmetro da tubulação (mm);

Rugosidade da tubulação (ε-em mm);

Dados das coordenadas dos nós:

Identificador do nó;

Coordenada X do nó (m);

Coordenada Y do nó (m);

Esses dados deverão estar em um arquivo .TXT no formato como apresentado na Figura 3.6:

```
[TITLE]

[JUNCTIONS]
;ID                    Elev            Demand          Pattern
Identificador do nó    Cota do nó      Vazão no nó     ;





[PIPES]
;ID                    Node1                   Node2                   Length          Diameter                Roughness               MinorLoss       Status
Identificador do trecho Nó inicial             Nó final        Comprimento do trecho   Diâmetro da tubulação   Rugosidade da tubulação 0               OPEN
[COORDINATES]
;Node                  X-Coord                 Y-Coord
Identificador do nó    Coordenada X do nó      Coordenada Y do nó
```

Figura 3.6 - Modelo de arquivo inicial para o EPANET
Fonte: EPANET (Rossman, 2000)

É importante notar que esses dados se referem àqueles que podem ser obtidos através do arquivo .SHP inicial. Após a extração destes dados do ambiente GIS, deverão ser feitas inserções de dispositivos (válvulas, bombas, reservatórios) no ambiente do EPANET.

No Quadro 3.1 estão mostrados, em resumo, os dados necessários para a calibração dos parâmetros necessários (com suas respectivas unidades) à modelagem estática proposta neste estudo.

Componentes físicos	Dados necessários (unidades)
Tubulação	Comprimento (m)
	Diâmetro (mm)
	Rugosidade absoluta - ε(mm)
Nó	Cota (m)
	Consumo-base (l/s)
Reservatório de Nível Variável (RNV)	Cota (m)
	Altura de água inicial (m)
	Altura de água mínima (m)
	Altura de água máxima (m)
	Diâmetro do reservatório (m)
Reservatório de Nível Fixo (RNF)	Nível de água (m)
Válvula	Diâmetro (mm)
	Tipo:
	FCV (*flowcontrol valve*)
	TCV (*throttle control valve*)
	PBV (*pressure breaker valve*)
	PRV (*pressure reducing valve*)
	GPV (*general purpose valve*)
	PSV (*pressure sustaining valve*)
Bomba	Curva da bomba

Quadro 3.1 - Dados de calibração do EPANET com unidades

3.4 Caracterização do problema a ser estudado

Com base em relatos do setor de projetos e manutenção do SAAE – São Carlos, este e outros setores de abastecimento sofrem com muitas perdas devidas à sobrepressão na rede. Por conta do desnível topográfico e da ausência de dispositivos de controle de pressão, parte do que se capta e trata é perdido na etapa de distribuição. Foi utilizado o Setor de Distribuição Aracy como base para criação de uma metodologia, baseada em análise topográfica, que possa ser aplicada em qualquer região que esteja submetida a grandes pressões.

3.5 Etapas de tratamento de dados

Na Figura 3.7, são apresentadas as etapas de tratamento dos dados com o objetivo final de gerar um arquivo compatível com o EPANET. As etapas serão detalhadas a seguir.

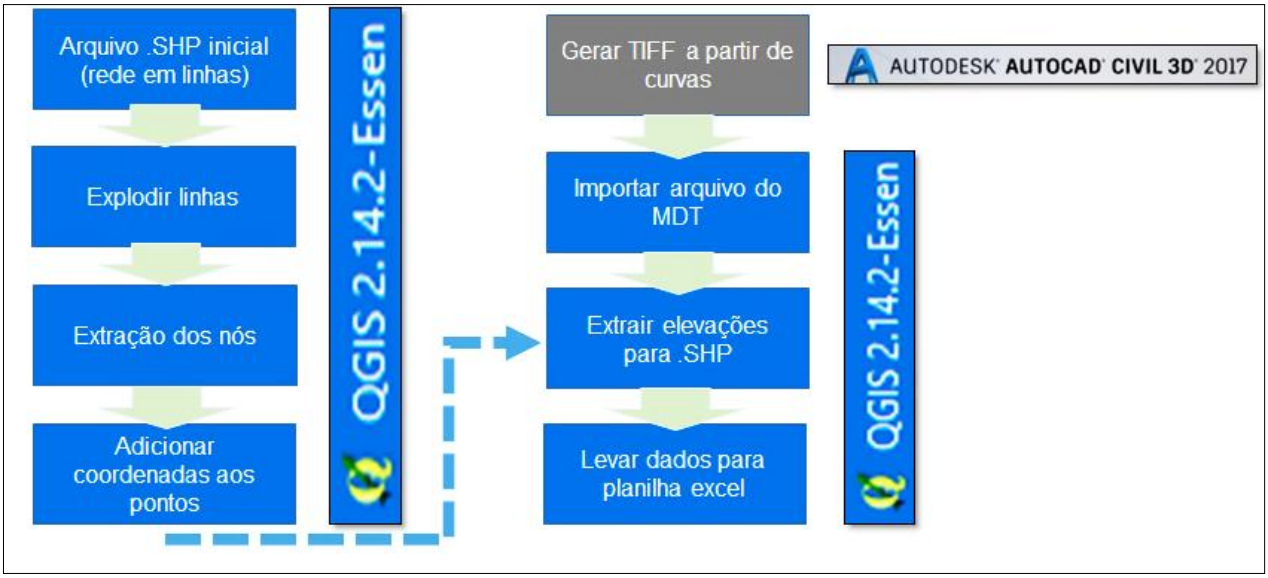


Figura 3.7 - Etapas de tratamento de dados

3.6 Descrição das etapas de tratamento de dados

No ambiente do aplicativo GIS escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa, o QGIS – v 2.14 – Essen, foi feita a inserção do *shapefile* (.SHP) para que fossem feitas as seguintes etapas de tratamento de dados:

- **Explodir linhas**: a finalidade desta etapa é separar em segmentos de reta uma entidade agrupada, a fim de que seja possível a extração dos nós e,

consequentemente, as coordenadas de cada *endpoint*, que serão pontos de análise de pressão (Figura 3.8).

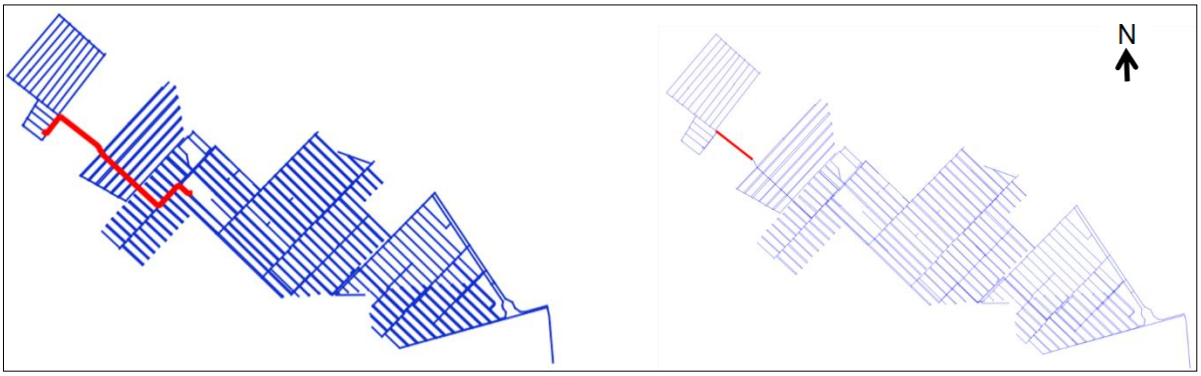


Figura 3.8 - Etapa de explosão dos segmentos de reta

- **Extração dos nós**: em seguida, foi feita a extração dos nós, pontos que serão avaliados quanto à pressão e que serão determinantes para a análise de pressões e consequente determinação das isozonas (Figura 3.9).

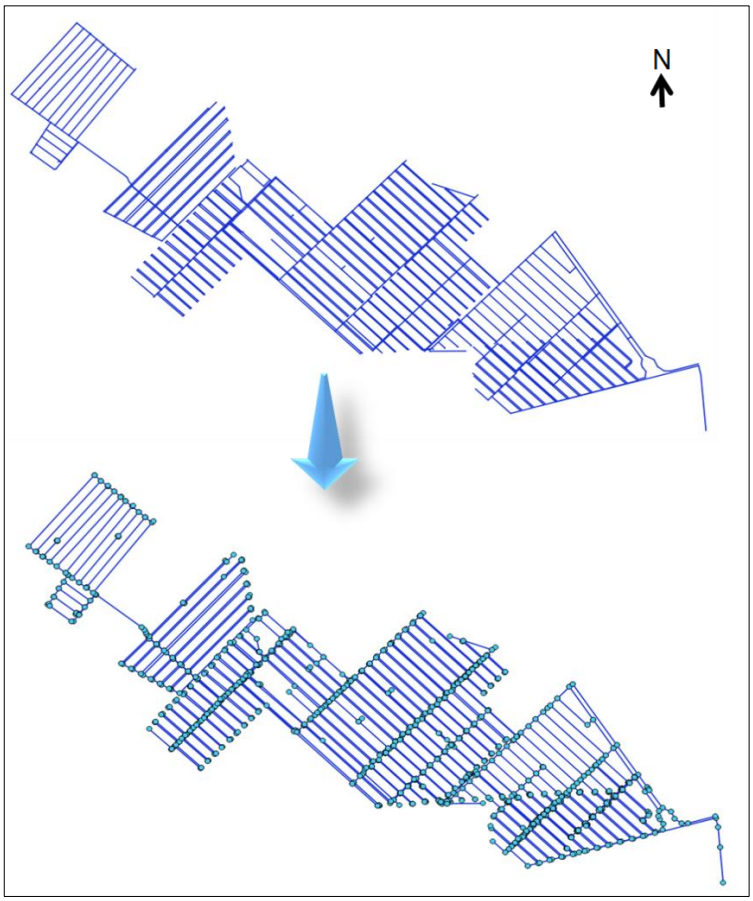


Figura 3.9 - Etapa de extração dos nós.

- **Adicionar coordenadas aos pontos**: essa etapa teve como finalidade acrescentar as coordenadas x,y a cada nó. Esta etapa é primordial e tem como

finalidade determinar a localização de cada nó corretamente no que diz respeito a coordenadas geográficas.

Paralelo a isso, as curvas fornecidas no arquivo .dwg inicial deverão ser transformadas em um modelo digital de terreno (MDT) no ambiente do AutoCad Civil 3D 2017®. Esse arquivo deverá ser importado para o ambiente do QGIS para que possa ser feita a extração das elevações referentes às cotas de cada nó.

O arquivo gerado a partir da composição de informações implementadas anteriormente, possui os dados necessários para ser incorporado no EPANET.

A tabela de atributos gerada no QGIS com as entidades da rede, foi exportada para o Excel na forma de planilha. Nesta etapa, os eixos foram concatenados para a identificação dos nós. Todos os nós duplicados durante o processo de explosão dos segmentos de reta foram eliminados pois, a explosão das linhas compostas em segmentos de reta ocasiona a formação de duplicidade de *endpoints*, já que o ponto inicial de um segmento é ponto final de outro e assim por diante. O processo de eliminação dos nós duplicados visa tornar a rede consistente para sua leitura no EPANET (Figura 3.10).

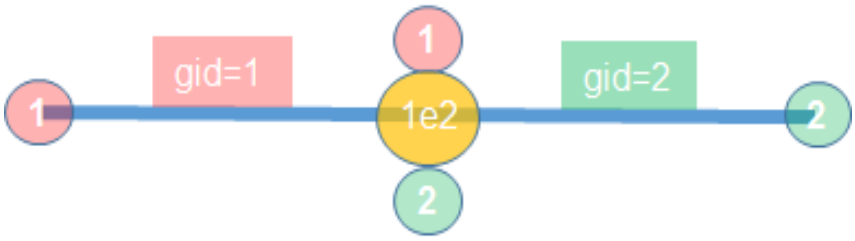


Figura 3.10 - Processo de eliminação de nós duplicados.

Por causa da estrutura vetorial dos trechos, a planilha em Excel que apresenta os dados hidráulicos exibe uma duplicidade de identidade nos nós, que também passou por um processo de tratamento. Primeiramente estabeleceu-se uma regra no próprio Excel para distinção de células idênticas na coluna nós.

A entidade que antes era uma linha, tornou-se dois pontos, entretanto, por eles terem se originado da linha eles tinham como ID o ID da linha. As características que os tornavam únicos eram suas coordenadas geográficas, que passaram então a ser o identificador de cada nó (Figura 3.11).

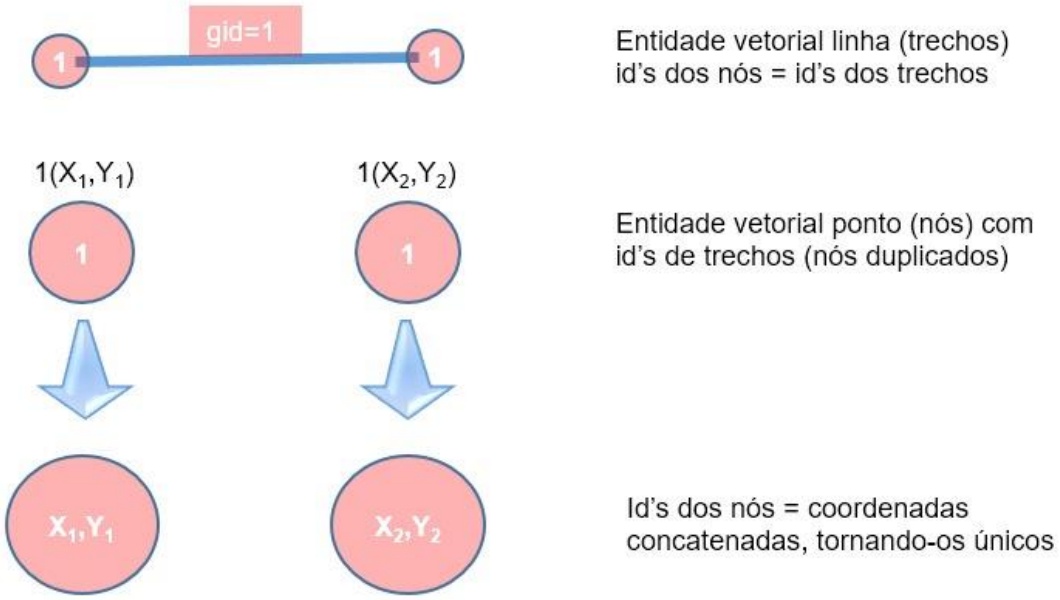


Figura 3.11 - Esquematização do tratamento dos nós

Nas Figuras 3.12 e 3.13 são apresentadas as sequências de etapas e os respectivos resultados do tratamento de dados. Na Figura 3.13, os detalhes (a), (b) e (c) mostram os modelos finais de arquivos legíveis pelo EPANET.

Por fim, os dados e suas composições vetoriais estão prontos para serem simulados no EPANET.

Os dados obtidos através do arquivo .SHP referem-se somente a rede de distribuição. No ambiente do EPANET deverão ser inseridos dispositivos de alimentação e controle da rede.

wkt_geom	gid	id_agua_	seglog_id	setor_id	tipo	diametro	material	profund	pressao	vazao	condicoes	reserv	distancia	data_exe	ano_exec	no_proj	data_cad	obs	Compriment	X	Y	TOPOGRAFIA
Point (201316.09286814299412072 7557401.5222022952511966)	237	257	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				8.975232	201316.0929	7557401.5222	794
Point (201322.31041535217082128 7557407.99498331174254417)	237	257	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				8.975232	201322.3104	7557407.995	793
Point (200537.70889923727372661 7558286.21718066371977329)	305	338	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				2.278327	200537.7089	7558286.2172	759
Point (200539.30418119390378706 7558287.84378694929182529)	305	338	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				2.278327	200539.3042	7558287.8438	759
Point (201491.0474498237890657 7557580.14963672216981649)	349	386	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				49.944738	201491.0474	7557580.1496	789
Point (201525.97917770600017921 7557615.8462929530069232)	349	386	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				49.944738	201525.9792	7557615.8463	791
Point (201525.97917770600017921 7557615.8462929530069232)	381	430	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				25.859098	201525.9792	7557615.8463	791
Point (201547.48216348266578279 7557630.20994748268276453)	381	430	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				25.859098	201547.4822	7557630.2099	793
Point (201419.67371396833914332 7557822.50141822546720505)	554	609	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				230.89177	201419.6737	7557822.5014	783
Point (201547.48216348266578279 7557630.20994748268276453)	554	609	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				230.89177	201547.4822	7557630.2099	793
Point (201025.57920662389369681 7558077.77166953310370445)	555	610	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				62.924742	201025.5792	7558077.7717	764
Point (201069.33825031507876702 7558122.98968932311981916)	555	610	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				62.924742	201069.3383	7558122.9897	758.01046884
Point (199834.10754269015160389 7558237.80114114563912153)	556	611	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				10.146963	199834.1075	7558237.8011	743.1288672
Point (199841.46398270901408978 7558230.8123184572905302)	556	611	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				10.146963	199841.464	7558230.8123	744
Point (199500.48154526067082 77 7558558.11208228394389153)	557	612	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				29.799574	199500.4815	7558558.1121	744.08497975
Point (199480.46610734451678582 7558536.03501627501100302)	557	612	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				29.799574	199480.4661	7558536.035	747
Point (200830.43790210207225755 7557878.63677326869219542)	709	809	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				238.547553	200830.4379	7557878.6368	777
Point (200660.15255231634364463 7558045.69315435271710157)	709	809	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				238.547553	200660.1526	7558045.6932	783
Point (200477.46410411363467574 7558224.86554678250104189)	710	822	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				255.886333	200477.4641	7558224.8655	767.89192621
Point (200660.15255231634364463 7558045.69315435271710157)	710	822	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				255.886333	200660.1526	7558045.6932	783
Point (201407.47779895647545345 7557485.67105165775865316)	944	1107	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				9.000029	201407.4778	7557485.6711	789
Point (201413.73489423198043369 7557492.14015384577214718)	944	1107	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				9.000029	201413.7349	7557492.1402	788
Point (201370.63046011404367164 7557447.57522766385227442)	945	1108	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				53.000172	201370.6305	7557447.5752	791
Point (201407.47779895647545345 7557485.67105165775865316)	945	1108	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				53.000172	201407.4778	7557485.6711	789
Point (201364.37336483888793737 7557441.1061254758387804)	946	1109	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				9.000029	201364.3734	7557441.1061	791.12146623
Point (201370.63046011404367164 7557447.57522766385227442)	946	1109	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				9.000029	201370.6305	7557447.5752	791
Point (200450.88672394235618412 7558197.5846373550593853)	1055	1225	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				458.887802	200450.8867	7558197.5846	771.01194348

1	gid	id_agua_l	diametro	material	pro	ao	Compriment	TOPOGRAFIA	elev2	X	Y	NODE1	NODE2	ID_JUNCTION
2	237	257	85	1		0	9	794	794,00	201316,0929	7557401,5220	1	2	1
3	237	257	85	1	0	0	9	793	793,00	201322,3104	7557407,9950	0	0	2
4	305	338	85	1	0	0	2	759	759,00	200537,7089	7558286,2170	3	4	3
5	305	338	85	1	0	0	2	759	759,00	200539,3042	7558287,8430	0	0	4
6	349	386	85	1	0	0	50	789	789,00	201491,0474	7557580,1490	5	6	5
7	349	386	85	1	0	0	50	791	791,00	201525,9792	7557615,8460	0	0	6
8	381	430	85	1	0	0	26	793	793,00	201547,4822	7557630,2090	0	0	8
9	554	609	60	1	0	0	231	783	783,00	201419,6737	7557822,5010	0	0	9
10	555	610	60	1	0	0	63	764	764,00	201025,5792	7558077,7710	11	12	11
11	555	610	60	1	0	0	63	758	758,01	201069,3383	7558122,9890	0	0	12
12	556	611	60	1	0	0	10	743	743,13	199834,1075	7558237,8010	13	14	13
13	556	611	60	1	0	0	10	744	744,00	199841,4640	7558230,8120	0	0	14
14	557	612	60	1	0	0	30	744	744,08	199500,4815	7558558,1120	15	16	15
15	557	612	60	1	0	0	30	747	747,00	199480,4661	7558536,0350	0	0	16
16	709	809	60	1	0	0	239	777	777,00	200830,4379	7557878,6360	17	18	17
17	709	809	60	1	0	0	239	783	783,00	200660,1526	7558045,6930	0	0	18
18	710	822	60	1	0	0	256	768	767,89	200477,4641	7558224,8650	0	0	19
19	944	1107	60	1	0	0	9	789	789,00	201407,4778	7557485,6710	21	22	21
20	944	1107	60	1	0	0	9	788	788,00	201413,7349	7557492,1400	0	0	22
21	945	1108	60	1	0	0	53	791	791,00	201370,6305	7557447,5750	0	0	23
22	946	1109	60	1	0	0	9	791	791,12	201364,3734	7557441,1060	0	0	25
23	1055	1225	60	1	0	0	459	771	771,01	200450,8867	7558197,5840	27	28	27
24	1055	1225	60	1	0	0	459	741	741,00	200122,1394	7558517,7450	0	0	28
25	1056	1226	60	1	0	0	181	738	738,00	200682,1945	7558433,6490	29	30	29
26	1056	1226	60	1	0	0	181	734	734,47	200511,2258	7558494,3340	0	0	30
27	1057	1227	60	1	0	0	7	744	743,52	200646,7741	7558397,4240	31	32	31
28	1057	1227	60	1	0	0	7	743	742,97	200651,7898	7558402,5460	0	0	32
29	1058	1228	60	1	0	0	55	791	791,00	199900,0464	7557621,7830	33	34	33
30	1058	1228	60	1	0	0	55	790	790,00	199861,8032	7557582,4650	0	0	34
31	1059	1229	60	1	0	0	468	765	765,00	199526,9961	7557909,3210	0	0	36
32	1060	1230	60	1	0	0	207	794	794,00	200010,2645	7557437,5290	0	0	37
33	1061	1231	60	1	0	0	7	794	794,00	200015,2002	7557432,7110	0	0	39
34	1062	1232	60	1	0	0	247	800	800,00	200096,7712	7557469,2650	41	42	41

Figura 3.12 - Tratamento de dados para implementação em EPANET (parte 1)

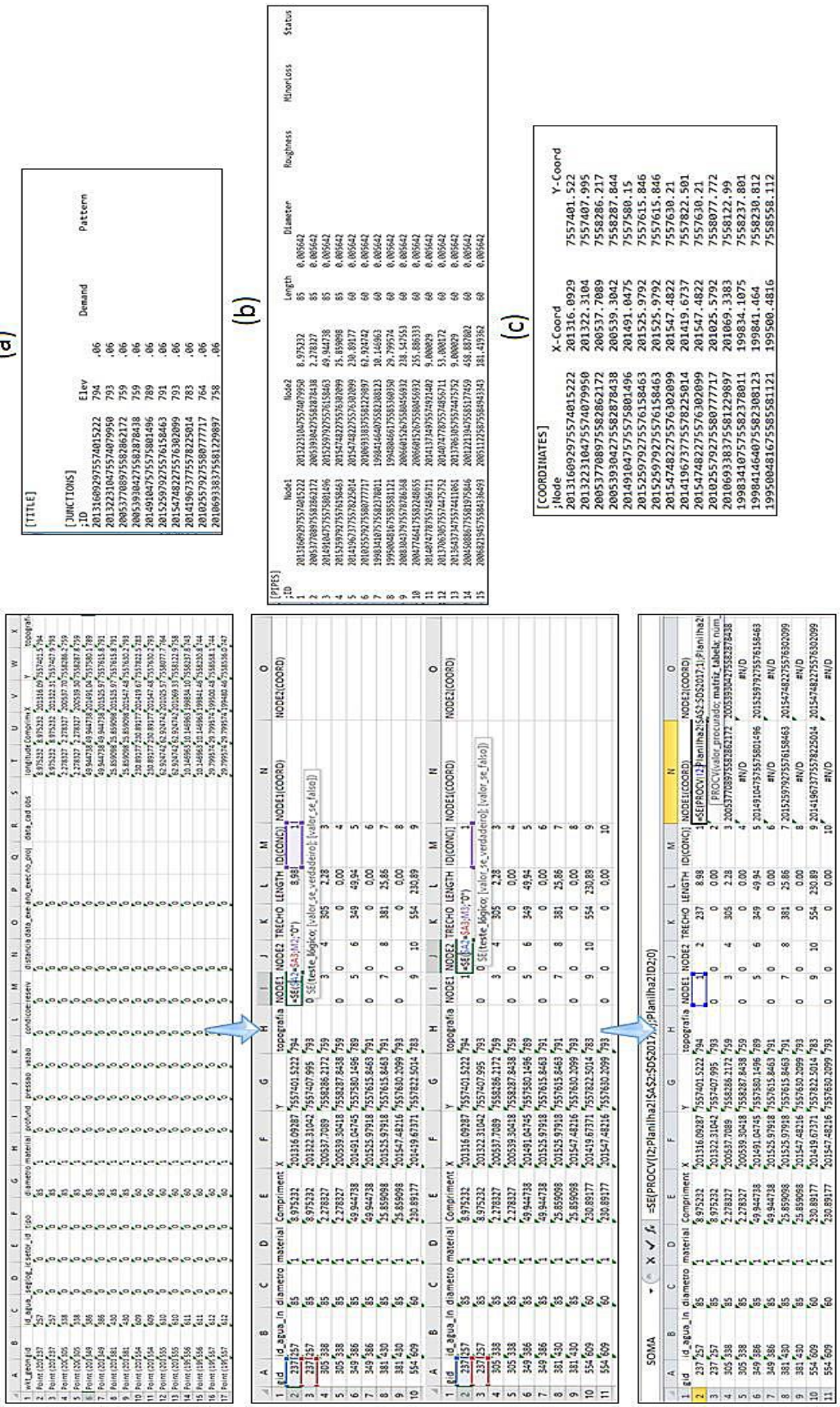


Figura 3.13 - Tratamento de dados para implementação em EPANET (parte 2)

3.7 Parâmetros utilizados para calibração no EPANET

Por se tratar de uma rede existente, os dados principais como diâmetro, extensão de trecho, cotas dos nós, e coordenadas já constavam no arquivo shape. Com o uso das ferramentas internas ao QGIS foi possível transformar o arquivo em outro possível de ser lido pelo EPANET.

Na Tabela 3.1 são apresentados os dados de vazão correspondentes a cada reservatório.

Reservatório	Coordenadas		Vazão mín (m^3/hr)	Vazão máx (m^3/hr)
	X (m)	Y (m)		
Jd. Zavaglia	199336.78	7558188.87	15	50
Antenor Garcia	199308.99	7558217.83	61	100
Aracy I e II	200254.70	7557549.33	45	80
Aracy e Presid. Collor	200250.24	755755.78	15	20
		Qtotal (m^3/hr)	136	250
		Qtotal (l/s)	**37,78**	**69,44**
		L_{total} da rede (m)	105.258,83	
		$q_{distribuída}$ (l/s.m)	0,000358904	0,000659749

Tabela 3.1 - Quadro de vazões

<u>- Metodologia para cálculo do "*consumo-base*" a ser inserido em cada nó</u>

Para inserção dos valores de vazão em cada nó foi criada uma rotina em R que tem como base o conceito de vazão distribuída por metro linear, como mostrado na Figura 3.14:

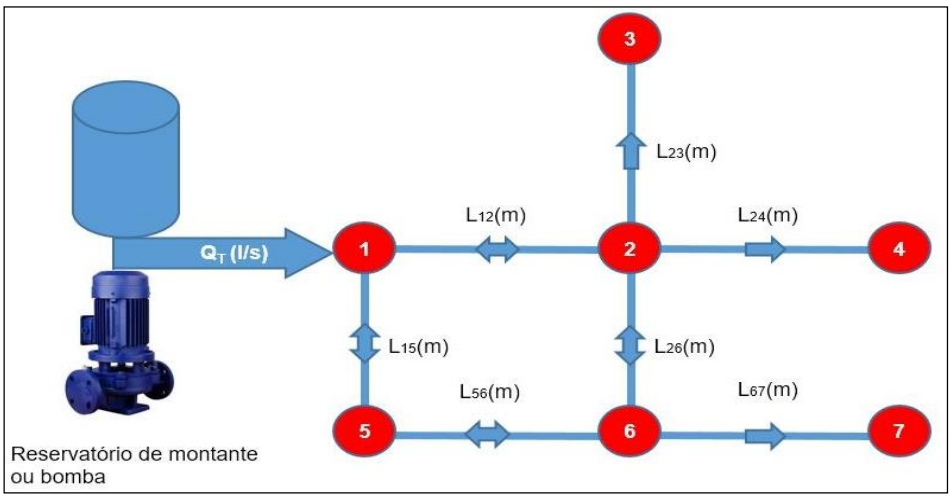


Figura 3.14 - Método para inserção de dados de vazão no EPANET

- $L_T(m)=\sum L$
- $q_{(distribuída\ por\ metro\ linear)}$ (l/s.m) = $\frac{Q_T}{L_T}$

Na Figura 3.14 são apresentadas 4 situações que podem ocorrer com um nó, conforme a ligação com outros nós:

- Para a condição de ligação com 1 nó
  - $Q_3 = q\left(\frac{L23}{2}\right)$
- Para a condição de ligação com 2 nós
  - $Q_5 = q\left(\frac{L15}{2} + \frac{L56}{2}\right)$
- Para a condição de ligação com 3 nós
  - $Q_6 = q\left(\frac{L26}{2} + \frac{L56}{2} + \frac{L67}{2}\right)$
- Para a condição de ligação com 4 nós
  - $Q_2 = q\left(\frac{L12}{2} + \frac{L23}{2} + \frac{L24}{2} + \frac{L26}{2}\right)$

Por meio dos exemplos apresentados pode-se analisar qualquer situação passível de ocorrer em redes malhadas. Os valores a serem inseridos no campo “Consumo-base” serão aqueles encontrados com os cálculos executados com base no equacionamento ora apresentado.

Para verificar a consistência deste equacionamento basta realizar uma breve análise no ambiente do EPANET no quesito “vazão” em trechos de saídas de reservatórios ou de final de linha. No caso dos trechos a jusante de reservatórios, estes devem transportar os maiores valores de vazão, o contrário ocorrendo com os trechos finais da rede.

-Método de cálculo da perda de carga distribuída

A equação de perda de carga utilizada para este estudo foi a equação universal de Darcy-Weisbach pois, segundo Liou (1998), a equação de Darcy-Weisbach é teoricamente mais consistente possuindo uma extensa base de dados.

- Rugosidade absoluta (ε)

No arquivo shape que foi fornecido pelo SAAE, constavam códigos informando qual o tipo de material das tubulações. Praticamente 100% das tubulações

deste setor são em PVC. Kellner, Akutsu e Reis (2016), fizeram uma análise para determinação de rugosidade para utilização deste parâmetro no dimensionamento de redes de distribuição de água, assim como, sua influência quando da determinação do fator de atrito “f” da equação de Darcy-Weisbach. Neste estudo, foi feito um levantamento da literatura e comparação com os resultados encontrados nos experimentos desenvolvidos pelos autores. Ao analisar esses resultados, pôde-se observar que, “em geral, os valores obtidos para rugosidade absoluta ficaram muito próximos ao limite inferior de 0,0015 mm referenciado na literatura (Porto (2006) apud Kellner, Akutsu e Reis, 2016)”. Com base nesta pesquisa, foi adotado o valor médio de 0,005642 mm.

3.8 Análises para decisão do melhor desenho para os setores de medição e controle

A metodologia proposta para a setorização baseia-se na análise de diferença topográfica cuja cota limite esteja 50 metros abaixo da cota de nível d’água máximo do reservatório. Com isto, é possível determinar os pontos de inserção de dispositivos controladores de pressão de modo que sejam criadas isozonas de pressão. Na Figura 3.15, a seguir, é ilustrado o processo de estudo para criação dos Distritos de Medição e Controle com base na análise topográfica.

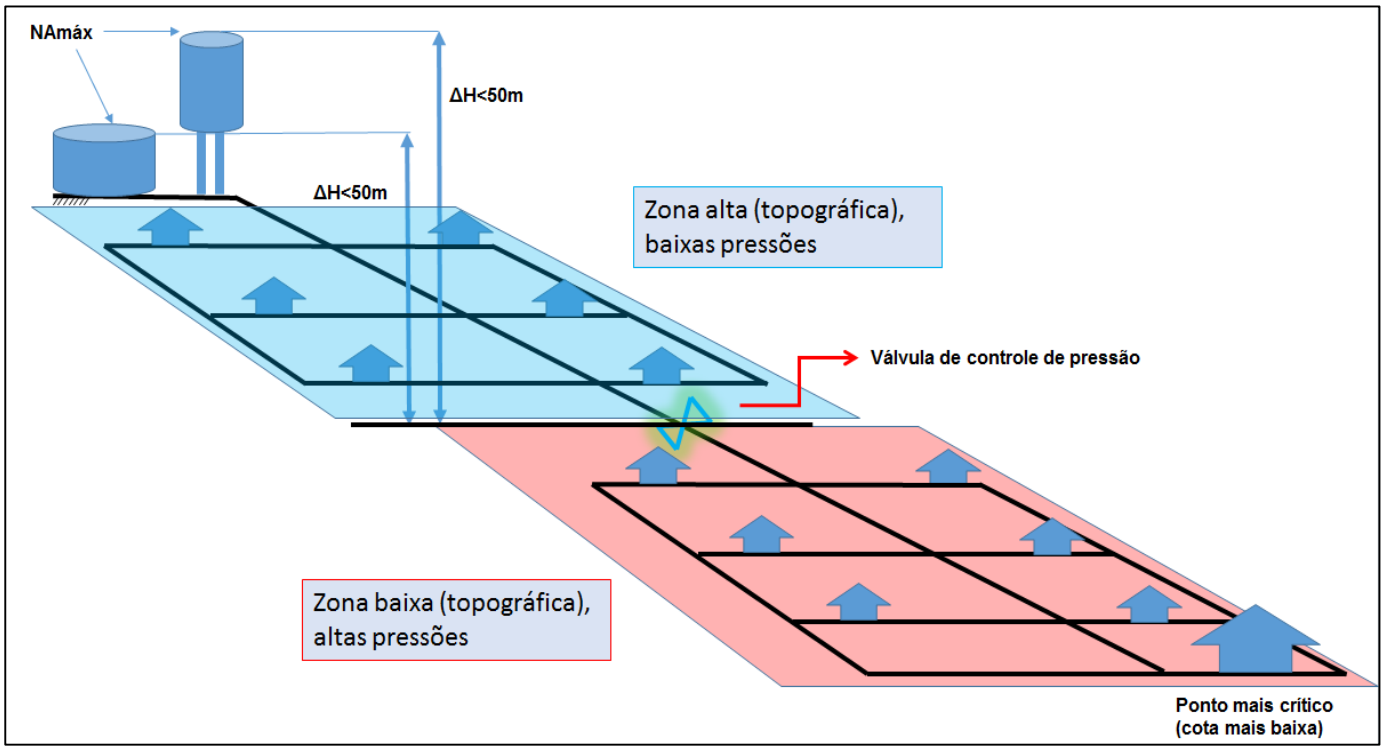


Figura 3.15 - Análise topográfica inicial para determinação de DMC’s

Outro aspecto a ser levado em conta na criação de DMC's é que o seccionamento das redes deve ser feito de forma paralela, como mostrado na Figura 3.16.

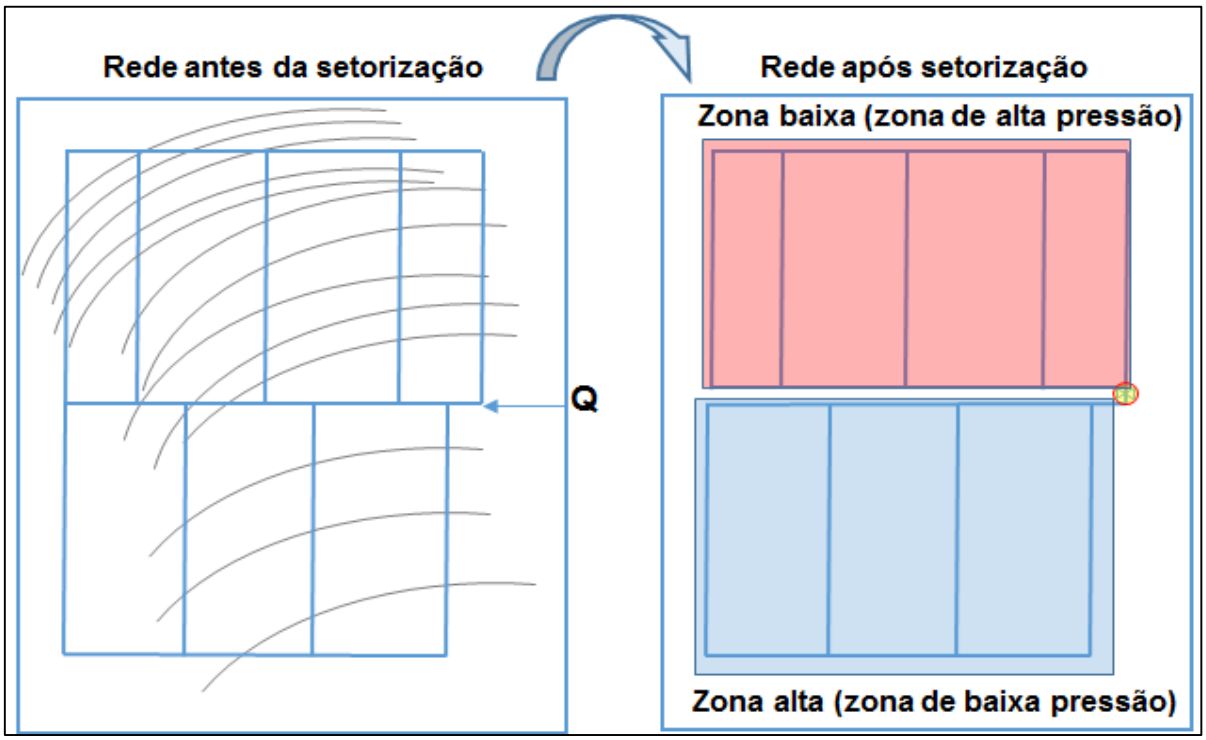


Figura 3.16 - Seccionamento em paralelo da rede.

