

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

VITOR BARBOSA MELO

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO
DE ÁGUA DO *CAMPUS* RECIFE/UFPE

RECIFE

2017

VITOR BARBOSA MELO

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO
DE ÁGUA DO *CAMPUS* RECIFE/UFPE

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Tadeu Ribeiro de Gusmão.

RECIFE

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M528a Melo, Vitor Barbosa.
Análise e dimensionamento econômico da rede de distribuição de água do *Campus Recife/UFPE* / Vitor Barbosa Melo. – 2017.
125 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Tadeu Ribeiro de Gusmão.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2017.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Redes de distribuição de água. 3. Método Fimentel Gomes. 4. Método PNL 2000. 5. *Software* EPANET. 6. LENHSNET. 7. *Campus Recife/UFPE*. I. Gusmão, Paulo Tadeu Ribeiro de. (Orientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-50

**ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA
CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL**

CANDIDATO(S): 1 – Vitor Barbosa Melo
2 –

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: Paulo Tadeu Ribeiro de Gusmão

Examinador 1: José Roberto Gonçalves de Azevedo

Examinador 2: Cláudio Henrique Milfont de Magalhães

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO
DE ÁGUA DO CAMPUS RECIFE/UFPE**

LOCAL:

DATA: ____/____/____ HORÁRIO DE INÍCIO: _____.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: _____(deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) () aprovado(s) (nota > = 7,0), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, **3,0 = < nota < 7,0**, será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota <3,0)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, de de 20....

Orientador:
Avaliador 1:
Avaliador 2:
Candidato 1:
Candidato 2:

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Antônio e Maria, à minha irmã, Cecília, por todo amor, carinho e apoio ao longo de toda a minha jornada.

À minha namorada, Bruna, aos meus familiares, amigos e colegas de profissão que contribuíram de alguma forma.

Ao Professor Paulo Tadeu pela orientação, oportunidade, por todo o conhecimento transmitido e pela sua paciência.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) grande responsável pelo o meu desenvolvimento acadêmico.

A todos os funcionários da UFPE que contribuíram de maneira significativa para o desenvolvimento deste trabalho. Em especial aos funcionários que trabalham na operação e manutenção do Sistema de Abastecimento de Água do *campus* Recife/UFPE.

RESUMO

Este trabalho apresenta a avaliação hidráulica e o dimensionamento econômico otimizado da rede de distribuição de água do *campus* Recife/UFPE, a partir de técnicas de simulação hidráulica. Para a avaliação hidráulica da rede existente, denominada de Rede Atual, foram utilizados o Método Pimentel Gomes e o Simulador Hidráulico EPANET. Para o dimensionamento econômico otimizado da rede, denominada de Rede Proposta, foram utilizados o Método PNL 2000 e o algoritmo LENHSNET incorporado ao *software* EPANET, que tem como objetivo encontrar os diâmetros dos trechos da rede, em detrimento dos custos de implantação e operação de uma rede de distribuição, de modo que a soma desses custos seja a menor possível, respeitando as restrições hidráulicas pré-estabelecidas por normas, obtendo o equilíbrio hidráulico da rede. Para obtenção dos resultados é, fundamental, estimar o consumo de água nas edificações do *campus*, tal estimativa tem sido um dos grandes problemas enfrentados por profissionais da área, principalmente, em edificações com múltiplos usos e distribuídos de maneira aleatória no tempo e no espaço, o consumo foi obtido a partir de dados estabelecidos por pesquisadores e normas técnicas. Com relação aos resultados obtidos, a simulação da Rede Atual não foi bem-sucedida, pois apresentou em alguns trechos e nós valores que não garantem o bom funcionamento da rede. Vale ressaltar que os dois métodos utilizados apresentaram valores semelhantes. Para os resultados obtidos no dimensionamento econômico foram obtidos valores concisos e adequados que promoveram o custo mínimo e o equilíbrio hidráulico da Rede Proposta, a metodologia LENHSNET apresentou uma economia de custo ao ser comparado ao Método PNL 2000. Ainda, foram levantadas as vantagens das metodologias utilizados no presente trabalho e recomendações futuras para a administração da UFPE e possíveis pesquisas para o Sistema de Abastecimento do *campus* Recife da UFPE.

Palavras-chaves: Redes de distribuição de água. Método Pimentel Gomes. Método PNL 2000. *Software* EPANET. LENHSNET. *Campus* Recife/UFPE.

ABSTRACT

This work presents the hydraulic evaluation and the optimized economic sizing of the Recife/UFPE campus water distribution network, using hydraulic simulation techniques. For the hydraulic evaluation of the current network, called Rede Atual, the Pimentel Gomes Method and the EPANET Hydraulic Simulator were used. For the network's optimized economic sizing, called Rede Proposta, the PNL 2000 Method and the LENHSNET algorithm incorporated into EPANET software were used, which aims to find the network stretches diameters, in detriment of the introducing and operating costs of a distribution network, so that the sum of these costs be the smallest as possible, respecting the hydraulic restrictions pre-established by norms, obtaining the hydraulic balance of the network. To obtain the results it's essential to estimate the water consumption in the campus buildings, and this has been one of the major problems faced by professionals in the field, mainly in buildings with multiple forms of use and consumption distributed randomly in time and space, which was obtained from established datas by researchers and technical norms. Regarding the obtained results, the simulation of the Rede Atual was not successful, because it presented values in some sections and knots that do not guarantee the proper functioning of the network. It's worth mentioning that the both methods used presented similar values. According to the results obtained in the economic sizing, were observed concise and adequate values that promoted the minimum cost and the hydraulic balance of the Rede Proposta, which demonstrated that the LENHSNET methodology presented a cost saving when compared to the PNL 2000 Method. Also, the advantages of the methodologies used in the present study and the future recommendations for UFPE administration were raised, with a view to possible research for the Supply System of the UFPE Recife campus.

Key-words: Water distribution networks. Pimentel Gomes Method. PNL 2000 Method. EPANET software. LENHSNET. Recife/UFPE campus.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de uma rede ramificada.....	18
Figura 2 - Esquema de uma rede malhada com anéis.....	18
Figura 3 - Ilustração e equações para a conservação de energia no anel e continuidades nos nós.....	23
Figura 4 - Universidade Federal de Pernambuco <i>campus</i> Recife.....	29
Figura 5 - Planta de localização: captação, tratamento e reservatório.....	30
Figura 6 - Poço CTG 1.....	31
Figura 7 - Poço CTG 2.....	31
Figura 8 - Poço CCEN.....	31
Figura 9 - Fluxograma da ETA <i>campus</i>	33
Figura 10 - Caixa de Reunião.....	33
Figura 11 - Torres de Aeração.....	34
Figura 12 - Decantador Clássico.....	34
Figura 13 - Estação Elevatória de Água Decantada.....	35
Figura 14 - Filtros de Fluxo Descendente.....	35
Figura 15 - Reservatório de Água Tratada e Reservatório de Acumulação de Água de Lavagem.....	35
Figura 16 - Tanque e Dosador de Cloro.....	36
Figura 17 - Estação Elevatória de Água Tratada, de Recirculação e de Lavagem.....	36
Figura 18 - Reservatório Castelo d'Água.....	37
Figura 19 - Banheiro masculino do Departamento de Farmácia.....	41
Figura 20 - Laboratório de Pós-Graduação em Engenharia Química, uso de destilador.....	42
Figura 21 - Laboratório de Pós-Graduação em Engenharia Química.....	42
Figura 22 - Laboratório de Graduação em Farmácia.....	42
Figura 23 - Laboratório de Pós-Graduação na Diretoria de Inovação e Empreendedorismo (DINE), uso de destilador.....	43
Figura 24 - Restaurante Universitário.....	43
Figura 25 - Rega de Jardim.....	43
Figura 26 - Lago do Núcleo de Tecnologia da Informação.....	44
Figura 27 - Lago em frente do Departamento de Antibióticos.....	44

Figura 28 - Lavagem de veículos no Almojarifado da Prefeitura, utilização de equipamento de alta pressão.....	44
Figura 29 - Lavagem de carro em frente a biblioteca do Centro de Ciências da Saúde.....	45
Figura 30 - Rede Atual - Localização dos nós e trechos.....	60
Figura 31 - Rede Proposta - Localização dos nós e trechos.....	60
Figura 32 - Numeração dos nós para a Rede Atual.....	62
Figura 33 - Numeração dos nós e anéis e a direção da vazão nos trechos para a Rede Proposta.....	62
Figura 34 - Traçado da Rede Atual no EPANET.....	76
Figura 35 - Opções de Simulação.....	77
Figura 36 - Estado da Simulação para o nível de água mínimo.....	78
Figura 37 - Relatório de Estado para o nível de água mínimo.....	78
Figura 38 - Estado da Simulação para o nível de água máximo.....	78
Figura 39 - Ajuste de curva, diâmetro versus custo unitário do tubo.....	89
Figura 40 - Entrada de parâmetros da ferramenta <i>solver</i> para otimização da primeira etapa.....	94
Figura 41 - Resultados do <i>solver</i>	95
Figura 42 - Parâmetros de entrada da ferramenta <i>solver</i> para otimização da segunda etapa.....	101
Figura 43 - Traçado da Rede Proposta no EPANET.....	105
Figura 44 - Dados do Projeto.....	105
Figura 45 - Velocidade mínima inatingível.....	106
Figura 46 - Dados dos Tubos.....	106
Figura 47 - Informação a respeito do dimensionamento.....	106
Figura 48 - Estado da Simulação.....	106
Figura 49 - Relatório LenhsNet.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos Prédios, Centros e Anexos.....	40
Tabela 2 - Quantitativo dos usuários cadastrados nos Prédios, Centros e Anexos.....	46
Tabela 3 - Quantitativo dos pacientes, residentes, assentos, visitantes e refeições por edificação.....	48
Tabela 4 - Quantitativo de lavagens máximas por tipos de veículos diários.....	48
Tabela 5 - Valores de consumo de água por atividades nas diversas categorias de consumo, com as unidades e fontes das pesquisas.....	49
Tabela 6 - Consumo nas edificações para os grupos G1, G2 e G3.....	53
Tabela 7 - Consumo nas edificações para os grupos G4, G5, G6 e G7.....	54
Tabela 8 - Consumo no almoxarifado da Prefeitura para o grupo G8.....	54
Tabela 9 - Consumo total nos Prédios, Centros e Anexos.....	56
Tabela 10 - Os nós e sua respectiva cota topográfica, edificações e demanda para a Rede Atual.....	63
Tabela 11 - Os nós e suas respectiva cota topográfica, edificações e demanda para a Rede Proposta.....	65
Tabela 12 - Descrição dos trechos e seus respectivos diâmetros e comprimentos para a Rede Atual.....	67
Tabela 13 - Descrição dos trechos e seus respectivos comprimentos para a Rede Proposta.....	68
Tabela 14 - Situação hidráulica dos trechos da Rede Atual através do MPG.....	70
Tabela 15 - Situação hidráulica dos nós da Rede Atual através do MPG para o nível de água mínimo no reservatório.....	71
Tabela 16 - Situação hidráulica dos nós da Rede Atual através do MPG para o nível de água máximo no reservatório.....	72
Tabela 17 - Situação hidráulica dos trechos da Rede Atual através do EPANET.....	80
Tabela 18 - Situação hidráulica dos nós da Rede Atual através do EPANET para o nível de água mínimo no reservatório.....	81
Tabela 19 - Situação hidráulica dos nós da Rede Atual através do EPANET para o nível de água máximo no reservatório.....	82
Tabela 20 - Custo dos insumos.....	85
Tabela 21 - Custo dos serviços.....	86

Tabela 22 - Custo unitário em função do diâmetro do tubo.....	89
Tabela 23 - Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede - Solução inicial da primeira etapa..	92
Tabela 24 - Restrições - Solução inicial da primeira etapa.....	93
Tabela 25 - Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede - Solução otimizada da primeira etapa.....	96
Tabela 26 - Restrições - Solução otimizada da primeira etapa.....	97
Tabela 27 - Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede - Solução inicial da segunda etapa..	99
Tabela 28 - Restrições - Solução inicial da segunda etapa.....	100
Tabela 29 - Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede - Solução definitiva.....	102
Tabela 30 - Restrições - Solução definitiva.....	103
Tabela 31 - Resultados hidráulicos dos trechos da Rede proposta através do LENHSNET.....	108
Tabela 32 - Resultados hidráulicos dos nós da Rede Proposta através do LENHSNET.....	109
Tabela 33 - Comparativo entre as pressões nos nós da Rede Proposta associado aos nós da Rede Atual.....	112

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	15
2.1.1	Rede de distribuição de água.....	16
2.1.2	Condições hidráulicas.....	18
2.1.3	Métodos de simulação hidráulica.....	20
2.1.3.1	Método de Pimentel Gomes.....	20
2.1.3.2	Método PNL 2000.....	24
2.1.3.3	Simulador Hidráulico: EPANET.....	27
3	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO CAMPUS RECIFE/UFPE.....	29
3.1	CAPTAÇÃO.....	30
3.2	TRATAMENTO.....	32
3.3	RESERVATÓRIO.....	37
3.4	OPERAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO CAMPUS RECIFE/UFPE.....	38
4	ESTIMATIVA DE CONSUMO.....	39
4.1	AS EDIFICAÇÕES QUE CONSTITUEM O CAMPUS RECIFE/UFPE.....	39
4.2	OS USOS DE ÁGUA NO CAMPUS RECIFE/UFPE.....	41
4.3	CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ÁGUA NO CAMPUS RECIFE/UFPE.....	45
5	DEFINIÇÃO DA REDE ATUAL E DA REDE PROPOSTA.....	58
5.1	PLANTA DA REDE ATUAL E DA REDE PROPOSTA.....	58
5.2	DEFINIÇÃO DO CONSUMO E DA COTA TOPOGRÁFICA NOS NÓS DA REDE ATUAL E DA REDE PROPOSTA.....	61
5.3	COMPRIMENTOS E DIÂMETROS DOS TRECHOS.....	66
6	ANÁLISE HIDRÁULICA DA REDE ATUAL.....	69
6.1	MÉTODO PIMENTEL GOMES.....	69
6.2	SIMULADOR HIDRÁULICO: EPANET.....	76
7	DIMENSIONAMENTO DA REDE PROPOSTA.....	84
7.1	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UMA REDE.....	84
7.2	MÉTODO PNL 2000.....	86
7.3	MÉTODO LENHSNET - EPANET.....	104
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	112
8.1	CONCLUSÕES.....	112
8.2	RECOMENDAÇÕES.....	114
	REFERÊNCIAS.....	116
	ANEXOS.....	118

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros povos pré-históricos eram nômades, os quais se deslocavam constantemente em busca de alimentação, que ocorria através da pesca e da caça. Por volta de 4.000 a.C., o homem adotou a agricultura e a pecuária, passando a viver de modo sedentário, próximo de rios, devido a necessidade de água e a fertilidade do solo. A Mesopotâmia foi a primeira civilização que apresentou essas características, localizada entre os rios Tigres e Eufrates, no Oriente Médio, onde atualmente localiza-se o Iraque. Dessa forma, percebeu-se, então, desde os primórdios, a essencialidade da água para a sobrevivência humana, bem como para o crescimento das civilizações.