A criação de redes em paralelo deve ser feita para que não sejam criadas "pontas-secas" na rede, que são pontos problemáticos no que tange à qualidade da água. É importante obedecer também ao limite mínimo de pressão estabelecido em Norma, ou seja, ao analisar a criação do setor que está submetido a altas pressões, ao inserir o dispositivo de gerenciamento de pressão (válvula redutora), é necessário que a pressão de controle a jusante seja igual ou superior a 10 m.c.a. como mostrado na Figura 3.17.

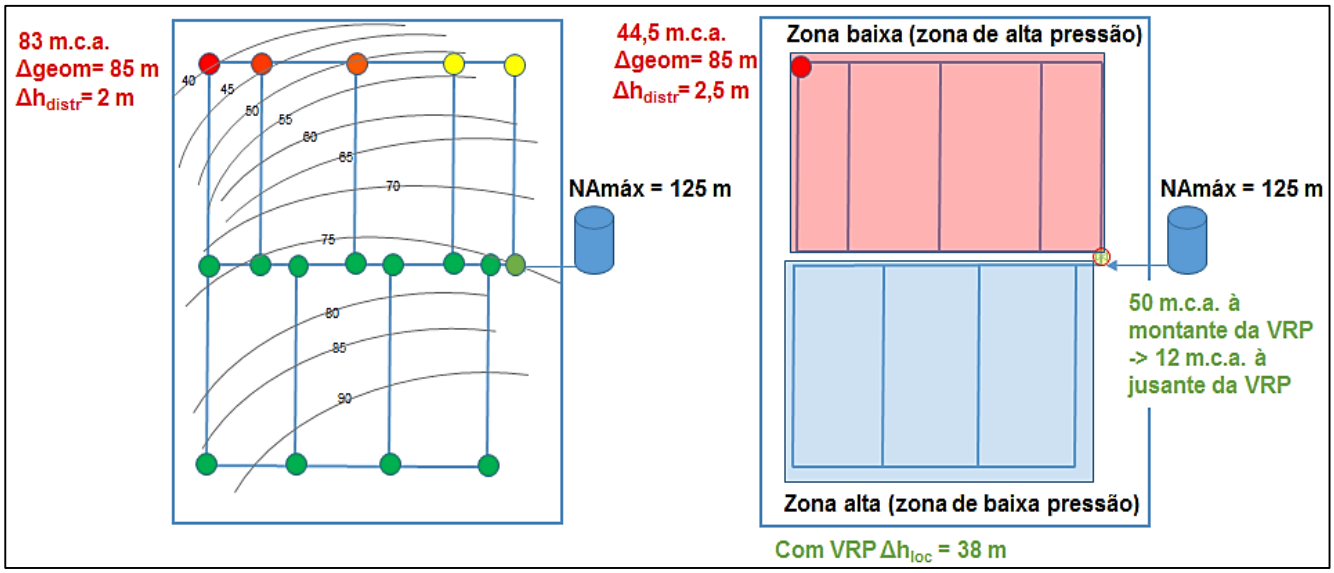


Figura 3.17 - Exemplo da criação de DMC's

Após executados estes procedimentos, será feita uma nova simulação em EPANET para a verificação da correta setorização quanto ao objeto norteador desta pesquisa, o controle das pressões máximas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram apresentados os resultados encontrados através da metodologia descrita, assim como, suas discussões.

4.1 Resultados em modelagem do terreno

Na Figura 4.1 é mostrada a rede de abastecimento sobreposta ao modelo digital de terreno, gerado paralelamente a esta etapa, na qual é possível analisar as cotas de elevação em contraposição aos nós.

O terreno possui uma variação topográfica com desnível de mais de cem metros. Essas diferenças de elevação também fazem parte da composição da rede. Este é um fator influente nas zonas de pressão do setor, que apresenta aumento na região central explicando a ocorrência de vazamentos e danos à rede. Essa análise foi possível a partir da geração do modelo digital de terreno, apresentado na Figura 4.2, que ocorrem em paralelo à extração da rede.

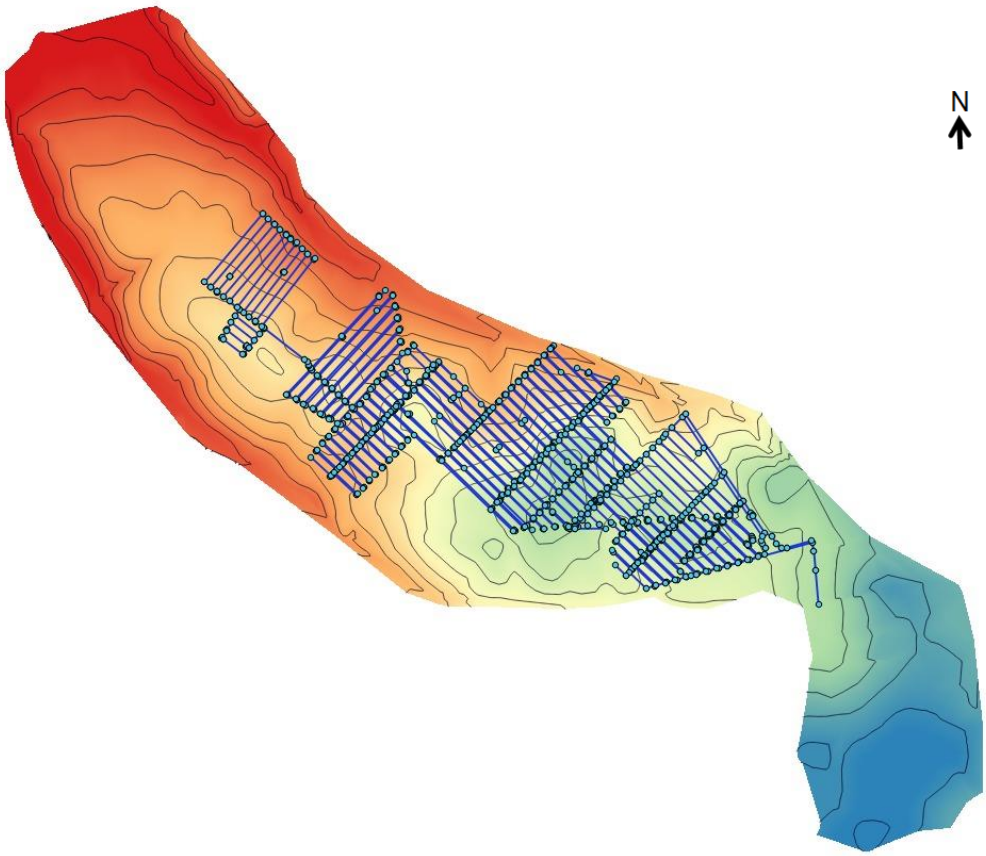


Figura 4.1 - Tratamento de dados em GIS

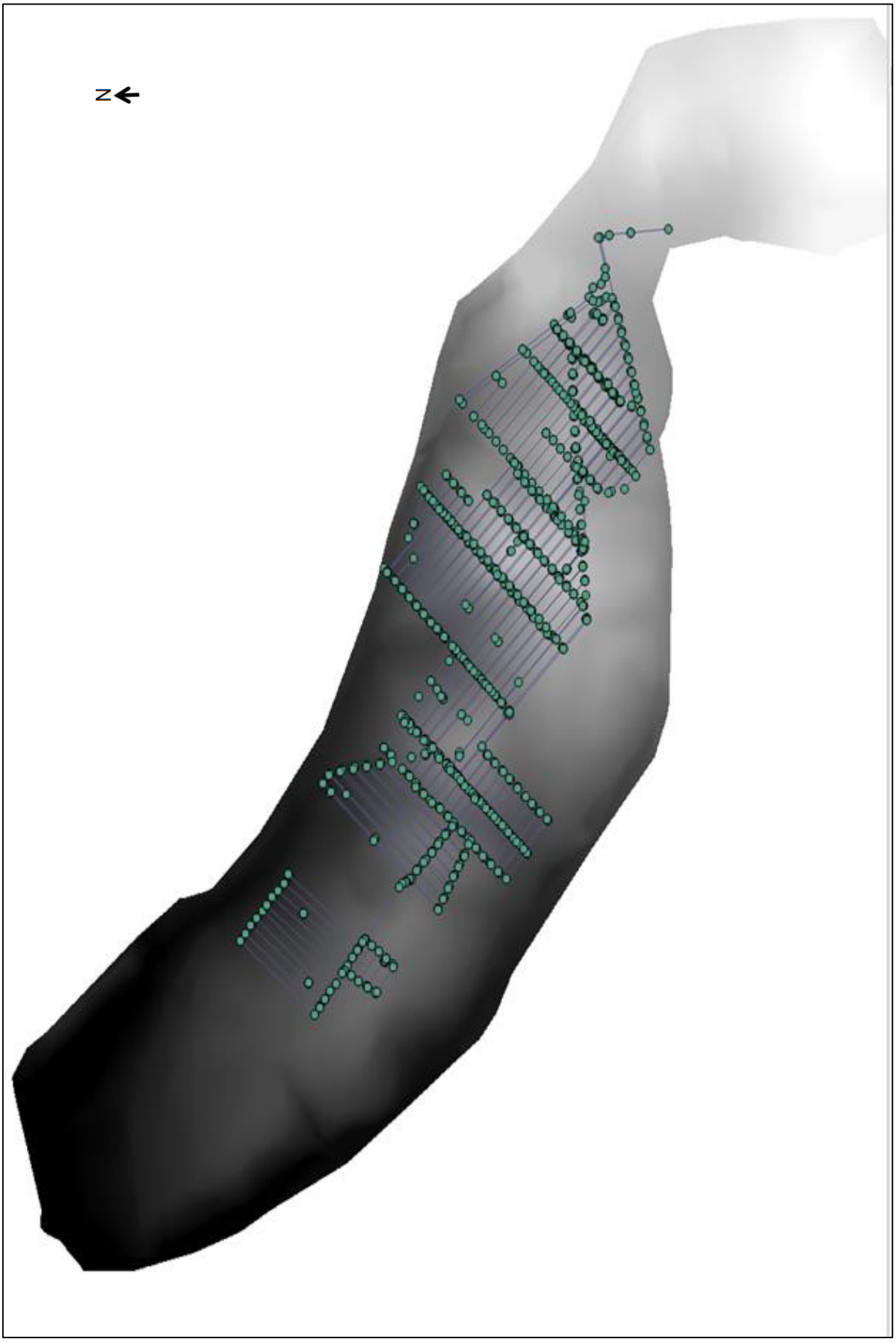


Figura 4.2 - Modelo digital de terreno**.**

Com o modelo digital de terreno foi possível uma extração de cotas mais precisa no QGIS utilizando o método de interpolação de Bicubic spline (Hernandéz et al., 2013) sendo um método referenciado como a melhor alternativa para a problemática proposta. Na Figura 4.3 estão representadas, em ambiente do EPANET, as cotas de cada nó.

4.2 Resultados em EPANET

4.2.1 Análise de zonas de influência de reservatórios e consistência da rede

O primeiro estudo teve como objetivo confirmar as áreas de influência de cada reservatório, também como uma forma de verificar a consistência da rede. O resultado final desta simulação está apresentado na Figura 4.4, mostrando as áreas de influência de cada reservatório corroborando aquelas descritas no início do capítulo de materiais e métodos.

Através desta análise preliminar, também foi possível constatar que as etapas de tratamento de dados elaboradas no capítulo de metodologia foram consistentes no que diz respeito à “tradução” de dados do arquivo .SHP para o arquivo que pode ser lido e interpretado pelo programa de modelagem hidráulica escolhido, o EPANET. Concomitantemente, é possível observar que já existe uma subsetorização no Setor de distribuição Aracy, com a divisão do Setor principal em quatro subsetores guiados pelas cotas topográficas. Esta observação é vista nos dois subsetores inferiores: Jd. Zavaglia e Antenor Garcia, onde o reservatório apoiado tem como zona de abastecimento as cotas inferiores e o reservatório elevado, as cotas superiores. Assim como na parte superior do terreno onde também há uma setorização, visto que o reservatório apoiado abastece as cotas altimétricas mais baixas e o reservatório elevado, as mais altas.

Outra maneira de analisar a consistência da rede diz respeito ao parâmetro vazão. Nesse estudo, foi utilizado o método de cálculo de vazão distribuída, pelo qual o somatório das vazões dos trechos que ficam imediatamente à jusante de cada reservatório resulta na vazão total. Para a primeira modelagem, para a qual foi utilizada a vazão mínima, o valor de Qtotal deverá ser igual a 37,78 l/s, como é possível verificar na Tabela 4.1.

Reservatório	Vazão (l/s)
R1 (Zavaglia)	3,42
R2 (Antenor Garcia)	4,53
R3 (Aracy I e II)	20,31
R4 (Aracy e Collor)	9,52
Qtotal (l/s)	**37,78**

Tabela 4.1 - Somatório das vazões dos reservatórios

Então, é possível verificar que o resultado apresentado é consistente.

Essa análise foi executada apenas para a primeira modelagem, pois este é o foco do presente estudo.

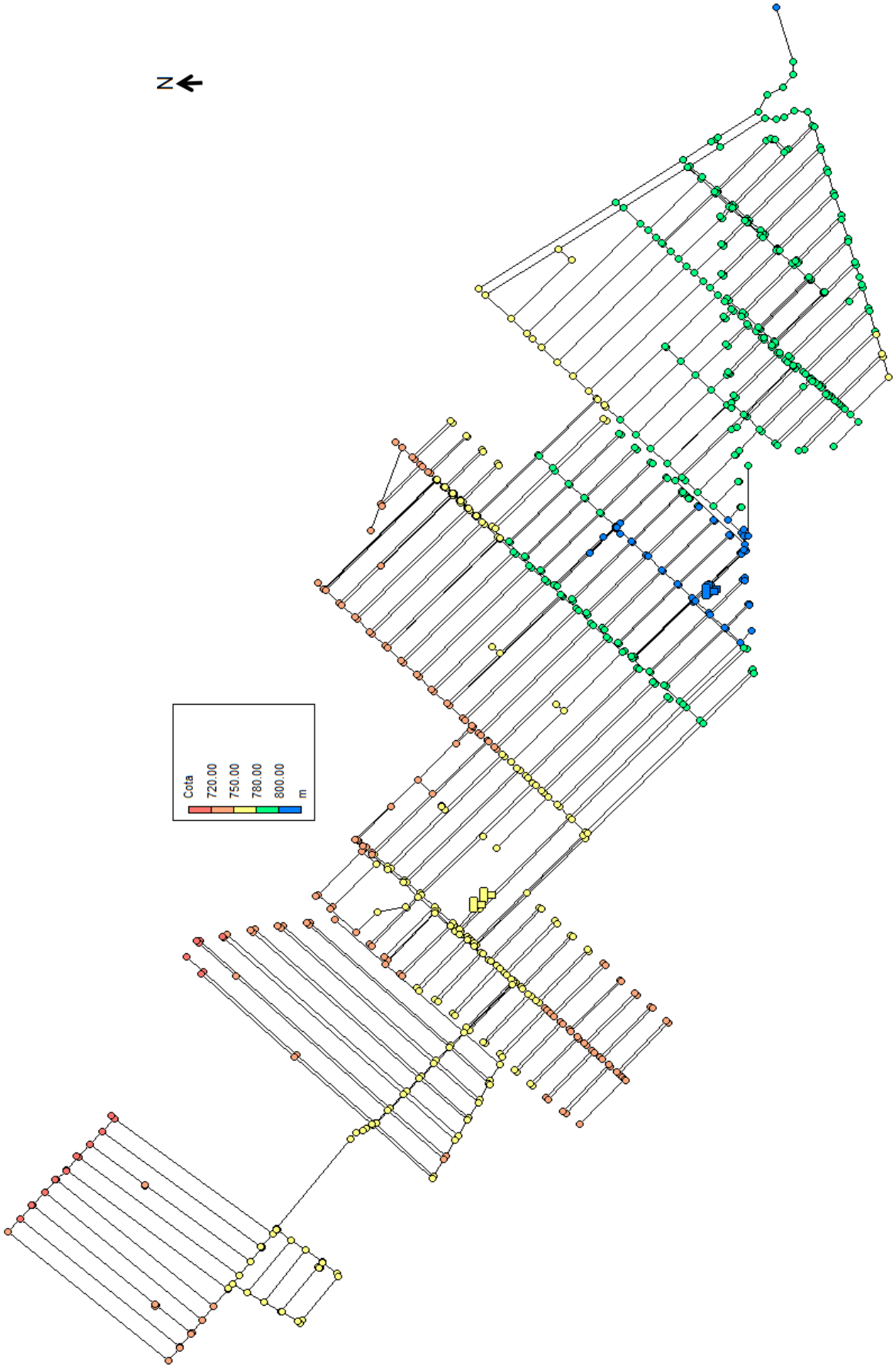


Figura 4.3 - Representação de cotas topográficas em EPANET

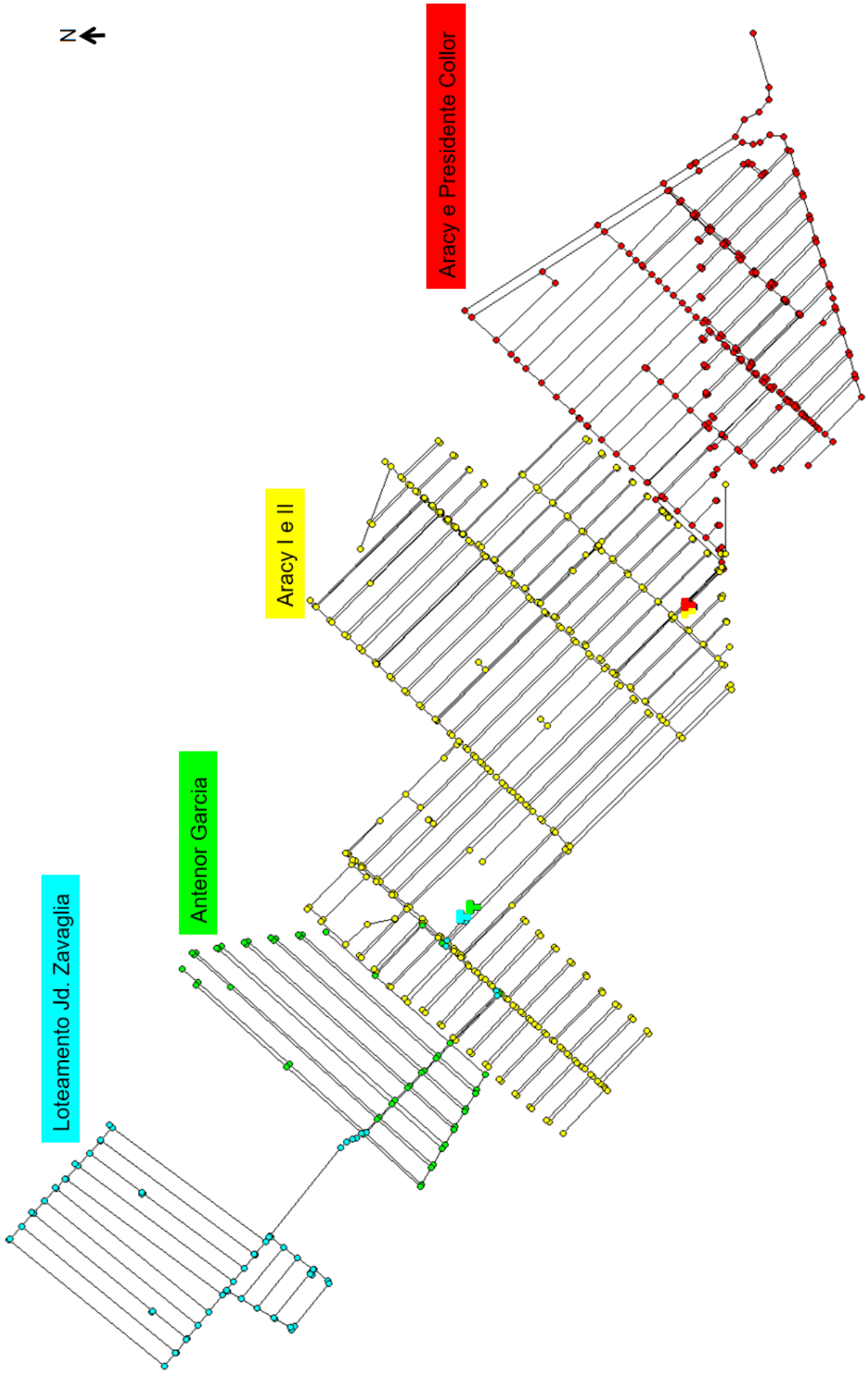


Figura 4.4 - Áreas de influência dos reservatórios

4.2.2 Análise comparativa de vazões e pressões

A fim de analisar a influência da vazão (máxima ou mínima) foram feitas duas modelagens, a primeira utilizando os valores de vazões distribuídas encontradas através da utilização da vazão máxima total e a segunda utilizando do valor da vazão mínima total.

Como esperado, os resultados de pressões obtidos através da primeira análise (QmáxPmín) mostraram valores de pressões menores que aqueles encontrados na segunda modelagem (QmínPmáx). Como citado no capítulo de bibliografia (Morrison et al, 2007), as pressões máximas ocorrem quando das vazões mínimas em decorrência do fator perda de carga. Esta diferença de resultados é mais perceptível nos pontos mais extremos de elevação (altos ou baixos). Nas Figuras 4.5 e 4.6, estão demonstrados os resultados que tiveram o parâmetro pressão analisado.

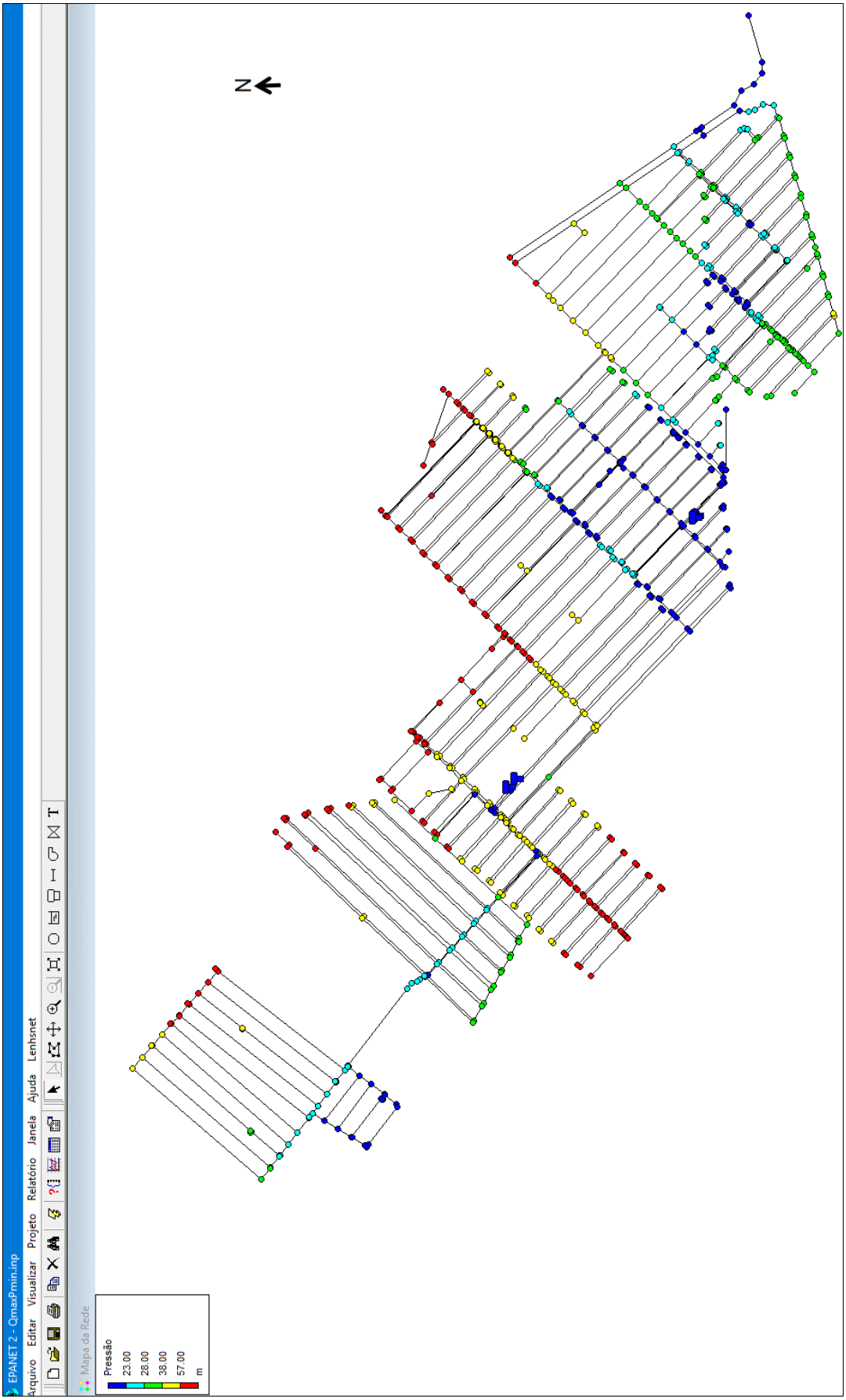


Figura 4.5 - Simulação 1: Vazão máxima, pressões mínimas

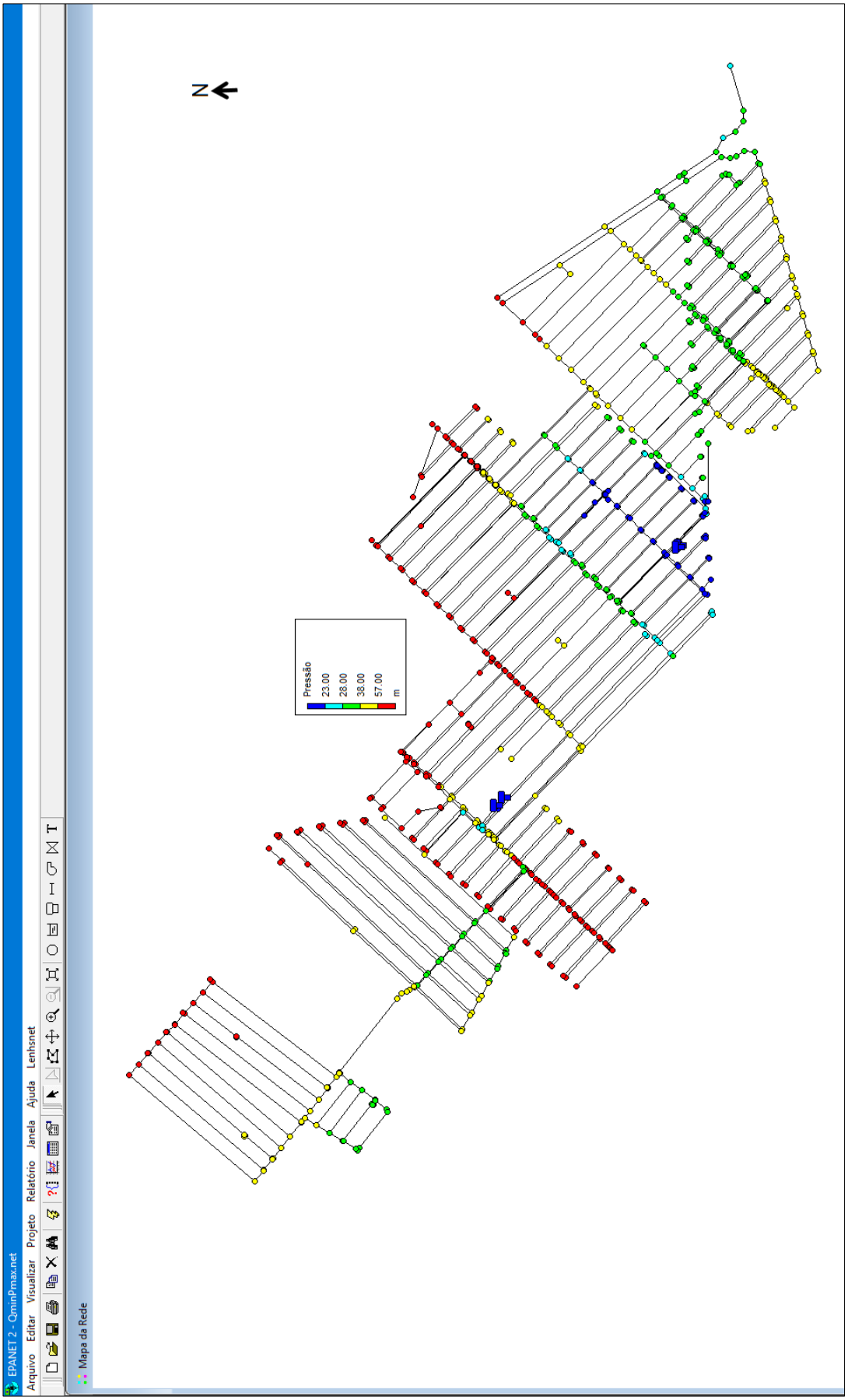


Figura 4.6 - Simulação 2: Vazão mínima, pressões máximas

4.2.3 Análise de perda de carga unitária e velocidade

Porto (2006) cita que as perdas de carga unitárias nas tubulações variam entre 1 m/km e 10 m/km, que correspondem a velocidades entre 0,60 m/s e 1,20 m/s e que resulta em um intervalo mais satisfatório no ponto de vista operacional e econômico. Analisando a Figura 4.7 pode-se verificar que em alguns trechos localizados na zona de influencia do reservatório R3 (Aracy) as perdas de carga são elevadas (em destaque). Os valores encontrados que estão fora dos limites citados tanto para velocidade quanto para perda de carga unitária, indicam um subdimensionamento das tubulações desses trechos.

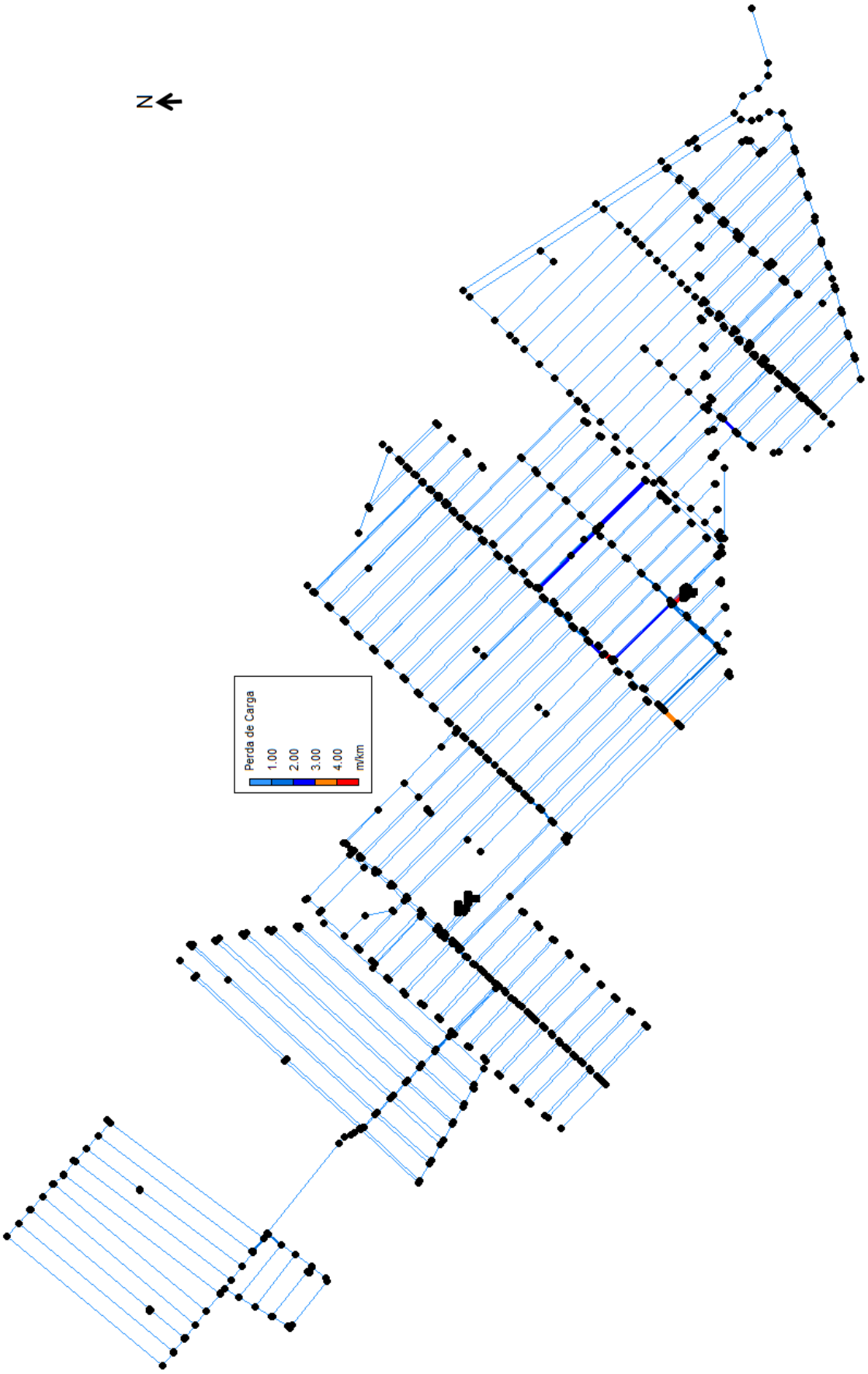


Figura 4.7 - Análise de perda de carga unitária.

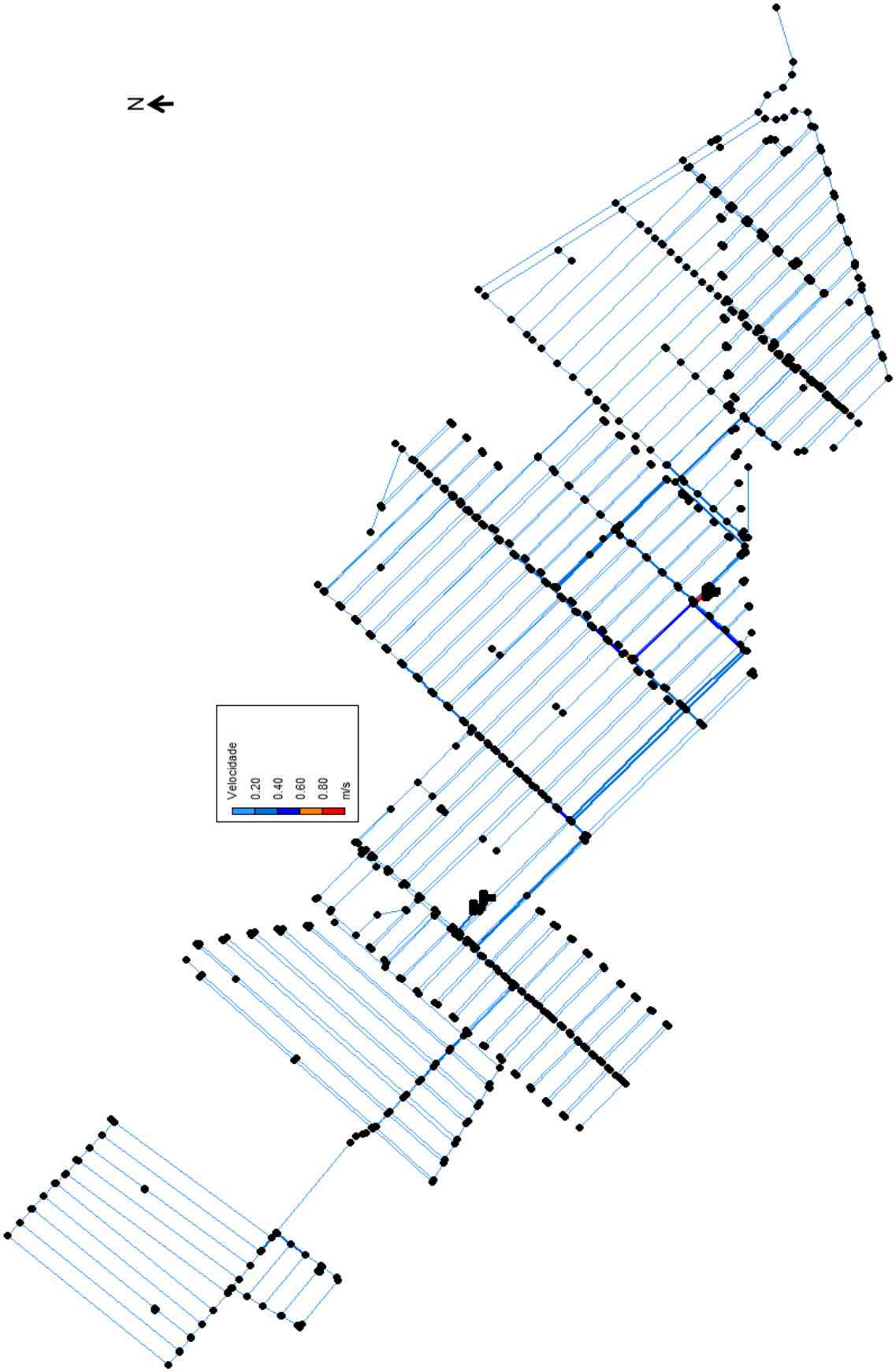


Figura 4.8 - Análise da rede quanto a velocidade

4.2.4 Análise da influência da variação topográfica versus perda de carga sobre a pressão

Considerando que a pressão é dada pela diferença de cotas entre dois pontos adicionados das perdas de carga referentes ao trajeto entre esses dois pontos, foram elaboradas quatro figuras ilustrando as situações mais críticas de pressão passíveis de ocorrer na rede.

Na Figura 4.9 está representado o reservatório apoiado do setor Zavaglia, situado na cota 772 m, com nível d'água máximo de 792 m, cuja analise do ponto mais crítico no que diz respeito à pressão, é o nó identificado 198672444497559625030, localizado na cota 713 m. Neste nó a pressão estática encontrada foi de 78,70 m, com isso pode-se concluir que a perda de carga na dsitribuição é da ordem de 0,30 m.

Na Figura 4.10 está representado o reservatorio elevado do subsetor Antenor Garcia, ele também está localizado na cota altimétrica 772 m, com nível d'água máximo de 792 m. Seu ponto mais crítico (nó 199150021075590473540) também está localizado na cota topográfica 713 m. A pressão estática encontrada nesse ponto foi de 78,55 m, com isso pode-se concluir que a perda de carga na distribuição foi de 0,45 m.

Na Figura 4.11 está representado o reservatório apoiado do subsetor Aracy I e II, o qual está situado na cota topográfica 805 m, com nível d'água máximo de 819 m. O ponto crítico desta rede é o nó 200257545275586559770, que está na cota de terreno 726 m. A pressão estática encontrada neste ponto foi de 91,27 m, representando uma perda de carga na distribuição de 1,73 m.

Na Figura 4.12 está representado o reservatório elevado do subsetor Aracy e Presidente Collor. A cota de terreno do reservatório é 805 m, com nível d'água máximo na cota 826 m, e seu ponto mais crítico (nó 201139861975581958650) está localizado na cota de terreno 752 m. O valor de pressão estática encontrado foi de 73,68 m, indicando uma perda de carga na distribuição de 0,32 m.

A partir da análise comparativa entre esses quatro resultados apresentados, pode-se inferir que a rede abastecida pelo reservatório apoiado R3 (Aracy) possui trechos subdimensionados, como foi comprovado no tópico anterior na análise de perda de carga unitária e velocidade.

Também é possivel notar que a perda de carga na distribuição não exerce papel fundamental nos resultados de pressões, desde que feito um correto

dimensionamento da rede. Isso pode ser demonstrado através da analise relativa entre perda de carga distribuída em comparação à diferença topográfica:

Para o subsetor Zavaglia (R1): $\frac{0,30}{79} = 0,0038 \therefore 0,38\%$

Para o subsetor Antenor Garcia (R2): $\frac{0,45}{79} = 0,0057 \therefore 0,57\%$

Para o subsetor Aracy (R3): $\frac{1,73}{93} = 0,0186 \therefore 1,86\%$

Para o subsetor Aracy e Collor (R4): $\frac{0,32}{74} = 0,0043 \therefore 0,43\%$

Apesar de já existir uma subsetorização nota-se que nas horas de consumo mínimo as pressões máximas alcançam valores superiores àquele estabelecido em Norma, de 500 kPA (aproximadamente 50 m.c.a.).

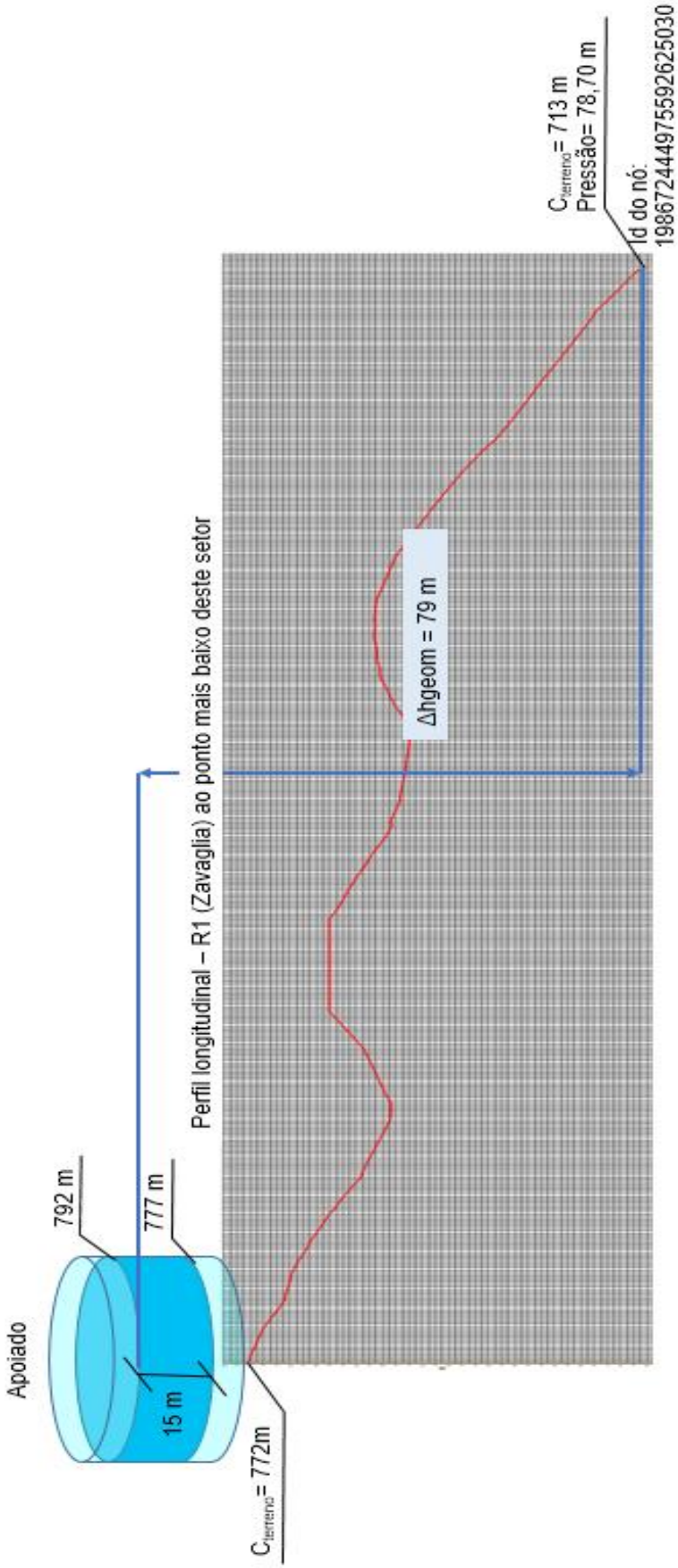


Figura 4.9 - Perfil longitudinal do trajeto crítico do subsetor Jardim Zavaglia.

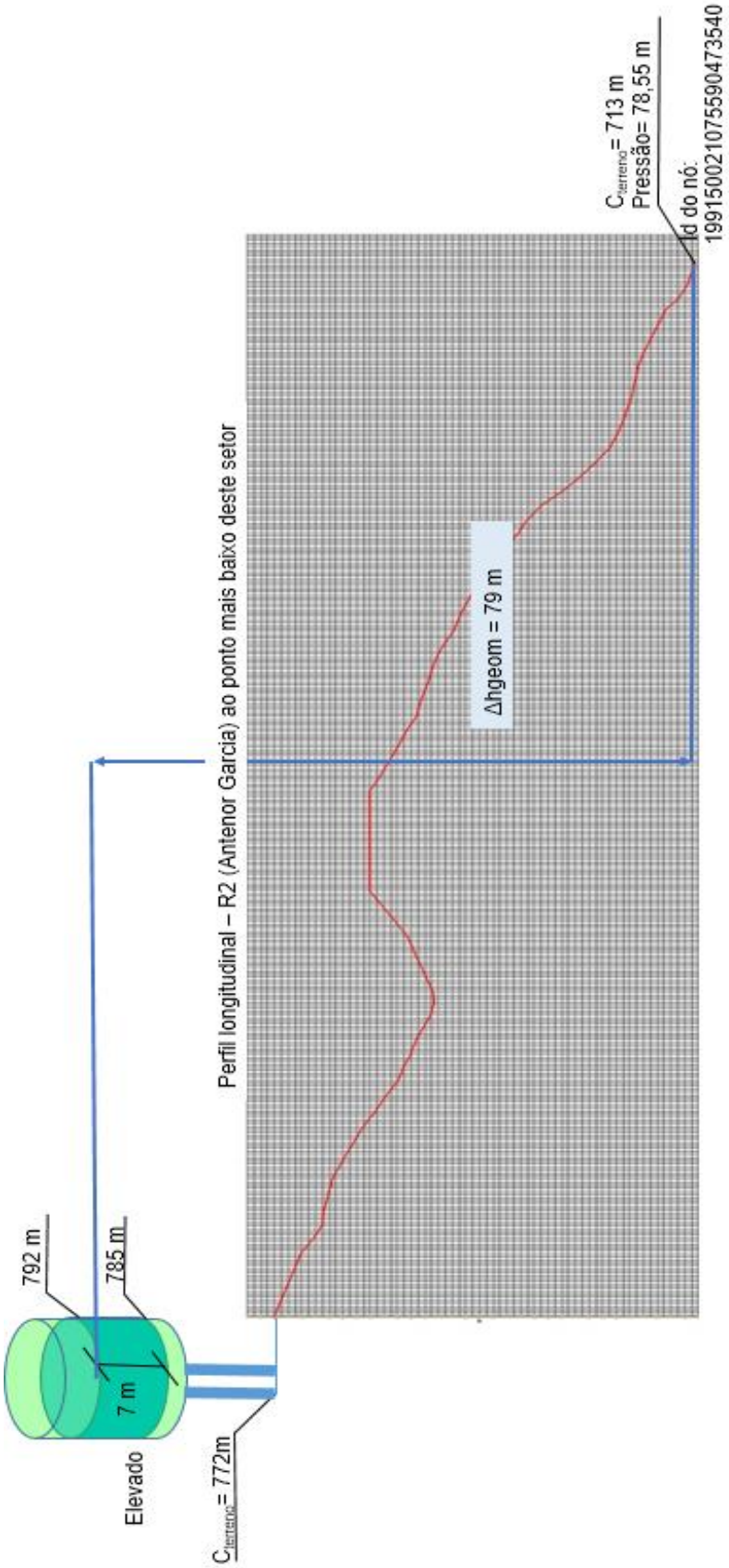


Figura 4.10 - Perfil longitudinal do trajeto crítico do subsetor Antenor Garcia

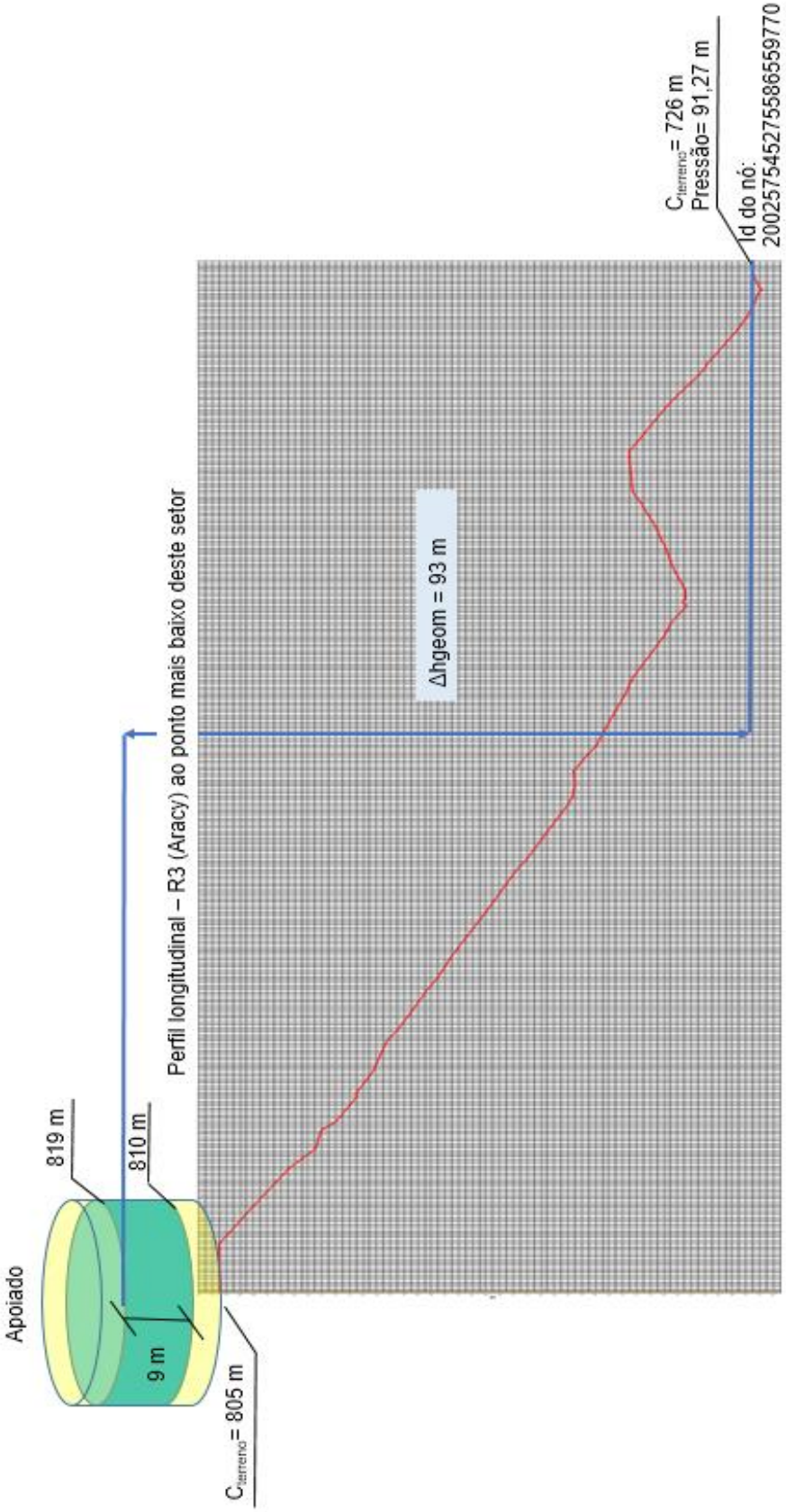


Figura 4.11 - Perfil longitudinal do trajeto crítico do subsetor Aracy

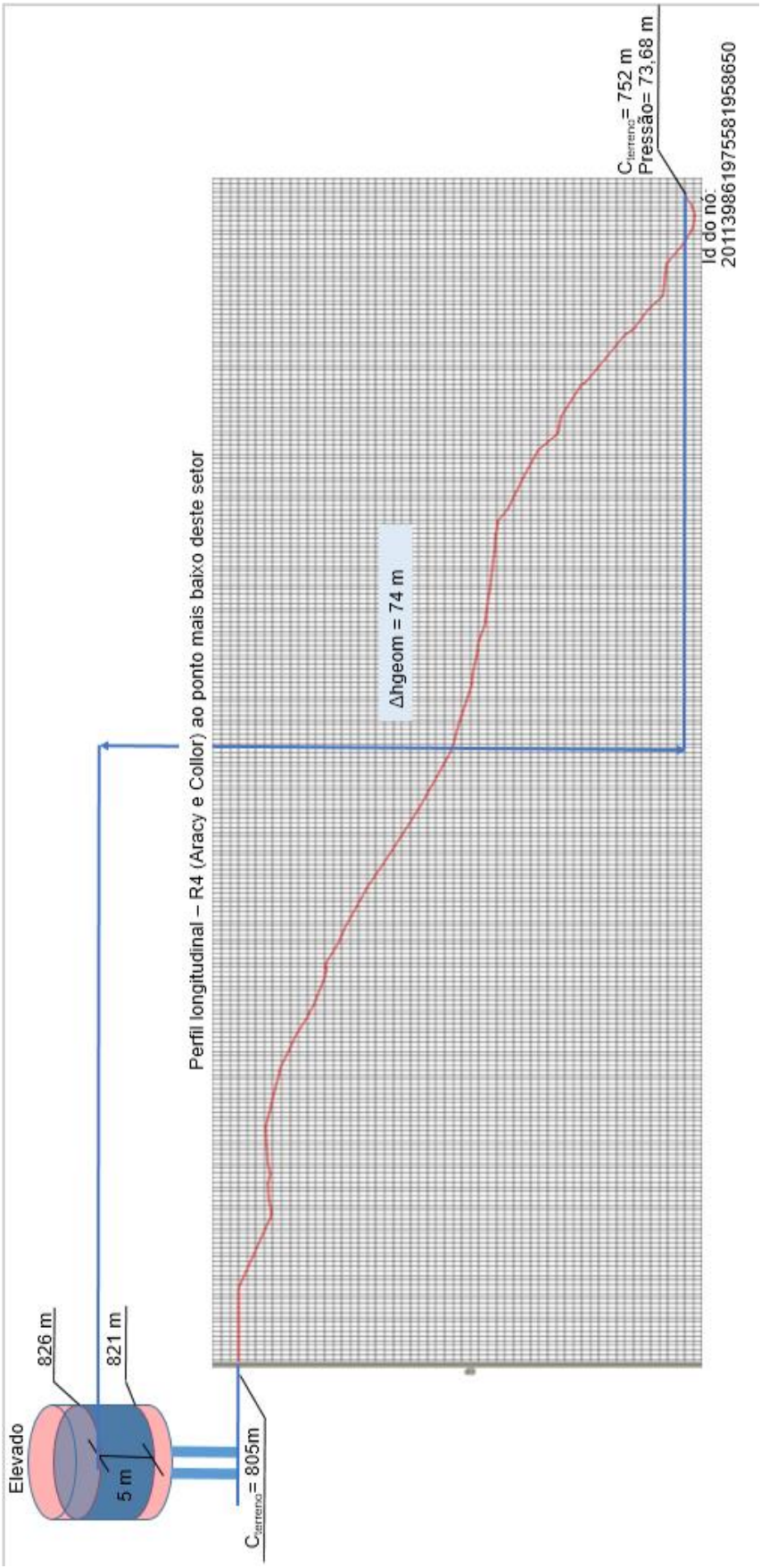


Figura 4.12 - Perfil longitudinal do trajeto crítico do subsetor Aracy e Presidente Collor

4.3 Setorização proposta

Todos os resultados discutidos e analisados nas seções anteriores diziam respeito ao estado atual da rede. A partir desta seção, serão apresentados os resultados obtidos após as setorizações propostas.

Como discutido na seção anterior, apesar de já existirem subsetores, por meio da modelagem hidraulica foi possível observar que a setorização existente não tem como base a análise topográfica, e sim os loteamentos. Com isto, foram propostas setorizações a fim de executar o gerenciamento de pressões dentro dos limites establecidos em Norma.

O gerenciamento das pressões nos locais com diferença de cota de topo de nível d'água máximo e o ponto mais crítico de, no mínimo, 50 metros deverá ser feito com a inserção de válvulas redutoras de pressão com o intuito de causar uma perda de carga localizada variável e, consequentemente, controle das pressões nos trechos à jusante.

4.3.1 Setorização proposta para o subsetor de abastecimento Jardim Zavaglia (R1)

Para este subsetor, a criação dos DMC's proposta tem o objetivo de gerenciar as pressões nos pontos com cotas altimétricas mais baixas (onde ocorrem as maiores pressões). Na Figura 4.13 é mostrada a variação topográfica no subsetor estudado. Observa-se que existem duas ruas pelas quais uma separação de zonas pode ser feita (do ponto de vista executivo). Se o DMC for criado na Rua 1, indicada em amarelo, as pressões nos pontos onde a cota é aproximadamente 730 metros continuarão sendo excessivas, pois, a cota de topo do reservatório que abastece essa região é de 792 metros, o que resultaria em uma pressão nessa região de aproximadamente 60 m.c.a.

O DMC proposto para gerenciamento das pressões nos pontos mais baixos foi criado a partir da separação da rede pela Rua 2 (verde). A rede foi seccionada e anelada a fim de evitar pontos de infecção. Com isto, o resultado da criação dos DMC's está apresentado na Figura 4.14. Na Figura 4.15 é mostrada também a localização de inserção da válvula redutora de pressão responsável por causar uma perda de carga localizada e, consequentemente, a redução das pressões nos pontos

a jusante. A válvula inserida na rede causou uma perda de carga de 30,48 m, como é mostrado, em destaque, na Figura 4.15. Os resultados de pressões obtidos com a criação destes DMC's pode ser visto na Figura 4.15, a seguir, onde verifica-se que a pressão no ponto mais crítico foi reduzida de 78,70 m.c.a. para 47,36 m.c.a.

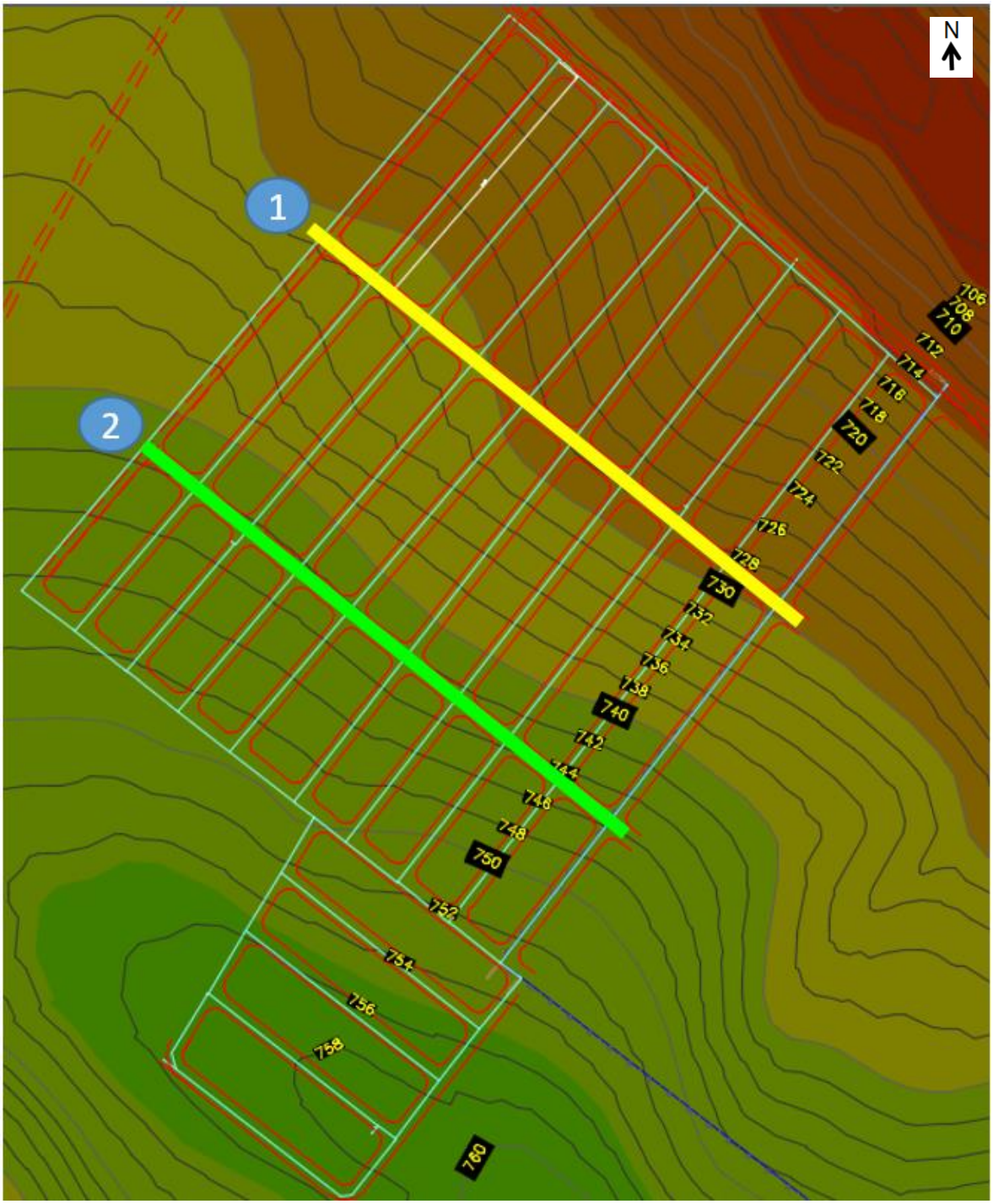


Figura 4.13 - Estudo de topografia do subsetor abastecido pelo R1(Jd. Zavaglia)

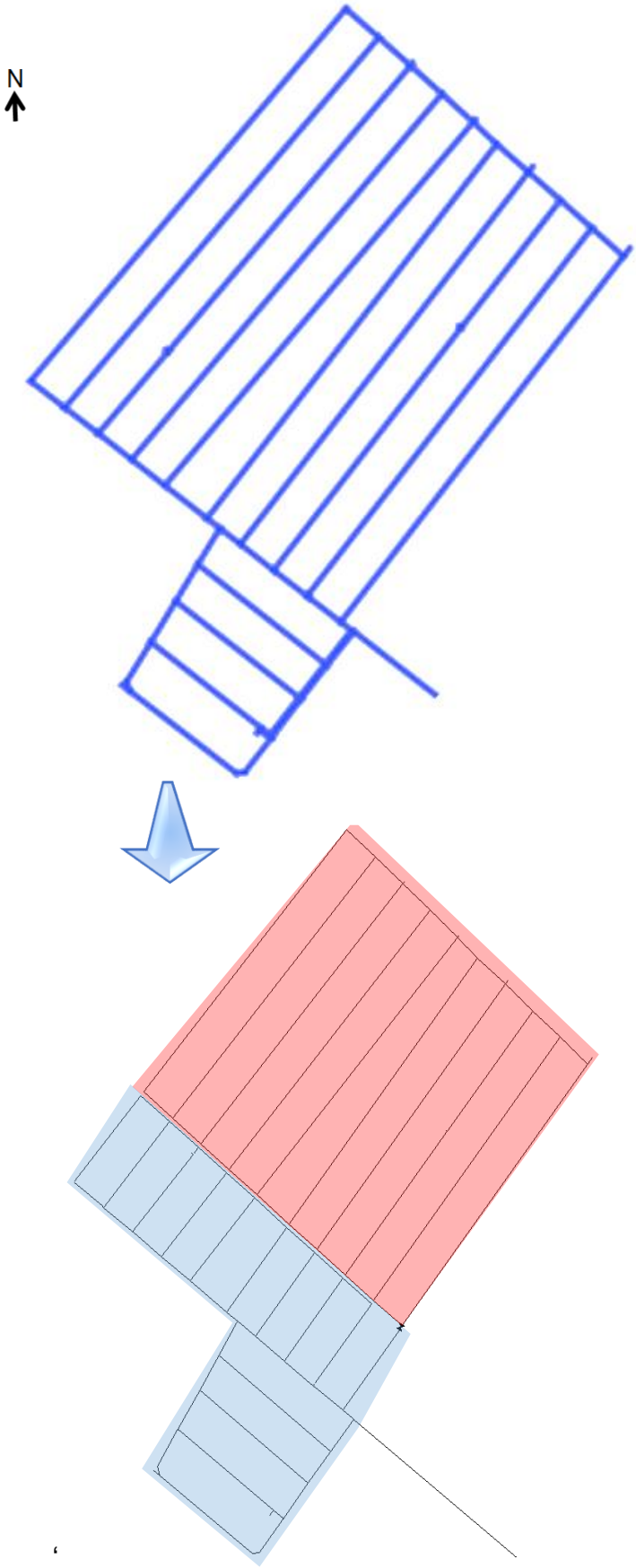


Figura 4.14 - DMC's do subsetor abastecido pelo R1 (Zavaglia)

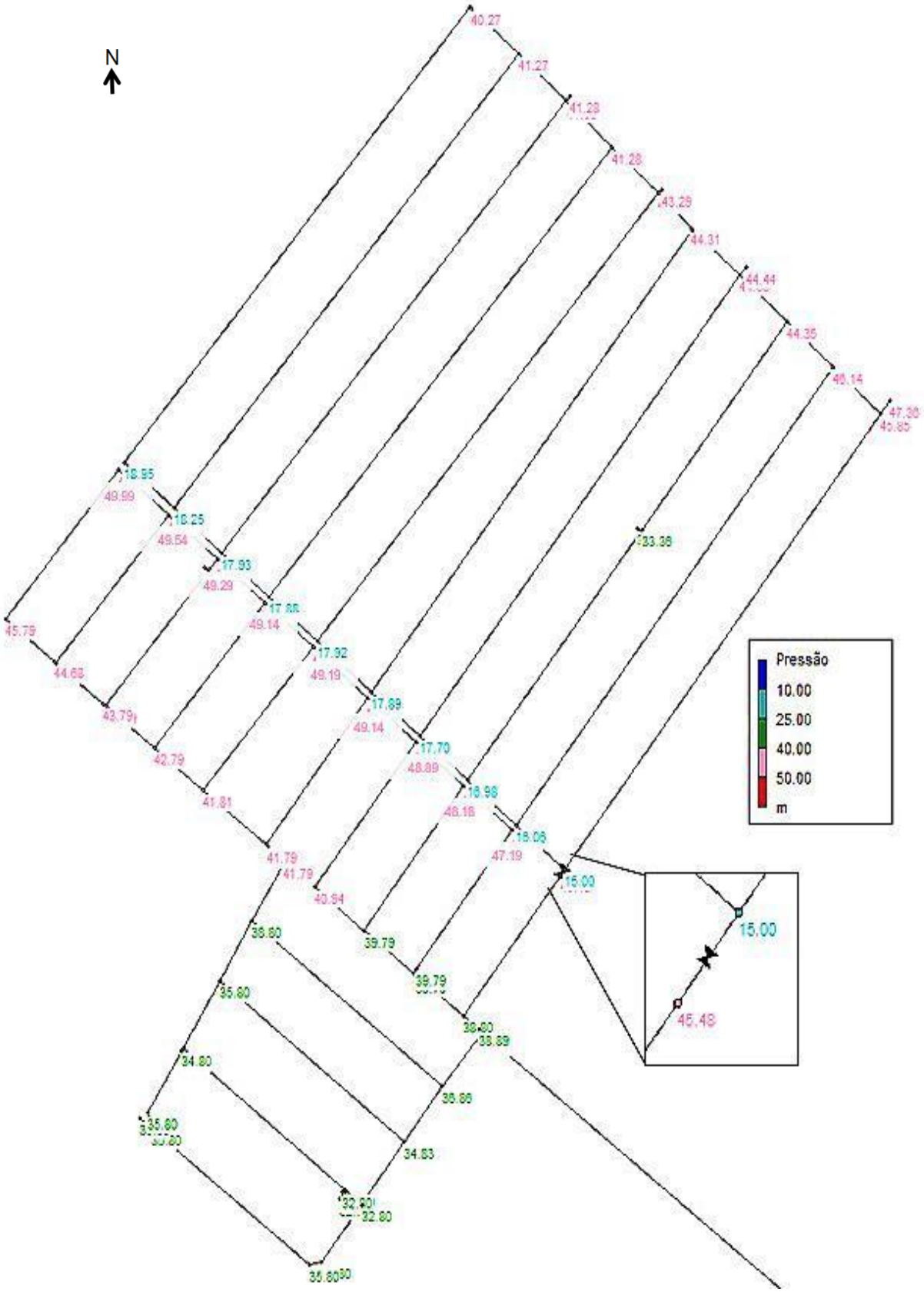


Figura 4.15 - Análise de pressões após criação dos DMC's

4.3.2 Setorização proposta para o subsetor de abastecimento Antenor Garcia (R2)

Com base no estudo da topografia deste subsetor, que também possui cota de nível d'água máximo a 792 metros, a cota limite para a criação de um novo DMC foi igual a 742 metros. Na Figura 4.16, é mostrada a variação topográfica da área. Foram criados dois DMC's a fim de gerenciar as pressões no subsetor Antenor Garcia.

O DMC correspondente às cotas topográficas compreendidas entre 713 metros e aproximadamente 743 metros foi submetido à influência de uma válvula redutora de pressão que causou uma redução de carga de 29,92 m.c.a. Esta redução mostrou-se eficaz pois as pressões no subsetor, quando submetido à vazão minima ficaram compreendidas entre 15 m.c.a. e 47,75 m.c.a. (este último sendo o ponto crítico) para o setor de alta pressão. Com isto, o resultado da criação dos DMC's está apresentado na Figura 4.17. Na Figura 4.18 é mostrada também a localização de inserção da válvula redutora de pressão responsável por causar uma perda de carga localizada e, consequentemente, a redução das pressões nos pontos à jusante.

O setor de baixa pressão (cotas altimétricas maiores) ficou com valores de pressões compreendidos entre 36 m.c.a e 48 m.c.a. Este subsetor não foi submetido a dispositivo de controle de pressão.