Ao longo da história da humanidade, o progresso nos campos tecnológico e científico permitiu a criação de sistemas complexos com vistas ao abastecimento das cidades, denominados de sistemas de abastecimento de água. A partir desses avanços passou-se a utilizar a água para a realização de abastecimentos industriais e públicos, geração de energia elétrica, irrigação, navegação e lazer.

Os sistemas de abastecimento de água são concebidos através da captação de água bruta (não tratada) em mananciais, a qual é transportada através de adutoras para uma Estação de Tratamento de Água (ETA), sendo tratada a partir de procedimentos físicos, químicos e biológicos e, por fim, distribuída para os consumidores através de redes de distribuição.

A rede de distribuição de água é o conjunto de tubulações, conexões e peças especiais, destinada a conduzir água em quantidade, qualidade e pressão adequadas para o abastecimento nos diversos pontos de consumo da área a ser abastecida. Para o planejamento e dimensionamento das redes faz-se necessária a utilização de simuladores hidráulicos em escoamento permanente, proporcionando como resposta as variáveis hidráulicas, as quais devem respeitar limites para o bom funcionamento hidráulico da rede. Obtém-se, então, a velocidade média, o diâmetro e a perda de carga nas tubulações, bem como as pressões disponíveis em cada nó, sendo este o ponto de conexão entre duas ou mais tubulações, em detrimento da demanda de água nos pontos de consumo.

O planejamento e o dimensionamento de redes dependem, fundamentalmente, do consumo de água da população a ser beneficiada, sendo este consumo a quantidade de água utilizada pelos consumidores distribuída no tempo. Estabelecer tal consumo de forma fiel à realidade é uma das grandes dificuldades nos projetos de rede de distribuição, principalmente em edificações com diferentes usos, distribuídos de maneira aleatória no tempo e no espaço.

Segundo Tomaz (1999), devido à falta de dados de consumo no Brasil, a previsão de consumo de água em prédios tem sido um grande problema enfrentado por profissionais da área.

A infraestrutura de distribuição representa mais de 50% do custo total em um sistema de abastecimento de água, segundo Araújo (2010). Nesse contexto, é imprescindível para qualquer projeto de engenharia uma análise econômica e financeira. Os custos de uma rede podem ser divididos em custos de investimento e variáveis. O primeiro diz respeito aos custos das instalações hidráulicas (insumos), juntamente com os gastos de implantação que correspondem às obras civis de escavação e montagem dos tubos. O segundo está relacionado com os gastos de energia das estações elevatórias.

Segundo Gomes (2009), o dimensionamento hidráulico de sistemas de tubulações é hidráulicamente indeterminado dependendo das alternativas admitidas pelo projetista, existindo, então, inúmeras soluções de cálculo. Com isso, existirá apenas uma alternativa de custo mínimo, que corresponderá a uma ótima solução em termos econômicos.

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) *Campus* Recife, objeto de estudo do presente trabalho, possui um sistema de abastecimento de água próprio, além de ser abastecida pela Companhia de Saneamento Pernambucana (COMPESA) e caminhões pipa, atendendo a uma população de aproximadamente 30.000 pessoas com múltiplos usos.

Neste trabalho, a rede de distribuição de água do *campus*, denominada de Rede Atual, foi analisada hidráulicamente pelo Método Pimentel Gomes (MPG) e pelo Simulador Hidráulico EPANET. Como se trata de uma análise e por ser uma rede já implantada, os custos não são levados em consideração. Além disso, será considerada apenas a oferta de água pelo sistema de abastecimento de água próprio do *campus*, não sendo considerado o abastecimento pela COMPESA e pelos caminhões pipa. Por conseguinte, faz-se necessária a simulação hidráulica para essa condição.

Além da análise da rede já implantada, neste trabalho foi também realizado o dimensionamento de uma nova rede de distribuição, denominada de Rede Proposta, levando-se em consideração os custos de implantação e operação de uma rede, sendo para isso utilizado o Método PNL 2000 e a metodologia LENHSNET do EPANET.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho hidráulico da rede de distribuição do sistema de abastecimento de água do *campus* Recife/UFPE.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são: (i) estimar o consumo de água atual nos diferentes prédios que constituem o *campus* Recife/UFPE; (ii) propor uma nova rede de distribuição para o sistema de abastecimento de água do *campus* Recife/UFPE; e (iii) avaliar a aplicação dos métodos de simulação hidráulica: “EPANET”; “Pimentel Gomes”; e “PNL 2000” no desempenho da rede de distribuição de água do *campus* Recife/UFPE.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de abastecimento de água é definido como a instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável por meio de rede de distribuição (PORTARIA MINISTÉRIO DA SAÚDE nº 2914,2011, p.2).

Logo, um sistema de abastecimento de água é estabelecido por um conjunto de etapas que se inicia na captação da água bruta (não tratada) em um manancial, realizando-se o seu transporte (adução) à estação de tratamento de água, de onde a água tratada é transportada para um reservatório e, por fim, a rede de distribuição de água é responsável por abastecer um determinado grupo de pessoas.

Segundo Heller (2010), um sistema de abastecimento de água em uma determinada região deve garantir a todas as pessoas o mesmo nível de qualidade em seu abastecimento, com pressões disponíveis adequadas, independentemente de qualquer condição adversa ao sistema, com o intuito de assegurar:

- Água canalizada até o ponto de utilização;
- Fornecimento ininterrupto da água;
- Quantidade de água superior ao mínimo para atendimento de suas necessidades básicas;
- Qualidade da água de acordo com os padrões de potabilidade.

Heller (2010) descreve as etapas de um sistema de abastecimento de água da seguinte forma:

- Manancial: é a fonte de água responsável por abastecer o sistema de abastecimento de água. São classificados em subterrâneo freático ou não confinado, subterrâneo confinado, superficial com ou sem acumulação e água de chuva;
- Captação: é a estrutura responsável por extrair a água do manancial e transportá-la para uma Estação de Tratamento (ETA) ou direto para o ponto de consumo, fazendo-se necessário o processo de desinfecção, dependendo da qualidade da água do manancial escolhido;

- Adução: corresponde ao transporte de água entre unidades constituintes do sistema de abastecimento (captação, tratamento, estações elevatórias, reservação e rede de distribuição) através de tubulações. A adução é classificada, segundo a qualidade da água, como adutora de água bruta ou de água tratada e, em função das condições hidráulicas, pode ser classificada em conduto livre, em conduto forçado por gravidade ou em conduto forçado por recalque;
- Estações elevatórias: estão relacionadas com as características do relevo da região, pois possuem o intuito de atingir o abastecimento de regiões mais elevadas. São classificadas a partir da água que recalcam (bruta ou tratada) e o tipo de bomba;
- Tratamento: etapa relacionada ao tratamento da água através de processos físicos e químicos, tornando a água potável. Segue os limites de padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914 (2011), os quais são obtidos através de ensaios em laboratórios;
- Reservatórios: responsáveis por controlar a vazão de produção (oriunda da captação-adução-tratamento, geralmente, sendo fixa ou tem poucas variações) e de consumo (varia ao longo das horas do dia e ao longo dos dias do ano). Podem ser apoiados, elevados, semienterrados e enterrados a depender de sua posição no terreno, ou a sua posição em relação à rede de distribuição (de montante ou de jusante).

A última etapa, a rede de distribuição, será descrita, a seguir, no item 2.1.1.

2.1.1 Redes de distribuição de água

Rede de distribuição de água é a última etapa do sistema de abastecimento até chegar ao consumidor, sendo constituída por elementos hidráulicos, tais como tubulações, reservatórios, conexões, bombas e válvulas.

A denominação rede de distribuição provém da forma como as suas tubulações são instaladas, formando rede de condutos interligados entre si e possibilitando diversas derivações para a distribuição da água potável aos imóveis abastecidos (ARAÚJO,2010, p.615).

Ainda segundo Araújo (2010), a importância da rede de distribuição é caracterizada por garantir que a água chegue ao consumidor sem deterioração de sua qualidade, com quantidade

e pressão estabelecidas pela boa técnica e pelas normas oficiais. Além de que, a essa etapa correspondem mais de 50% do custo de implantação do sistema de abastecimento.

Segundo Gomes (2009), para o dimensionamento de redes de distribuição é necessário introduzir ao leitor conceitos que facilitem a compreensão dos métodos aplicados, tais conceitos podem ser vistos abaixo:

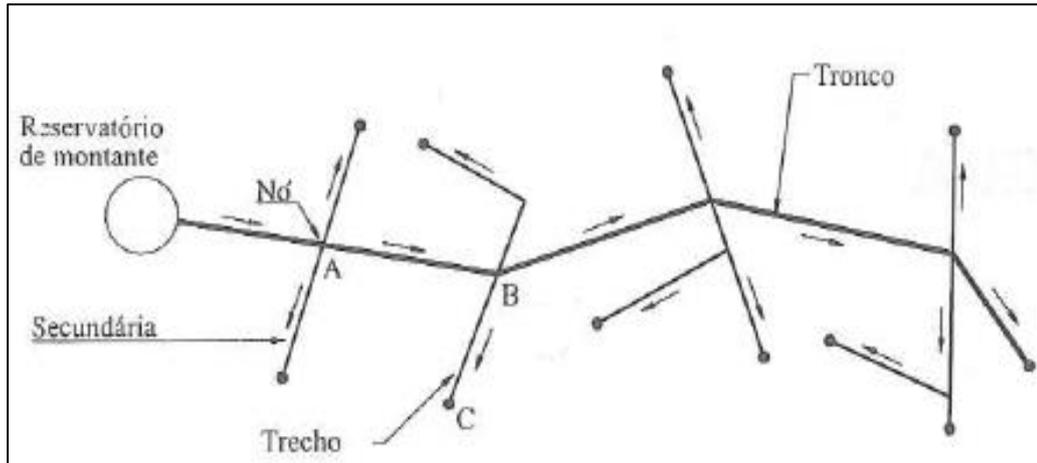
- Trecho: São as tubulações que formam a rede de distribuição, onde a vazão permanece constante;
- Nó: Ponto de conexão entre dois ou mais trechos. Nos nós se produzem modificações na vazão circulante;
- Conduitos principais (ou troncos): Tubulações de maior diâmetro que abastecem as tubulações secundárias;
- Conduitos secundários: Tubulações de menor diâmetro que abastecem os pontos de consumo da rede;
- Traçado da Rede: Formato que define a distribuição das tubulações e sua respectiva topografia;
- Alimentação ou cabeceira da rede: Ponto em que se inicia a rede de distribuição, podendo ser representado por um reservatório, manancial ou estação de tratamento de água.

Segundo Porto (2006), a partir do traçado dos conduitos principais e do sentido de escoamento da vazão nos trechos da rede, esta pode ser classificada como ramificada (figura 1), malhada (figura 2) ou mista que se caracteriza pela junção das duas primeiras. A primeira tem como principal característica o fato de ser conhecido o sentido do escoamento em cada trecho, além de possuir um conduto principal que abastece os conduitos secundários de forma direta. A rede malhada é constituída por tubulações troncos que formam anéis, os quais tornam possível a mudança de sentido escoamento da vazão, de acordo com a demanda solicitada.

As vantagens dentre os dois tipos de rede citadas anteriormente são para a rede ramificada, segundo Gomes (2009, p.34):

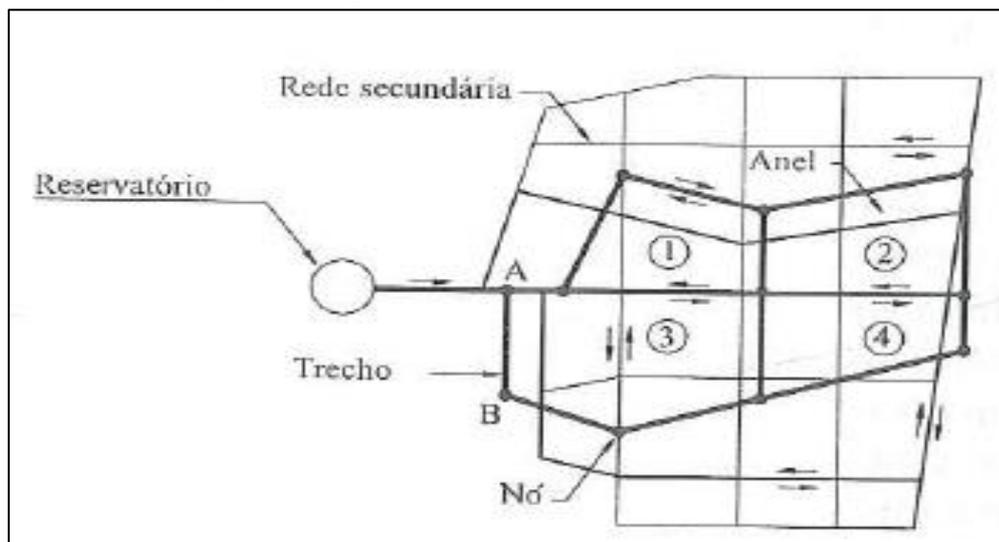
A principal vantagem desta rede é que o seu custo de implantação é mais barato que o de uma rede malhada de mesmo porte. No entanto, as redes ramificadas apresentam inconvenientes na manutenção, visto que para se executar o reparo em um trecho, todo o ramal a jusante ficará sem água. Desta forma, o emprego deste tipo de rede tem sido descartado em locais onde o abastecimento de água não deve sofrer paralisação [...].

Figura 1 - Esquema de uma rede ramificada



Fonte: Hidráulica Básica - Porto (2006)

Figura 2 - Esquema de uma rede malhada com 4 anéis



Fonte: Hidráulica Básica - Porto (2006)

2.1.2 Condições Hidráulicas

- Pressões Mínimas e Máximas:

A magnitude das pressões hidráulicas efetivas que irão atuar na rede distribuição exerce um papel fundamental no projeto de abastecimento urbano de água, repercutindo, significativamente, no custo de implantação e operação do sistema como também na qualidade do serviço (GOMES, 2009, p. 36).

Para Gomes (2009, p.36): “Deve haver um limite inferior das pressões de serviço, para garantir que a água chegue aos pontos de consumo com uma carga suficiente para vencer as perdas nas instalações prediais e alcançar as torneiras com vazão adequada”.

A norma da ABNT, “NBR 12218 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público (2017)”, estabelece a pressão dinâmica mínima nas tubulações distribuidoras o valor de 100 kPa, ou aproximadamente 10 metros de coluna d’água.