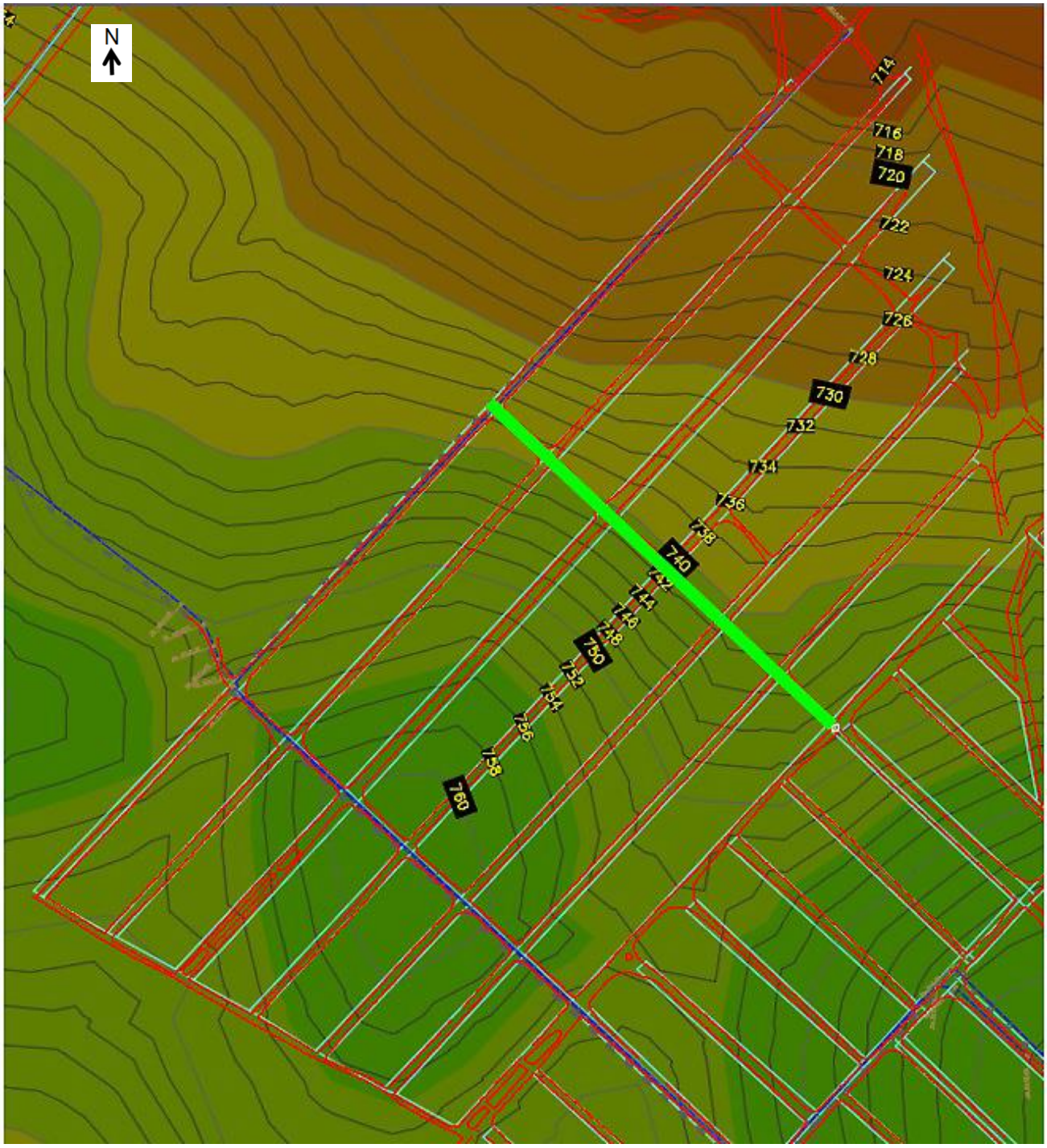


Figura 4.16 - Estudo de topografia do subsetor abastecido pelo R2 (Antenor Garcia)

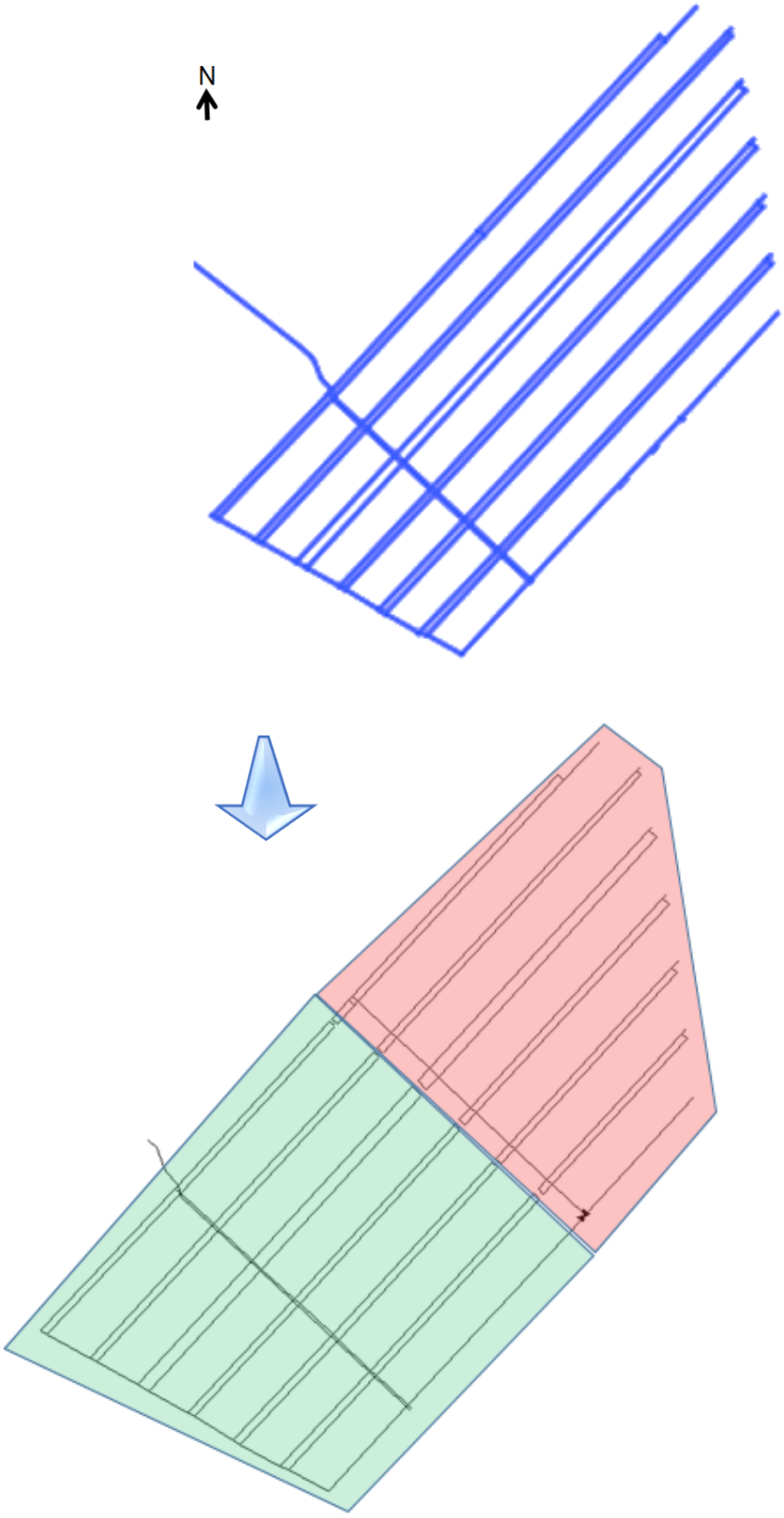


Figura 4.17 - DMC's do subsetor abastecido pelo R2 (Antenor Garcia)

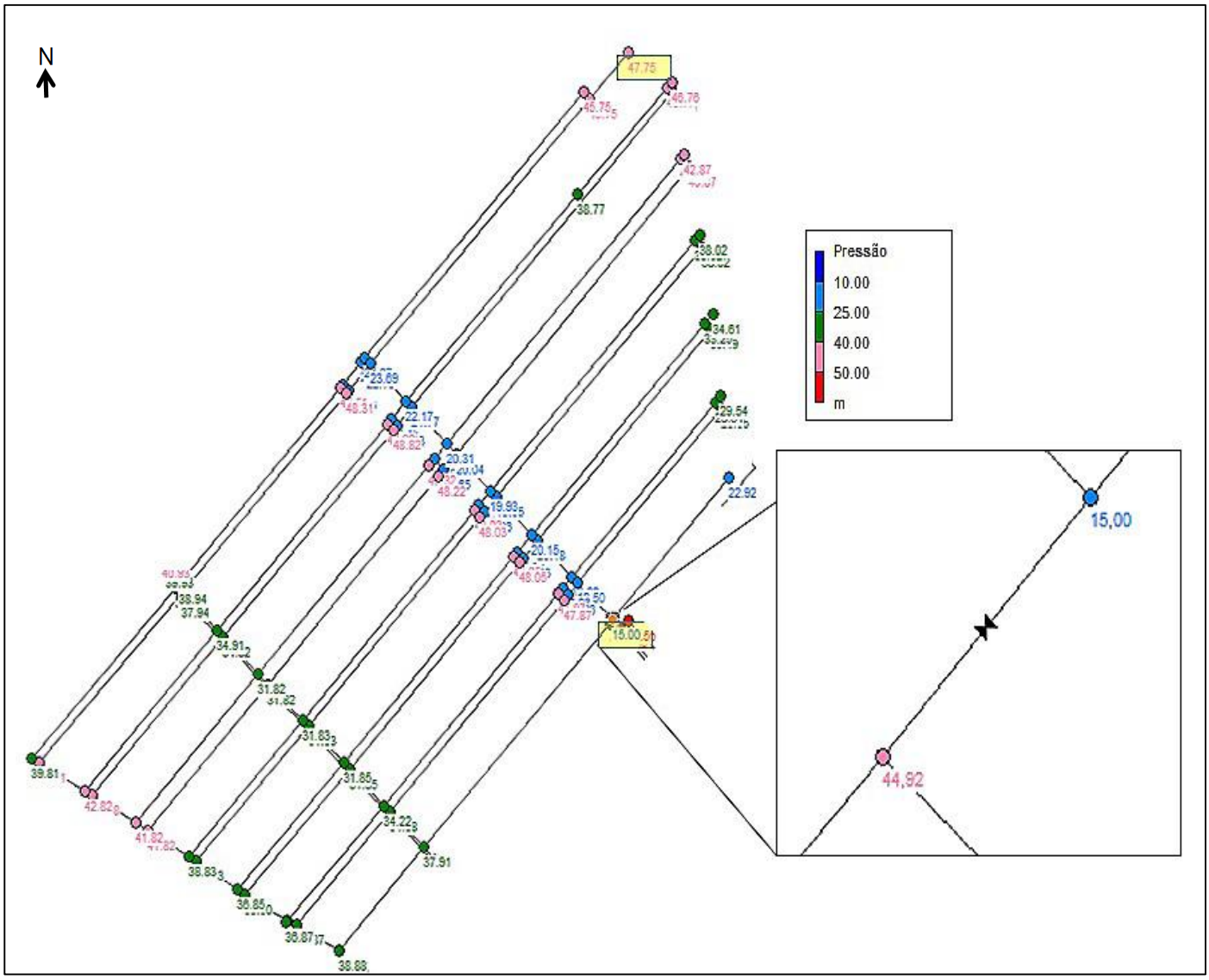


Figura 4.18 - Análise de pressões após criação dos DMC's

4.3.3 Setorização proposta para o subsetor de abastecimento Aracy (R3)

Como este setor apresentava um grande desnível topográfico (93 metros em relação à cota de nível d'água máximo), foram feitas duas subsetorizações pois, a cota escolhida para a primeira setorização, 769 metros, ainda deve ser acrescida de, no mínimo, 10 metros (para atingir o valor de pressão mínima normatizada). Reduzindo-se este valor da cota crítica, 726 metros, obtém-se uma pressão de, aproximadamente, 52 m.c.a., portanto, outra válvula foi inserida na cota 742 metros, garantindo assim, uma pressão máxima no ponto crítico da ordem de 40 m.c.a.

Na Figura 4.19 é mostrado o estudo topográfico feito para a divisão dos DMC's baseado na metodologia desenvolvida. A válvula inserida no primeiro subsetor causou

uma perda de carga localizada de 20,94 metros, reduzindo as pressões a jusante. A segunda válvula, inserida para a criação do segundo subsetor, causou uma perda de carga localizada de 10,60 metros. Com isto, as pressões nos três subsetores ficaram dentro dos limites normatizados.

Na Figura 4.20 é mostrada a rede antes da setorização. O resultado da criação dos DMC's está apresentado na Figura 4.21. Na Figura 4.22 é mostrada também a localização de inserção das válvulas redutoras de pressão responsáveis por causar uma perda de carga localizada e, consequentemente, a redução das pressões nos pontos a jusante.

O setor de baixa pressão (cotas altimétricas maiores) ficou com valores de pressões compreendidos entre 13 m.c.a. e 48 m.c.a. Este subsetor não foi submetido a nenhum dispositivo de controle de pressão.

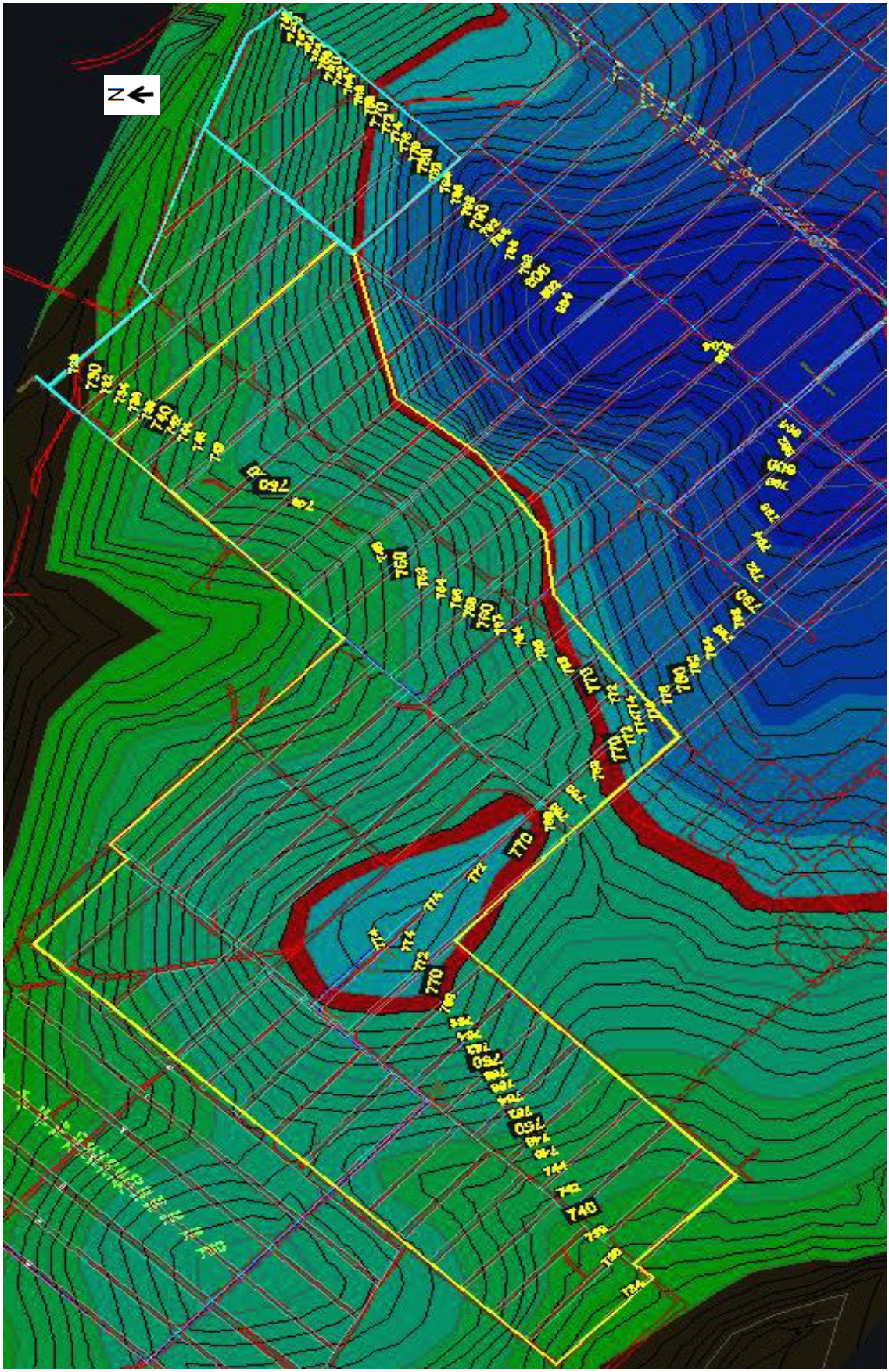


Figura 4.19 - Estudo de topografia do subsetor abastecido pelo R3 (Aracy)

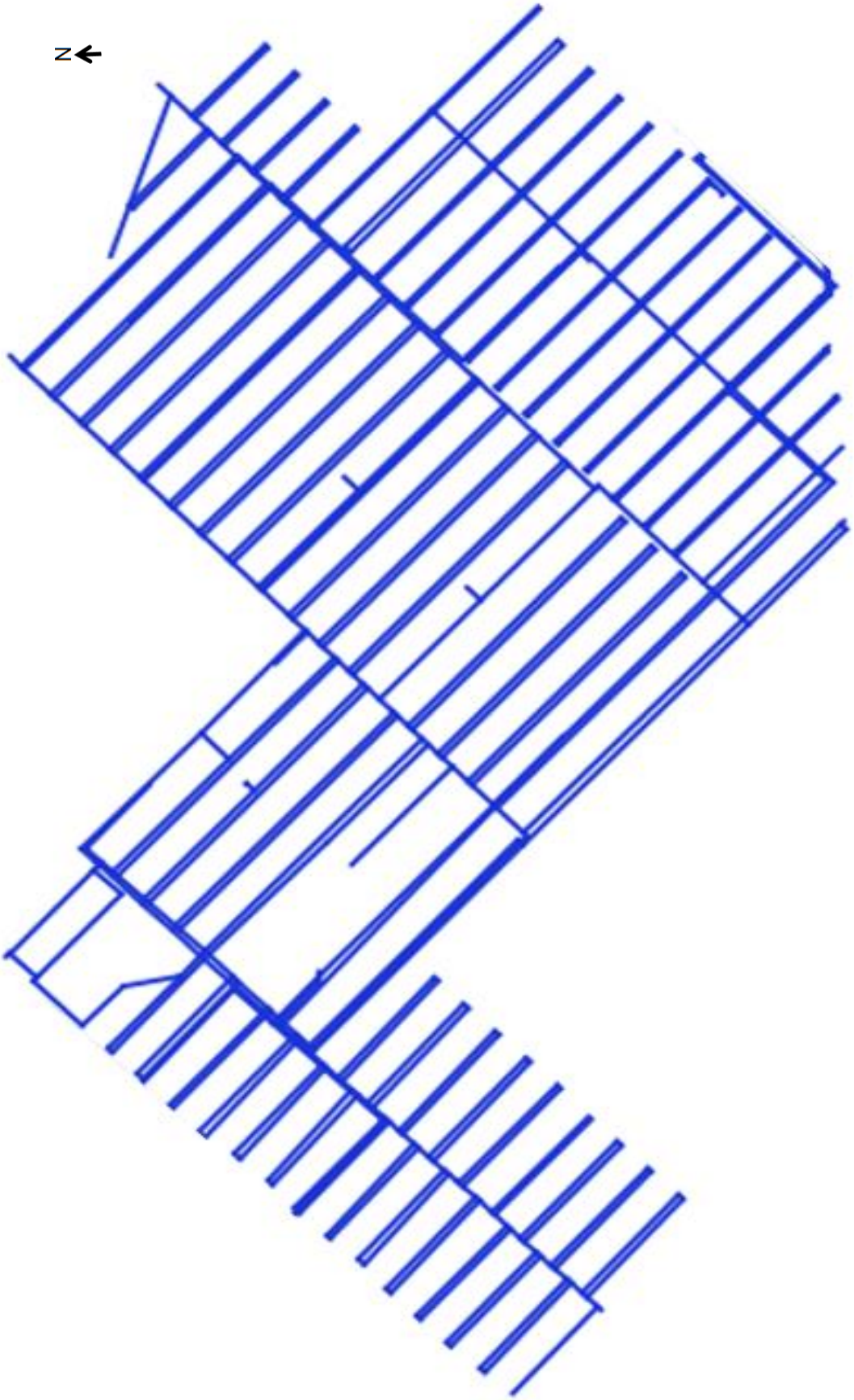


Figura 4.20 - DMC's do subsetor abastecido pelo R3 (Aracy) – rede antes da setorização

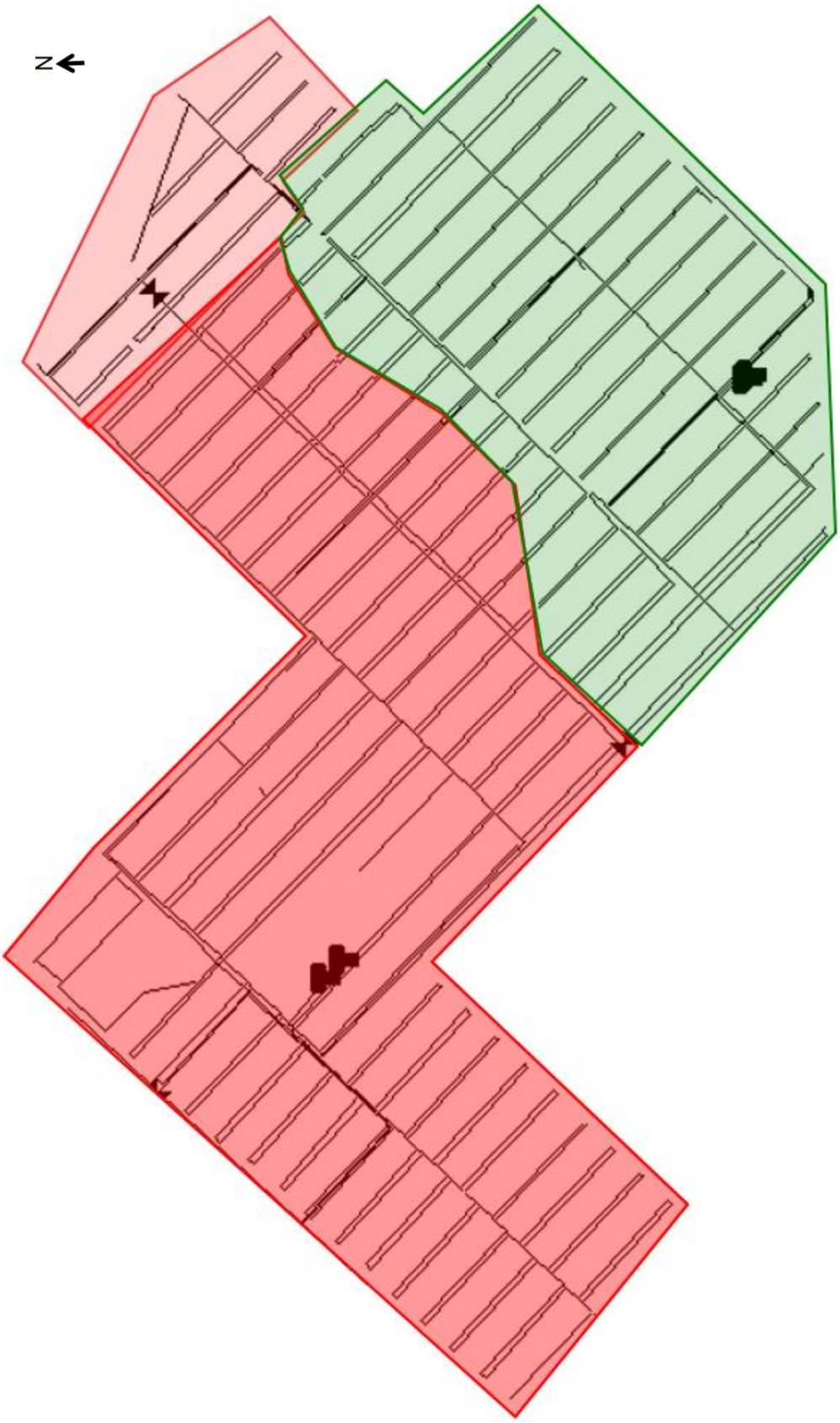


Figura 4.21 - DMC's do subsetor abastecido pelo R3 (Aracy) – rede após setorização

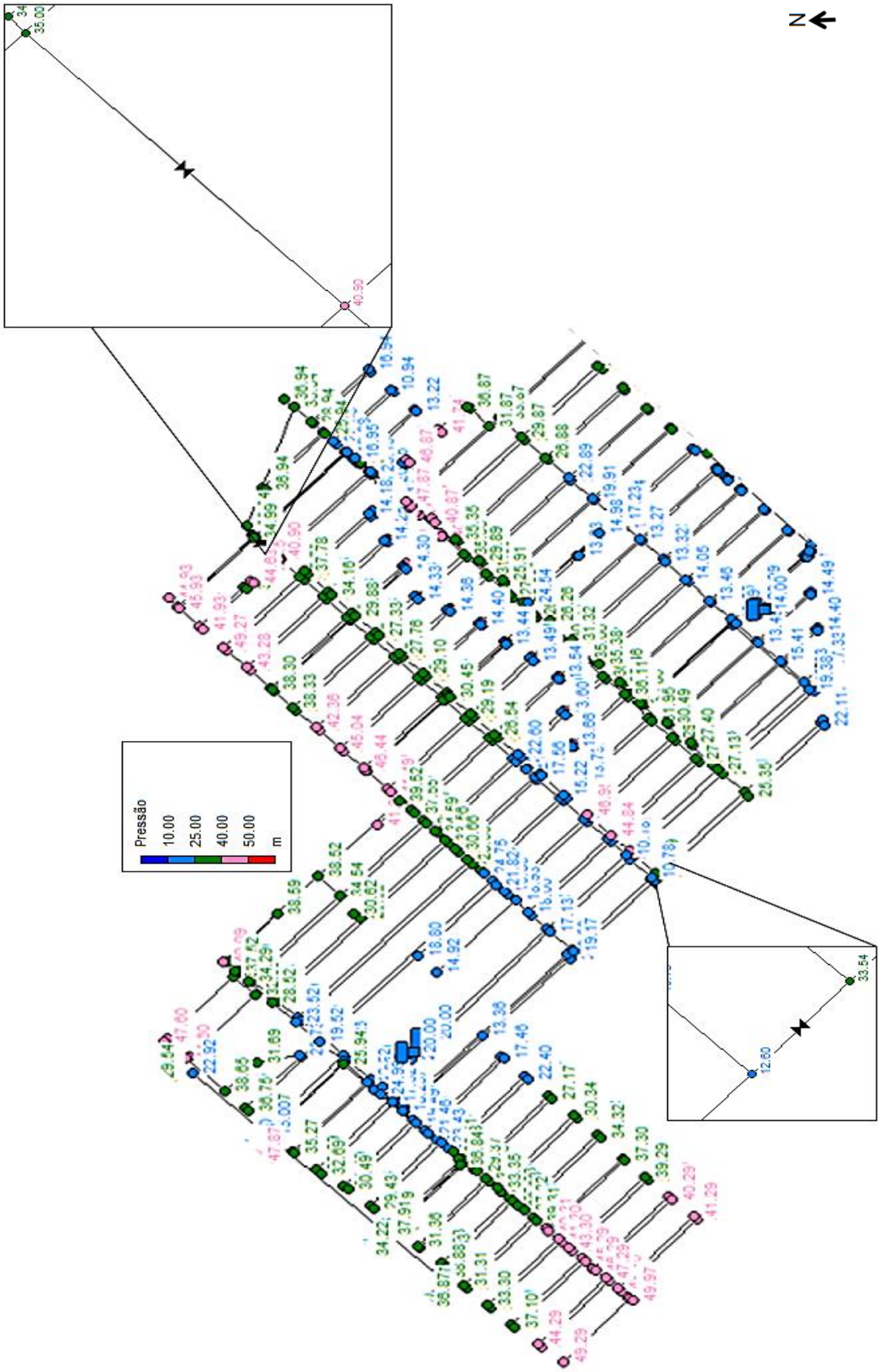


Figura 4.22 - DMC's do subsetor abastecido pelo R3 (Aracy I e II) – rede após setorização

4.3.4 Setorização proposta para o subsetor de abastecimento Aracy e Presidente Collor (R4)

Com base no estudo da topografia deste subsetor, que também possui cota de nível d'água máximo a 826 metros, a cota limite para a criação de um novo DMC foi igual a 776 metros. Na Figura 4.23 é mostrado o o estudo topográfico da área. Foram criados dois DMC's a fim de gerenciar as pressões no subsetor Aracy e Presidente Collor.

O DMC correspondente às cotas topográficas compreendidas entre 752 metros e aproximadamente 776 metros foi submetido à influência de uma válvula redutora de pressão que causou uma redução de carga de 29,72 m.c.a. Esta redução mostrou-se eficaz pois as pressões no subsetor, quando submetido à vazão minima ficaram compreendidas entre 11 m.c.a. e 43,98 m.c.a. (este último sendo o ponto crítico) para o setor de alta pressão. Com isto, o resultado da criação dos DMC's está apresentado na Figura 4.24. Na Figura 4.25 é mostrada também a localização de inserção da válvula redutora de pressão responsável por causar uma perda de carga localizada e, consequentemente, a redução das pressões nos pontos a jusante.

O setor de baixa pressão (cotas altimétricas maiores) ficou com valores de pressões compreendidos entre 15 m.c.a e 47 m.c.a. Este subsetor não foi submetido a dispositivo de controle de pressão.

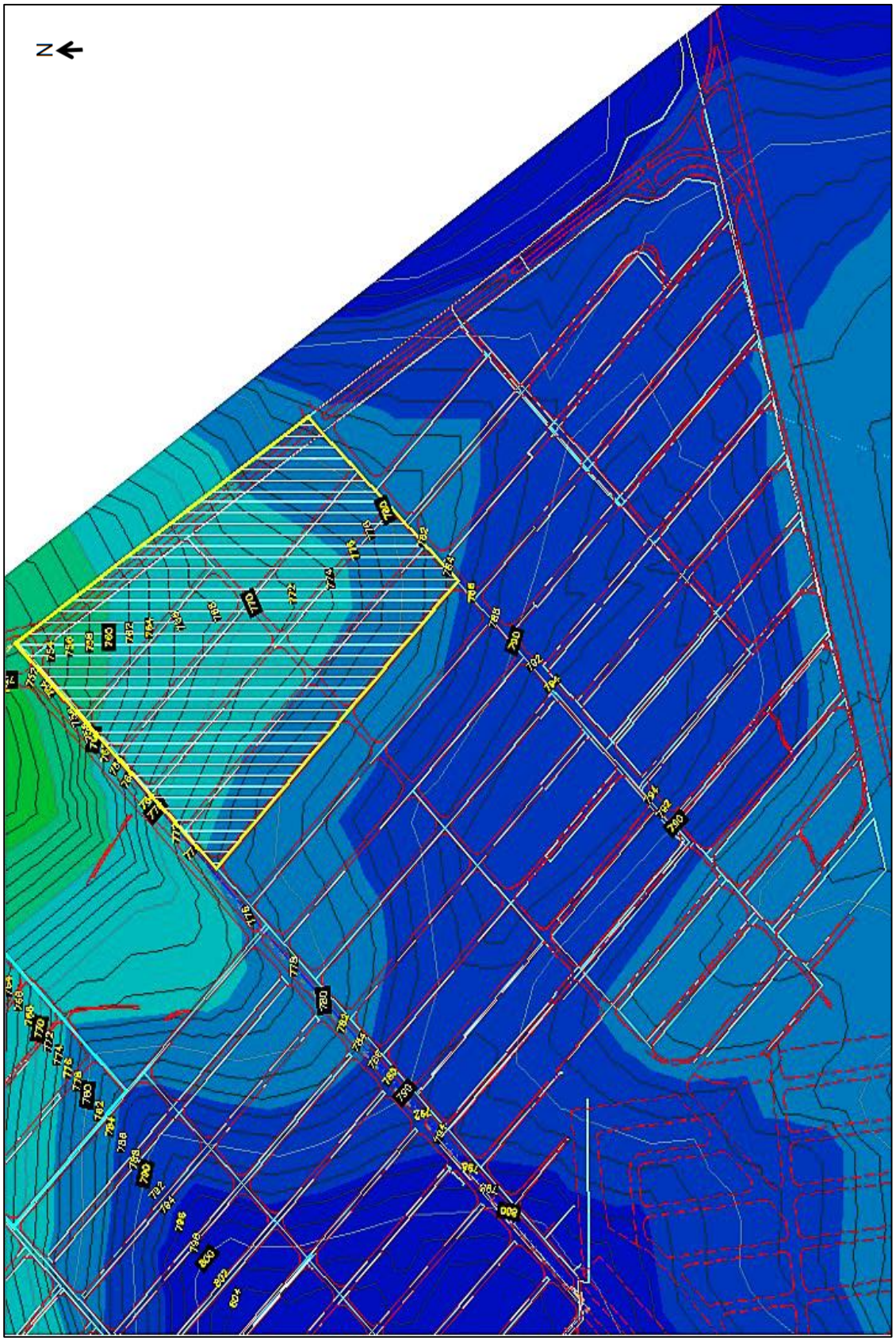


Figura 4.23 - Estudo de topografia do subestor abastecido pelo R4 (Aracy e Presidente Collor)

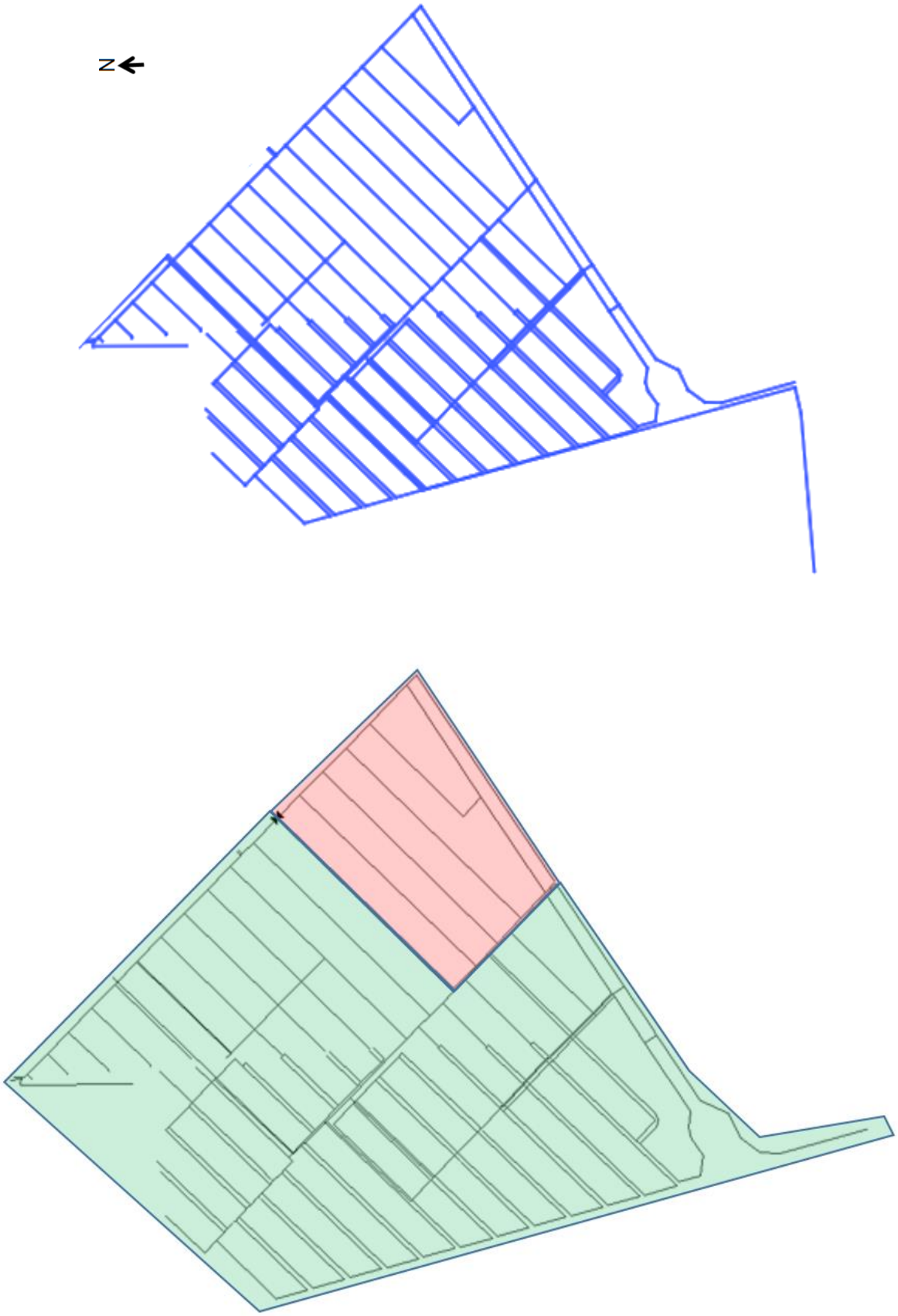


Figura 4.24 - DMC's do subsetor abastecido pelo R4 (Aracy e Presidente Collor)

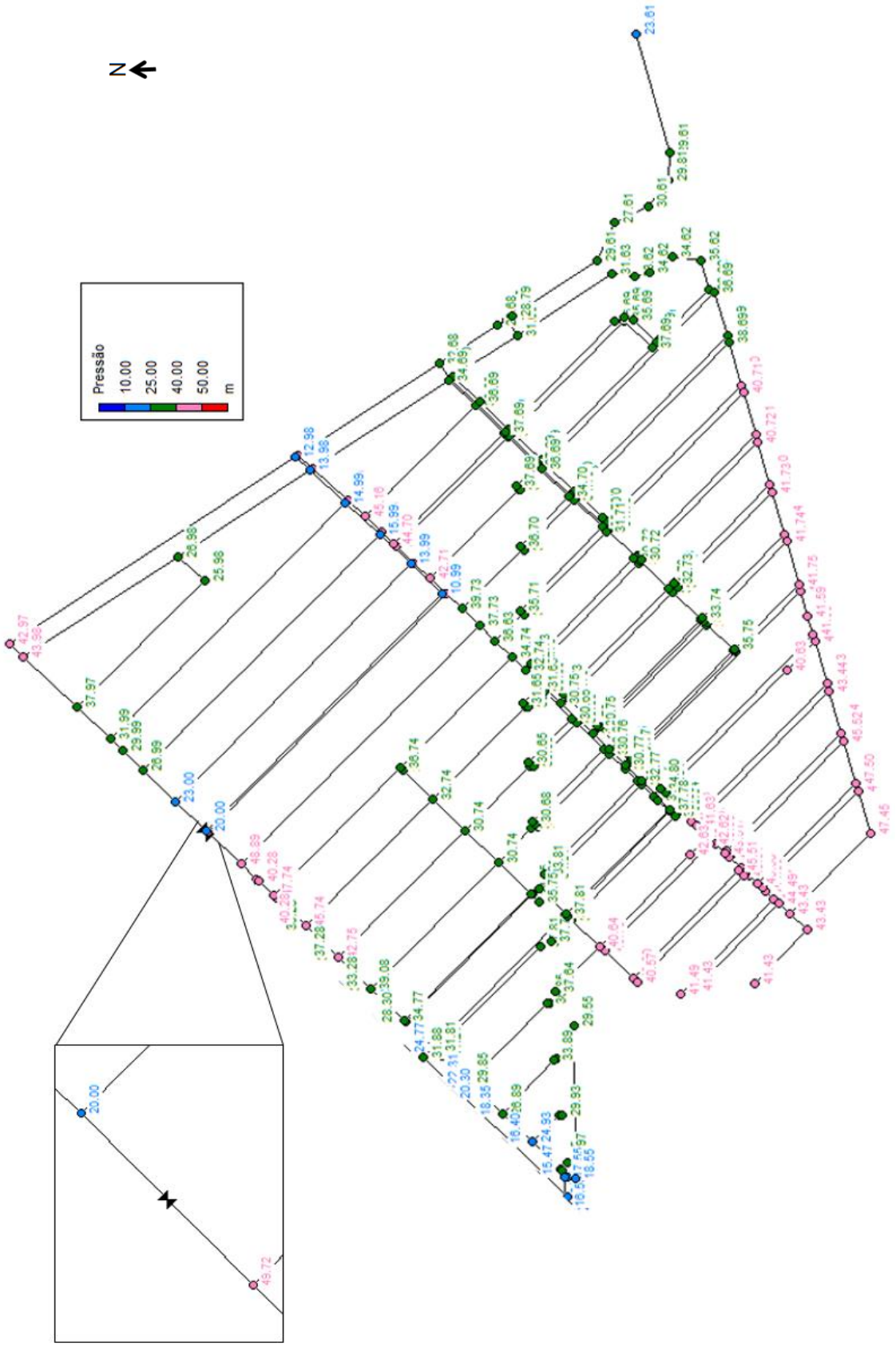


Figura 4.25 - Análise de pressões após criação dos DMC's

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi aplicada a metodologia desenvolvida em um setor de distribuição, podendo ser aplicada a outros setores do município.

A transcrição dos dados do arquivo shapefile foi executada com eficácia visto que a rede teve sua consistência analisada como primeiro resultado.

A partir de então deu-se início à etapa de análise de pressões. O diagnóstico atual da rede permite afirmar que há uma subsetorização do setor de distribuição Aracy. Entretanto, esta subsetorização não tem como premissa inicial a análise topográfica e sim, a construção dos loteamentos.

Na análise de influência de perda de carga distribuída para resultados de pressão, foi constatado que a cota topográfica é determinante na determinação de zonas homogêneas de pressão quando comparada às perdas de carga na distribuição.

Um estudo de setorização que tem como objetivo o gerenciamento de pressões deve ser guiado pela análise topográfica, sendo comprovado com a aplicação do presente estudo no Setor de Distribuição Aracy.

Como produto deste estudo foi desenvolvida também uma cartilha para transcrição dos dados de .SHP para .TXT compatível com modelo de arquivo de entrada para o EPANET.

Como recomendações para futuros trabalhos, sugere-se que:

Escolham-se pontos aleatórios da rede onde possam ser analisadas e comparadas as pressões geradas entre o EPANET e a rede em funcionamento. Também, seja feita uma análise dinâmica pois neste estudo a análise executada foi estática para o momento de maior pressão, ou seja, na ocorrência de vazões mínimas. Através da análise hidráulica dinâmica pode-se observar o comportamento dos dispositivos de controle de pressões ao passo em que as vazões variam com o tempo.

APÊNDICE A – Cartilha para transcrição de dados e análise para criação de DMC's

EPANET Versão 2.0

Procedimentos para importação de rede de distribuição de água de arquivos shape (.SHP) para arquivo de texto (.txt equivalente a arquivo de input .INP de dados).

Para a execução dos procedimentos descritos foram utilizados os seguintes softwares:

QGIS – v 2.14.2 – Essen
Autodesk Civil 3D 2017®
Microsoft Office Excel 2013 ®
EPANET

Autor: Mariana Rivera Freire

SUMÁRIO

1. Tratamento de dados em ambiente GIS 78

2. Tratamento dos dados em ambiente Excel..... 86

3. Inserção de dados da rede em EPANET 97

4. Análises para decisão do melhor desenho para os setores de medição e controle 103

5. Exemplo de criação de DMC 105

1. TRATAMENTO DE DADOS EM AMBIENTE GIS

O objetivo inicial é transformar uma rede que está no formato .SHP (shape) para um arquivo .txt (equivalente a .INP-input), legível pelo programa de modelagem hidráulica EPANET. A partir de então, será executada uma análise de pressões de forma a compreender a rede tal como ela existe e aplicar a metodologia descrita para a correta setorização com finalidade de efetuar o gerenciamento de pressões. Para isto, uma metodologia de tratamento de dados foi elaborada e seus procedimentos estão demonstrados na Figura 1.1, a seguir.

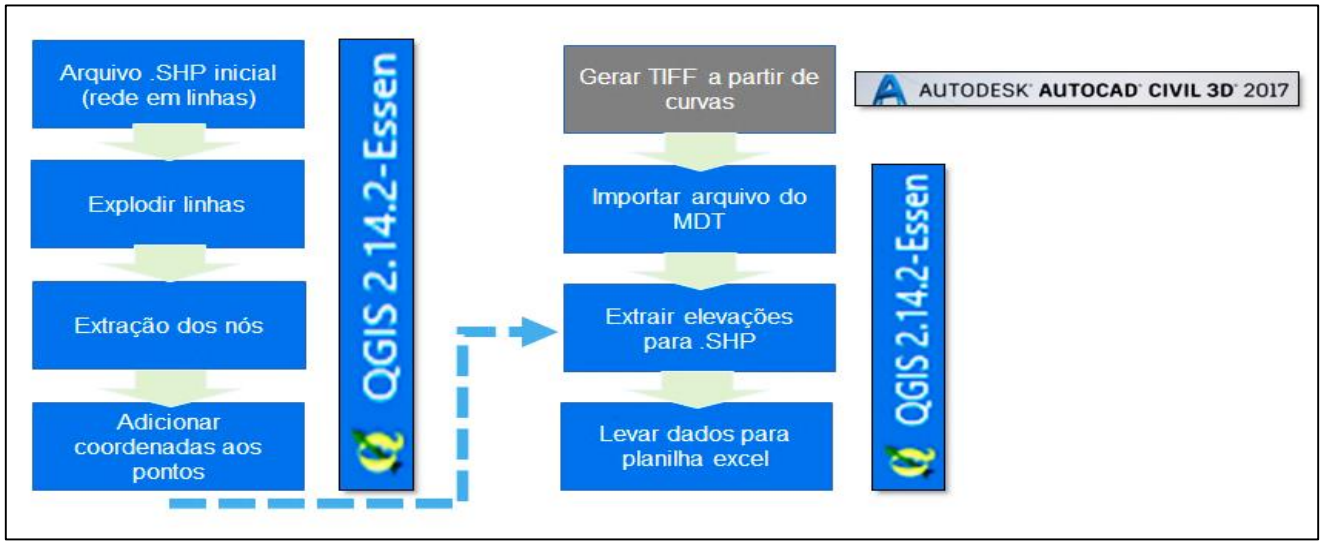


Figura 1.1 - Etapas de tratamento de dados

Os arquivos iniciais são do tipo shapefile (.SHP) e .dwg. A partir do tratamento dos dados intrínsecos a eles será possível visualizar e editar uma rede de distribuição existente. Nas Figuras 1.2, 1.3 e 1.4, a seguir, estão demonstrados os arquivos iniciais.

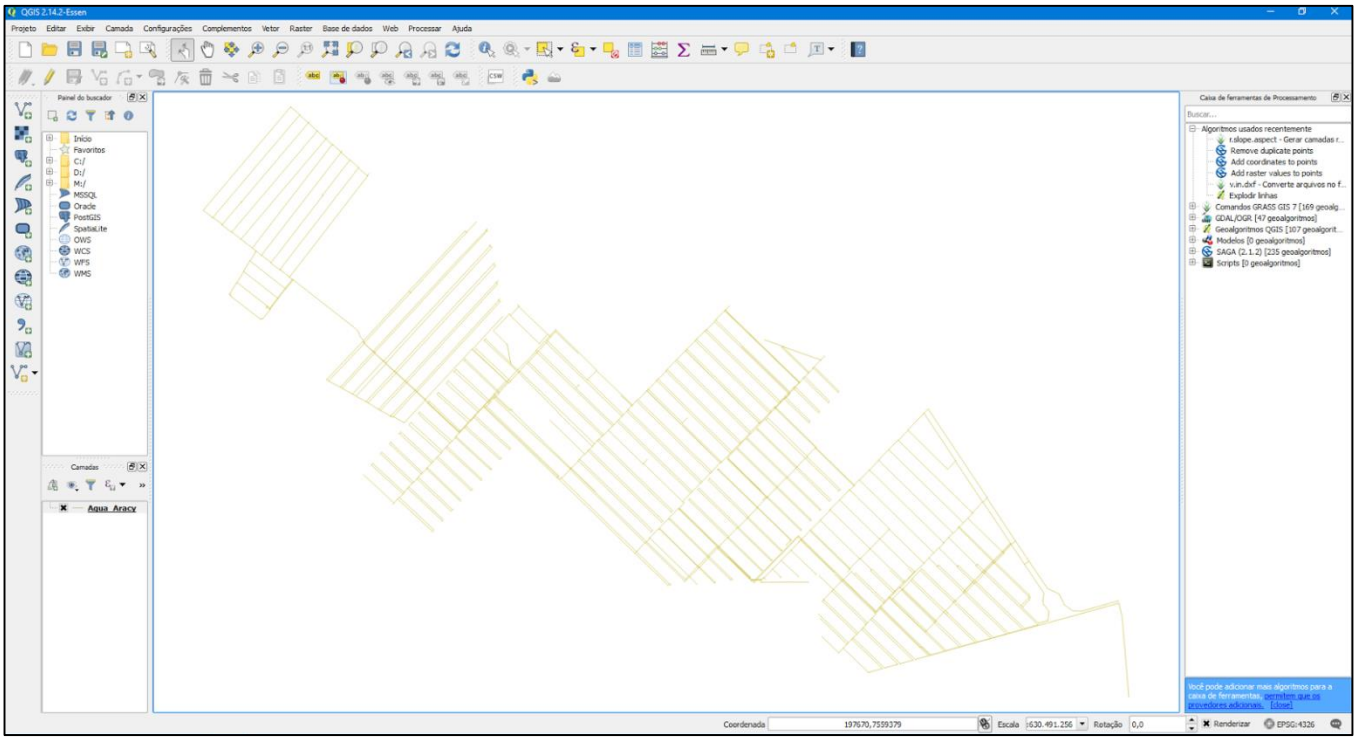


Figura 1.2 - Arquivo .SHP original

Tabela de atributo - Agua_Aracy_original :: Total de Feições: 986, filtrado: 986, selecionado: 0

	gid	id_agua_ln	seglog_id	setor_id	tipo	diametro	material	profund	pressao	vazao	condicoes	reserv	distancia	data_exec	ano_exec	no_proj	data_cad	obs	longitude	Compriment
0	237	257	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	8.975232	8.975232
1	305	338	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	2.278327	2.278327
2	349	386	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	49.944738	49.944738
3	381	430	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	25.859098	25.859098
4	554	609	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	230.891770	230.891770
5	555	610	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	62.924742	62.924742
6	556	611	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	10.146963	10.146963
7	557	612	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	29.799574	29.799574
8	709	809	0	0	0	60.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	238.547553	238.547553

Figura 1.3 - Tabela de atributos original (atrelado ao .SHP)

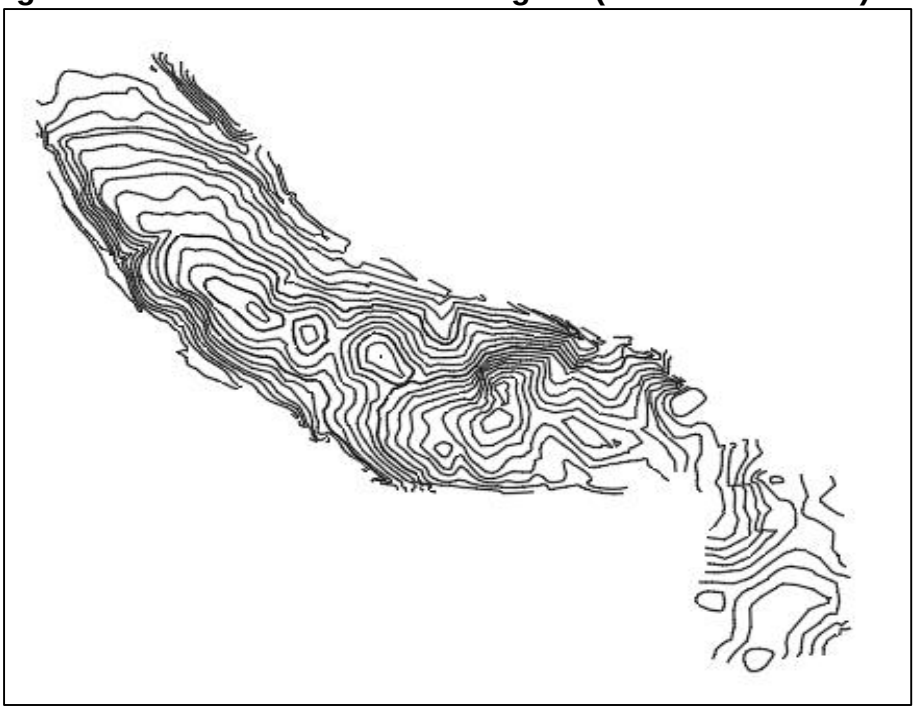


Figura 1.4 - Arquivo .dwg inicial (topografia)

O primeiro trabalho a ser feito é explodir as linhas (Figura 1.5) que compõem a rede de distribuição. Para isto, deve-se digitar na caixa de ferramentas de Processamento do QGIS o comando *explodir linhas*, então aparecerá a ferramenta de geometria vetorial "*Explodir linhas*", em seguida, deve-se selecionar a camada de entrada e selecionar o diretório desejado para o arquivo de saída (opcional).

Esse procedimento deve ser executado, pois, no arquivo original existem linhas (tubulações) que estão conectadas aparentando ser apenas uma. Sua separação é primordial, pois, em alguns trechos, pontos importantes (nós) para análise de pressões seriam desconsiderados.

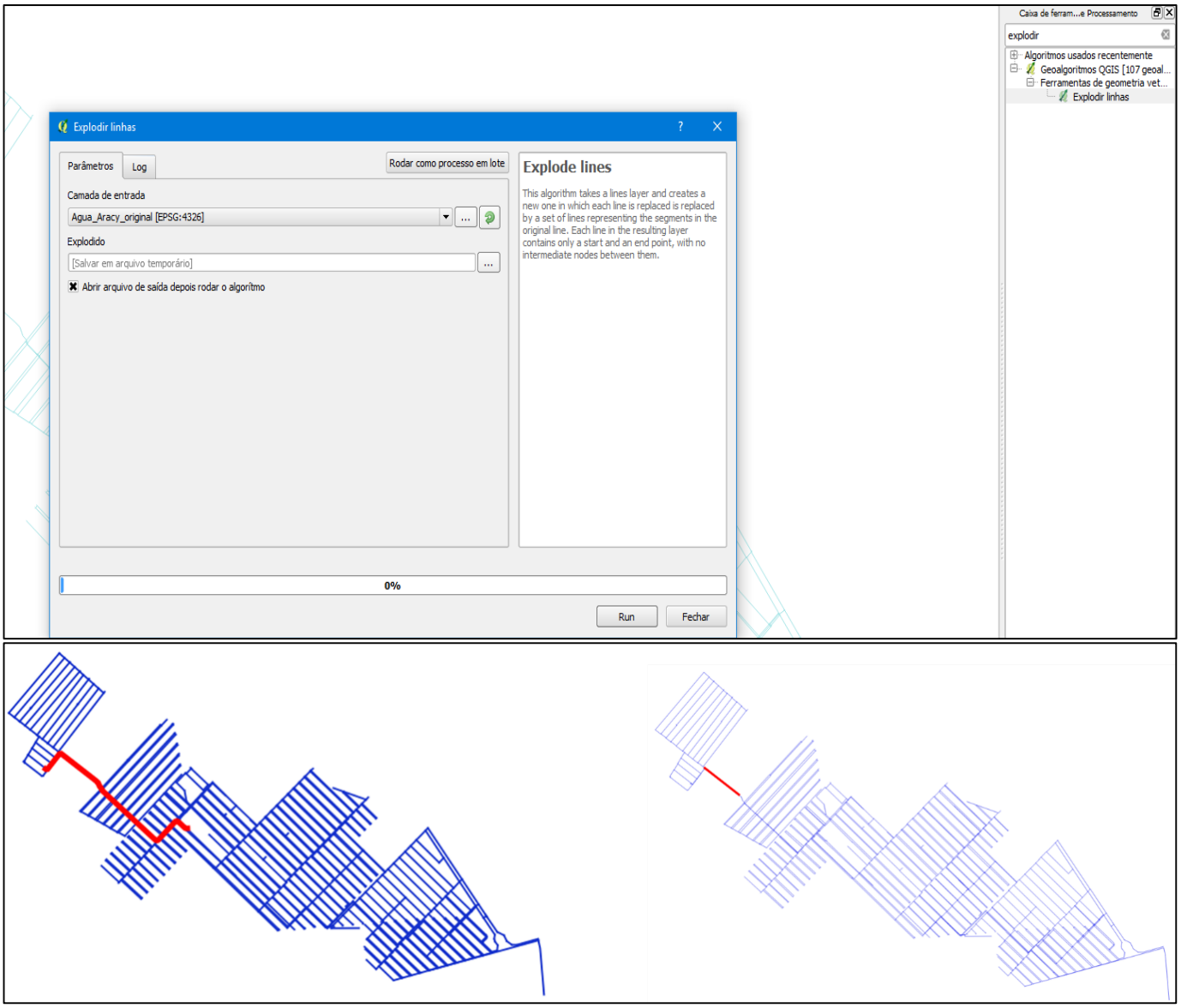


Figura 1.5 – procedimento explodir linhas

Em seguida, deverá ser feita a extração dos nós a partir das extremidades dos trechos. Para isto, foi utilizada a ferramenta intrínseca ao QGIS, em Vetor> Geometrias> extrair nós, como mostram as Figuras 1.6 e 1.7.

*Nota: somente extrair os nós do .shp criado **após** a explosão das linhas*

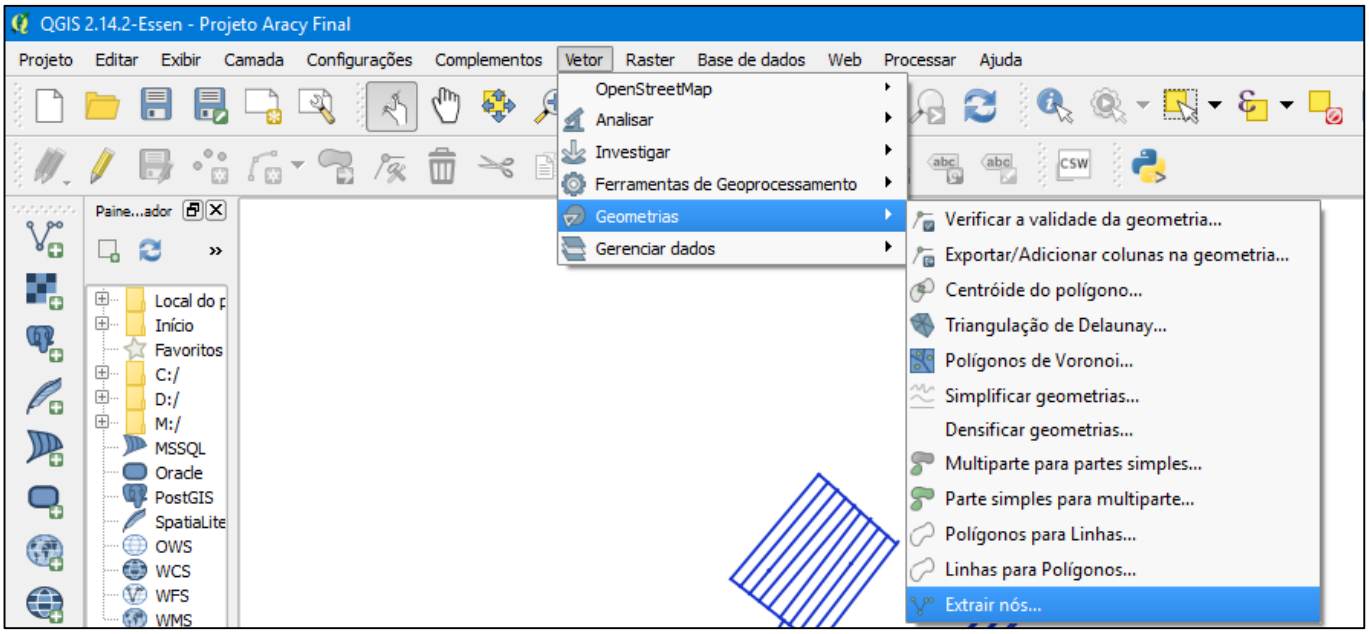


Figura 1.6 – Procedimento para extração dos nós – parte 1/2

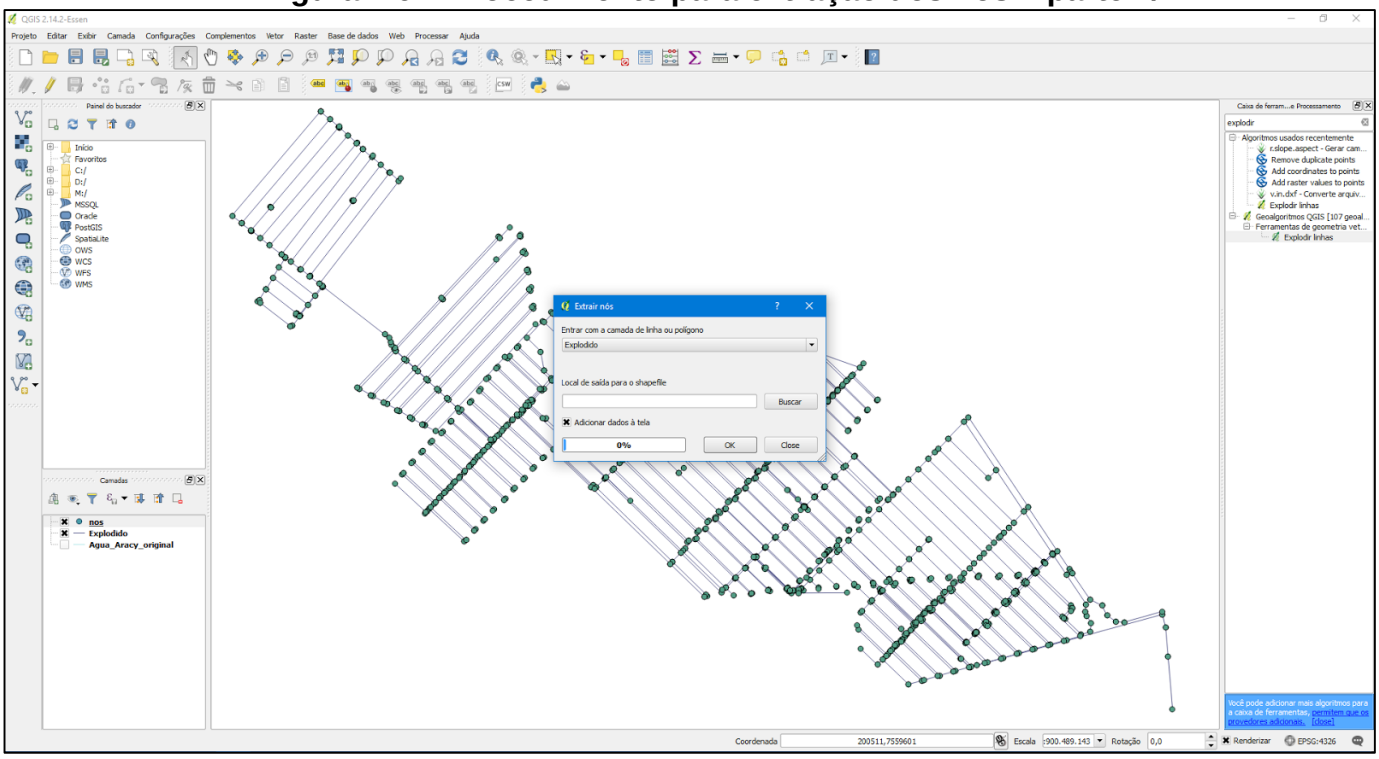


Figura 1.7 – Procedimento para extração dos nós – parte 2/2

Os nós foram extraídos, entretanto, o campo “gid” da tabela de atributos aparece duplicado, pois os nós foram extraídos de entidades vetoriais (com dois *endpoints*), na Figura 1.8 está ilustrado o que o procedimento “extrair nós” efetivamente faz. Estes dados (Figura 1.9) serão posteriormente tratados em ambiente do Excel.

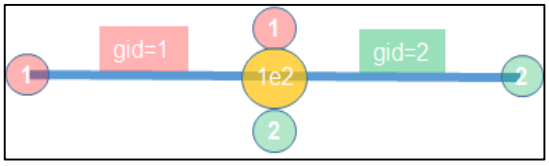
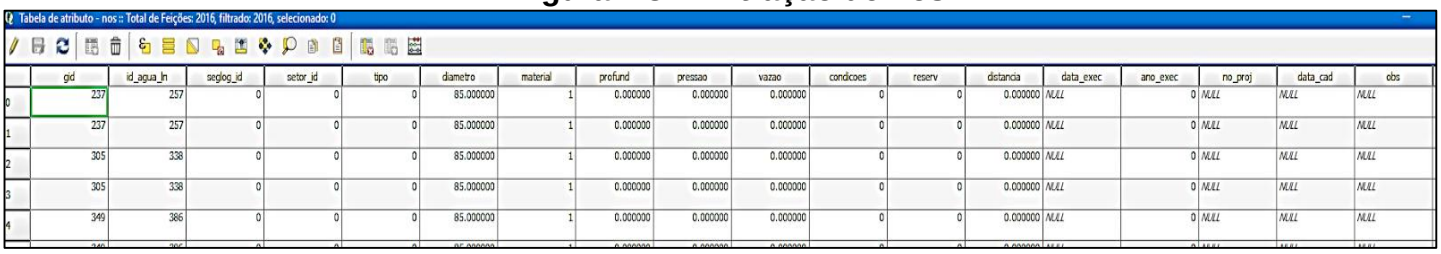


Figura 1.8 – Extração de nós



	gid	id_agua_ln	seglog_id	setor_id	tipo	diametro	material	profund	pressao	vazao	condicoes	reserv	distancia	data_exec	ano_exec	no_proj	data_cad	obs
0	237	257	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL
1	237	257	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL
2	305	338	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL
3	305	338	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL
4	349	386	0	0	0	85.000000	1	0.000000	0.000000	0.000000	0	0	0.000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL

Figura 1.9 – Tabela de atributos após extração dos nós

Paralelo a este procedimento, deverá ser gerado o MDT (Modelo Digital do Terreno) com extensão .DEM ou .TIFF em qualquer aplicativo de modelagem topográfica (Civil 3D®, AutoCAD Map® etc). O arquivo gerado deverá então ser adicionado ao ambiente de trabalho do QGIS (Figura 1.10).

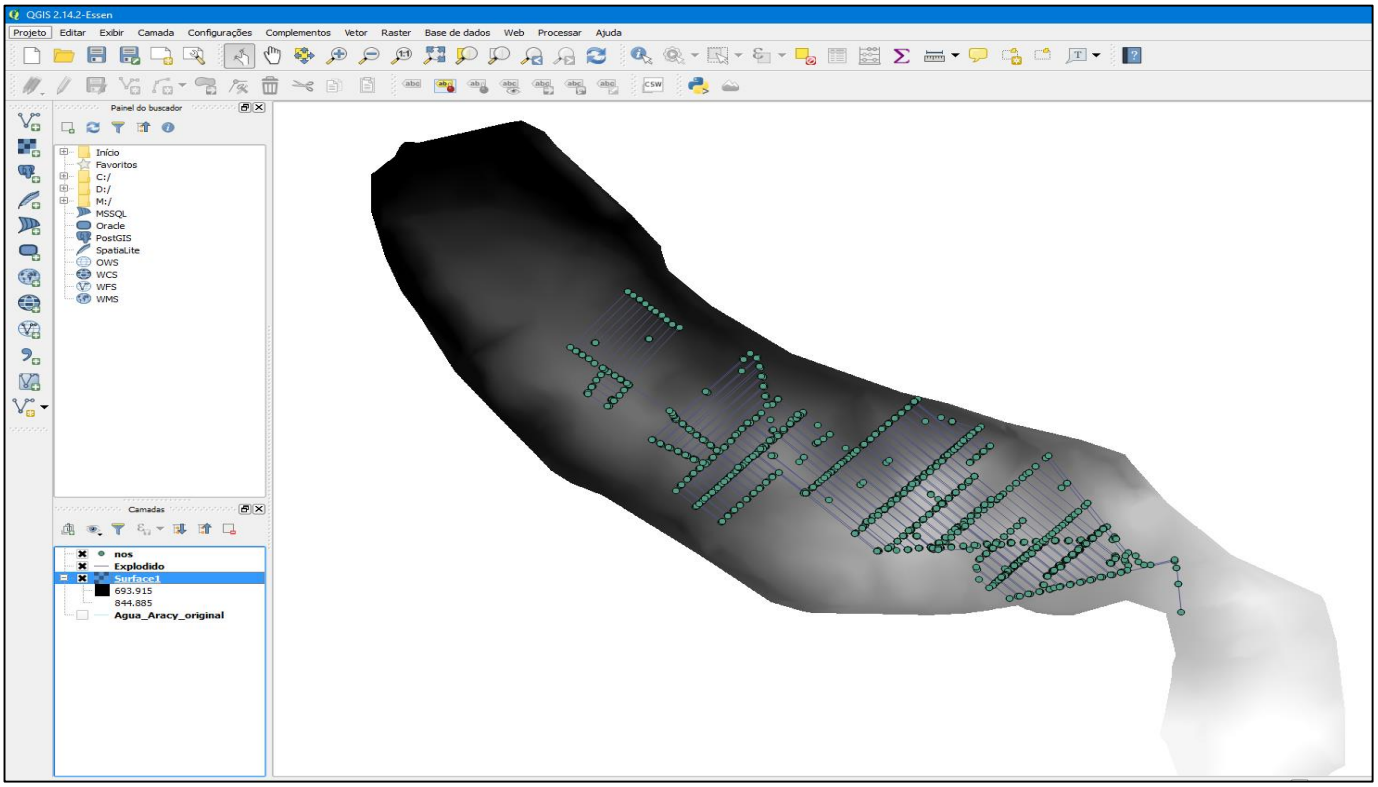


Figura 1.10 – MDT em ambiente GIS

A partir daí, deverão ser adicionadas as coordenadas dos nós e também as respectivas elevações. Dois procedimentos deverão serem executados:

1 – Adicionar coordenadas aos pontos.

Para esta etapa, deve-se digitar na caixa de ferramentas de processamento do QGIS®, como é mostrado na Figura 1.11.

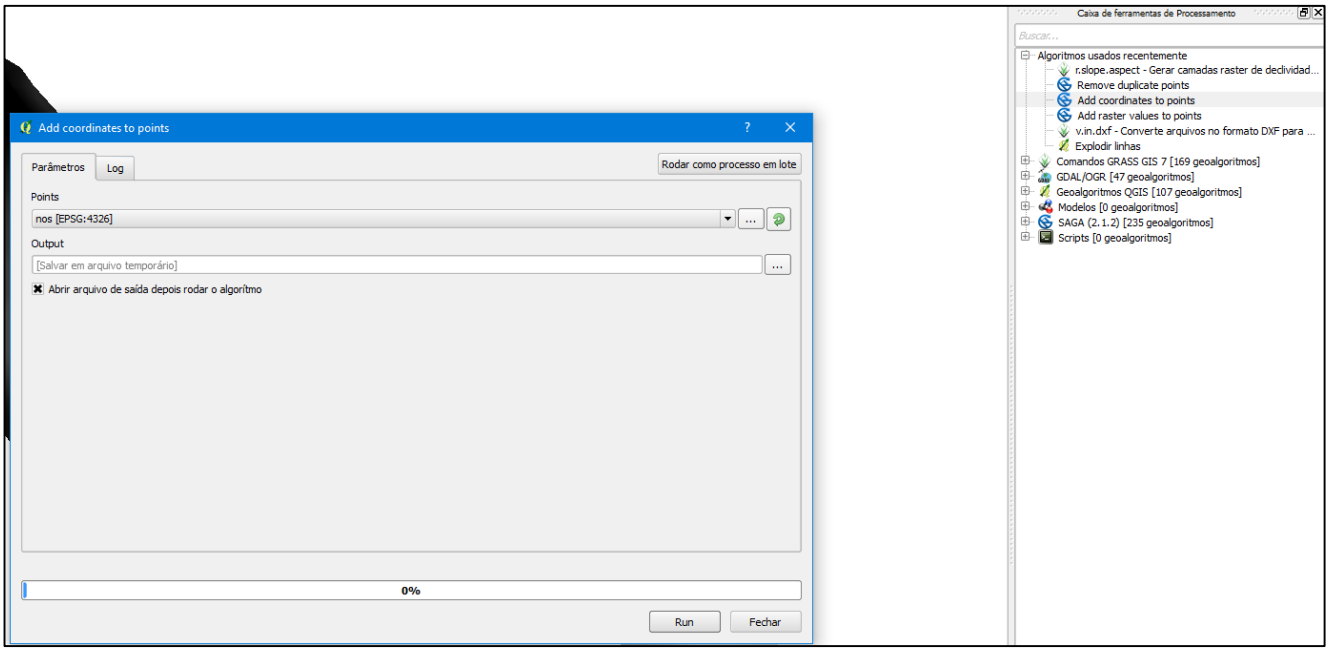
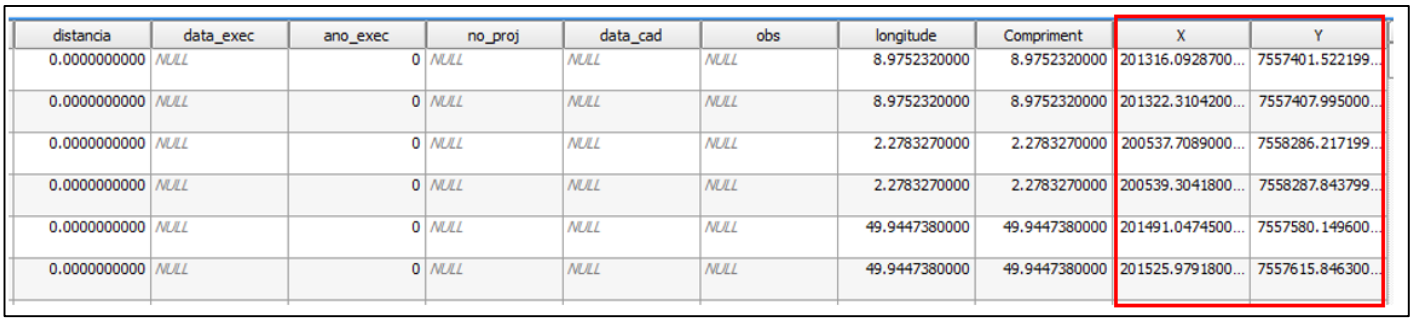


Figura 1.11 – procedimento de adição de coordenadas aos pontos

Será gerado um arquivo temporário denominado Output no qual foram adicionadas duas colunas no final da tabela de atributos com as coordenadas X,Y de cada nó (Figura 1.12).



distancia	data_exec	ano_exec	no_proj	data_cad	obs	longitude	Compriment	X	Y
0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	8.9752320000	8.9752320000	201316.0928700...	7557401.522199...
0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	8.9752320000	8.9752320000	201322.3104200...	7557407.995000...
0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	2.2783270000	2.2783270000	200537.7089000...	7558286.217199...
0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	2.2783270000	2.2783270000	200539.3041800...	7558287.843799...
0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	49.9447380000	49.9447380000	201491.0474500...	7557580.149600...
0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	49.9447380000	49.9447380000	201525.9791800...	7557615.846300...

Figura 1.12 – Adição de coordenadas a cada nó

2 – Adicionar elevações aos pontos (nós).

Para execução desta etapa, deverá digitar na caixa de ferramentas de processamento o comando “add raster values to points”. Na Figura 1.13 está demonstrado como deve ser o input de dados. No campo “Points” a camada Output deve ser selecionada, no campo interpolation, o método de interpolação que mostrou melhor resultado em pesquisa foi o método de Bicubic Spline, a caixa “Abrir arquivo de saída depois de rodar o algoritmo” deverá ser marcada.