Conforme Gomes (2009), deve existir também um limite para a pressão máxima atuante na rede, pois para altas pressões há um aumento no custo global do sistema, já que isto acarreta em tubulações com maiores pressões nominais, as quais são mais caras, além do aumento da possibilidade de ocorrer rupturas nas tubulações, devido ao aumento das pressões dinâmicas e estáticas, aumento das vazões nos pontos de consumo e das perdas reais, já que a vazão nas infiltrações ou ligações entre os tubos cresce com o aumento da pressão disponível.

A norma da ABNT, “NBR 12218 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público (2017)”, estabelece para a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras o valor de 500 kPa, ou aproximadamente 50 metros de coluna d’água.

No Estado de Pernambuco, a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) por meio de uma norma interna estabelece a pressão dinâmica mínima de 6 metros de coluna d’água e a pressão estática máxima de 30 metros de coluna d’água.

- Limites de velocidade nas tubulações:

Segundo Gomes (2009, p.37):

[...]. Para o transporte por um conduto de uma determinada vazão (Q), quanto maior for a velocidade de circulação da água, menor será o diâmetro necessário do tubo ($Q = A V$), o que conduz, a princípio, à seleção de uma tubulação de menor custo. No entanto, nem sempre é assim, já que o acréscimo de velocidade acarreta, além de maior perda de carga no transporte, um maior risco de danos às tubulações. Os problemas produzidos pelos golpes de aríete nas tubulações, os desgastes dos tubos, dos elementos de conexão e das peças especiais, as vibrações na rede, as deficiências nos apoios dos tubos, entre outros [...].

“A velocidade mínima é recomendada para que haja uma permanente circulação da água na rede como forma de não prejudicar a qualidade da água tratada que chegará aos consumidores.” (GOMES, 2009, p.38).

A NBR 12218 (2017) prescreve para as velocidades mínimas e máximas numa tubulação os seguintes valores 0,6 m/s e 3,5 m/s, respectivamente.

- Dimensionamento dos condutos:

“Nas redes de abastecimento de água recomenda-se adotar um diâmetro mínimo para as tubulações a fim de evitar que haja perdas de carga excessivas no sistema, que possam comprometer a uniformidade de pressões e vazões disponíveis para os usuários.” (GOMES, 2009, p.39).

A norma da ABNT, NBR 12218 (2017), estabelece um diâmetro mínimo de 50 mm para os diâmetros da rede urbana. Ainda, o cálculo da perda de carga na tubulação deve ser realizado pela fórmula Universal, considerando o envelhecimento das tubulações na rede.

A norma ainda estabelece que o dimensionamento das redes malhadas deve ser realizado por métodos de cálculo iterativos, que garantam resíduos máximos de vazão e de carga piezométrica de 0,1 L/s e 0,5 kPa, respectivamente.

2.1.3 Métodos de simulação hidráulica

2.1.3.1 Método Pimentel Gomes (MPG)

O Método Pimentel Gomes tem por objetivo o dimensionamento de redes de distribuição de água (malhadas e ramificadas) sem levar em consideração a busca da alternativa de projeto que minimize o custo total do sistema (investimento mais operação). Trata-se de um método que equilibra hidráulicamente a rede de abastecimento, em escoamento permanente, proporcionando, como resposta, os diâmetros dos trechos, as pressões disponíveis nos nós e a altura manométrica na alimentação do sistema de distribuição de água [...] (GOMES, 2009, p.103).

Ainda segundo Gomes (2009), o escoamento da água em uma rede de abastecimento é hidráulicamente indeterminado, admitindo infinitas soluções, pois depende da altura manométrica que alimentará a rede e as vazões de cada trecho. Com isso, cabe ao projetista optar pela melhor solução hidráulica, sem que o custo final de implantação e operação sejam extrapolados.

Conforme Gomes (2009): O método “Pimentel Gomes” é realizado em duas fases através de procedimentos de pesquisa operacional buscando determinar as variáveis hidráulicas da rede de abastecimento de água. A seguir serão apresentadas as duas fases necessárias para resolução do método:

Na primeira, faz-se um pré-dimensionamento do sistema, no qual os diâmetros, as vazões nos trechos e a altura manométrica de alimentação são

variáveis contínuas a serem determinadas pelo processo de busca de uma solução hidráulicamente viável; ou seja, que cumpra as leis de conservação de massa nos nós e de conservação de energia nos anéis e que atenda às demais restrições hidráulicas impostas ao dimensionamento. Os resultados das variáveis obtidas nesta etapa atendem às restrições hidráulicas impostas ao dimensionamento, resultando numa alternativa de cálculo que necessita ser ajustada, já que os valores contínuos obtidos para os diâmetros dos trechos não coincidem com os valores nominais disponíveis no Mercado. Portanto, deve-se executar uma segunda etapa de cálculo para ajustar a solução obtida inicialmente. Na segunda etapa os valores dos diâmetros encontrados inicialmente para os trechos devem ser aproximados para os valores nominais vizinhos. Sendo assim, os diâmetros não mais serão variáveis na segunda etapa de busca de uma solução para o dimensionamento da rede, que atenda a todas as restrições impostas. As vazões nos trechos da rede continuam como variáveis (na segunda etapa), enquanto que a altura manométrica de alimentação poderá ser fixa ou variável, dependendo das simulações a serem efetuadas pelo projetista (GOMES, 2009, p.103).

A metodologia empregada utiliza um processo de busca, para a determinação das variáveis do problema, através do modelo matemático da programação não linear, atendendo todas as restrições hidráulicas de fluxo de água em regime permanente nas redes de distribuição. A solução do processo de cálculo do modelo da programação não linear é obtida através do algoritmo do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG2), desenvolvido por Lasdon e Warren (1984). No método Pimentel Gomes, o modelo da programação não linear, a partir do GRG2, é formulado e processado através da ferramenta *solver* da planilha eletrônica Excel da Microsoft (GOMES, 2009, p.104).

O modelo de programação não linear consiste em resolver um problema de otimização, o qual é estabelecido por sistemas de equações e restrições em função de variáveis reais, as quais são desconhecidas. As equações são não lineares e dependentes de variáveis aleatórias e não previsíveis. Com isso, opera-se no intuito de obter a melhor condição hidráulica do sistema, buscando maximizar ou minimizar uma função objetivo, obedecendo a leis e restrições impostas.

No cálculo da Rede, as vazões, os diâmetros e a altura manométrica de alimentação são variáveis a serem determinadas pelo processo de busca, submetidas às restrições hidráulicas inerentes ao escoamento permanente em redes malhadas de distribuição. As restrições a serem necessariamente obedecidas dizem respeito ao atendimento hidráulico do sistema de abastecimento (a água deve chegar aos nós da rede com pressões e vazões suficientes) e ao atendimento das leis de fluxo em redes malhadas (continuidade nos nós e conservação de energia nos anéis) (GOMES,2009, p.104).

Além das restrições antes mencionadas, o modelo pode introduzir outras restrições, não necessariamente obrigatórias, mas que impõem determinadas condições de operação para as redes, tais como: diâmetros mínimos e máximos para os trechos, pressões mínimas e máximas para os nós, velocidades mínimas e máximas de escoamento de água nos trechos, como também a restrição relativa ao valor da altura manométrica da alimentação

(seja através de bombeamento direto, seja através de reservatório de alimentação) (GOMES, 2009, p.104).

Segundo Gomes (2009), as restrições hidráulicas são:

a) Pressões mínimas e máximas nos nós:

As pressões nos nós da rede devem se situar dentro de um intervalo de valores que garanta o bom funcionamento do sistema de abastecimento.

$$Z_{ki} \leq Z - \sum_{c=1}^k (h_f)_c \leq Z_{ks} \quad (1)$$

Onde:

Z = cota piezométrica de alimentação da rede;

Z_{ki} = cota piezométrica mínima requerida no nó "k";

Z_{ks} = cota piezométrica máxima requerida no nó "k";

$\sum (h_f)_c$ = soma das perdas de carga nos trechos pertencentes ao percurso (artéria) compreendido entre a alimentação e o nó "k".

b) Conservação de energia dos anéis:

Essa restrição garante que a soma algébrica das perdas de carga dos trechos de um anel seja nula (Figura 3):

$$\sum_{i=1}^{z_k} (h_f)_i = 0 \quad (2)$$

Onde:

- $(h_f)_i$ = perda de carga no trecho i;
- z_k = número de trechos no anel k em questão;

c) Continuidade nos nós:

A soma algébrica das vazões nos nós deve ser igual a zero, ou seja, as vazões que entram devem ser iguais às que saem (Figura 3):

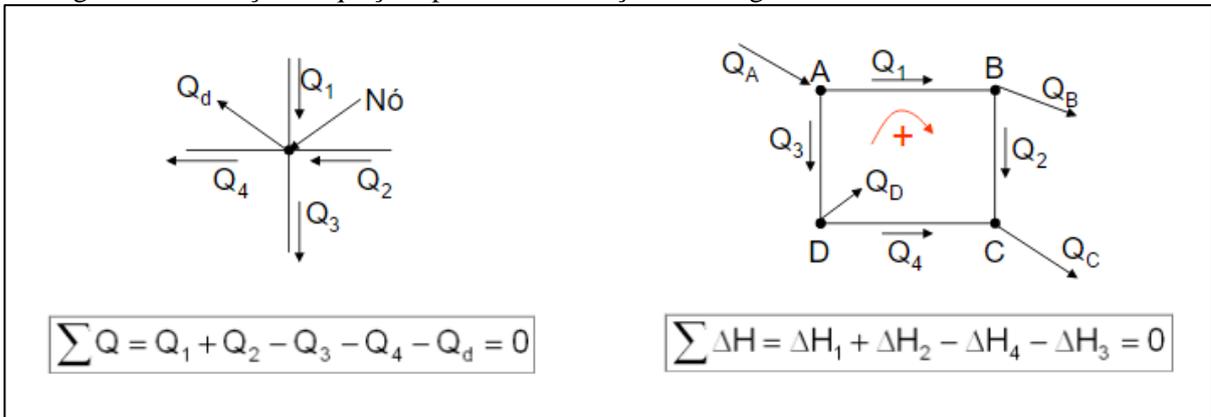
$$\sum_{i=1}^{k_n} Q_{entra\ i} - \sum_{j=1}^{q_n} Q_{sai\ j} - d_n = 0 \quad (3)$$

Onde:

- $Q_{entra\ i}$ = vazões dos trechos i que chegam ao nó n;
- $Q_{sai\ j}$ = vazões dos trechos j que deixam do nó n;
- d_n = demanda concentrada nesse nó;
- k_n = número de trechos com vazões chegando ao nó n;

- q_n = número de trechos com vazões saindo do nó n .

Figura 3 - Ilustração e equações para a conservação de energia no anel e continuidades nos nós



Fonte: Hidráulica Básica - Porto (2006)

d) Velocidades mínima e máxima nos trechos:

A rede deve funcionar com velocidades máximas de fluxos limitadas, para evitar a ocorrência de golpes de aríete, vibrações, como o desgaste prematuro do sistema. As velocidades mínimas são impostas como garantia da qualidade da água do abastecimento.

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad (4)$$

Onde:

- V_i = velocidade média no trecho i ;
- V_{\max} = velocidade máxima admissível;
- V_{\min} = velocidade mínima recomendável.

e) Diâmetros mínimos e máximos nos trechos:

$$D_{\min} \leq D_i \leq D_{\max} \quad (5)$$

Onde:

- D_i = diâmetro do trecho i ;
- D_{\max} = diâmetro mínimo adotado;
- D_{\min} = diâmetro máximo estimado.

2.1.3.2 Método PNL 2000

Os métodos clássicos de dimensionamento de redes pressurizadas, que não levam em conta a busca da solução mais econômica para o sistema de abastecimento, estão sendo substituídos pelos de otimização econômica, que utilizam técnicas de pesquisa operacional para alcançarem as soluções de mínimo custo dos sistemas de distribuição de água (GOMES, 2009, p.127). É evidente que o custo de implantação de uma rede de distribuição pressurizada de água é função dos diâmetros e pressões nominais das tubulações. Esses diâmetros, com suas pressões nominais, são determinados em função dos requerimentos hidráulicos (vazões e pressões requeridas nos pontos de consumo) e das características topológicas do sistema de abastecimento (traçado da rede e altimetria dos pontos de demanda e distribuição de água) (GOMES, 2009, p.127).

Segundo Gomes (2009, p.128), o método “PNL 2000” tem: “[...] como objetivo a obtenção da solução que proporcione o custo mínimo, de investimento mais operação, do sistema de distribuição de água. O método, que pode ser aplicado a redes malhadas e ramificadas, está baseado em técnicas de otimização econômica.”

O método “PNL 2000” também utiliza o modelo matemático de programação não linear em que as restrições (“a”, “b”, “c”, “d” e “e”) descritas no item 2.1.3 *Método Pimentel Gomes* devem ser consideradas na otimização do processo, além do Método Gradiente Reduzido Generalizado (GR2), desenvolvido por Lasdon et al (1984) que pode ser realizado utilizando o Excel da Microsoft através da ferramenta *solver*.

O dimensionamento das tubulações das redes de distribuição pode ser efetuado, considerando duas situações. Na primeira, a altura manométrica de alimentação é tida como conhecida, sendo um valor fixo do problema. No segundo caso esta altura é desconhecida, sendo considerada uma variável a mais a ser otimizada pelo dimensionamento. Assim, procura-se minimizar a soma dos custos de implantação da rede (tubos, peças, montagens etc) e de sua operação, que é representada pelo custo da energia de bombeamento (GOMES, 2009, p.129).

Os custos com a implantação da rede (tubulações e montagens), são denominados gastos fixos, ou de investimento, enquanto os custos com a operação (gastos energéticos) são variáveis e incidem ao longo do alcance do projeto. Como estes gastos incidem em tempos diferentes, faz-se necessário converter, financeiramente, os gastos fixos em variáveis ou variáveis em fixos. Esta última alternativa foi a adotada no presente método. Para tanto, faz-se necessário atualizar o custo de operação mediante a introdução, na função objetivo, do coeficiente de atualização “Fa” (GOMES, 2009, p. 129).

O método, geralmente, é realizado em duas etapas, porém ao final da segunda etapa, se não for obtido o equilíbrio hidráulico da rede, faz-se necessário a introdução de uma terceira etapa de cálculo. Tais etapas são descritas, a seguir:

1) Primeira Etapa:

A função objetivo a ser minimizada no processo de otimização da rede através da ferramenta *solver* é: “A equação que representa o custo total do sistema de abastecimento, que compreende o custo de implantação da rede mais o de operação da estação de bombeamento, é expressa por:” (GOMES,2009, p.130).

$$C(D_i, Q_i, H) = \sum_{i=1}^m L_i \cdot P(D_i) + C_h \cdot H \cdot F_a \quad (6)$$

Onde:

- $C(D_i, Q_i, H)$ = Custo do sistema de abastecimento, em função dos diâmetros D_i e vazões Q_i dos trechos da rede e da altura de bombeamento H ;
- L_i = Comprimento do trecho i ;
- $P(D_i)$ = função que relaciona o preço unitário de implantação da tubulação do trecho i com o diâmetro D_i ;
- m = número de trechos da rede;
- F_a = fator de atualização do custo de operação;
- C_h = custo de operação da estação de bombeamento, por unidade de altura manométrica;
- H = Altura manométrica de bombeamento.

O custo de operação da estação de bombeamento, por unidade de altura manométrica, “ C_h ”, é obtido através da equação abaixo:

$$C_h = \frac{9,8 \cdot Q}{n} \cdot N_b \cdot p \quad (7)$$

Onde:

- Q = Vazão em m^3/s ;
- n = rendimento esperado do conjunto motor-bomba;
- N_b = número de horas anuais de utilização da estação de bombeamento;
- p = custo do kWh.

O fator de atualização do custo de operação, “ F_a ” é obtido mediante a equação seguinte:

$$Fa = \left[\frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \right] \times \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (8)$$

Onde:

- e = aumento de energia anual, em decimal;
- i = taxa de juro anual, em decimal;
- n = número de anos correspondente à vida útil das instalações ou ao alcance do projeto.

Após o estabelecimento da função objetivo e das equações de restrição executa-se o processo de otimização, correspondente à primeira etapa do método de dimensionamento do sistema de distribuição de água. O método dará como resposta o diâmetro e a vazão de cada trecho (GOMES,2009, p.131).

Os valores das variáveis obtidas (todas contínuas) terão de proporcionar um equilíbrio hidráulico à rede de abastecimento (considerando uma situação estática do escoamento permanente) e terão também de atender a todas as restrições impostas ao sistema de abastecimento. Além das variáveis do modelo, o método também indica, como resposta da primeira etapa, o custo ótimo (teórico) do sistema de abastecimento. A resposta obtida na primeira etapa do método não é uma solução factível, devido que os valores dos diâmetros encontrados não coincidem com os valores dos calibres comerciais (valores internos), sendo necessário executar uma segunda etapa que servirá de ajuste à solução obtida inicialmente (GOMES, 2009, p.131).

2) Segunda Etapa

A partir dos resultados obtidos no pré-dimensionamento, executa-se a segunda etapa do método. Assim, para cada trecho, o valor do diâmetro contínuo, obtido na primeira etapa, é aproximado para o valor do diâmetro interno comercial mais próximo (GOMES, 2009, p.132).

Com a substituição dos diâmetros dos trechos a rede ficará desequilibrada hidráulicamente, já que o sistema deixará de atender algumas restrições, principalmente as que dizem respeito ao equilíbrio de perdas de carga nos anéis. Neste caso haverá a necessidade de se processar novamente o equilíbrio hidráulico do sistema de abastecimento. Este novo processamento do modelo não buscará a minimização do custo do sistema e sim o equilíbrio hidráulico da solução recém ajustada. Neste novo processamento os diâmetros dos trechos não serão mais variáveis no processo de otimização. Caso seja alcançado o equilíbrio hidráulico da rede, com o novo processamento do modelo, o dimensionamento econômico do sistema de abastecimento estará terminado e os valores dos diâmetros que foram fixados na segunda etapa serão os definitivos da rede (GOMES, 2009, p.132).

3) Terceira etapa

Com a nova composição dos diâmetros comerciais da rede, não necessariamente se alcança o equilíbrio hidráulico do sistema, devido à necessidade de se obter o equilíbrio das perdas de carga nos anéis com os valores discretos dos diâmetros dos trechos (falta flexibilidade de ajuste das

restrições de conservação de energia nos anéis com diâmetros fixos). Caso este equilíbrio hidráulico não seja alcançado, após o processamento do modelo de busca de uma solução viável, executa-se um novo ajuste. Para fazer o novo ajuste deve-se diagnosticar qual foi ou quais foram as restrições hidráulicas que não foram atendidas (GOMES, 2009, p.132).

Segundo Gomes (2009), geralmente, a restrição hidráulica não atendida é a equação da conservação de energia nos anéis. Com isso, no anel que não for obtido o equilíbrio das perdas de carga dos trechos deve-se adotar dois diâmetros para os trechos não comum a dois anéis vizinhos. O trecho será dividido por dois diâmetros comerciais cujos correspondentes comprimentos serão variáveis a serem determinadas no processo de busca da solução hidraulicamente viável. Para a solução do sistema, a função objetivo continuará a mesma, e as variáveis serão os comprimentos do sub trechos “ l_{ij} ” e as vazões dos trechos da rede.

Por fim, duas novas restrições devem ser consideradas nessa nova fase, além das restrições definidas no item anterior:

f) Comprimento dos sub trechos:

$$\sum_{j=1}^2 l_{ij} = L_i \quad (9)$$

g) Não negatividade dos comprimentos dos sub trechos:

$$l_{ij} \geq 0 \quad (10)$$

2.1.3.3 Simulador Hidráulico: EPANET

Segundo Gomes (2009), houve um crescimento no surgimento de ferramentas computacionais que simulam a operação de um sistema de abastecimento de água, tais ferramentas são simulações hidráulicas que a partir das leis físicas, as quais regem o escoamento de um fluido são, atualmente, de grande importância para um projeto, operação e ampliação dos sistemas de abastecimento de água.

“Dentre os modelos hidráulicos de simulação e análises já desenvolvidos, um se destaca por sua qualidade e pela quantidade de usuários existentes em muitos países. Trata-se do EPANET” (ROSSMAN, 2008 apud GOMES, 2009, p.185). O EPANET foi desenvolvido pela agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency - EPA).

A versão em português do Brasil foi traduzida pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, da Universidade Federal da Paraíba – LENHS UFPB.

Conforme Gomes (2009, p. 186):

O EPANET é um programa computacional que permite simular o comportamento hidráulico de um sistema pressurizado de distribuição de água, ao longo do tempo. O sistema pode ser composto por uma rede de tubulações (malhada ou ramificada), estações de bombeamento, diversos tipos de válvulas e reservatórios de nível fixo e variável.

Para o Manual do Usuário EPANET 2.0 Brasil (2009), O EPANET é um *software* livre em que se calcula a vazão em cada trecho, a pressão nos nós, o nível da água em cada reservatório, a concentração de elementos químicos e a perda de energia por atrito podendo ser calculada através das equações de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning.

O LENHS UFPB produziu um algoritmo, titulado de LENHSNET, o qual foi introduzido no código fonte do programa EPANET. Tal metodologia representa uma poderosa ferramenta para o dimensionamento otimizado de redes de distribuição em detrimento do controle das condições hidráulicas pré-estabelecidas e dos custos de implantação e operação.

3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO *CAMPUS* RECIFE/UFPE

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) *campus* Recife (Figura 4) é uma instituição de ensino superior pública federal, localizada no Brasil, em Recife-PE, no bairro Cidade Universitária e é frequentada diariamente por aproximadamente 30 mil pessoas.

Devido a essa alta população é necessário um abastecimento de água contínuo para atender toda essa demanda populacional. O abastecimento de água no *campus* Recife é realizado por meio de um sistema de abastecimento próprio (captação, tratamento e distribuição), e complementado pelo sistema de abastecimento da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e, ainda, por caminhões pipa.

Nesta seção foram descritos a captação, o tratamento e o reservatório do sistema de abastecimento do *campus*. Este levantamento foi realizado através de visitas técnicas que ocorreram nos anos de 2016 e 2017 pelo Projeto de Extensão “Apoio Técnico ao Sistema de Abastecimento de água do *campus* Recife/UFPE”, coordenado pelo Professor Paulo Tadeu Riberio de Gusmão, do qual participam os bolsistas Vitor Barbosa Melo e Adson Ferreira Régis da Silva.

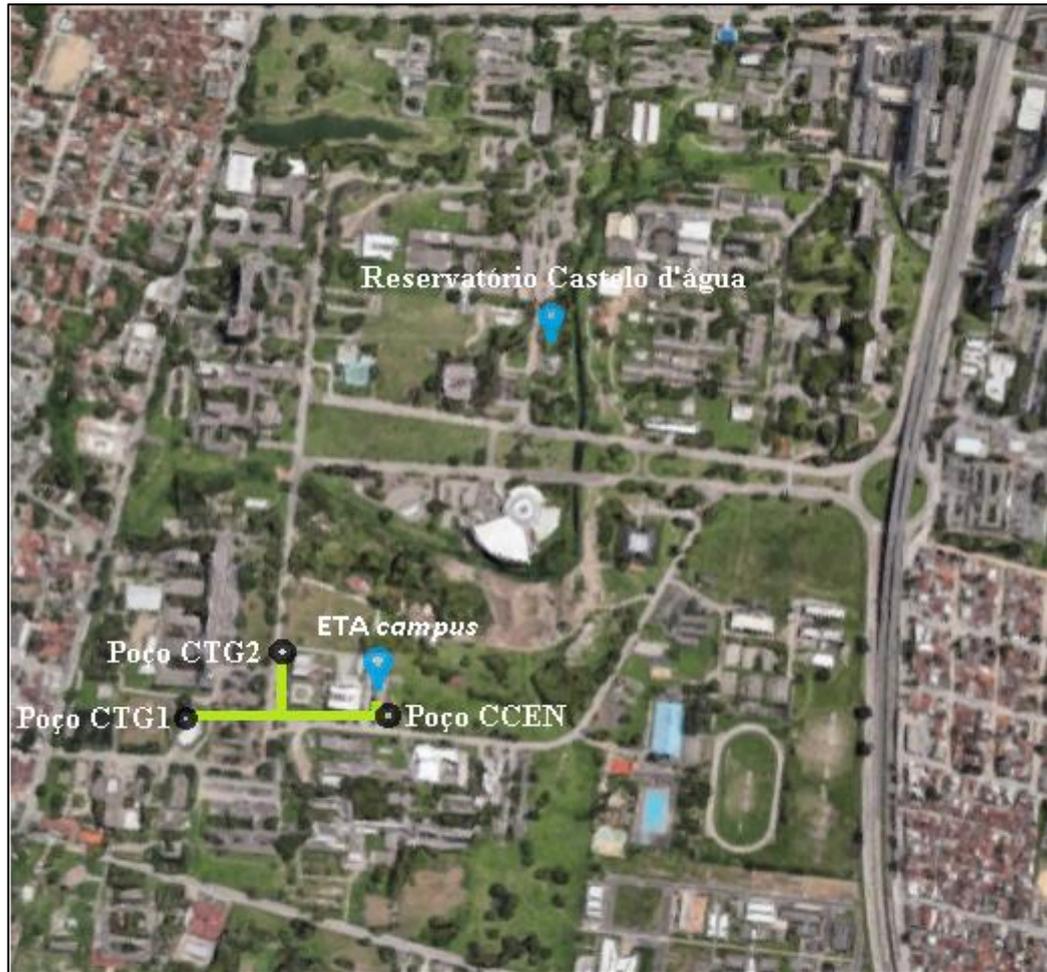
A planta da localização dos poços (Poço CTG1, Poço CTG2 e Poço CCEN), das adutoras de água bruta que seguem para a Estação de Tratamento de Água (ETA), a ETA *campus* e o reservatório principal, denominado de Castelo d’água pode ser visualizada na figura 5.

Figura 4 - Universidade Federal de Pernambuco *campus* Recife



Fonte: Folha de Pernambuco (2017)

Figura 5 - Planta de localização: captação, tratamento e reservatório



Fonte: Próprio Autor (2017)

Notas: Imagem retirada do Google Maps.

3.1 CAPTAÇÃO

No sistema de abastecimento de água da UFPE, a captação de água bruta é realizada em manancial profundo por meio de poços tubulares dotados bombas submersas. Ao todo são 8 poços instalados no *campus*, porém metade deles está desativada por causa da baixa vazão ou da má qualidade da água do manancial. Dos poços em atividade, um fornece água exclusivamente para o Hospital das Clínicas, onde existe uma pequena Estação de Tratamento (ETA) administrada por uma empresa contratada pela UFPE, porém este sistema não será analisado. Os demais poços fornecem água para a ETA *campus*, a qual é administrada pela UFPE, e foi objeto de estudo do presente trabalho.

Os 3 poços que estão funcionando normalmente são assim denominados: Poço CTG 1 (Figura 6), Poço CTG-2 (Figura 7) e Poço CCEN (Figura 8).

Figura 6 - Poço CTG 1



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 7 - Poço CTG 2



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 8 - Poço CCEN



Fonte: Próprio Autor (2017)

3.2 TRATAMENTO

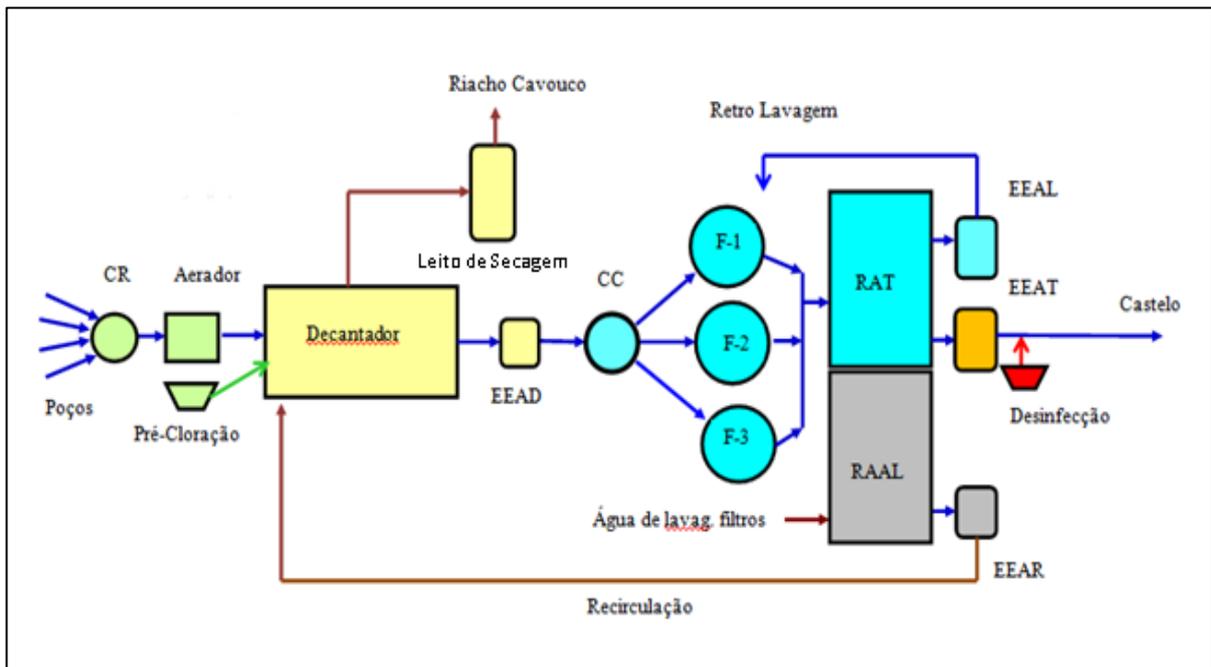
Após sua captação, a água bruta (não tratada) é transportada para a ETA *campus*, onde, a partir de processos físicos e químicos que serão descritos a seguir, torna-se potável seguindo os padrões de potabilidade especificados na Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (2011).