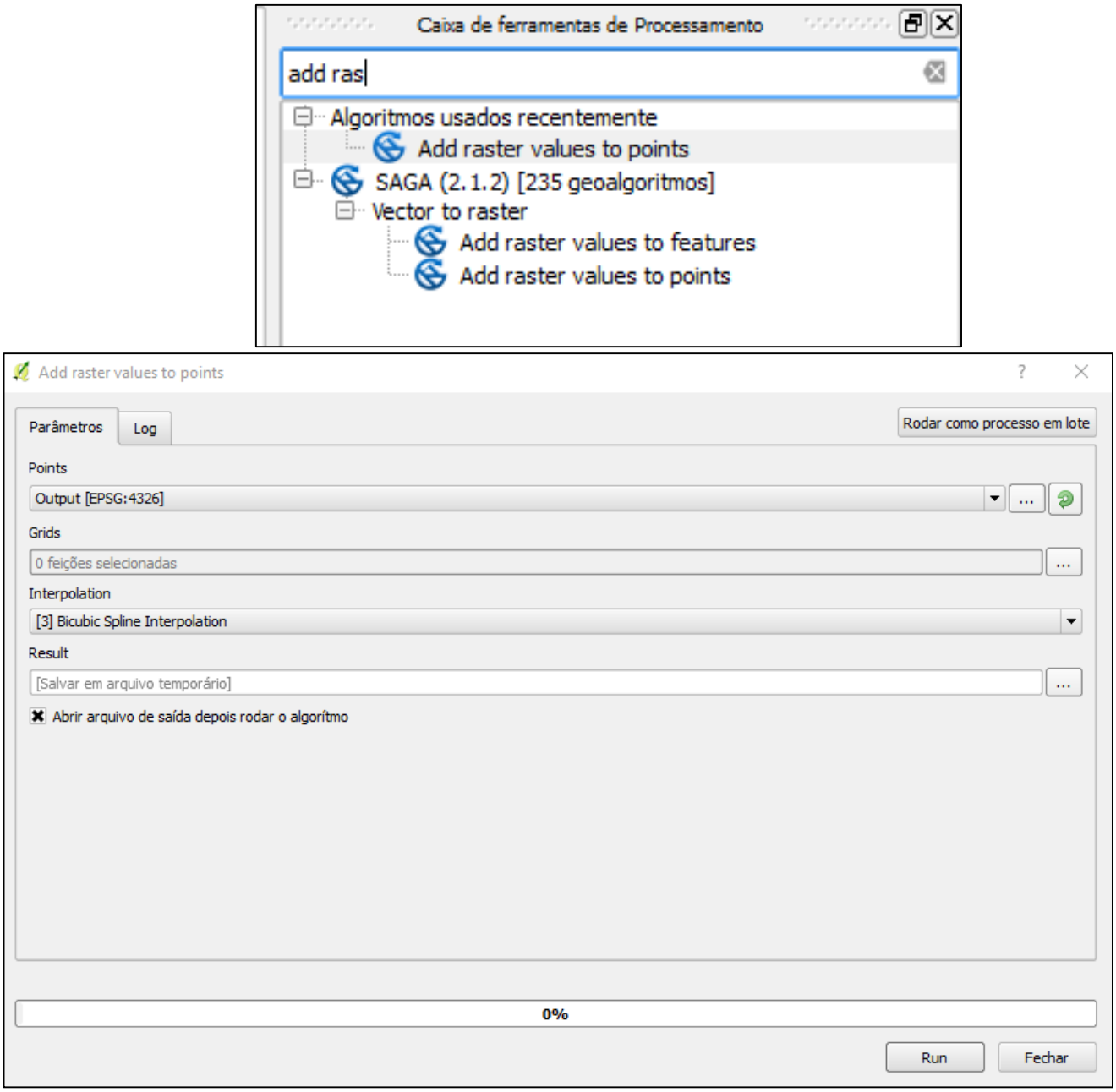


Figura 1.13 – adicionando elevações aos nós

Dentro do campo “grids” deverá ser selecionada a entidade raster da qual as cotas serão extraídas (Figura 1.14):

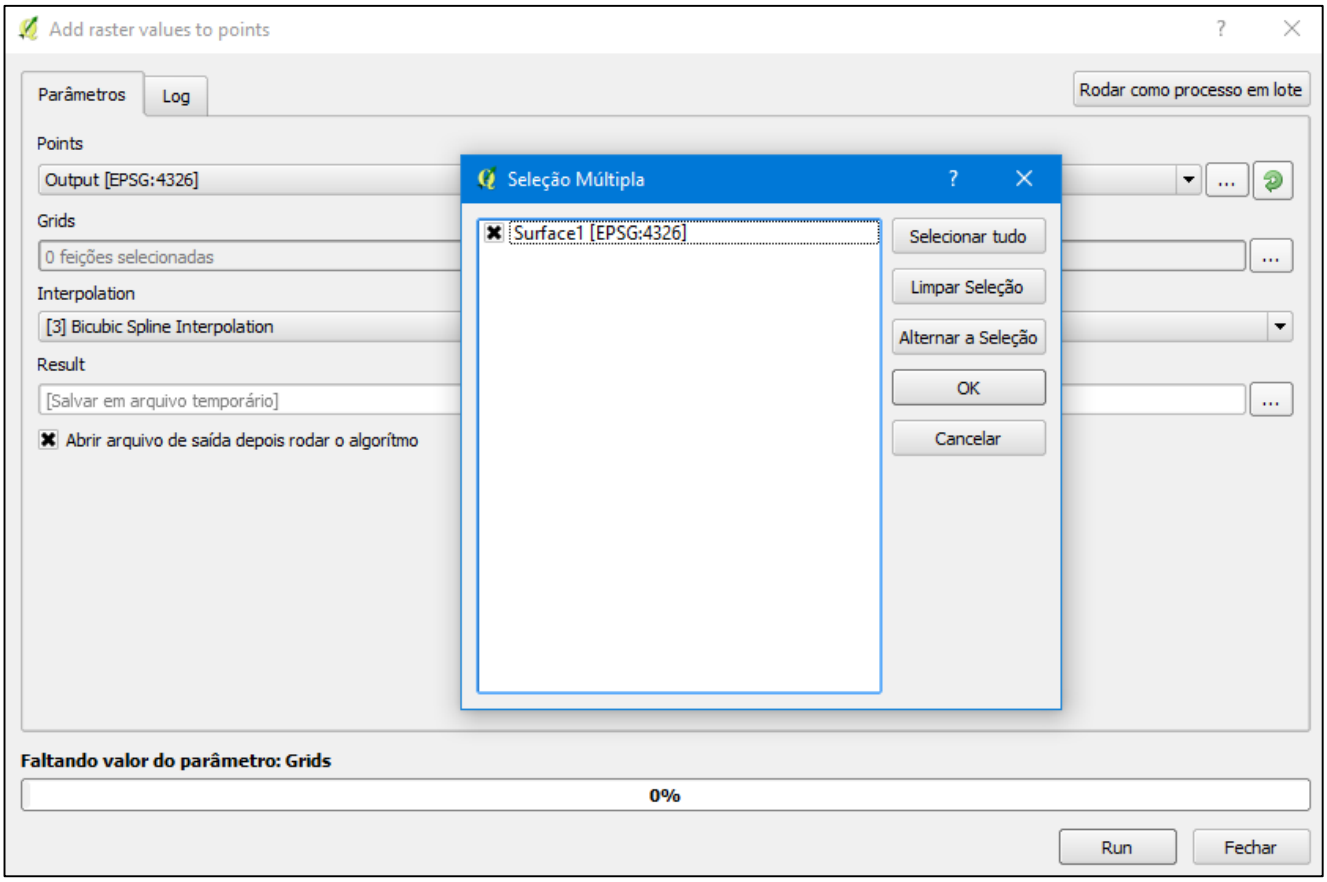
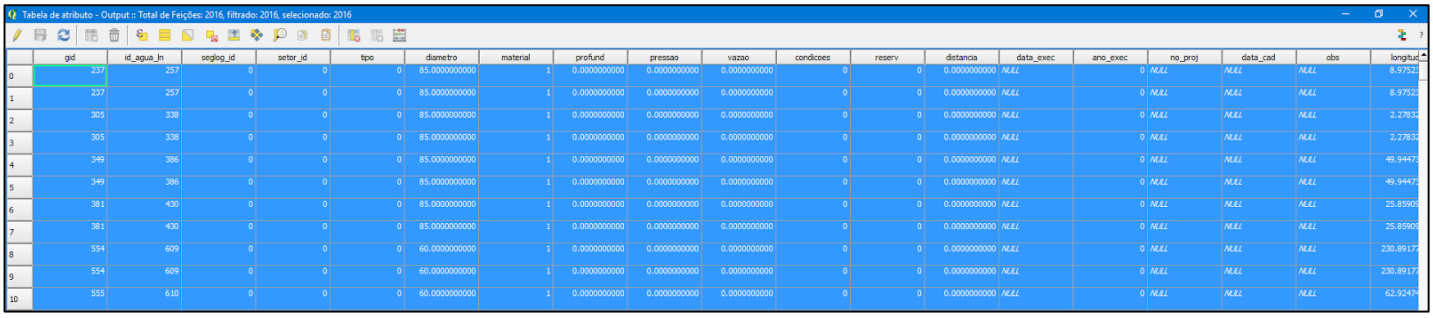


Figura 1.14 – adicionando elevações aos nós

Finalmente, tem-se o arquivo (Figura 1.15) que dará base à representação da rede em EPANET. Entretanto, os dados ainda deverão passar por tratamento em Excel para que possa ser lido corretamente pelo programa de modelagem hidráulica.



	gid	id_agua_ln	seglog_id	setor_id	tipo	diametro	material	profund	pressao	vazao	condicoes	reserv	distancia	data_exec	ano_exec	no_proj	data_cad	obs	longitud
0	237	257	0	0	0	85.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	8.97522
1	237	257	0	0	0	85.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	8.97522
2	305	338	0	0	0	85.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	2.27832
3	305	338	0	0	0	85.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	2.27832
4	349	386	0	0	0	85.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	49.94475
5	349	386	0	0	0	85.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	49.94475
6	381	430	0	0	0	85.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	25.85909
7	381	430	0	0	0	85.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	25.85909
8	554	609	0	0	0	60.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	230.89177
9	554	609	0	0	0	60.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	230.89177
10	555	610	0	0	0	60.0000000000	1	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0	0	0.0000000000	NULL	0	NULL	NULL	NULL	62.92474

Figura 1.15 – Tabela de atributos do arquivo Output com dados a serem levados para o Excel®

2. TRATAMENTO DOS DADOS EM AMBIENTE EXCEL

Para um melhor entendimento do processo de tratamento dos dados, na Figura 2.1 está ilustrado o modelo de arquivo de entrada de dados que o EPANET necessita.

```
[TITLE]

[JUNCTIONS]
;ID                    Elev            Demand          Pattern
Identificador do nó    Cota do nó      Vazão no nó     ;




[PIPES]
;ID                    Node1                   Node2                   Length          Diameter                Roughness               MinorLoss       Status
Identificador do trecho Nó inicial             Nó final        Comprimento do trecho   Diâmetro da tubulação   Rugosidade da tubulação 0               OPEN




[COORDINATES]
;Node                  X-Coord                 Y-Coord
Identificador do nó    Coordenada X do nó      Coordenada Y do nó
```

Figura 2.1 – modelo de entrada de dados no EPANET

Para inserção de dados no ambiente do EPANET, um arquivo do tipo .INP com as informações mostradas na Figura 2.1 deverá ser formatado a partir dos dados provenientes do .DBF

Os dados previamente tratados em ambiente GIS, deverão ser colados em planilha do Excel seguindo os passos a seguir.

1. Abrir uma planilha vazia do Excel
2. Clicar na célula principal (entre a coluna A e a linha 1), dar clique direito (com a planilha toda selecionada) em formatar células
3. No subgrupo “Número” selecionar “texto”

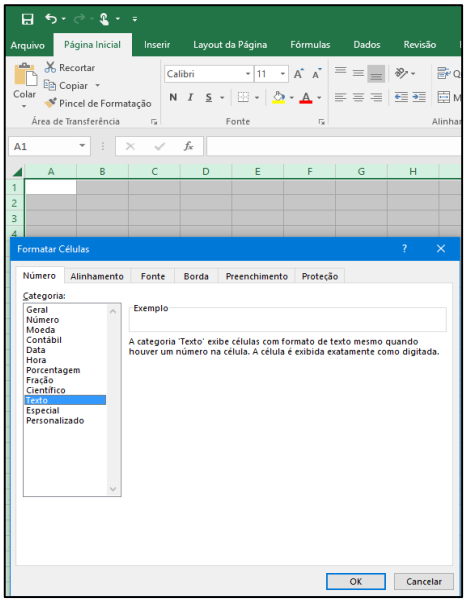


Figura 2.2 – preparação da planilha

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	wkt_geon	gid	id_agua_	seglog_ic	setor_id	tipo	diametro	material	profund	pressao	vazao	condicoe	reserv	distancia	data_exe	ano_exec	no_proj	data_cad	obs	longitude	Comprim	X	Y	topografi
2	Point (201	237	257	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				8.975232	8.975232	201316.09	7557401.5	794
3	Point (201	237	257	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				8.975232	8.975232	201322.31	7557407.9	793
4	Point (200	305	338	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				2.278327	2.278327	200537.70	7558286.2	759
5	Point (200	305	338	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				2.278327	2.278327	200539.30	7558287.8	759
6	Point (201	349	386	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				49.944738	49.944738	201491.04	7557580.1	789
7	Point (201	349	386	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				49.944738	49.944738	201525.97	7557615.8	791
8	Point (201	381	430	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				25.859098	25.859098	201525.97	7557615.8	791
9	Point (201	381	430	0	0	0	85	1	0	0	0	0	0	0		0				25.859098	25.859098	201547.48	7557630.2	793
10	Point (201	554	609	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				230.89177	230.89177	201419.67	7557822.5	783
11	Point (201	554	609	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				230.89177	230.89177	201547.48	7557630.2	793
12	Point (201	555	610	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				62.924742	62.924742	201025.57	7558077.7	764
13	Point (201	555	610	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				62.924742	62.924742	201069.33	7558122.9	758
14	Point (199	556	611	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				10.146963	10.146963	199834.10	7558237.8	743
15	Point (199	556	611	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				10.146963	10.146963	199841.46	7558230.8	744
16	Point (199	557	612	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				29.799574	29.799574	199500.48	7558558.1	744
17	Point (199	557	612	0	0	0	60	1	0	0	0	0	0	0		0				29.799574	29.799574	199480.46	7558536.0	747

Figura 2.3 – dados em Excel

Dentro do ambiente do Excel, deverão ser excluídas todas as colunas não pertinentes à análise hidráulica. Na figura 2.4 estão mostradas as colunas pertinentes à simulação hidráulica e que deverão permanecer no arquivo.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	gid	id_agua_ln	diametro	material	Compriment	X	Y	topografia
2	237	257	85	1	8.975232	201316.09287	7557401.5222	794
3	237	257	85	1	8.975232	201322.31042	7557407.995	793
4	305	338	85	1	2.278327	200537.7089	7558286.2172	759
5	305	338	85	1	2.278327	200539.30418	7558287.8438	759
6	349	386	85	1	49.944738	201491.04745	7557580.1496	789
7	349	386	85	1	49.944738	201525.97918	7557615.8463	791
8	381	430	85	1	25.859098	201525.97918	7557615.8463	791
9	381	430	85	1	25.859098	201547.48216	7557630.2099	793
10	554	609	60	1	230.89177	201419.67371	7557822.5014	783

Figura 2.4 – dados em Excel após exclusão de colunas

Deverão ser adicionadas novas colunas (Figura 2.5) para que, a partir de equacionamentos, sejam determinados os nós iniciais e finais pertencentes a cada trecho. A coluna M, “ID(CONC)” deverá ser numerada de 1 até o final das linhas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	gid	id_agua_ln	diametro	material	Compriment	X	Y	topografia	NODE1	NODE2	TRECHO	LENGTH	ID(CONC)]	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)
2	237	257	85	1	8.975232	201316.09287	7557401.5222	794							
3	237	257	85	1	8.975232	201322.31042	7557407.995	793							
4	305	338	85	1	2.278327	200537.7089	7558286.2172	759							
5	305	338	85	1	2.278327	200539.30418	7558287.8438	759							
6	349	386	85	1	49.944738	201491.04745	7557580.1496	789							
7	349	386	85	1	49.944738	201525.97918	7557615.8463	791							
8	381	430	85	1	25.859098	201525.97918	7557615.8463	791							
9	381	430	85	1	25.859098	201547.48216	7557630.2099	793							
10	554	609	60	1	230.89177	201419.67371	7557822.5014	783							
11	554	609	60	1	230.89177	201547.48216	7557630.2099	793							
12	555	610	60	1	62.924742	201025.57921	7558077.7717	764							
13	555	610	60	1	62.924742	201069.33825	7558122.9897	758							
14	556	611	60	1	10.146963	199834.10754	7558237.8011	743							
15	556	611	60	1	10.146963	199841.46398	7558230.8123	744							
16	557	612	60	1	29.799574	199500.48155	7558558.1121	744							

Figura 2.5 – adição de colunas para determinação de trechos e nós

Na figura 2.6, a seguir, está demonstrado o primeiro equacionamento que deverá ser feito para determinação de nós e trechos. Na coluna “Node1” deverá ser escrita a equação condicional “se”(=SE($A2=$A3;M2;"0") para determinação do nó inicial pertencente ao trecho denominado 237 no campo “gid”. O mesmo deverá ser feito para a coluna “Node2”(=SE($A2=$A3;M3;"0"), para determinação do nó final do referido trecho, como mostra a Figura 2.6. A equação condicional possui o significado de, caso o id da primeira linha seja igual ao id da segunda linha, coloque-se o valor

do nó 1, caso contrário, retorne o valor 0. Copiando esta fórmula em ambas as colunas e até o final das linhas, é eliminado o erro de trechos duplos. A coluna L “length” contém os mesmos valores que a coluna E “compriment”, porém, com propriedade de número.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	gid	id_agua_In	diametro	material	Compriment	X	Y	topografia	NODE1	NODE2	TRECHO	LENGTH	ID(CONC)]	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)
2	237	257	85	1	8.975232	201316.09287	7557401.5222	794	=SE($A2=$A3;M2;"0")			8,98	1		
3	237	257	85	1	8.975232	201322.31042	7557407.995	793	0						
4	305	338	85	1	2.278327	200537.7089	7558286.2172	759	3	4	305	2,28	3		
5	305	338	85	1	2.278327	200539.30418	7558287.8438	759	0	0	0	0,00	4		
6	349	386	85	1	49.944738	201491.04745	7557580.1496	789	5	6	349	49,94	5		
7	349	386	85	1	49.944738	201525.97918	7557615.8463	791	0	0	0	0,00	6		
8	381	430	85	1	25.859098	201525.97918	7557615.8463	791	7	8	381	25,86	7		
9	381	430	85	1	25.859098	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0,00	8		
10	554	609	60	1	230.89177	201419.67371	7557822.5014	783	9	10	554	230,89	9		

SE(teste_lógico; [valor_se_verdadeiro]; [valor_se_falso])

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	gid	id_agua_In	diametro	material	Compriment	X	Y	topografia	NODE1	NODE2	TRECHO	LENGTH	ID(CONC)]	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)
2	237	257	85	1	8.975232	201316.09287	7557401.5222	794	1	=SE($A2=$A3;M3;"0")			1		
3	237	257	85	1	8.975232	201322.31042	7557407.995	793	0	0					
4	305	338	85	1	2.278327	200537.7089	7558286.2172	759	3	4	305	2,28	3		
5	305	338	85	1	2.278327	200539.30418	7558287.8438	759	0	0	0	0,00	4		
6	349	386	85	1	49.944738	201491.04745	7557580.1496	789	5	6	349	49,94	5		
7	349	386	85	1	49.944738	201525.97918	7557615.8463	791	0	0	0	0,00	6		
8	381	430	85	1	25.859098	201525.97918	7557615.8463	791	7	8	381	25,86	7		
9	381	430	85	1	25.859098	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0,00	8		
10	554	609	60	1	230.89177	201419.67371	7557822.5014	783	9	10	554	230,89	9		
11	554	609	60	1	230.89177	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0,00	10		

SE(teste_lógico; [valor_se_verdadeiro]; [valor_se_falso])

Figura 2.6 – equacionamento para determinação de nós

A partir daí, deverá ser criada uma planilha auxiliar (Planilha 2), Figura 2.7, na qual deverá constar na primeira coluna o ID em ordem numérica (correspondente à coluna M da Planilha 1), nas colunas B e C, o par de coordenadas (copiados das colunas F e G da planilha original). Em seguida, na coluna E, deverá ser inserida a fórmula =ARRED(B2*10000;0) e na coluna F, a fórmula =ARRED(C2*10000;0). Por fim, na coluna G, deverá ser inserida a fórmula =E2&F2 que resultará nos valores dos pares de coordenadas concatenados que deverão ser copiados para a coluna D (copiar apenas valores).

	A	B	C	D	E	F	G
1	ID(CONC)	X	Y	CONCATENADO	ARRED(B2*10000;0)	ARRED(C2*10000;0)	E2&F2
2	1	201316.0929	7557401.522	201316092975574015222	2013160929	75574015222	201316092975574015222
3	2	201322.3104	7557407.995	201322310475574079950	2013223104	75574079950	201322310475574079950
4	3	200537.7089	7558286.217	200537708975582862172	2005377089	75582862172	200537708975582862172
5	4	200539.3042	7558287.844	200539304275582878438	2005393042	75582878438	200539304275582878438
6	5	201491.0475	7557580.15	201491047575575801496	2014910475	75575801496	201491047575575801496
7	6	201525.9792	7557615.846	201525979275576158463	2015259792	75576158463	201525979275576158463
8	7	201525.9792	7557615.846	201525979275576158463	2015259792	75576158463	201525979275576158463
9	8	201547.4822	7557630.21	201547482275576302099	2015474822	75576302099	201547482275576302099
10	9	201419.6737	7557822.501	201419673775578225014	2014196737	75578225014	201419673775578225014

Figura 2.7 – planilha auxiliar

Em seguida, na coluna N “Node 1(coord)” deverá ser inserida a seguinte fórmula=SE(PROCV(I2;Planilha2!$A$2:$D$2017;1);Planilha2!D2;0), como mostra a Figura 2.8. Com esta fórmula, os nós passam a ser identificados por seus pares de coordenadas (x,y) evitando assim, duplicidade de nós e erros na leitura do arquivo de nós para o EPANET.

SOMA =SE(PROCV(I2;Planilha2!$A$2:$D$2017;1);Planilha2!D2;0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	gid	id_agua_In	diametro	material	Compriment	X	Y	topografia	NODE1	NODE2	TRECHO	LENGTH	ID(CONC)]	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)
2	237	257	85	1	8.975232	201316.09287	7557401.5222	794	1	2	237	8.98	1	=SE(PROCV(I2;Planilha2!$A$2:$D$2017;1);Planilha2!	
3	237	257	85	1	8.975232	201322.31042	7557407.995	793	0	0	0	0.00	2	PROCV(valor_procurado; matriz_tabela; núm_	
4	305	338	85	1	2.278327	200537.7089	7558286.2172	759	3	4	305	2.28	3	20053770897558286217 2	20053930427558287843 8
5	305	338	85	1	2.278327	200539.30418	7558287.8438	759	0	0	0	0.00	4	#N/D	#N/D
6	349	386	85	1	49.944738	201491.04745	7557580.1496	789	5	6	349	49.94	5	2014910475757580149 6	2015259792755761584 63
7	349	386	85	1	49.944738	201525.97918	7557615.8463	791	0	0	0	0.00	6	#N/D	#N/D
8	381	430	85	1	25.859098	201525.97918	7557615.8463	791	7	8	381	25.86	7	2015259792755761584 63	2015474822755763020 99
9	381	430	85	1	25.859098	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0.00	8	#N/D	#N/D
10	554	609	60	1	230.89177	201419.67371	7557822.5014	783	9	10	554	230.89	9	2014196737755782250 14	2015474822755763020 99
11	554	609	60	1	230.89177	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0.00	10	#N/D	#N/D

Figura 2.8 – formulação da coluna N "NODE1(COORD)"

A mesma lógica deve ser usada para a formulação (ver Figura 2.9) da coluna O "Node2(COORD)" onde deve ser inserida a fórmula =SE(PROCV(J2;Planilha2!$A$2:$D$2017;1);Planilha2!D3;0).

SOMA =SE(PROCV(J2;Planilha2!$A$2:$D$2017;1);Planilha2!D3;0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	gid	id_agua_In	diametro	material	Compriment	X	Y	topografia	NODE1	NODE2	TRECHO	LENGTH	ID(CONC)]	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)
2	237	257	85	1	8.975232	201316.09287	7557401.5222	794	1	2	237	8.98	1	20131609297557401522 2	=SE(PROCV(J2;Planilha2!$
3	237	257	85	1	8.975232	201322.31042	7557407.995	793	0	0	0	0.00	2	#N/D	PROCV(valor_procu
4	305	338	85	1	2.278327	200537.7089	7558286.2172	759	3	4	305	2.28	3	20053770897558286217 2	20053930427558287843 8
5	305	338	85	1	2.278327	200539.30418	7558287.8438	759	0	0	0	0.00	4	#N/D	#N/D
6	349	386	85	1	49.944738	201491.04745	7557580.1496	789	5	6	349	49.94	5	2014910475757580149 6	2015259792755761584 63
7	349	386	85	1	49.944738	201525.97918	7557615.8463	791	0	0	0	0.00	6	#N/D	#N/D
8	381	430	85	1	25.859098	201525.97918	7557615.8463	791	7	8	381	25.86	7	2015259792755761584 63	2015474822755763020 99
9	381	430	85	1	25.859098	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0.00	8	#N/D	#N/D
10	554	609	60	1	230.89177	201419.67371	7557822.5014	783	9	10	554	230.89	9	2014196737755782250 14	2015474822755763020 99
11	554	609	60	1	230.89177	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0.00	10	#N/D	#N/D

Figura 2.9 – formulação da coluna O "NODE2(COORD)"

A figura 2.10 mostra, para melhor acompanhamento dos procedimentos, quais colunas contêm fórmulas e quais são compostas de dados. As colunas em verde são aquelas que possuem dados, as colunas em vermelho são resultados de fórmulas anteriormente explanadas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	gid	id_agua_In	diametro	material	Compriment	X	Y	topografia	NODE1	NODE2	TRECHO	LENGTH	ID(CONC)]	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)
2	237	257	85	1	8.975232	201316.09287	7557401.5222	794	1	2	237	8,98	1	20131609297557401522 2	20132231047557407995 0
3	237	257	85	1	8.975232	201322.31042	7557407.995	793	0	0	0	0,00	2	#N/D	#N/D
4	305	338	85	1	2.278327	200537.7089	7558286.2172	759	3	4	305	2,28	3	20053770897558286217 2	20053930427558287843 8
5	305	338	85	1	2.278327	200539.30418	7558287.8438	759	0	0	0	0,00	4	#N/D	#N/D
6	349	386	85	1	49.944738	201491.04745	7557580.1496	789	5	6	349	49,94	5	2014910475757580149 6	2015259792755761584 63
7	349	386	85	1	49.944738	201525.97918	7557615.8463	791	0	0	0	0,00	6	#N/D	#N/D
8	381	430	85	1	25.859098	201525.97918	7557615.8463	791	7	8	381	25,86	7	2015259792755761584 63	2015474822755763020 99
9	381	430	85	1	25.859098	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0,00	8	#N/D	#N/D
10	554	609	60	1	230.89177	201419.67371	7557822.5014	783	9	10	554	230,89	9	2014196737755782250 14	2015474822755763020 99
11	554	609	60	1	230.89177	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0,00	10	#N/D	#N/D

Figura 2.10 – colunas com fórmulas e colunas com dados

A seguir, deverá ser criada uma coluna "P" (ver Figura 2.11) na qual deverá constar o par de coordenadas X,Y concatenado para que seja criada uma nova planilha, "junctions", na qual deverá constar o id do nó, a elevação de cada nó e a demanda (colocar valor aleatório, o valor real será calculado automaticamente com o uso de uma rotina criada na linguagem de programação R, que será explicada a seguir).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	gid	id_agua_ln	diametro	material	Compriment	X	Y	topografia	NODE1	NODE2	TRECHO	LENGTH	ID(CONC)]	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)	
2	237	257	85	1	8.975232	201316.09287	7557401.5222	794	1	2	237	8.98	1	201316092975574015222	201322310475574079950	201316092975574015222
3	237	257	85	1	8.975232	201322.31042	7557407.995	793	0	0	0	0.00	2	#N/D	#N/D	201322310475574079950
4	305	338	85	1	2.278327	200537.7089	7558286.2172	759	3	4	305	2.28	3	200537708975582862172	200539304275582878438	200537708975582862172
5	305	338	85	1	2.278327	200539.30418	7558287.8438	759	0	0	0	0.00	4	#N/D	#N/D	200539304275582878438
6	349	386	85	1	49.944738	201491.04745	7557580.1496	789	5	6	349	49.94	5	201491047575575801496	201525979275576158463	201491047575575801496
7	349	386	85	1	49.944738	201525.97918	7557615.8463	791	0	0	0	0.00	6	#N/D	#N/D	201525979275576158463
8	381	430	85	1	25.859098	201525.97918	7557615.8463	791	7	8	381	25.86	7	201525979275576158463	201547482275576302099	201525979275576158463
9	381	430	85	1	25.859098	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0.00	8	#N/D	#N/D	201547482275576302099
10	554	609	60	1	230.89177	201419.67371	7557822.5014	783	9	10	554	230.89	9	201419673775578225014	201547482275576302099	201419673775578225014
11	554	609	60	1	230.89177	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0.00	10	#N/D	#N/D	201547482275576302099

Figura 2.11 – inserção de coluna auxiliar com coordenadas concatenadas

A Figura 2.12, a seguir, mostra qual deve ser a disposição dos dados na planilha “junctions”.

	A	B	C
1	id	topografia	demand
2	201316092975574015222	794	.06
3	201322310475574079950	793	.06
4	200537708975582862172	759	.06
5	200539304275582878438	759	.06
6	201491047575575801496	789	.06
7	201525979275576158463	791	.06
8	201547482275576302099	793	.06
9	201419673775578225014	783	.06
10	201025579275580777717	764	.06

Figura 2.12 – modelo da planilha “junctions”

Para inserção dos dados no EPANET, como indicado no início deste capítulo, o arquivo .INP deve ter certo formato. Com o tratamento de dados feito até este ponto, a tabela “JUNCTIONS” está no formato final de entrada de dados, assim como a tabela “COORD” (ver Figura 2.13).

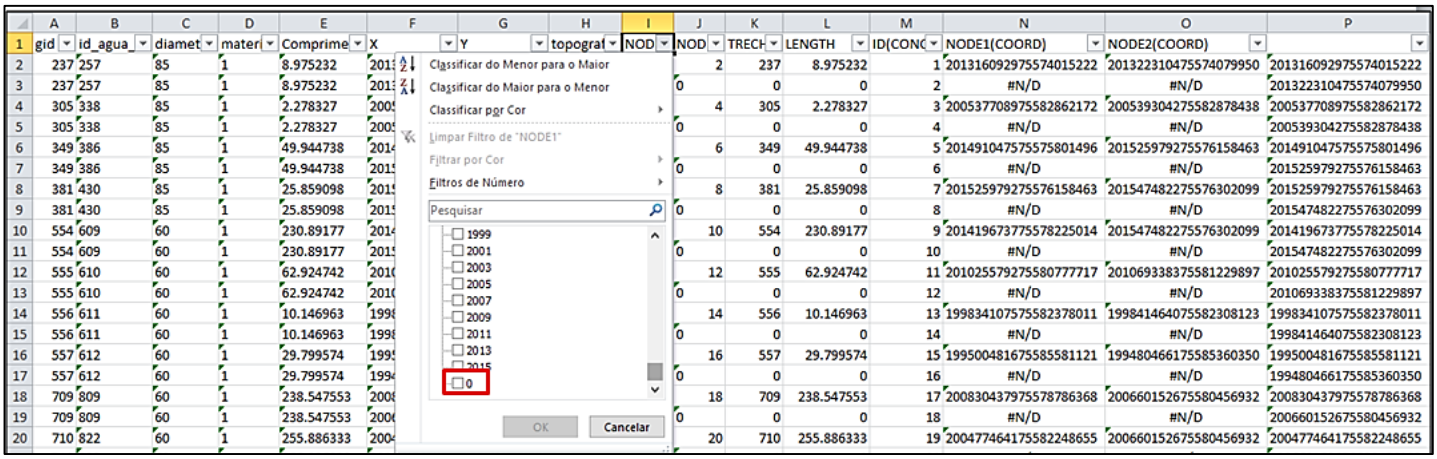
	A	B	C
1	NODE	X-COORD	Y-COORD
2	201316092975574015222	201316.0929	7557401.522
3	201322310475574079950	201322.3104	7557407.995
4	200537708975582862172	200537.7089	7558286.217
5	200539304275582878438	200539.3042	7558287.844
6	201491047575575801496	201491.0475	7557580.15
7	201525979275576158463	201525.9792	7557615.846
8	201525979275576158463	201525.9792	7557615.846
9	201547482275576302099	201547.4822	7557630.21
10	201419673775578225014	201419.6737	7557822.501

Figura 2.13 – modelo da planilha “coord“

A última etapa de tratamento de dados em Excel diz respeito à tabela “pipes”.

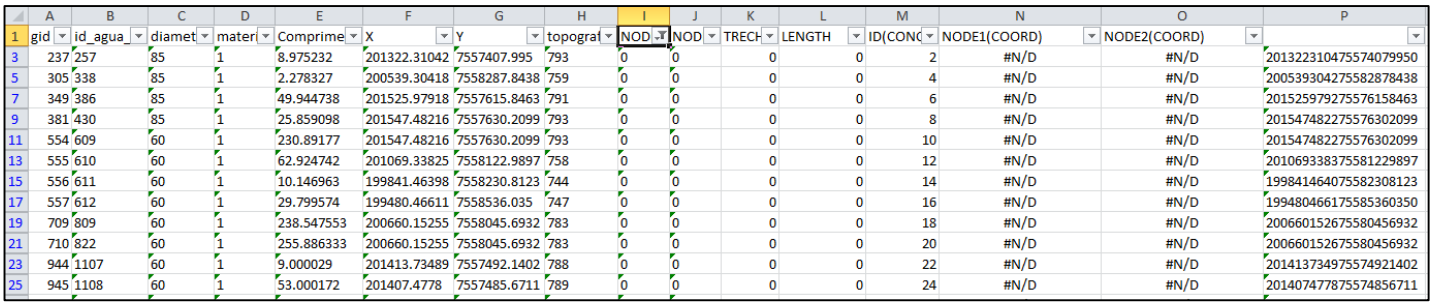
A partir da Planilha 1, deverá ser criada uma cópia integral dela, a ser denominada de “pipes” onde os dados deverão ser colados como VALORES.