A água bruta é tratada visando reduzir, principalmente, a turbidez, a cor, a alta concentração de ferro e microrganismos patogênicos. Na Figura 9 é apresentado o fluxograma da ETA *campus*:

- 01 Caixa de Reunião (CR), figura 10: responsável por reunir a água bruta dos poços;
- 02 Torres de Aeração, figura 11: possibilita o contato da água com o ar, promovendo a oxidação e precipitação de compostos indesejáveis, principalmente do ferro;
- 01 Subunidade de pré-cloração: injeta-se hipoclorito de sódio para complementar a oxidação do ferro e do manganês no decantador;
- 01 Decantador Clássico, figura 12: a força de gravidade atua para separar as partículas de densidade maior que a da água, principalmente para depósito das partículas de ferro e manganês no fundo do decantador;
- 01 Estação Elevatória de Água Decantada (EEAD), figura 13: recalca a água decantada para a Câmara de Carga;
- 04 Leitões de secagem: desidratação do lodo sedimentado no decantador;
- 01 Câmara de Carga (CC): divide a água decantada em três espaços, que alimentam os filtros na próxima etapa;
- 03 Filtros de areia (F1, F2 e F3), figura 14: processo que remove as impurezas da água decantada, a partir da filtração rápida de fluxo descendente;
- 01 Reservatório de Água Tratada (RAT), figura 15: armazena a água filtrada;
- 01 Reservatório de Acumulação da Água de Lavagem (RAAL), figura 15: recebe os efluentes das retrolavagem dos filtros;
- 01 Tanque e 01 Dosador, figura 16: realizam o processo de desinfecção da água filtrada com hipoclorito de sódio com o intuito de tornar a água filtrada livre de microrganismos patogênicos.

- 01 Estação Elevatória de Água para Lavagem (EEAL), figura 17: recalca parte da água filtrada para retrolavagem dos filtros;
- 01 Estação Elevatória de Água para Recirculação (EEAR), figura 17: recirculação da água de retrolavagem (acumulada no reservatório RAAL) até o decantador;
- 01 Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT), figura 17: recalca a água tratada para o reservatório principal da rede da UFPE, o Castelo d'Água.

Figura 9 - Fluxograma da ETA *campus*



Fonte: Relatório do Projeto “Apoio Técnico ao Sistema de Abastecimento de Água do Campus Recife (2014)”

Figura 10 - Caixa de Reunião



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 11 - Torres de Aeração



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 12 - Decantador Clássico



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 13 - Estação Elevatória de Água Decantada



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 14 - Filtros de Fluxo Descendente



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 15 - Reservatório de Água de Tratada e Reservatório de Acumulação de Água de Lavagem



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 16 - Tanque e Dosador de Cloro



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 17 - Estação Elevatória de Água Tratada, de Recirculação e de Lavagem



Fonte: Próprio Autor (2017)

3.3 RESERVATÓRIO

O Reservatório Principal, denominado Castelo D'água (Figura 18), é o ponto de partida da rede de distribuição do Campus, distribuindo água tratada para os pontos de consumo. Tem extrema importância, pois estabelece o controle da produção de água tratada na ETA *campus* e fornece a cota piezométrica de início da rede.

Durante o consumo de água nas edificações universitárias, o nível de água do reservatório sofre variações ao longo do dia. Para o correto planejamento e dimensionamento da rede de distribuição os resultados hidráulicos devem ser calculados a partir do nível mínimo de abastecimento, sendo essa a situação mais desfavorável, apresentando menores pressões disponíveis nos nós. A cota piezométrica mínima é igual à 11,40 m, sendo a cota manométrica mínima igual a 8,00 m e a cota do terreno igual a 3,40 m, enquanto que a cota piezométrica máxima é igual a 17,40 m, sendo esta a soma da cota do terreno mais a cota manométrica máxima, que é igual à 14,00 m. Tais valores foram obtidos na Superintendência de Infraestrutura da Cidade Universitária.

Cada prédio da universidade possui um reservatório inferior com sistema recalque que fornece energia ao líquido, recalcando-o para o reservatório superior. Tais reservatórios são fundamentais, pois controlam o fornecimento da rede de distribuição, garantem uma maior reserva e promovem um ganho de pressão nos pontos de utilização das edificações do *campus*.

Figura 18 - Reservatório Castelo d'Água



Fonte: Próprio Autor (2017)

3.4 OPERAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO CAMPUS RECIFE/UFPE

Atualmente, devido a questões administrativas, a operação da ETA *campus* é realizada de segunda a sexta-feira, durante 12 horas por dia, de 7:00 até às 19:00 horas. Durante o período noturno em que a ETA não funciona, o consumo de água no *campus* diminui e, com isso, os reservatórios inferiores e superiores suprem as demandas nas edificações.

4. ESTIMATIVA DE CONSUMO

O consumo “é a quantidade de água utilizada pelos consumidores numa unidade de tempo” e está relacionado com vários fatores, os quais são inerentes a localidade, hábitos e cultura dos usuários, clima da região, perdas no sistema, pressão da rede distribuidora e a qualidade da água.

O *Campus* Recife/UFPE é frequentado diariamente por milhares de usuários que podem ser divididos em dois grupos: os formais e os informais. Os frequentadores formais são os discentes (alunos do colégio de aplicação, dos cursos de graduação e dos cursos de pós-graduação), os técnicos, os funcionários terceirizados, os docentes e os residentes universitários.

Os informais são os comerciantes, os quais trabalham no entorno e no interior da UFPE, visitantes quando há congressos, cursos, palestras ou para prática de esportes, pacientes (caso de Odontologia e Fisioterapia), além dos moradores da Várzea, bairro localizado próximo ao Campus, principalmente quando o fornecimento da COMPESA é paralisado, além de trabalhadores contratados por construtoras para a realização de obras no *campus*.

4.1 AS EDIFICAÇÕES QUE CONSTITUEM O *CAMPUS* RECIFE/UFPE

No *campus* Recife/UFPE, existem diversos tipos de edificações. Os centros possuem estrutura fixa, porém com o surgimento de novos cursos (departamentos) foram criadas novas edificações separadas dos centros. Por conseguinte, foram descritos na Tabela 1, os centros, prédios diversos e departamentos externos dos seus respectivos centros, considerados como anexos. Esse levantamento foi realizado a partir do *site* da UFPE e em campo, onde constam os centros e seus respectivos departamentos.

Tabela 1 - Descrição dos Prédios, Centros e Anexos

Centros e Prédios diversos	Anexos
Centro de Artes e Comunicação (CAC)	-
Centro de Biociências (CB)	Departamento de Antibióticos; NIATE (CB/CCS).
Centro de Ciências Exatas da Natureza (CCEN)	NIATE (CCEN/CTG).
Centro de Ciências da Saúde (CCS)	Departamento de Farmácia; Departamento de Fonoaudiologia; Departamento de Fisioterapia; Departamento de Terapia Ocupacional; Departamento de Odontologia; NIATE (CB/CCS); Núcleo de Educação Física e Desportos (NEFD).
Centro de Ciências Sociais Aplicada (CCSA)	Departamento de Hotelaria e Turismo; NIATE (CCSA/CFCH).
Centro de Educação (CE)	Colégio de Aplicação (CAP).
Centro de Filosofia e Ciências Humanas (CFCH)	NIATE (CCSA/CFCH).
Centro de Informática (CIN)	-
Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)	Departamento de Engenharia Nuclear; Departamento de Engenharia Química; Departamento de Engenharia de Alimentos; Química Industrial; Departamento de Oceanografia; NIATE (CCEN/CTG); Pós-Graduação em Engenharia de Produção; Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas (LDN).
Reitoria	-
Centro de Pesquisa Ageu Magalhães	-
Núcleo de Tecnologia e Informação (NTI)	-
Residência Universitária	Casa do Estudante; Casa da Estudante; Casa Mista.
Diretoria de Inovação e Empreendedorismo (DINE)	-
Centro de Convenções (CECON)	-
Restaurante Universitário (RU)	-
Editora Universitária	-
Superintendência de Infraestrutura	Oficinas Gerais; Almoxarifado da Central; Almoxarifado da Prefeitura; Prefeitura; Anexo da Prefeitura
Biblioteca Central	-

Fonte: Próprio Autor (2017)

4.2 OS USOS DE ÁGUA NO *CAMPUS* RECIFE/UFPE

A utilização da água no *campus* ocorre:

- Nos prédios escolares
 - banheiros (pia, vasos sanitários, mictórios para os homens e chuveiros com uso reduzido), figura 19;
 - copas (lavagem de louças ou preparo de alimentos);
 - bebedouros.
 - laboratórios e clínicas, figura 20, 21, 22 e 23;
 - lavagem de pisos;
- Nos restaurantes e lanchonetes, figura 24;
- Em regas de jardins, figura 25;
- No abastecimento de lagos e tanques ornamentais, figura 26 e 27;
- Em lavagem de automóveis, figura 28 e 29;

Figura 19 - Banheiro masculino do Departamento de Farmácia



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 20 - Laboratório de Pós-Graduação em Engenharia Química, uso de destilador



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 21 - Laboratório de Pós-Graduação em Engenharia Química



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 22 - Laboratório de Graduação em Farmácia



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 23 - Laboratório de pós-graduação na Diretoria de Inovação e Empreendedorismo (DINE), uso de destilador



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 24 – Restaurante universitário



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 25 - Rega de jardim



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 26 - Lago do Núcleo de Tecnologia da Informação



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 27 - Lago em frente ao Departamento de Antibióticos



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 28 - Lavagem de veículos no Almoarifado da Prefeitura, utilização de equipamento de alta pressão



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 29 - Lavagem de Carro em frente a biblioteca do Centro de Ciências da Saúde



Fonte: Próprio Autor (2017)

4.3 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ÁGUA NO *CAMPUS* RECIFE/UFPE

Um fator importante na estimativa de consumo de água, segundo Gomes (2009, p.23): “Na quantificação do volume ou vazão necessária para alimentar o sistema de abastecimento é necessário levar em conta as perdas reais de água, ou fugas, que ocorrem continuamente em todo o sistema e que vão contribuir para aumentar a demanda bruta do sistema.”

Ainda, segundo Gomes (2009), tais perdas reais ocorrem devido a vazamentos na rede de distribuição e vazamentos e extravasamento em reservatórios de distribuição. Esses vazamentos se dão por causa da ruptura de tubulações e nas peças de conexões entre condutos. Ocorrem por causa de forças excessivas, pressões nas canalizações, provenientes do recalque do solo, cargas acentuadas no pavimento (passagem de automóveis), defeitos estruturais e devido a vida útil do material.

Vale ressaltar a dificuldade de estabelecer um consumo de água por uso de forma fiel a realidade ou até mesmo um consumo de pico, inclusive, segundo Tomaz (1999), devido à falta de dados de consumo no Brasil, a previsão de consumo de água em prédios tem sido um grande problema enfrentado por profissionais da área.

Com isso, as seguintes premissas devem ser levadas em consideração:

- 1) As demandas de água se distribuem no tempo de forma variada, tanto no dia, quanto nos meses;
- 2) Os usuários também se distribuem no tempo de forma variada, pois se distribuem em três turnos: matutino, vespertino e noturno. Podendo estar na UFPE nos três turnos, em dois ou em somente um deles;
- 3) Deve-se destacar também a aleatoriedade da presença dos usuários durante a semana;
- 4) A aleatoriedade dos usos e a quantidade consumida, sendo divergente para cada usuário;
- 5) A incerteza da presença dos usuários informais, bem como a quantidade e os tipos de usos;
- 6) Apesar da importância para o dimensionamento de uma rede de distribuição ter em mãos a demanda em cada nó, não é o foco do presente trabalho;
- 7) Apenas com o uso de hidrômetros distribuídos pela rede e realizando um balanço hídrico durante anos, seria possível obter um valor próximo da realidade e um consumo máximo;
- 8) A estimativa do consumo será calculada para uma situação hipotética de “pico” nos prédios.

A estimativa de consumo de água na UFPE no *campus* Recife foi determinada em função da quantidade de discentes (alunos de graduação e pós-graduação), docentes e técnicos cadastrados. Com isso, foi necessário obter o quantitativo de usuários cadastrados no Campus, conforme Tabela 2. Esses dados foram obtidos juntamente à Pró-Reitoria de Planejamento, Orçamento e Finanças (PROPLAN) da UFPE para o ano de 2015. Nos ANEXOS podem ser verificadas as planilhas de forma detalhada.

Entretanto, o número de alunos de graduação e pós-graduação apresentados não é informado por departamento, mas por centro. Logo, foram realizadas visitas no mês de outubro e novembro de 2017 com o intuito de obter tais quantitativos e verificar possíveis consumos nos prédios universitários.

Ainda, não existe cadastro da quantidade de funcionários terceirizados por edificação, ao todo são 948 terceirizados. Estes serão divididos pelos centros e a reitoria de forma igual, já que eles possuem um maior número de usuários e, por isso, necessitam de um maior suporte para limpeza, energia (eletricistas) e abastecimento de água (encanadores).

Tabela 2 - Quantitativo dos usuários cadastrados nos Prédios, Centros e Anexos

Edificações	Alunos de Graduação/Colégio de Aplicação	Alunos de Pós-Graduação	Técnicos	Docentes
Centro de Artes e Comunicação (CAC)	3777	832	142	318
Centro de Biociências (CB)	1485	1003	123	187
Departamento de Antibióticos (CB)	65(*)	50(*)	9	18
Centro de Ciências Exatas da Natureza (CCEN)	664	450	104	170
Centro de Ciências da Saúde (CCS)	980	929	152	363
Departamento de Farmácia (CCS)	431(*)	100(*)	19	32
Departamento de Fonoaudiologia (CCS)	111(*)	30(*)	7	35
Departamento de Fisioterapia (CCS)	390(*)	50(*)	9	31
Departamento de Terapia Ocupacional (CCS)	165(*)	0	3	25
Departamento de Odontologia (CCS)	683(*)	71(*)	37	78
Núcleo de Educação Física E Desportos (CCS)	894(*)	28(*)	6	27
Centro de Ciências Sociais Aplicada (CCSA)	2246	901	84	159
Departamento de Hotelaria e Turismo (CCSA)	437(*)	35(*)	7	26
Centro de Educação (CE)	1040	406	85	143
Colégio de Aplicação (CE)	420	-	19	58
Centro de Filosofia e Ciências Humanas (CFCH)	2301	1050	124	194
Centro de Informática (CIN)	1230	869	30	89
Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)	3363	1272	130	267
Departamento de Engenharia Nuclear (CTG)	93(*)	136(*)	27	19
Departamento de Engenharia Química/Química Industrial (CTG)	631(*)	107(*)	29	42
Departamento de Engenharia de Alimentos (CTG)	37(*)	-(***)	-(***)	-(***)
Departamento de Oceanografia (CTG)	88(*)	100(*)	17	26
Pós-Graduação em Engenharia de Produção (CTG)	-	108(**)	29(**)	-
Reitoria	-	-	933	-
Núcleo de Tecnologia e Informação (NTI)	-	-	102	-
Diretoria de Inovação e Empreendedorismo (DINE)	-	55(**)	70(**)	4(**)
Editora Universitária	-	-	22	-
Biblioteca Central	-	-	32	-
Oficinas Gerais	-	-	170 (****)	-
Almoxarifado da Central	-	-	10	-
Prefeitura Anexo	-	-	45	-
Prefeitura	-	-	40(**)	-

Fonte: Pró-Reitoria de Planejamento, Orçamento e Finanças (2015)

Notas:

(*) Dado obtido na secretária ou coordenação do curso;

(**) Dado obtido no prédio de modo estimado pela secretária ou coordenação do curso;

(***) Prédio novo sendo utilizado apenas para laboratórios e aulas;

(****) Foi considerado que 66 terceirizados ficam somente neste prédio (dado obtido no local)

Alguns prédios não possuem o cadastro de frequentadores, tais como os pacientes, usuários da biblioteca central, visitantes do CECON, residentes universitários e do restaurante universitário. O número de pacientes foi obtido nas clínicas, sendo solicitado o dia de maior atendimento já registrado, os usuários da biblioteca central através da quantidade de assentos, os visitantes do CECON estimados pelo projetista, os residentes universitários pelo total de camas nas residências e o para o restaurante universitário foi obtido no próprio restaurante, sendo a quantidade máxima de refeições mensais já registrada. Os respectivos valores seguem na tabela 3, abaixo:

Tabela 3 - Quantitativo dos pacientes, residentes, assentos, visitantes e refeições por edificação

Edificação	Quantidade	Descrição
Departamento de Odontologia (CCS)	250	Pacientes/Dia
Departamento de Fisioterapia (CCS)	250	Pacientes/Dia
Casa da Estudante	100	Residentes
Casa do Estudante	200	Residentes
Casa Mista	100	Residentes
Biblioteca Central	400(*)	Assentos
Centro de Convenções	1000(**)	Visitantes diários
Restaurante Universitário	98.761	Refeições mensais

Fonte: Próprio Autor (2017)

Notas:

(*) Foram contabilizados 200 assentos, hipoteticamente será considerado que a biblioteca tenha seu máximo de visitas, duas vezes por dia.

(**) Estimado pelo projetista.

Por fim, no Almoarifado da Prefeitura foi obtido a quantidade máxima de lavagens de carros por dia para os seguintes veículos: carros pequenos, caminhões, Micro-ônibus, ônibus e vans. Ver tabela 4, a seguir:

Tabela 4 - Quantitativo de lavagens máximas por tipos de veículos diários

Veículo	Quantidade Máxima de Lavagem por dia
Caminhões	2
Micro-ônibus	1
Ônibus	2
Vans	2
Carros Pequenos	5

Fonte: Almoarifado da Prefeitura (2017)

Segundo exposto anteriormente, tendo em mente toda a incerteza gerada em torno do consumo de água, este foi estabelecido por usuário e por uso diário a partir de dados fornecidos por pesquisadores da área (Tabela 5) e normas técnicas. De fato, essa situação não é real, pois existem outros consumos de difícil quantificação, além das perdas nas tubulações, porém, com o intuito de corrigir tais contribuições, a estimativa de consumo será calculada como se todos os usuários estivessem presentes na universidade.

Tabela 5 - Valores de consumo de água por atividades nas diversas categorias de consumo, com as unidades e fontes das pesquisas

Discriminação	Unidades	Valores	Fontes
Banheiro Público	Litros/Dia/Usuário	19	Metcalf e Eddy (1991)
Centro de Convenções	Litros/dia/Visitantes	18	Salvato (1992)
Escola com cafeteria, ginásio e chuveiros	Litros/dia/estudante	57	Geyer e Lentz (1962)
Escolas	Litros/dia/estudante	57	Metcalf e Eddy (1991)
Escola (um turno)	Litros/dia/estudante	10 a 30	Melo e Neto (1988)
Lavagem de Carro	Litros/dia/Carro Lavado	209	Syed R.Qasim (1994)
República de Estudantes	Litros/dia/Pessoa	151	Metcalf e Eddy (1991)
Restaurantes	Litros/dia/Refeições	25	Macintyre (1982)

Fonte: Dados extraídos do livro Previsão de Consumo de Água - Tomaz (1999)

Para facilitar o cálculo do consumo em cada prédio, foram estabelecidos grupos de usuários ou usos com o respectivo consumo diário.

- **Grupo 1 (G1) - Técnicos e docentes:**

Para este grupo, apesar de existir variantes, tais como: o tempo de dedicação semanal do docente, fazer parte de outras atividades externas ao campus, categoria - efetivo e substituto -, além dos turnos dos técnicos. O percentual desse grupo é pequeno em relação ao total de frequentadores do Campus.

Logo, para o consumo de água do grupo “G1” foi utilizada a norma NR 24 - Condições sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho, que estabelece no item 24.1.24.1.: “Serão previstos 60 (sessenta) litros diários de água por trabalhador para o consumo nas instalações sanitárias.”

- **Grupo 2 (G2) - Alunos de Graduação:**

Este grupo corresponde mais da metade do total de usuários cadastrados, o valor do consumo definido para esse grupo pode aumentar consideravelmente a demanda máxima das edificações. Outros fatores, os quais devem ser expostos é que não há um padrão da quantidade de horas médias em que o aluno permanece no campus, além da aleatoriedade de estarem em outro prédio que não o de cadastro, como por exemplo, no restaurante universitário ou na biblioteca central. Mais as diferenças dos turnos, da presença de aula e os dias de pico de cada prédio.

Com isso, o consumo de água para esse grupo foi adotado para as seguintes discriminações: Escola com cafeteria, ginásio e chuveiros, Escola, Escola (um turno). Vale ressaltar que tais discriminações não indicam se o uso na escola pode ser aplicado em universidades, outro fator a ser exposto é que dois dos três pesquisadores fizeram suas pesquisas fora do Brasil, que é o caso Geyer e Lentz (1962) e Metcalf e Eddy (1991).

Porém, para efeito prático, o consumo diário para um estudante apresentado pelos pesquisadores é pertinente, não extrapolam ou subdimensionam o consumo, por isso, e pela problematização levantada anteriormente, o consumo adotado para esse grupo foi de 40 L/dia x aluno.

- **Grupo 3 (G3) - Alunos de Pós-Graduação:**

Este tipo de usuário tem seu consumo reduzido em relação aos alunos de Graduação, pois parte deles não frequentam a UFPE de forma contínua, pois possuem um número reduzido de aulas, participam de outras atividades externas ao *campus*, inclusive relacionada com a pesquisa da pós-graduação.

De fato, também existe uma parcela que frequenta diariamente o *campus*, principalmente, quando há um acordo entre os orientadores e o aluno, relacionado com a pesquisa, por exemplo, a utilização de laboratórios. Para este grupo foi, portanto, considerado consumo correspondente a 75% do consumo de alunos de graduação, resultando consumo de 30 L/dia x aluno.

- **Grupo 4 (G4) - Alunos de graduação do Núcleo de Educação Física e Desportos e alunos do Colégio de Aplicação:**

Utilizando as mesmas considerações utilizadas pelo “G2”, entretanto, para esse grupo será considerado o uso de chuveiros e a presença de ginásios. Por esse motivo admitiu-se para esse grupo um aumento de 75% em relação aos alunos de graduação, resultando consumo de 70 L/dia x aluno.

- **Grupo 5 (G5) - Residentes Universitários:**

Na Tabela 5, Metcalf e Eddy (1991) estabeleceram 151 L/dia x residente para as residências universitárias, porém, durante o consumo máximo no *campus*, o residente exerce outras atividades no *campus*, com isso, será considerado o consumo correspondente a 80% do valor acima citado, resultando consumo de 120 L/dia x pessoa.

- **Grupo 6 (G6) - Pacientes, assentos da Biblioteca Central e Visitantes do CECON**

Para esse grupo o consumo foi relacionado para as seguintes discriminações: Banheiros Públicos, Metcalf e Eddy (1991) e Centro de Convenções, Salvato (1992), com isso foi adotado um consumo de 20 L/dia x usuário.

- **Grupo 7 (G7) - Restaurante Universitário:**

Macintyre (1982) definiu um consumo para restaurantes de 25 L/dia x refeição. Este valor será utilizado para estimar o consumo de água do Restaurante Universitário.

- **Grupo 8 (G8) - Lavagem de carro:**

Syed R.Qasim (1994) estabeleceu um consumo de 209 L/dia x automóvel, porém durante a visita técnica no Almoarifado da PCU percebeu-se a utilização de uma Lavadora de Alta Pressão o que diminui o consumo de água. Foi, portanto, considerado uma redução aproximada de 50%. Com isso, o consumo de água estabelecido para esse grupo resulto em 100 L/dia x automóvel.

O cálculo do consumo de água em cada edificação foi obtido através da equação a baixo:

$$C_i = \frac{(\text{Quantidade de Usuários ou Usos}) \cdot G_J}{t} \quad (11)$$

C_i = Consumo no prédio i (l/s);

- Quantidade de usuários ou usos = exposto no item 3.1;
- G_J = exposto no item 3.2 (consumo diário por usuários/usos);
- t = tempo de permanência dos usuários ou de funcionamento do prédio.

Foram utilizados três períodos, 8 horas para todos os usuários ou usos descritos, exceto, o Restaurante Universitário e os residentes. O primeiro serve diariamente três refeições nos seguintes horários: (6:30 – 7:30), (10:30 – 14:30) e (17:00 – 19:00). Deve ser considerado o tempo de preparo e limpeza, por isso, foi estabelecido um período de 16 horas. Para os residentes também foi considerado o período de 16 horas.

O cálculo foi realizado utilizando a planilha do programa Excel do Microsoft, os resultados podem ser visualizados nas seguintes tabelas: Tabela 6 (G1, G2 e G3), Tabela 7 (G4, G5, G6 e G7) e Tabela 8 (G8). Nesta última será considerado um fator de correção devido ao tamanho do veículo tendo como base o carro pequeno.

Tabela 6 - Consumo nas edificações para os grupos G1, G2 e G3

Edificações	Consumo por Grupo (L/s)			Consumo (L/s)
	G1	G2	G3	
Centro de Artes e Comunicação (CAC)	0,96	5,25	0,87	7,07
Centro de Biociências (CB)	0,65	2,06	1,04	3,75
Departamento de Antibióticos (CB)	0,06	0,09	0,05	0,20
Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN)	0,57	0,92	0,47	1,96
Centro de Ciências da Saúde (CCS)	1,07	1,36	0,97	3,40
Departamento de Farmácia (CCS)	0,11	0,60	0,10	0,81
Departamento de Fonoaudiologia (CCS)	0,09	0,15	0,03	0,27
Departamento de Fisioterapia (CCS)	0,08	0,54	0,05	0,68
Departamento de Terapia Ocupacional (CCS)	0,06	0,23	0,00	0,29
Departamento de Odontologia (CCS)	0,24	0,95	0,07	1,26
Núcleo de Educação Física E Desportos (CCS)	0,07	(*)	0,03	0,10
Centro de Ciências Sociais Aplicada (CCSA)	0,51	3,12	0,94	4,56
Departamento de Hotelaria e Turismo (CCSA)	0,07	0,61	0,04	0,71
Centro de Educação(CE)	0,48	1,44	0,63	2,55
Colégio de Aplicação (CE)	0,16	(*)	0,00	0,16
Centro de Filosofia e Ciências Humanas (CFCH)	0,66	3,20	1,09	4,95
Centro de Informática (CIN)	0,25	1,71	0,91	2,86
Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)	0,83	4,67	1,33	6,82
Departamento de Engenharia Nuclear (CTG)	0,10	0,13	0,14	0,37
Depto. de Engenharia Química/Química Industrial (CTG)	0,15	0,88	0,11	1,14
Departamento de Engenharia de Alimentos (CTG)	0,00	0,05	0,00	0,05
Departamento de Oceanografia (CTG)	0,09	0,12	0,10	0,32
Pós-Graduação em Engenharia De Produção (CTG)	0,06	0,00	0,11	0,17
Reitoria	1,94	0,00	0,00	1,94
Núcleo de Tecnologia e Informação (NTI)	0,21	0,00	0,00	0,21
Diretoria de Inovações e Empreendedorismo (DINE)	0,15	0,00	0,06	0,21
Editora Universitária	0,05	0,00	0,00	0,05
Biblioteca Central	0,07	0,00	0,00	0,07
Oficinas Gerais	0,35	0,00	0,00	0,35
Almoxarifado da Central	0,02	0,00	0,00	0,02
Prefeitura Anexo	0,09	0,00	0,00	0,09
Prefeitura	0,08	0,00	0,00	0,08

Fonte: Próprio Autor (2017)

Notas: (*) Pertencem a outro grupo

Tabela 7 - Consumo nas edificações para os Grupos G4, G5, G6 e G7

Edificações	Consumo por Grupo (L/s)			
	G4	G5	G6	G7
Departamento de Odontologia (CCS)	-	-	0,17	-
Departamento de Fisioterapia (CCS)	-	-	0,17	-
Casa da Estudante	-	0,21	-	-
Casa do Estudante	-	0,42	-	-
Casa Mista	-	0,21	-	-
Biblioteca Central	-	-	0,14	-
CECON	-	-	0,69	-
Restaurante Universitário	-	-	-	2,17
CAP	1,02	-	-	-
NEFD	2,17	-	-	-

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 8 - Consumo no Almojarifado da Prefeitura para o Grupo G8

Veículo	Quantidade Máxima de Lavagem por dia	Fator de Correção	Consumo (L/s)
Caminhões	2	2	0,01
Micro-ônibus	1	1,5	0,01
Ônibus	2	2	0,01
Vans	2	1,5	0,01
Carros Pequenos	5	1	0,02
Total	12	8	0,06

Fonte: Próprio Autor (2017)

Para o Centro de Pesquisa Ageu Magalhães, o Serviço de Apoio Técnico e Obras realiza uma planilha com o consumo mensal de água utilizado pela COMPESA, nela o consumo máximo encontrado foi de 1069 m³/mês, ou seja, aproximadamente 1,74 L/s considerando que por mês o centro funcione em 22 dias com um período de 8 horas por dia.