Após esta etapa, deverá ser adicionado um filtro automático à coluna NODE1, e ter o valor 0 selecionado (Figura 2.14). Com isto, todos os valores duplicados de trechos, serão evidenciados (Figura 2.15),



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	gid	id_agua_	diamet	mater	Comprime	X	Y	topograf	NOD	NOD	TRECH	LENGTH	ID(CONC	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)	
2	237	257	85	1	8.975232	201				2	237	8.975232	1	201316092975574015222	201322310475574079950	201316092975574015222
3	237	257	85	1	8.975232	201			0		0	0	2	#N/D	#N/D	201322310475574079950
4	305	338	85	1	2.278327	200				4	305	2.278327	3	200537708975582862172	200539304275582878438	200537708975582862172
5	305	338	85	1	2.278327	200			0		0	0	4	#N/D	#N/D	200539304275582878438
6	349	386	85	1	49.944738	201				6	349	49.944738	5	201491047575575801496	201525979275576158463	201491047575575801496
7	349	386	85	1	49.944738	201			0		0	0	6	#N/D	#N/D	201525979275576158463
8	381	430	85	1	25.859098	201				8	381	25.859098	7	201525979275576158463	201547482275576302099	201525979275576158463
9	381	430	85	1	25.859098	201			0		0	0	8	#N/D	#N/D	201547482275576302099
10	554	609	60	1	230.89177	201				10	554	230.89177	9	201419673775578225014	201547482275576302099	201419673775578225014
11	554	609	60	1	230.89177	201			0		0	0	10	#N/D	#N/D	201547482275576302099
12	555	610	60	1	62.924742	201				12	555	62.924742	11	201025579275580777717	201069338375581229897	201025579275580777717
13	555	610	60	1	62.924742	201			0		0	0	12	#N/D	#N/D	201069338375581229897
14	556	611	60	1	10.146963	199				14	556	10.146963	13	199834107575582378011	199841464075582308123	199834107575582378011
15	556	611	60	1	10.146963	199			0		0	0	14	#N/D	#N/D	199841464075582308123
16	557	612	60	1	29.799574	199				16	557	29.799574	15	199500481675585581121	199480466175585360350	199500481675585581121
17	557	612	60	1	29.799574	199			0		0	0	16	#N/D	#N/D	199480466175585360350
18	709	809	60	1	238.547553	200				18	709	238.547553	17	200830437975578786368	200660152675580456932	200830437975578786368
19	709	809	60	1	238.547553	200			0		0	0	18	#N/D	#N/D	200660152675580456932
20	710	822	60	1	255.886333	200				20	710	255.886333	19	200477464175582248655	200660152675580456932	200477464175582248655

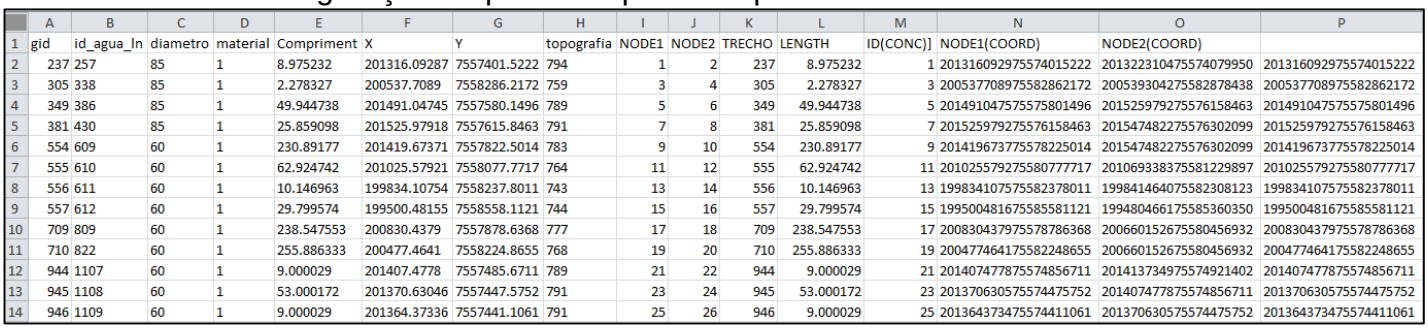
Figura 2.14 – filtro automático na coluna NODE 1



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	gid	id_agua_	diamet	mater	Comprime	X	Y	topograf	NOD	NOD	TRECH	LENGTH	ID(CONC	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)	
3	237	257	85	1	8.975232	201322.31042	7557407.995	793	0	0	0	0	2	#N/D	#N/D	201322310475574079950
5	305	338	85	1	2.278327	200539.30418	7558287.8438	759	0	0	0	0	4	#N/D	#N/D	200539304275582878438
7	349	386	85	1	49.944738	201525.97918	7557615.8463	791	0	0	0	0	6	#N/D	#N/D	201525979275576158463
9	381	430	85	1	25.859098	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0	8	#N/D	#N/D	201547482275576302099
11	554	609	60	1	230.89177	201547.48216	7557630.2099	793	0	0	0	0	10	#N/D	#N/D	201547482275576302099
13	555	610	60	1	62.924742	201069.33825	7558122.9897	758	0	0	0	0	12	#N/D	#N/D	201069338375581229897
15	556	611	60	1	10.146963	199841.46398	7558230.8123	744	0	0	0	0	14	#N/D	#N/D	199841464075582308123
17	557	612	60	1	29.799574	199480.46611	7558536.035	747	0	0	0	0	16	#N/D	#N/D	199480466175585360350
19	709	809	60	1	238.547553	200660.15255	7558045.6932	783	0	0	0	0	18	#N/D	#N/D	200660152675580456932
21	710	822	60	1	255.886333	200660.15255	7558045.6932	783	0	0	0	0	20	#N/D	#N/D	200660152675580456932
23	944	1107	60	1	9.000029	201413.73489	7557492.1402	788	0	0	0	0	22	#N/D	#N/D	201413734975574921402
25	945	1108	60	1	53.000172	201407.4778	7557485.6711	789	0	0	0	0	24	#N/D	#N/D	201407477875574856711

Figura 2.15 – somente as linhas com valores 0 em NODE1 aparecem na seleção

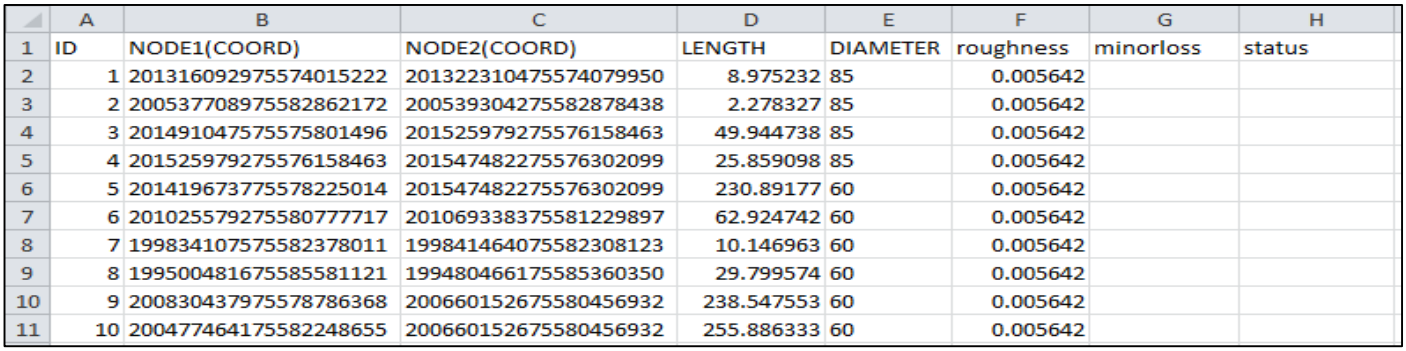
Após este procedimento, estas linhas deverão ser excluídas. A Figura 2.16 mostra a configuração da planilha após a etapa de exclusão das linhas.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	gid	id_agua_In	diametro	material	Compriment	X	Y	topografia	NODE1	NODE2	TRECHO	LENGTH	ID(CONC)]	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)	
2	237	257	85	1	8.975232	201316.09287	7557401.5222	794	1	2	237	8.975232	1	201316092975574015222	201322310475574079950	201316092975574015222
3	305	338	85	1	2.278327	200537.7089	7558286.2172	759	3	4	305	2.278327	3	200537708975582862172	200539304275582878438	200537708975582862172
4	349	386	85	1	49.944738	201491.04745	7557580.1496	789	5	6	349	49.944738	5	201491047575575801496	201525979275576158463	201491047575575801496
5	381	430	85	1	25.859098	201525.97918	7557615.8463	791	7	8	381	25.859098	7	201525979275576158463	201547482275576302099	201525979275576158463
6	554	609	60	1	230.89177	201419.67371	7557822.5014	783	9	10	554	230.89177	9	201419673775578225014	201547482275576302099	201419673775578225014
7	555	610	60	1	62.924742	201025.57921	7558077.7717	764	11	12	555	62.924742	11	201025579275580777717	201069338375581229897	201025579275580777717
8	556	611	60	1	10.146963	199834.10754	7558237.8011	743	13	14	556	10.146963	13	199834107575582378011	199841464075582308123	199834107575582378011
9	557	612	60	1	29.799574	199500.48155	7558558.1121	744	15	16	557	29.799574	15	199500481675585581121	199480466175585360350	199500481675585581121
10	709	809	60	1	238.547553	200830.4379	7557878.6368	777	17	18	709	238.547553	17	200830437975578786368	200660152675580456932	200830437975578786368
11	710	822	60	1	255.886333	200477.4641	7558224.8655	768	19	20	710	255.886333	19	200477464175582248655	200660152675580456932	200477464175582248655
12	944	1107	60	1	9.000029	201407.4778	7557485.6711	789	21	22	944	9.000029	21	201407477875574856711	201413734975574921402	201407477875574856711
13	945	1108	60	1	53.000172	201370.63046	7557447.5752	791	23	24	945	53.000172	23	201370630575574475752	201407477875574856711	201370630575574475752
14	946	1109	60	1	9.000029	201364.37336	7557441.1061	791	25	26	946	9.000029	25	201364373475574411061	201370630575574475752	201364373475574411061

Figura 2.16 – planilha "pipes" após exclusão das linhas com valores 0

Por fim, os dados que restaram deverão ficar no seguinte formato (Figura 2.17):



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ID	NODE1(COORD)	NODE2(COORD)	LENGTH	DIAMETER	roughness	minorloss	status
2	1	201316092975574015222	201322310475574079950	8.975232	85	0.005642		
3	2	200537708975582862172	200539304275582878438	2.278327	85	0.005642		
4	3	201491047575575801496	201525979275576158463	49.944738	85	0.005642		
5	4	201525979275576158463	201547482275576302099	25.859098	85	0.005642		
6	5	201419673775578225014	201547482275576302099	230.89177	60	0.005642		
7	6	201025579275580777717	201069338375581229897	62.924742	60	0.005642		
8	7	199834107575582378011	199841464075582308123	10.146963	60	0.005642		
9	8	199500481675585581121	199480466175585360350	29.799574	60	0.005642		
10	9	200830437975578786368	200660152675580456932	238.547553	60	0.005642		
11	10	200477464175582248655	200660152675580456932	255.886333	60	0.005642		

Figura 2.17 – formato final de dados da planilha PIPES

Todos os dados foram tratados em Excel, porém, para inserção de dados no EPANET, deverá ser criado um arquivo .txt (equivalente ao formato .INP) com os dados do arquivo em Excel, seguindo o formato da Figura 2.1, no início deste capítulo.

As Figuras 2.18, 2.19 e 2.20 ilustram o arquivo teste.txt que deverá ser importado para o EPANET onde o procedimento de tratamento de dados deverá ser continuado, pois, para simulação hidráulica, dispositivos como válvulas redutoras, reservatórios e boosters devem ser incluídos manualmente.

```
[TITLE]


[JUNCTIONS]
;ID                    Elev          Demand          Pattern
20131609297557401522 2   794     .06
20132231047557407995 0   793     .06
20053770897558286217 2   759     .06
20053930427558287844 8   759     .06
20149104757557580149 6   789     .06
20152597927557615846 3   791     .06
20154748227557630210 9   793     .06
20141967377557822501 4   783     .06
20102557927558077772 7   764     .06
20106933837558122990 7   758     .06
```

Figura 2.18 – arquivo .txt para inserção de dados em EPANET - junctions

```
[PIPES]
;ID                    Node1                  Node2                  Length         Diameter       Roughness      MinorLoss      Status
1       20131609297557401522   20132231047557407995   8.975232       85      0.005642
2       20053770897558286217   20053930427558287844   2.278327       85      0.005642
3       20149104757557580149 6 20152597927557615846 3 49.944738      85      0.005642
4       20152597927557615846 3 20154748227557630210 9 25.859098      85      0.005642
5       20141967377557822501 4 20154748227557630210 9 230.89177      60      0.005642
6       20102557927558077772 7 20106933837558122990 7 62.924742      60      0.005642
7       19983410757558237801 1 19984146407558230812 3 10.146963      60      0.005642
8       19950048167558558112 1 19948046617558536035 0 29.799574      60      0.005642
9       20083043797557878636 8 20066015267558045693 2 238.547553     60      0.005642
10      20047746417558224865 5 20066015267558045693 2 255.886333     60      0.005642
11      20140747787557485671 1 20141373497557492140 2 9.000029       60      0.005642
12      20137063057557447575 2 20140747787557485671 1 53.000172      60      0.005642
13      20136437347557441106 1 20137063057557447575 2 9.000029       60      0.005642
14      20045088677558197584 6 20012213947558517745 9 458.887802     60      0.005642
15      20068219457558433649 3 20051122587558494334 3 181.419362     60      0.005642
```

Figura 2.19 – arquivo .txt para inserção de dados em EPANET – pipes

```
[COORDINATES]
;Node                   X-Coord          Y-Coord
20131609297557401522   201316.0929      7557401.522
20132231047557407995   201322.3104      7557407.995
20053770897558286217   200537.7089      7558286.217
20053930427558287844   200539.3042      7558287.844
20149104757557580149   201491.0475      7557580.15
20152597927557615846   201525.9792      7557615.846
20152597927557615846   201525.9792      7557615.846
20154748227557630210   201547.4822      7557630.21
20141967377557822501   201419.6737      7557822.501
20154748227557630210   201547.4822      7557630.21
20102557927558077772   201025.5792      7558077.772
20106933837558122990   201069.3383      7558122.99
19983410757558237801   199834.1075      7558237.801
19984146407558230812   199841.464       7558230.812
19950048167558558112   199500.4816      7558558.112
```

Figura 2.20 – arquivo .txt para inserção de dados em EPANET – coord

<u>Cálculo dos valores de demanda.</u>

Para calcular os valores de demanda, foi utilizado o método de vazão distribuída por metro linear (Figura 2.21).

- $L_T(m)=\sum L$
- $q_{(distribuída)}$ (l/s.m) = $\frac{Q_T}{L_T}$
- Para a condição de ligação com 1 nó

- $Q_3 = q\left(\frac{L23}{2}\right)$

- Para a condição de ligação com 2 nós

- $Q_5 = q\left(\frac{L15}{2} + \frac{L56}{2}\right)$

- Para a condição de ligação com 3 nós

- $Q_6 = q\left(\frac{L26}{2} + \frac{L56}{2} + \frac{L67}{2}\right)$

- Para a condição de ligação com 4 nós

- $Q_2 = q\left(\frac{L12}{2} + \frac{L23}{2} + \frac{L24}{2} + \frac{L26}{2}\right)$

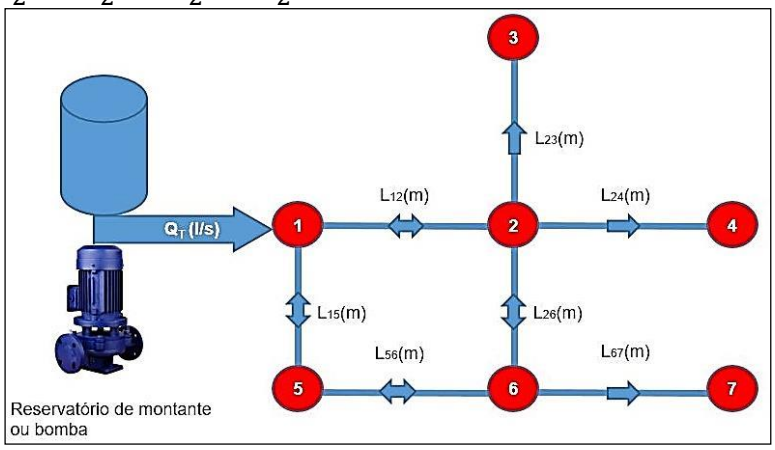


Figura 2.21 – Método para inserção de valores de demanda

A Tabela 2.1 apresenta os valores totais de vazões extraídos do Thorview.

Reservatório	Coordenadas		Vazão mín (m³/hr)	Vazão máx (m³/hr)
	X (m)	Y (m)		
Jd. Zavaglia	199336.78	7558188.87	15	50
Antenor Garcia	199308.99	7558217.83	61	100
Aracy I e II	200254.70	7557549.33	45	80
Aracy e Presid. Collor	200250.24	755755.78	15	20
		Qtotal (m³/hr)	136	250
		Qtotal (l/s)	**37,78**	**69,44**
		L_{total} da rede (m)	105.258,83	
		$q_{distribuída}$ (l/s.m)	0,000358904	0,000659749

Tabela 2.1 – dados de vazões

O valor de extensão total pode ser encontrado no arquivo final de “pipes” fazendo a soma total dos valores da coluna “LENGTH”.

Para o cálculo automático dos valores de demanda foi desenvolvida uma rotina na linguagem de programação R. Para seu correto funcionamento, o código deverá estar na mesma pasta em que os arquivos de junctions e pipes (separar em um arquivo .txt somente os dados referentes a junctions, fazer o mesmo para os dados de “pipes”). Ao final da execução do código será gerado um novo arquivo “junctions1.txt” que deverá ter seus valores copiados e colados no arquivo .txt final

para input de dados em EPANET. No código, somente o valor de Qt deverá ser fornecido, para o cálculo final dos valores de demanda.

Abaixo, segue o código desenvolvido:

```
#import junctions
junctions<-read.table("junctions.txt", quote = "\"", na.strings = "NA", colClasses="character")

#import pipes
pipes<-read.table("pipes.txt", quote = "\"", na.strings = "NA", colClasses="character")

#Provide Qt
Qt<-37.78

#Calc Lt
Lt<-0
for (variable in 1:nrow(pipes)) {
  Lt<-Lt+as.double(pipes[variable,4])
}

#Define q
q<-Qt/Lt

pipe<-""
jun_pipe<-c()
jun_pipe_aux<-c()

for (variable in 1:nrow(pipes)) {
  jun_pipe_aux<-c()
  pipe<-trimws(pipes[variable,2])
  pipe<-gsub("\"", "", pipe)

  print(variable)

  #store from 2 column
  for (var in 1:nrow(pipes)) {
    pipe2<-trimws(pipes[var,2])
    pipe2<-gsub("\"", "", pipe2)

   if (pipe == pipe2) {
     jun_pipe_aux <- rbind(jun_pipe_aux, (as.double(pipes[var,4])/2))
   }
  }

  #store from 3 column
  for (var in 1:nrow(pipes)) {
    pipe2<-trimws(pipes[var,3])
    pipe2<-gsub("\"", "", pipe2)

    if (pipe == pipe2) {
```

```
      jun_pipe_aux <- rbind(jun_pipe_aux, (as.double(pipes[var,4])/2))
    }
  }

  #sum
  sum_pip<-0
  for (var in 1:nrow(jun_pipe_aux)) {
    sum_pip<-sum_pip + jun_pipe_aux[var]
  }

  jun<-c(pipe, sum_pip)
  jun_pipe <- rbind(jun_pipe, jun)

  jun1<-c(pipe2, sum_pip)
  jun_pipe <- rbind(jun_pipe, jun1)
}

for (variable in 1:nrow(pipes)) {
  jun_pipe_aux<-c()
  pipe<-trimws(pipes[variable,3])
  pipe<-gsub("""", "", pipe)

  print(variable)

  #store from 2 column
  for (var in 1:nrow(pipes)) {
    pipe2<-trimws(pipes[var,2])
    pipe2<-gsub("""", "", pipe2)

    if (pipe == pipe2) {
      jun_pipe_aux <- rbind(jun_pipe_aux, (as.double(pipes[var,4])/2))
    }
  }

  #store from 3 column
  for (var in 1:nrow(pipes)) {
    pipe2<-trimws(pipes[var,3])
    pipe2<-gsub("""", "", pipe2)

    if (pipe == pipe2) {
      jun_pipe_aux <- rbind(jun_pipe_aux, (as.double(pipes[var,4])/2))
    }
  }

  #sum
  sum_pip<-0
  for (var in 1:nrow(jun_pipe_aux)) {
    sum_pip<-sum_pip + jun_pipe_aux[var]
  }
```

```
  jun<-c(pipe, sum_pip)
  jun_pipe <- rbind(jun_pipe, jun)

  jun1<-c(pipe2, sum_pip)
  jun_pipe <- rbind(jun_pipe, jun1)
}

#fulfil junctions file with demand
for (variable in 1:nrow(junctions)) {

  jun <- trimws(junctions[variable,1])
  jun<-gsub("""", "", jun)

  for (var in 1:nrow(jun_pipe)) {
    if (jun == jun_pipe[var, 1]) {
      junctions[variable,3]<-(as.double(jun_pipe[var, 2])*q)
    }
  }
}

write.table(junctions, "junctions1.txt", quote=FALSE, sep = "\t", col.names = FALSE,
        row.names = FALSE, na = "")
```

Ao final de execução da rotina, será gerado um arquivo junctions1.txt, os dados contidos neste arquivo deverão ser copiados e colados no arquivo teste.txt substituindo os valores antigos nos quais a demanda não havia sido calculada (Figura 2.22).

[JUNCTIONS]			
;ID	Elev	Demand	Pattern
201316092975574015220	794	0.012967	
201322310475574079950	793	0.012939	
200537708975582862170	759	0.087508	
200539304275582878440	759	0.055737	
201491047475575801500	789	0.020354	
201525979275576158460	791	0.015108	
201547482275576302100	793	0.063544	
201419673775578225010	783	0.131778	
201025579275580777720	764	0.099117	

Figura 2.22 – valores finais de junctions

3. INSERÇÃO DE DADOS DA REDE EM EPANET

Para importação do arquivo .txt para o EPANET, deve-se abrir o programa, clicar em “Arquivo”>”Abrir”>ir para diretório onde o arquivo teste.txt se encontra e no local onde tem a opção de selecionar “Tipo”, selecione a opção “Todos os arquivos”(Figura 3.1).

Selecione o arquivo teste.txt.

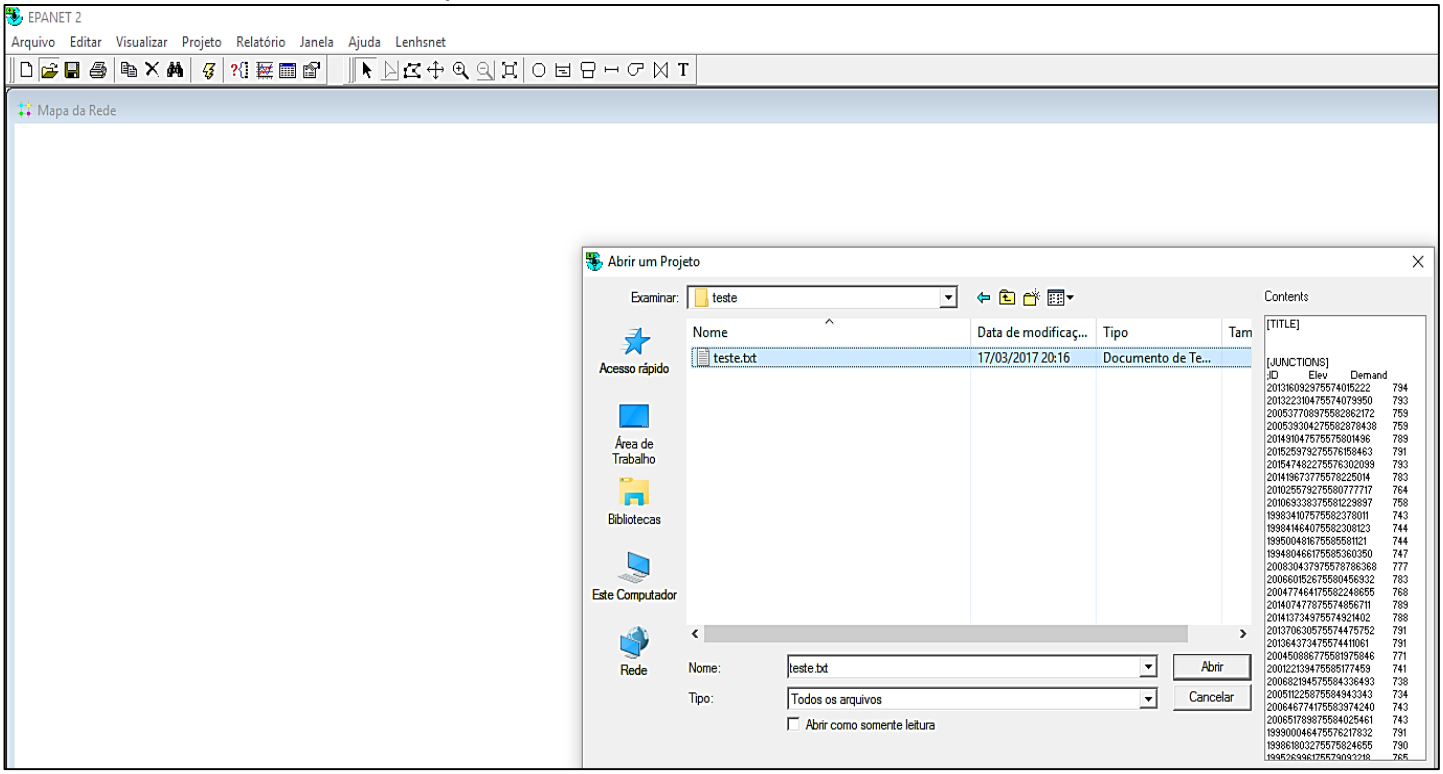


Figura 3.1 – Importando arquivo para o EPANET

Ao clicar no arquivo, a representação em planta baixa da rede deverá ser idêntica àquela apresentada no início deste manual quando da coleta do arquivo inicial (.SHP). Como mostra a Figura 3.2, o procedimento de “tradução do arquivo .SHP foi executado com sucesso.

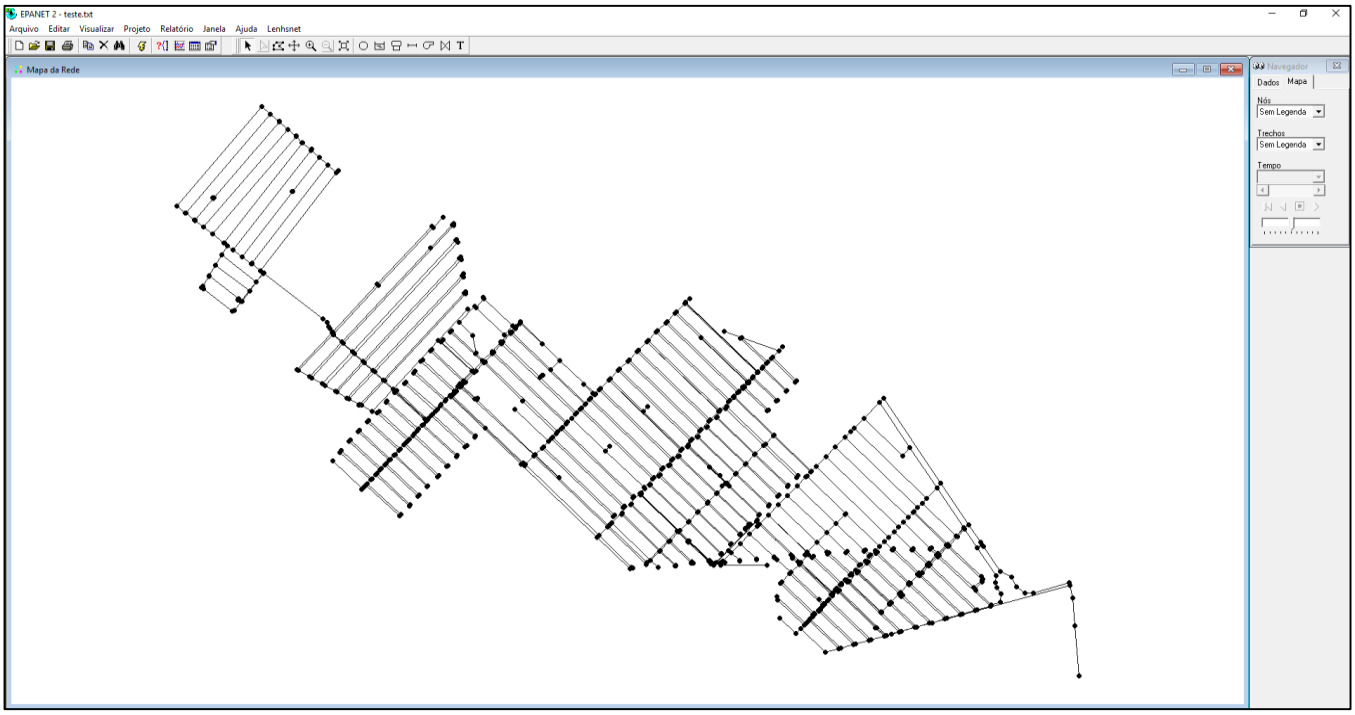


Figura 3.2 – representação em planta baixa da rede importada

No ambiente do EPANET deverão ser inseridos os dispositivos que fazem parte da rede.

No setor de distribuição Aracy, os dados referentes aos reservatórios são:

Reservatório 1 – Reservatório responsável por abastecer o loteamento Jardim Zavaglia, é um reservatório apoiado, possui 13,00 metros de diâmetro com cota do nível d'água mínimo a 5,00 metros da cota de terreno onde está instalado (772,00 m) e a cota do nível d'água máximo a 20 metros do solo;

Reservatório 2 – Reservatório responsável por abastecer o loteamento Antenor Garcia é um reservatório elevado, possui 7,70 metros de diâmetro com cota do nível d'água mínimo a 13,00 metros da cota de terreno onde está instalado (772,00 m) e cota de nível d'água máximo também a 20 metros do solo;

Reservatório 3 – Reservatório responsável por abastecer parte do Setor Aracy (I e II), é um reservatório apoiado, possui 15,00 metros de diâmetro com cota do nível d'água mínimo a 5 metros da cota de terreno (805,00 metros) e a cota do nível d'água máximo a 14,00 metros do solo;

Reservatório 4 – Reservatório responsável por abastecer parte do Setor Aracy e o loteamento Presidente Collor, possui 3,60 metros de diâmetro com cota do nível d'água mínimo a 16,00 metros da cota de implantação do terreno (805,00 metros) e cota do nível d'água máximo a 21,00 metros do solo.

As Figuras 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6 mostram como devem ficar os dados de reservatórios no EPANET.

Após a inserção destes dados a simulação poderá ser executada (Figura 3.7).

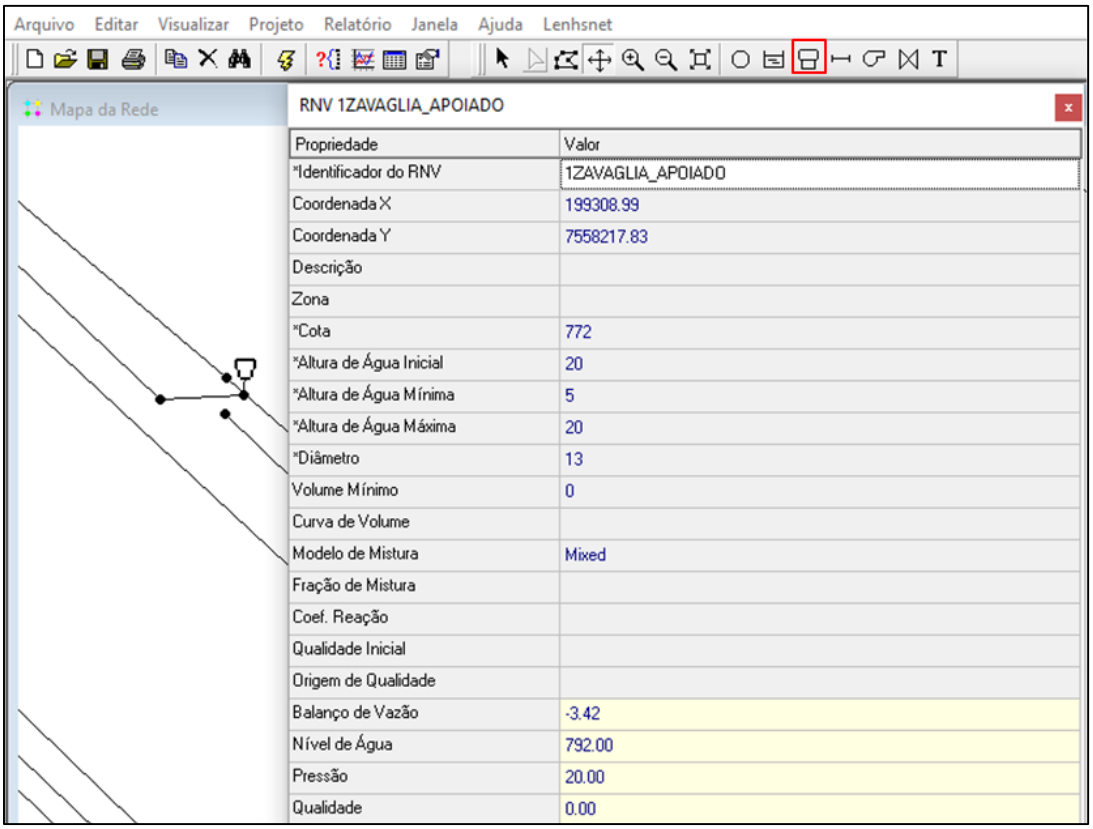


Figura 3.3 – dados do R1 (Zavaglia)

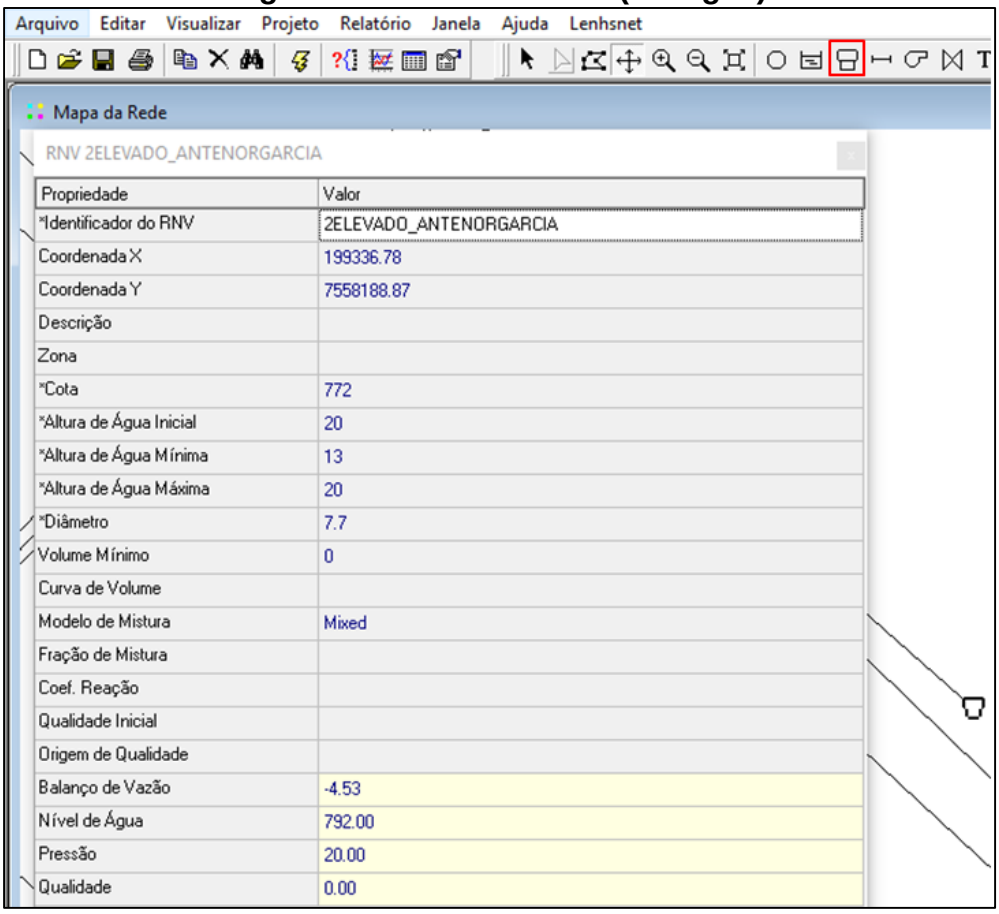


Figura 3.4 – dados do R2 (A. Garcia)

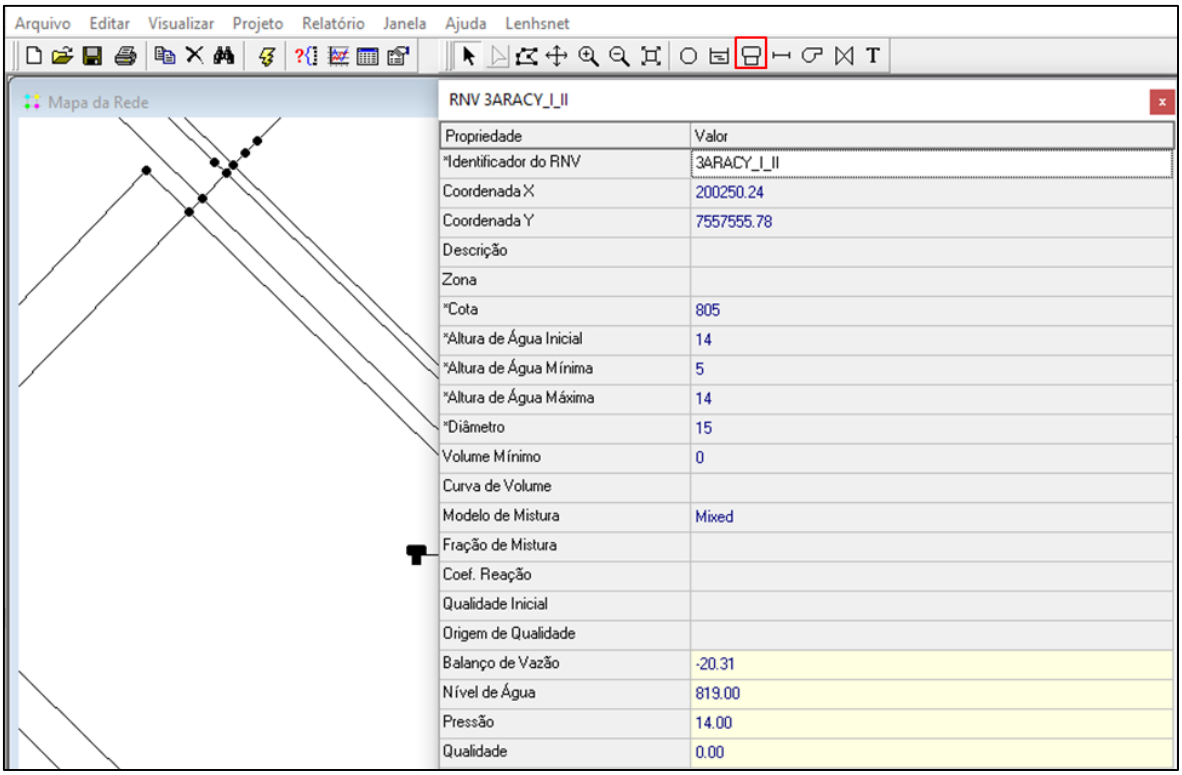


Figura 3.5 – dados do R3 (Aracy I e II)