Para o Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas (LDN), devido à falta de dados exatos neste laboratório, será considerado 0,20 litros/segundo. É sensato, pois o uso neste laboratório, se resume ao uso em banheiros, segundo informado pelos usuários do laboratório.

Os prédios NIATES não possuem um cadastro exato de alunos que os frequenta, mas a maioria dos alunos estão nos primeiros períodos do curso, embora, existem aulas de períodos mais avançados. Devido a essa incerteza, foi somado 20% do consumo de cada centro presente nestas edificações.

Com relação aos funcionários terceirizados, 882 (foram retirados 66 que ficam fixos na PCU), usando 60 litros/diários/trabalhador, em 8 horas de trabalho, têm-se um total de 1,84 litros/segundo que será dividido entre os centros e a reitoria, dando aproximadamente 0,18 litros/segundo.

Segundo Gomes (2009), o dimensionamento de redes de abastecimento de água deve ser realizado para a situação mais crítica da rede em detrimento do consumo nos prédios, geralmente, utiliza-se o coeficiente do dia de maior consumo, representado por K1. Este é a relação entre o consumo máximo diário ocorrido em um ano e o consumo médio diário relativo a este ano. Com isso, para o dimensionamento econômico da rede proposta, o consumo será majorado através do coeficiente K1, ainda segundo Gomes (2009), ele varia de 1,1 a 1,5. Por segurança será utilizado K1 igual à 1,5. Multiplicando este coeficiente pelos consumos estimados, obtém-se o consumo máximo diário.

O consumo total e consumo máximo diário para cada Centro, Prédio e Anexo são dados na Tabela 9, a seguir:

Tabela 9 - Consumo total nos Prédios, Centros e Anexos

Edificações	Consumo (L/s)	Consumo Máximo diário (L/s)
Centro de Artes e Comunicação (CAC)	7,25	10,87
Centro de Biociências (CB)	3,93	5,90
Departamento de Antibióticos (CB)	0,20	0,30
Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN)	2,14	3,21
Centro de Ciências da Saúde (CCS)	3,58	5,37
Departamento de Farmácia (CCS)	0,81	1,22
Departamento de Fonoaudiologia (CCS)	0,27	0,41
Departamento de Fisioterapia (CCS)	0,85	1,28
Departamento de Terapia Ocupacional (CCS)	0,29	0,44
Departamento de Odontologia (CCS)	1,43	2,15
Núcleo de Educação Física e Desportos (CCS)	2,27	3,41
Centro de Ciências Sociais Aplicada (CCSA)	4,74	7,11
Departamento de Hotelaria e Turismo (CCSA)	0,71	1,07
Centro de Educação (CE)	2,73	4,10
Colégio de Aplicação (CE)	1,18	1,77
Centro de Filosofia e Ciências Humanas (CFCH)	5,13	7,70
Centro de Informática (CIN)	3,04	4,56
Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)	7,00	10,50
Departamento de Engenharia Nuclear (CTG)	0,37	0,56
Depto. de Eng. Química; Química Industrial (CTG)	1,14	1,71
Depto. de Engenharia de Alimentos (CTG)	0,50(*)	0,75
Departamento de Oceanografia (CTG)	0,32	0,48
Pós-Graduação em Eng. de Produção (CTG)	0,17	0,26
Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas (CTG)	0,20	0,30
Reitoria	2,12	3,18
Núcleo de Tecnologia e Informação (NTI)	0,21	0,32
Diretoria de Inovação e Empreendedorismo (DINE)	0,21	0,32
Biblioteca Central	0,35	0,53
Centro de Convenções	0,69	1,04
Restaurante Universitário	2,17	3,26
Oficinas Gerais	0,35	0,53
Almoxarifado da Central	0,02	0,03
Almoxarifado da PCU	0,06	0,09
Prefeitura Anexo	0,09	0,14
Prefeitura	0,08	0,12
Editora Universitária	0,05	0,08
NIATE (CTG/CCEN)	1,83	2,76
NIATE (CCS/CB)	0,76	1,14
NIATE (CCSA/CFCH)	1,97	2,96
Centro de Pesquisa Ageu Magalhães	1,74	2,61
Casa do Estudante	0,42	0,63
Casa da Estudante	0,21	0,32
Casa Mista	0,21	0,32

Fonte: Próprio Autor (2017)

Nota:

(*) Foi obtido o valor de 0,07 litros/segundo, porém, por se tratar de um prédio novo, apenas foi obtido o número de alunos de graduação, por segurança, o consumo adotado foi de 0,5 litros/segundo.

No *campus* Recife/UFPE foram apuradas diversas edificações, com diferentes e múltiplos usos de água, que foram implantadas ao longo do tempo e da área do *campus* de maneira variada. Além disso, a falta de pesquisas para a estimativa do consumo de água em edificações com tais características promove incertezas nos resultados obtidos, tanto para a análise hidráulica da “Rede Atual”, quanto para o dimensionamento econômico da “Rede Proposta”. Tais incertezas podem estar sub ou superestimando o consumo de água adotado e, portanto, as vazões e diâmetros das tubulações da rede de distribuição.

Outro fato a ser destacado é a presença dos reservatórios inferiores e superiores nas edificações do *campus*, pois a oferta de água durante os “picos” de consumo que ocorrem ao longo do dia, que se dá a partir de tais reservas, pode alterar significativamente os valores das vazões adotadas pelo projetista para as tubulações da rede de distribuição estudada.

Percebe-se também que a quantidade de água calculada para alguns consumos quando distribuída ao longo do tempo tornam-se insignificantes e podem até ser desprezadas, como por exemplo a lavagem de automóveis no Almojarifado da Prefeitura.

5 DEFINIÇÃO DA REDE ATUAL E DA REDE PROPOSTA

Foram utilizadas nos métodos hidráulicos duas redes de distribuição:

- Rede Atual;
- Rede Proposta;

5.1 PLANTA DA REDE ATUAL E DA REDE PROPOSTA

A rede existente do *campus*, denominada de “Rede Atual”, sofreu ao longo do tempo várias alterações e ampliações devido ao surgimento de novas edificações. No início do ano de 2016, a planta da rede de distribuição de água disponível estava desatualizada, uma vez que a Superintendência de Infraestrutura não cadastrou adequadamente as alterações efetuadas na rede de distribuição de água do *campus*.

Uma das atividades do Projeto de Extensão “Apoio Técnico ao Sistema de Abastecimento de Água do *campus* Recife/UFPE” foi elaborar uma planta atualizada dessa rede. A planta das edificações foi obtida na Superintendência de Infraestrutura.

Para isso, foi realizado o levantamento de informações *in loco* mediante abertura de caixas de inspeção espalhadas pelo *campus* instaladas ao longo das possíveis trajetórias das tubulações da rede de distribuição, para observação do diâmetro, material e estado da canalização em cada um desses locais.

Além disso, foram reunidas e consultadas plantas antigas da rede e, por meio de entrevistas, obtidas informações valiosas repassadas pelos técnicos e funcionários terceirizados que trabalham na operação do sistema de abastecimento do *campus*.

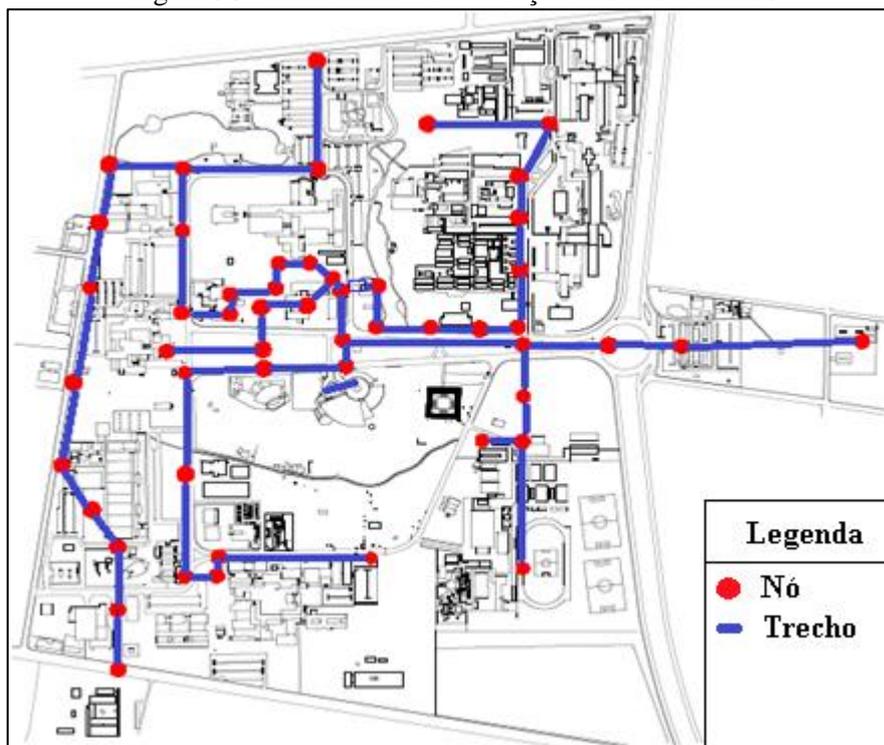
Finalmente, de posse dessas informações foi elaborada, com auxílio do programa AutoCAD, uma planta atualizada da rede de distribuição de água do *campus* UFPE, aqui denominada “Rede Atual” (Figura 30). Vale salientar que ainda existem pontos obscuros devido à impossibilidade de acesso às tubulações (enterradas) para confirmação de sua exata localização, diâmetro ou do seu estado.

A “Rede Proposta” (Figura 31) foi criada de modo a abastecer todos os pontos de consumo do *campus*, diminuindo a passagem pelo pavimento no intuito de diminuir o custo de implantação e percorrendo ao máximo o traçado da Rede Atual.

A Reitoria e a Casa da Estudante foram retiradas do dimensionamento da “Rede Proposta”, visto que tais prédios são separados do restante do Campus por uma rodovia federal de intenso tráfego, a BR-101, influenciando no aumento do custo de implantação em um trecho relativamente curto, os inconvenientes gerados no trânsito da região durante as obras e devido a elevada carga proveniente dos veículos, os quais poderão gerar custos de manutenção indesejáveis no futuro.

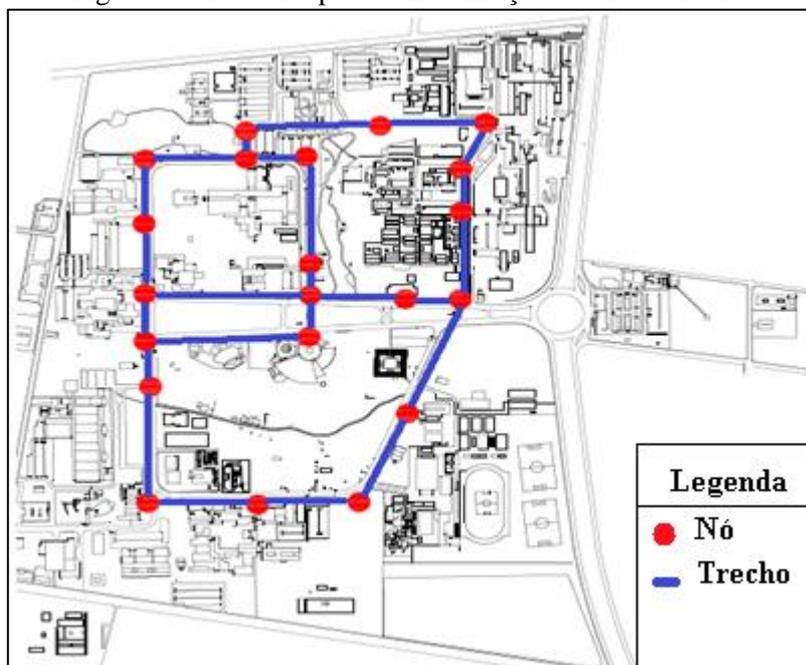
Essa escolha é segura e conveniente, pois, atualmente, os dois prédios também são abastecidos pela COMPESA, não comprometendo o abastecimento destas edificações.

Figura 30 - Rede Atual - Localização dos nós e trechos



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 31 - Rede Proposta - Localização dos nós e trechos



Fonte: Próprio Autor (2017)

5.2 DEFINIÇÃO DO CONSUMO E DA COTA TOPOGRÁFICA NOS NÓS DA REDE ATUAL E DA REDE PROPOSTA

Para efeito de avaliação do desempenho hidráulico, a “Rede Atual” foi simplificada, retirando-se trechos secundários (com diâmetro inferior a 75 mm) que abastecem os reservatórios inferiores de cada edificação.

Os nós foram localizados nos vértices das redes (encontros de dois trechos) e nos Pontos de Consumo - locais onde foram concentradas as demandas correspondentes às edificações mais próximas. Os nós foram enumerados em ordem crescente, a partir do reservatório principal (nó R).

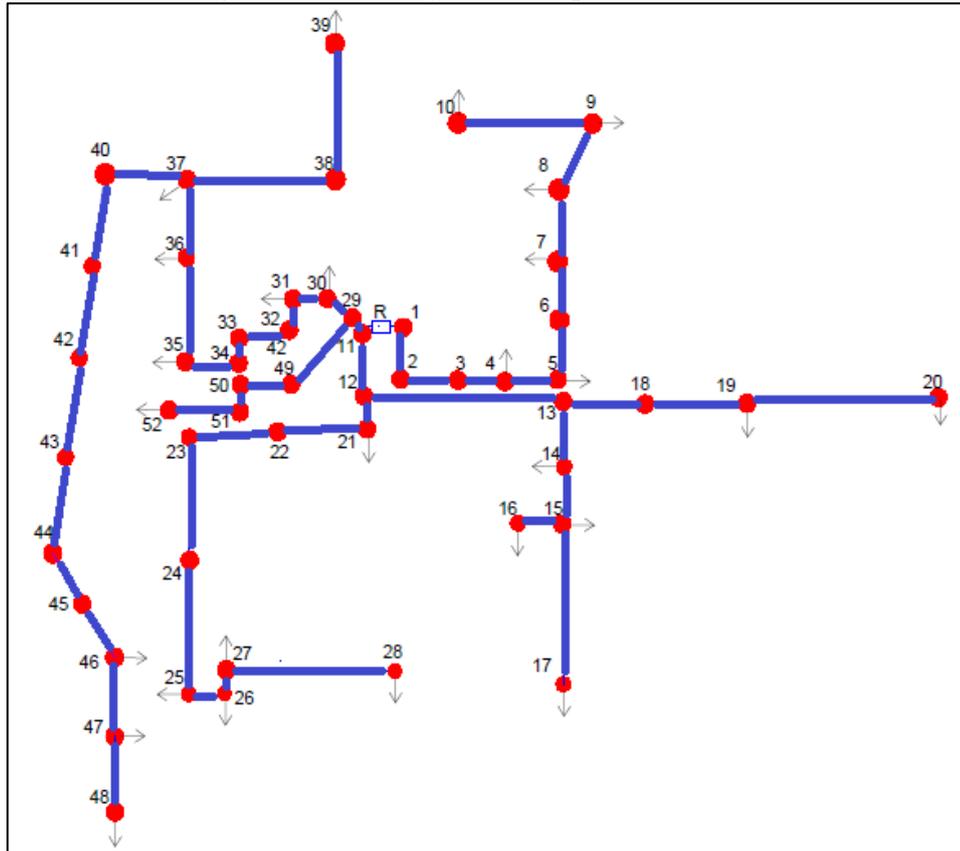
As cotas topográficas dos nós foram estimadas a partir de dados obtidos no Departamento de Engenharia Cartográfica do CTG/UFPE, que informam as coordenadas geodésicas existente no *campus* Recife. As cotas topográficas dos nós que não estão próximos aos pontos geodésicos foram obtidas por interpolação.