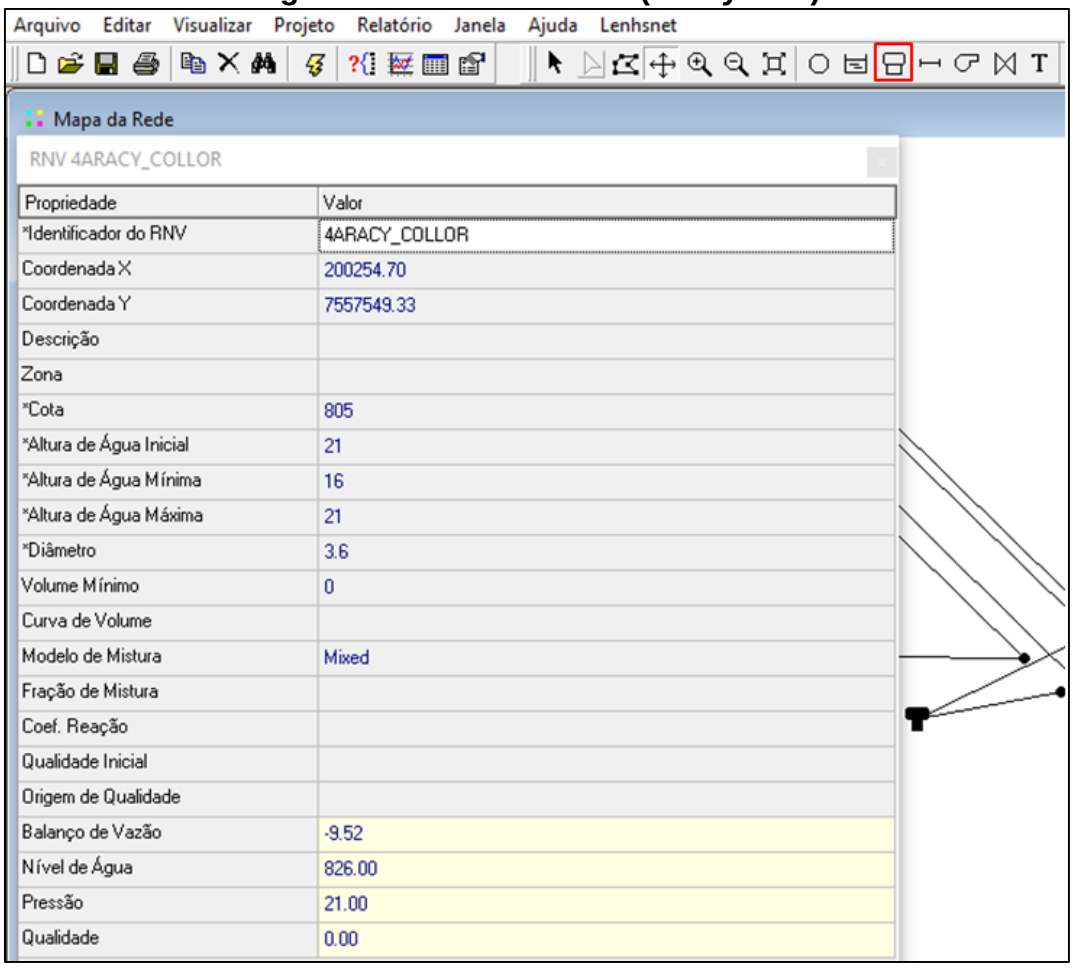


Figura 3.6 – dados do R4 (Aracy e Presidente Collor)

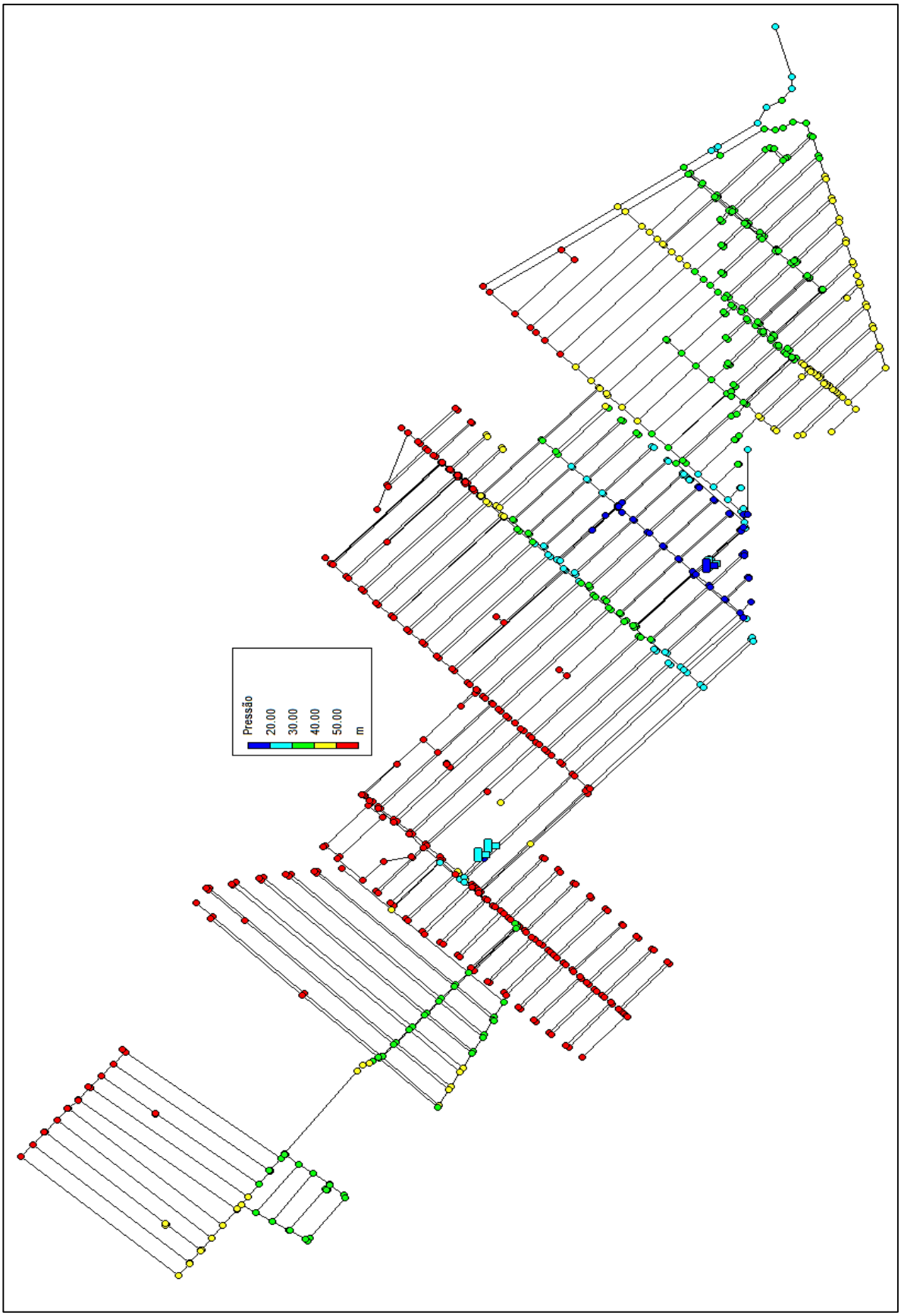


Figura 3.7 – Simulação da rede

Por meio dos exemplos apresentados pode-se analisar qualquer situação passível de ocorrer em redes malhadas. Os valores a serem inseridos no campo “Consumo-base” serão aqueles encontrados com os cálculos executados com base no equacionamento ora apresentado.

Para verificar a consistência deste equacionamento basta realizar uma breve análise no ambiente do EPANET no quesito “vazão” em trechos de saídas de reservatórios ou de final de linha. No caso dos trechos a jusante de reservatórios, estes devem transportar os maiores valores de vazão, o contrário ocorrendo com os trechos finais da rede.

-Método de cálculo da perda de carga distribuída

A equação de perda de carga utilizada para este estudo foi a equação universal de Darcy-Weisbach pois, segundo Liou (1998), a equação de Darcy-Weisbach é teoricamente mais consistente possuindo uma extensa base de dados.

- Rugosidade absoluta (ε)

No arquivo shape que foi fornecido pelo SAAE, constavam códigos informando qual o tipo de material das tubulações. Praticamente 100% das tubulações deste setor são em PVC. Kellner, Akutsu e Reis (2016), fizeram uma análise para determinação de rugosidade para utilização deste parâmetro no dimensionamento de redes de distribuição de água, assim como, sua influência quando da determinação do fator de atrito “f” da equação de Darcy-Weisbach. Neste estudo, foi feito um levantamento da literatura e comparação com os resultados encontrados nos experimentos desenvolvidos pelos autores. Ao analisar esses resultados, pôde-se observar que, “em geral, os valores obtidos para rugosidade absoluta ficaram muito próximos ao limite inferior de 0,0015 mm referenciado na literatura (Porto (2006) apud Kellner, Akutsu e Reis, 2016)”. Com base nesta pesquisa, foi adotado o valor médio de 0,005642 mm.

4. ANÁLISES PARA DECISÃO DO MELHOR DESENHO PARA OS SETORES DE MEDIÇÃO E CONTROLE

A metodologia proposta para a setorização baseia-se na análise de diferença topográfica cuja cota limite esteja 50 metros abaixo da cota de nível d'água máximo do reservatório. Com isto, é possível determinar os pontos de inserção de dispositivos controladores de pressão de modo que sejam criadas isozonas de pressão. Na Figura 3.1, a seguir, é ilustrado o processo de estudo para criação dos Distritos de Medição e Controle com base na análise topográfica.

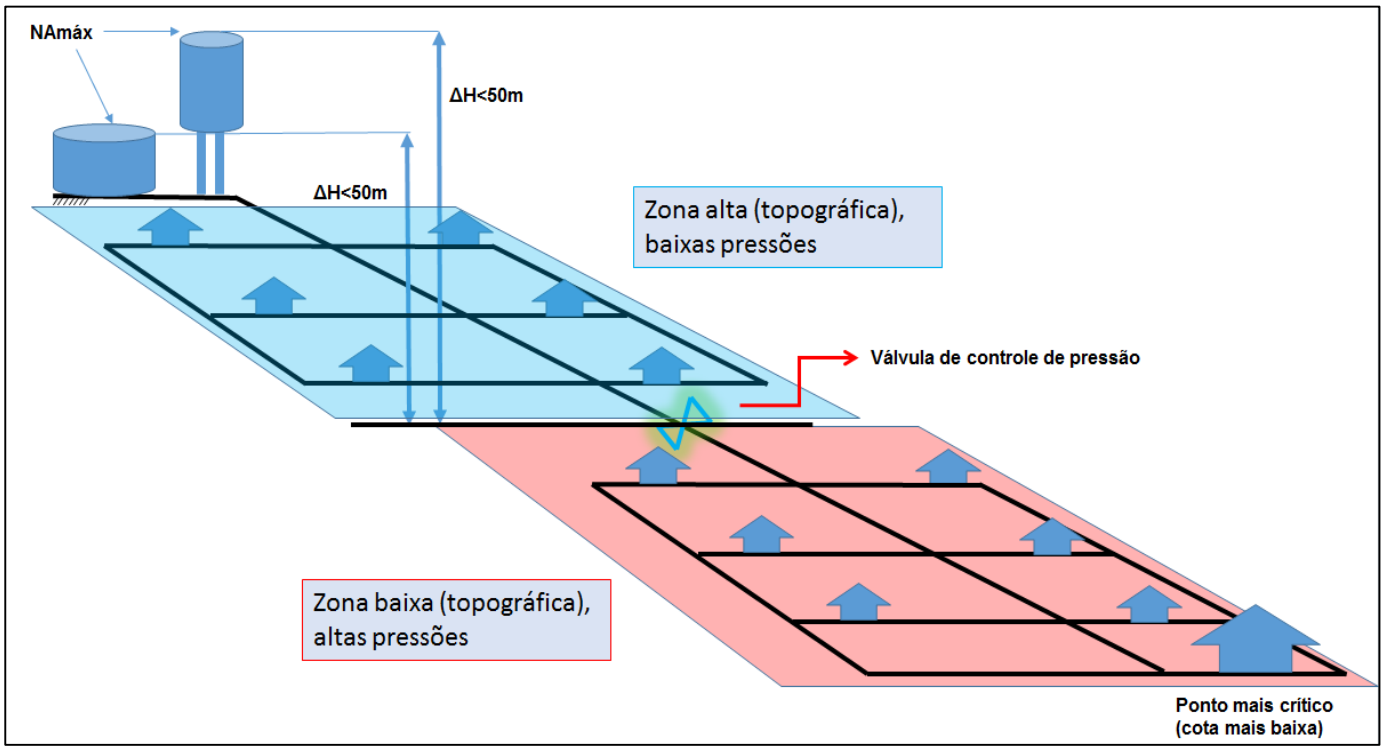


Figura 4.1 - Análise topográfica inicial para determinação de DMC's

Outro aspecto a ser levado em conta na criação de DMC's é que o seccionamento das redes deve ser feito de forma paralela, como mostrado na Figura 3.2.

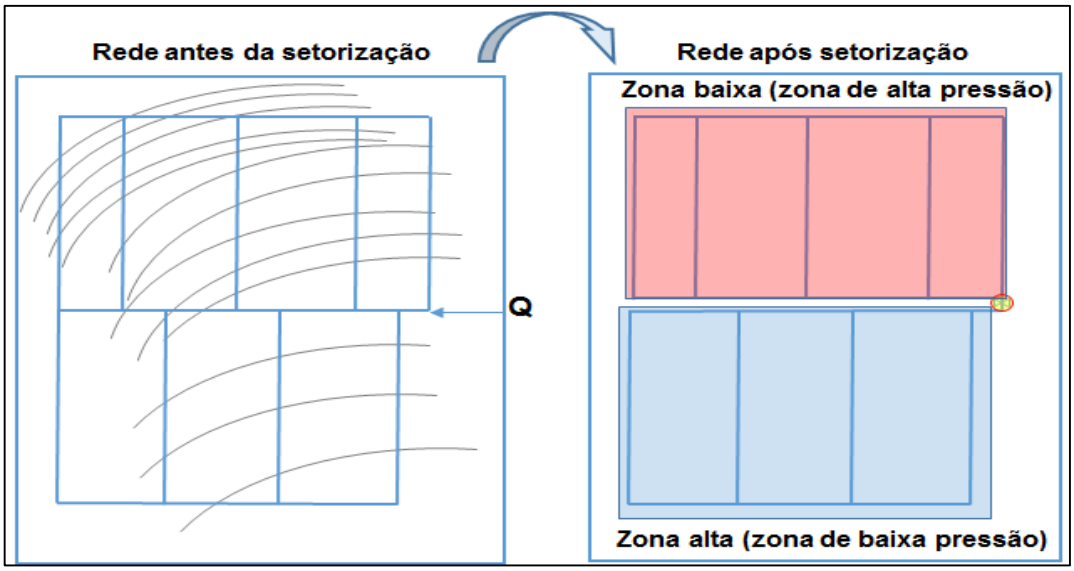


Figura 4.2 - Seccionamento em paralelo da rede.

A criação de redes em paralelo deve ser feita para que não sejam criadas "pontas-secas" na rede, que são pontos problemáticos no que tange à qualidade da água. É importante obedecer também ao limite mínimo de pressão estabelecido em Norma, ou seja, ao analisar a criação do setor que está submetido a altas pressões, ao inserir o dispositivo de gerenciamento de pressão (válvula redutora), é necessário que a pressão de controle a jusante seja igual ou superior a 10 m.c.a. como mostrado na Figura 3.3.

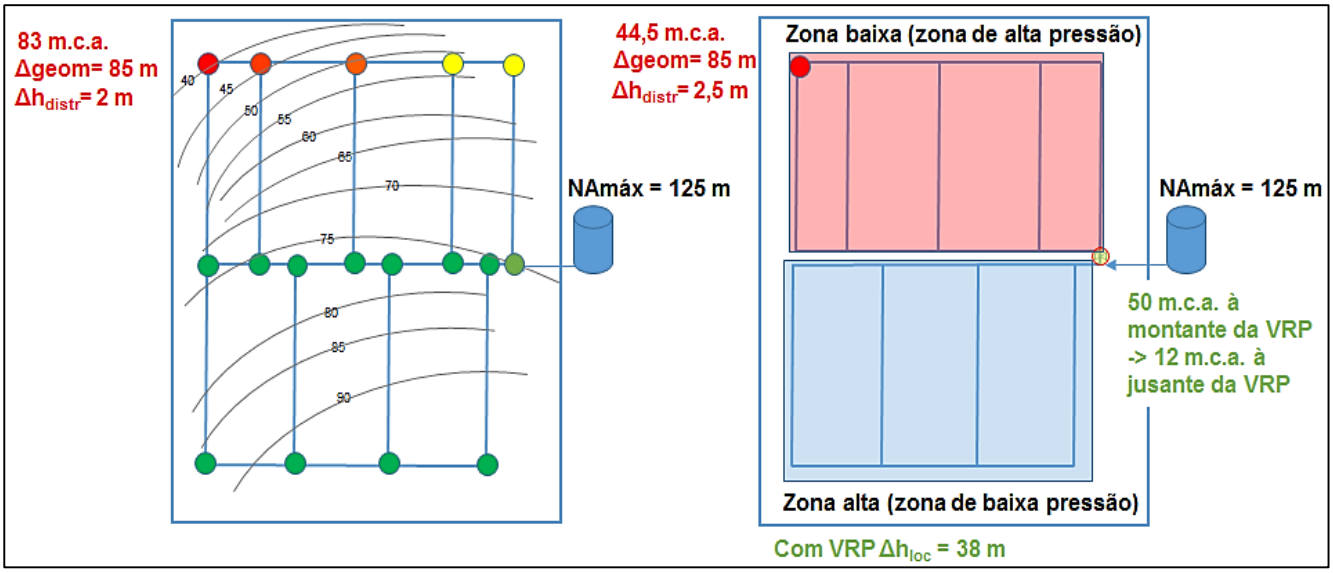


Figura 4.2 - Exemplo da criação de DMC's

Após executados estes procedimentos, será feita uma nova simulação em EPANET para a verificação da correta setorização quanto ao objeto norteador desta pesquisa, o controle das pressões máximas.

5. EXEMPLO DE CRIAÇÃO DE DMC

Para este subsetor, a criação dos DMC's proposta tem o objetivo de gerenciar as pressões nos pontos com cotas altimétricas mais baixas (onde ocorrem as maiores pressões). Na Figura 5.1 é mostrada a variação topográfica no subsetor estudado. Observa-se que existem duas ruas pelas quais uma separação de zonas pode ser feita (do ponto de vista executivo). Se o DMC for criado na Rua 1, indicada em amarelo, as pressões nos pontos onde a cota é aproximadamente 730 metros continuarão sendo excessivas, pois, a cota de topo do reservatório que abastece essa região é de 792 metros, o que resultaria em uma pressão nessa região de aproximadamente 60 m.c.a.

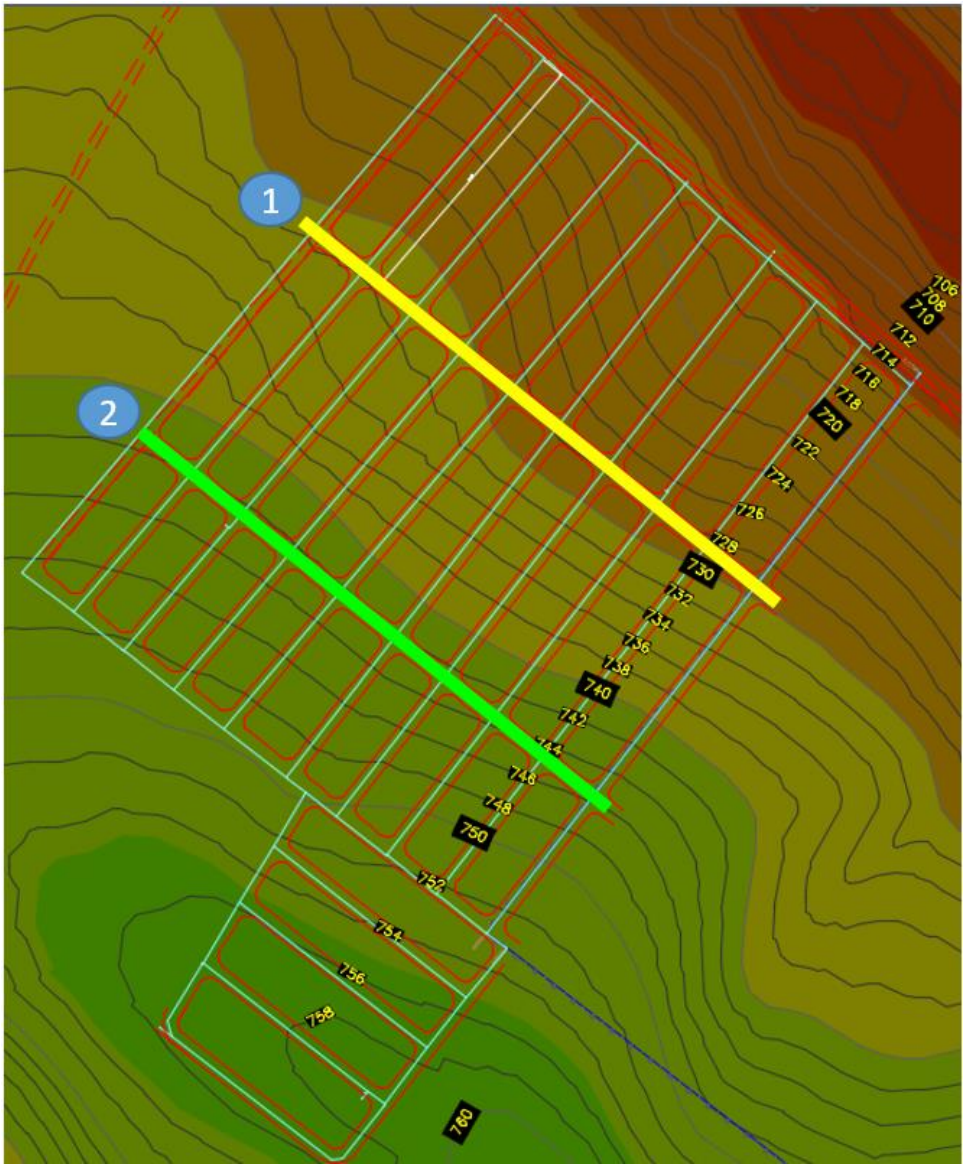


Figura 5.1 - Estudo de topografia do subsetor abastecido pelo R1(Jd. Zavaglia)

Para o gerenciamento de pressões na zona baixa (altas pressões) é necessária a inserção de um dispositivo regulador de pressão, neste caso uma válvula redutora de pressão (VRP). Sua configuração no EPANET deverá ficar como ilustrado na Figura 5.2.

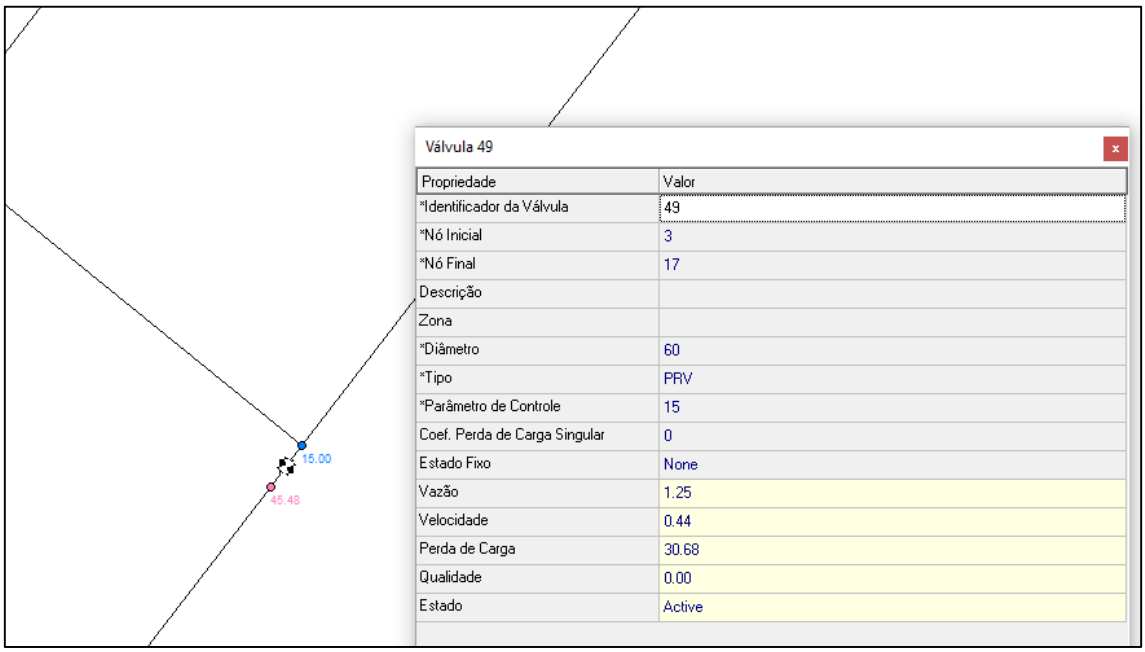


Figura 5.2 – Configuração de VRP no EPANET

O parâmetro de controle a ser inserido deverá ser a pressão desejada a jusante da válvula, sendo este valor igual ou superior a 10 m.c.a. (valor mínimo recomendado por Norma).

O DMC proposto para gerenciamento das pressões nos pontos mais baixos foi criado a partir da separação da rede pela Rua 2 (verde). A rede foi seccionada e anelada a fim de evitar pontos de infecção. Com isto, o resultado da criação dos DMC's está apresentado na Figura 5.3. Na Figura 5.4 é mostrada também a localização de inserção da válvula redutora de pressão responsável por causar uma perda de carga localizada e, consequentemente, a redução das pressões nos pontos a jusante. A válvula inserida na rede causou uma perda de carga de 30,48 m, como é mostrado, em destaque, na Figura 5.4. O resultado das pressões obtidas com a criação destes DMC's pode ser visto na Figura 5.4, a seguir, onde se verifica que a pressão no ponto mais crítico foi reduzida de 78,70 m.c.a. para 47,36 m.c.a.

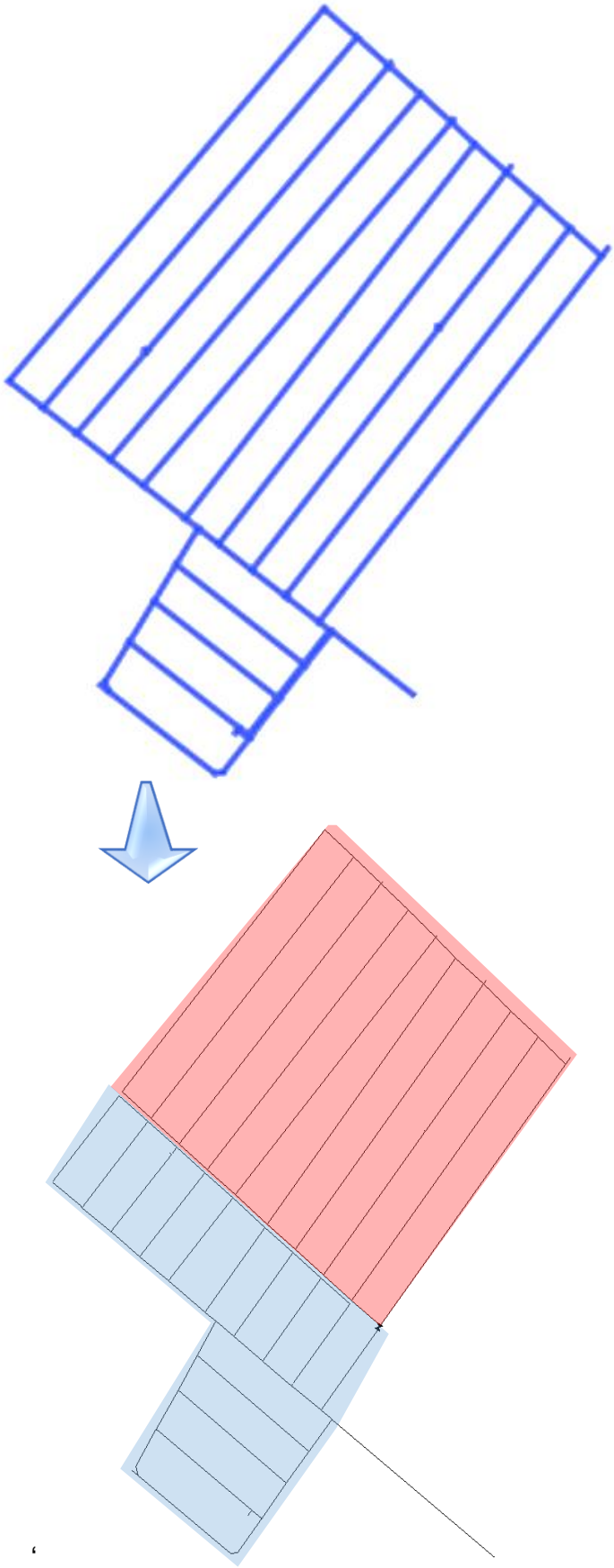


Figura 5.3 - DMC's do subsetor abastecido pelo R1 (Zavaglia)

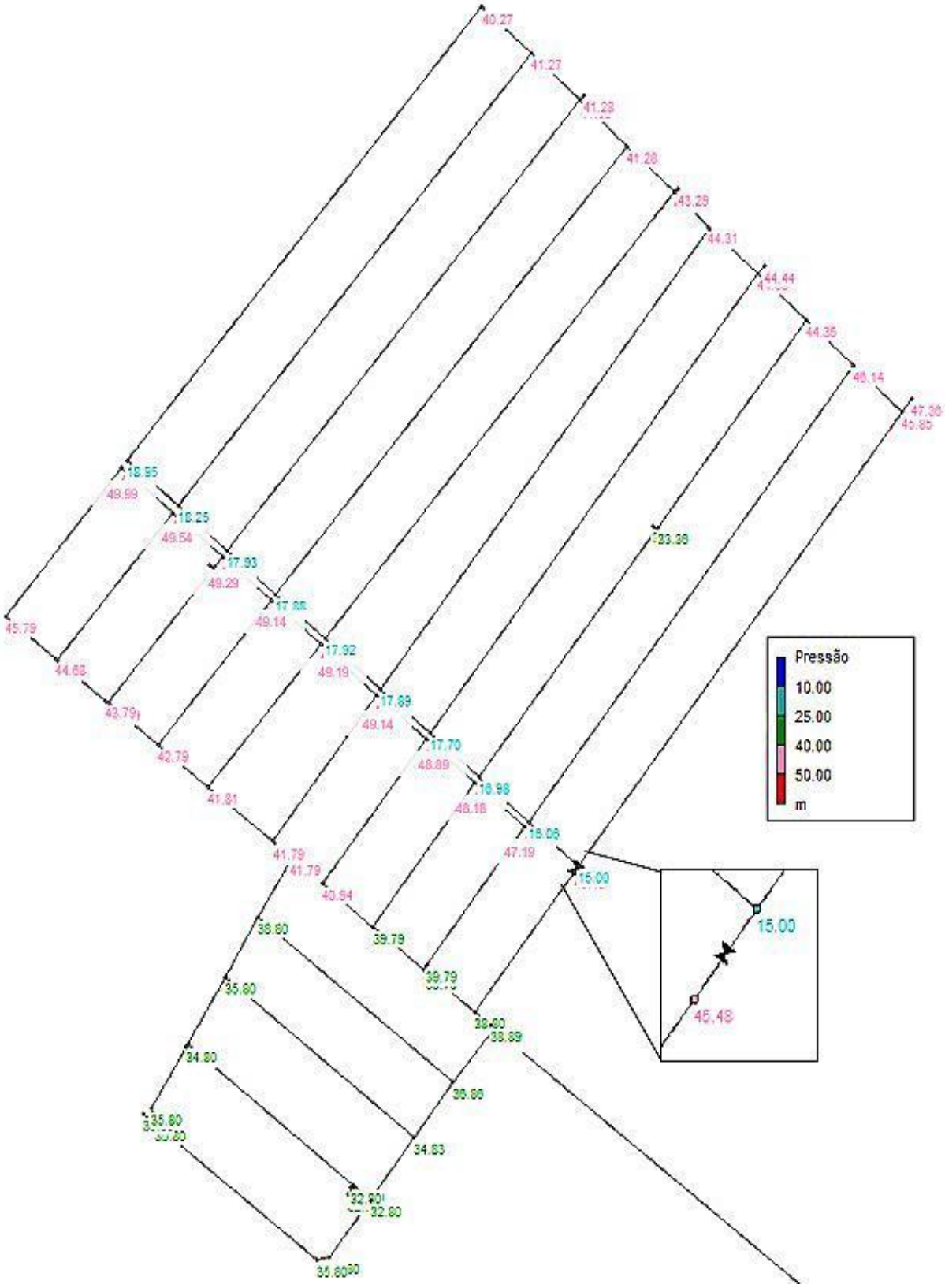


Figura 5.4 - Análise de pressões após criação dos DMC's

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2013.* Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. 181p.: il.;

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014.* Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212p.: il.;

Di Nardo, A., Di Natale, M. *A heuristic design support methodology based on graph theory for district metering of water supply network*. Engineering Optimization, 43:2, 193-211. Aversa, Itália, 2011;

GÓMEZ, P., CUBILLO, F., MARTÍN, F.J. *Comprehensive and efficient sectorization of distribution networks*. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013;

GONÇALVES, E.; LIMA, C.V. *Controle de Pressões e Operação de Válvulas Reguladoras de Pressão. Guias práticos – Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água.* Brasil. Ministério das Cidades. Programa Nacional de Combate ao desperdício de água. 65p. Brasília, 2007;

HERNÁNDEZ, C.U.P., CASTILLO, W.E.S., BECERRA, X.M., HERNANDEZ, S.B.J. *Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografia, UNAM. Núm 82, pp. 118-130. 2013;

KELLNER, E.; AKUTSU, J.; REIS, L. F. R. *Avaliação da rugosidade relativa dos tubos de PVC com vistas ao dimensionamento das redes de distribuição de água*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 2, p. 347–355, 2016

LAMBERT, A., HIRNER, W. *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. IWA the blue pages, v. October, n.3, p.1-13, 2000;

LIOU, C.P. *Limitations and proper use of the Hazen-Williams Equation*. Journal of Hydraulic Engineering. 124(9); 951-954 1998;

MARCKA, E. *Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água* – DTA A2. Programa de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 80p. Brasília, 2004;

MORRISON, J.; Tooms, S.; Rogers, D. *DMA Management: Guidance Notes, Technical Report 1*, Water Loss Task Force – International Water Association (IWA), 2007;

MOTTA, R. G. *Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público*. Dissertação (Mestrado Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010;

OLIANI, L.O.; PAIVA, C.; ANTUNES, A.F.B. *Utilização de softwares livres de geoprocessamento para gestão urbana em municípios de pequeno e médio porte*. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – Recipe – PE, 06-09 de maio de 2012, p.001 – 008;

NBR 12218. *Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público*. 1994

PORTO, R.M. *Hidráulica Básica*. EESC-USP, São Carlos, SP, 2006;

REGO, A. A. C. *Integração de ferramentas SIG para a optimização de sistema adutor com recurso ao EPANET*. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2007;

Report 26 - *Leakage Control Policy & Practice*, UK Water Authorities Association , 1980;

ROSSMAN, L.A. *EPANET 2 user's manual*. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000;

SOUZA JÚNIOR, José do Carmo de. *Distrito de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água*. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas – SP, 2014;

TARDELLI FILHO, J. *Controle e Redução de Perdas*. In: TSUTIYA, MILTON T. et al. Abastecimento de Água. 3a ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. p. 457-525;

THORNTON, J. *Managing leakage by managing pressure: a practical approach*. Water21, IWA Water Loss Task Force, p.43-44, 2003;

VILAS-BOAS, P.R. *Modelação de uma Rede de Distribuição de Água*. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.