Nas figuras 32 e 33, encontra-se os traçados com seus respectivos nós enumerados para a “Rede Atual” e a “Rede Proposta”, respectivamente. Note que nó “R” é o reservatório principal e que a “Rede Atual”, ramificada, não apresenta a direção da vazão nos trechos, mas para tais redes a direção de escoamento ocorre de montante para jusante.

Para a rede malhada, foram criados 3 anéis (malhas), o sentido horário é o sentido positivo. A direção da vazão nos trechos para esta rede deve ser apresentada, por causa da equação de energia e conservação da massa nos nós. As direções das vazões foram atribuídas percorrendo do início da rede (reservatório) até os nós extremos.

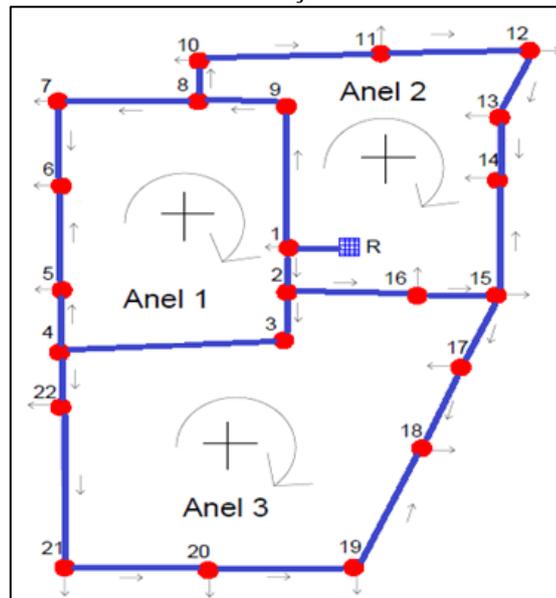
Nas Tabelas 10 e 11 estão relacionados para cada nó da rede: sua cota topográfica; as edificações situadas em sua área de influência; e a demanda correspondente a essas edificações.

Figura 32 - Numeração dos nós para a Rede Atual



Fonte: Próprio Autor (2017)

Figura 33 - Numeração dos nós e anéis e a direção da vazão nos trechos para a Rede Proposta



Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 10 - Os nós e sua respectiva cota topográfica, edificações e demanda para a Rede Atual

Nó	Cota (m)	Edificações	Demanda (L/s)
1	3,30	-	0,00
2	3,25	-	0,00
3	3,30	-	0,00
4	3,40	NIATE (CB/CCS)	0,76
5	3,80	CCS (Entrada 1) (*)	2,51
6	3,60	-	0,00
7	3,40	CB	3,93
8	3,00	Centro de Pesquisa Ageu Magalhães.	1,74
9	2,00	CCS (Entrada 2) (*)	1,07
10	2,20	Departamento de Antibióticos; Departamento de Farmácia; Departamento de Odontologia; Departamento de Fonoaudiologia.	2,78
11	3,35	-	0,00
12	3,20	-	0,00
13	4,00	-	0,00
14	3,80	NTI	0,21
15	3,40	Casa do Estudante; Casa Mista; DINE.	0,84
16	2,80	Departamento de Fisioterapia; Departamento de Terapia Ocupacional.	1,14
17	1,20	NEFD.	2,27
18	4,60	-	0,00
19	5,20	Reitoria.	2,12
20	5,50	Casa da estudante.	0,21
21	4,00	CECON.	0,69
22	3,90	-	0,00
23	3,80	-	0,00
24	3,50	-	0,00
25	3,20	Departamento de Oceanografia	0,32
26	3,00	CCEN	2,14
27	2,80	NIATE (CTG/CCEN); Pós-Graduação de Engenharia de Produção	2,00
28	2,50	CIN	3,04
29	3,40	-	0,00
30	3,50	CCSA	4,74
31	3,60	NIATE (CCSA/CFCH); Restaurante Universitário.	4,14
32	3,00	-	0,00
33	3,30	-	0,00
34	3,70	-	0,00
35	3,80	CAC	7,25

Continuação:

Nó	Cota (m)	Edificações	Demanda (L/s)
36	3,50	CFCH	5,13
37	3,20	CE; Colégio de Aplicação.	3,91
38	3,10	-	0,00
39	3,50	Departamento de Engenharia de Alimentos; Departamento de Hotelaria e Turismo; Departamento de Engenharia Química; Química industrial.	2,35
40	3,40	-	0,00
41	3,00	-	0,00
42	2,80	-	0,00
43	3,00	-	0,00
44	3,40	-	0,00
45	3,30	-	0,00
46	3,20	CTG	7,00
47	3,30	Almoxarifado Central; Editora Universitária; Oficinas Gerais; Almoxarifado da Prefeitura.	0,48
48	3,00	Departamento de Energia Nuclear; Prefeitura; Prefeitura Anexo.	0,54
49	3,50	Biblioteca Central	0,35
50	3,60	-	0,00
51	3,80	-	0,00
52	4,20	LDN	0,20

Fonte: Próprio Autor (2017)

Notas:

(*) Como o CCS tem duas entradas para fornecimento de água, será considerado 70% para o maior prédio, nó 4, e 30% para o menor prédio, nó 7.

Tabela 11 - Os nós e sua respectiva cota topográfica, edificações e demanda para a Rede Proposta

Nó	Cota (m)	Edificações	Demanda (l/s)
1	3,35	Biblioteca Central; CCSA; NIATE (CCSA/CFCH); Restaurante Universitário.	13,86
2	3,20	-	0,00
3	3,40	CECON.	1,04
4	3,30	-	0,00
5	3,20	CAC.	10,87
6	3,10	CFCH.	7,70
7	3,00	CE; Colégio de Aplicação.	5,87
8	3,00	-	0,00
9	3,15	-	0,00
10	3,20	Departamento de Engenharia de Alimentos; Departamento de Hotelaria e Turismo; Departamento de Engenharia Química; Química Industrial.	3,53
11	2,50	Departamento de Antibióticos; Departamento de Farmácia; Departamento Odontologia.	3,67
12	2,50	CCS (Entrada 2).	1,62
13	3,00	Centro de Pesquisa Ageu Magalhães.	2,61
14	3,20	CB.	5,90
15	3,50	CCS (Entrada 1).	3,80
16	3,35	NIATE (CB/CCS).	1,14
17	3,30	NTI	0,32
18	2,80	Departamento de Fisioterapia; Departamento de Terapia Ocupacional; Casa do Estudante; Casa Mista; DINE; NEFD	6,40
19	2,80	CIN.	4,56
20	3,00	CCEN.	3,21
21	3,10	Departamento de Oceanografia; Almojarifado Central; Editora Universitária; Oficinas Gerais; Almojarifado da PCU; Departamento de Energia Nuclear; NIATE (CTG/CCEN); Pós-graduação em Engenharia de Produção; Prefeitura; Prefeitura Anexo.	5,05
22	3,20	CTG; LDN.	10,80

Fonte: Próprio Autor (2017)

5.3 COMPRIMENTOS E DIÂMETROS DOS TRECHOS

Os trechos foram identificados por seus nós de jusante e de montante. Os comprimentos foram obtidos das plantas da “Rede Atual” e a da “Rede Proposta”, utilizando-se a ferramenta “medir” do programa AutoCAD.

Os diâmetros da “Rede Proposta” foram determinados no processo de otimização dos métodos propostos: “PNL 2000” e “LENHSNET”. Nas Tabelas 12 e 13 podem ser visualizados os trechos, os comprimentos e os diâmetros da “Rede Atual”, bem como os trechos e os comprimentos da “Rede Proposta”, respectivamente.

Tabela 12 - Descrição dos trechos e seus respectivos diâmetros e comprimentos para a Rede Atual

Trecho	Comprimento (m)	Diâmetro Nominal (mm)
R-1	20	110
1-2	80	110
2-3	85	110
3-4	80	110
4-5	80	110
5-6	100	110
6-7	70	110
7-8	130	110
8-9	115	110
9-10	220	110
R-11	32	250
11-12	106	250
12-13	320	200
13-14	117	110
14-15	100	110
15-16	94	75
15-17	240	75
13-18	127	110
18-19	100	110
19-20	280	75
12-21	60	250
21-22	150	200
22-23	133	200
23-24	173	150
24-25	173	150
25-26	60	150
26-27	45	150
27-28	275	150
11-29	18	250
29-30	49	200
30-31	67	200
31-32	88	200
32-33	120	200
33-34	67	200
34-35	38	200
35-36	231	200
36-37	125	110
37-38	195	110
38-39	215	110
37-40	133	110
40-41	130	110
41-42	140	110
42-43	160	110
43-44	161	110
44-45	81	110
45-46	81	110
46-47	111	75
47-48	104	75
29-49	49	200
49-50	187	200
50-51	152	200
51-52	80	200

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabelas 13 - Descrição dos trechos e seus respectivos comprimentos para a Rede Proposta

Trecho	Comprimento (m)
R-1	13
1-2	77
2-3	81
3-4	311
4-5	101
5-6	175
6-7	137
7-8	194
8-9	121
9-10	231
10-11	65
11-1	253
10-12	210
12-13	115
13-14	106
14-15	193
15-16	112
16-2	182
15-17	127
17-18	143
18-19	217
19-20	200
20-21	198
21-22	264
22-4	97

Fonte: Próprio Autor (2017)

6 ANÁLISE HIDRÁULICA DA REDE ATUAL

Nesta seção será apresentada a análise hidráulica da “Rede Atual”. Deve-se ter em mente que na realidade a oferta de água do *campus* também é realizada pela COMPESA, acarretando em um custo mensal para a administração da UFPE, visando reduzi-lo, faz-se necessário a análise hidráulica da “Rede Atual” apenas com o abastecimento de água do *campus*.

6.1 MÉTODO PIMENTEL GOMES

O Método Pimentel Gomes é utilizado para o dimensionamento de redes ramificadas e malhadas, obtendo a partir das variáveis e restrições hidráulicas, os diâmetros dos trechos. Entretanto, a “Rede Atual” já possui os diâmetros estabelecidos, vistos no capítulo anterior. O método será aplicado com o objetivo de verificar o comportamento hidráulico da rede a partir do nível mínimo e máximo do reservatório, o qual fornece a pressão inicial do sistema e no fim deste capítulo, a partir dos resultados obtidos serão comparados com as restrições hidráulicas pré-estabelecidas.

A partir disso, o método Pimentel Gomes foi utilizado para o cálculo da velocidade, do coeficiente de atrito (f) e da perda de carga (h_f) ao longo dos condutos (trechos). Para os Nós foi calculada a altura piezométrica e a pressão disponível.

Para a obtenção dos dados hidráulicos foram criadas três tabelas: Tabelas 14, 15 e 16. A primeira apresenta as condições hidráulicas resultantes para cada trecho. A segunda e a terceira apresentam as condições hidráulicas resultantes em cada nó para o nível de água mínimo e máximo, respectivamente. Vale ressaltar que a variação do nível de água no reservatório influencia somente nos resultados hidráulicos dos nós. O memorial de cálculo para consolidação dessas tabelas será apresentado posteriormente.

Tabela 14 - Situação hidráulica dos trechos da Rede Atual através do MPG

Trecho	Vazão (L/s)	D. Nominal(mm)	Comprimento (m)	Velocidade (m/s)	f	Perdas (mca)
R-1	12,79	110	20	1,35	0,01613	0,27103
1-2	12,79	110	80	1,35	0,01613	1,08411
2-3	12,79	110	85	1,35	0,01613	1,15186
3-4	12,79	110	80	1,35	0,01613	1,08411
4-5	12,03	110	80	1,27	0,01632	0,97063
5-6	9,52	110	100	1,00	0,01710	0,79592
6-7	9,52	110	70	1,00	0,01710	0,55714
7-8	5,59	110	130	0,59	0,01910	0,39840
8-9	3,85	110	115	0,41	0,02072	0,18137
9-10	2,78	110	220	0,29	0,02231	0,19484
R-11	51,07	250	32	1,04	0,01445	0,10214
11-12	14,98	250	106	0,31	0,01841	0,03709
12-13	6,79	200	320	0,22	0,02084	0,07948
13-14	4,46	110	117	0,47	0,02005	0,23969
14-15	4,25	110	100	0,45	0,02027	0,18802
15-16	1,14	75	94	0,26	0,02522	0,10737
15-17	2,27	75	240	0,51	0,02142	0,92346
13-18	2,33	110	127	0,25	0,02326	0,08235
18-19	2,33	110	100	0,25	0,02326	0,06485
19-20	0,21	75	280	0,05	0,04035	0,01736
12-21	8,19	250	60	0,17	0,02101	0,00716
21-22	7,50	200	150	0,24	0,02038	0,04446
22-23	7,50	200	133	0,24	0,02038	0,03942
23-24	7,50	150	173	0,42	0,01915	0,20298
24-25	7,50	150	173	0,42	0,01915	0,20298
25-26	7,18	150	60	0,41	0,01933	0,06513
26-27	5,04	150	45	0,29	0,02090	0,02602
27-28	3,04	150	275	0,17	0,02350	0,06504
11-29	36,09	250	18	0,74	0,01543	0,03063
29-30	35,54	200	49	1,13	0,01484	0,23740
30-31	30,80	200	67	0,98	0,01525	0,25047
31-32	26,66	200	88	0,85	0,01567	0,25339
32-33	26,66	200	120	0,85	0,01567	0,34553
33-34	26,66	200	67	0,85	0,01567	0,19292
34-35	26,66	200	38	0,85	0,01567	0,10942
35-36	19,41	200	231	0,62	0,01668	0,37526
36-37	14,28	110	125	1,50	0,01579	2,06712
37-38	2,35	110	195	0,25	0,02321	0,12837
38-39	2,35	110	215	0,25	0,02321	0,14153
37-40	8,02	110	133	0,84	0,01771	0,77789
40-41	8,02	110	130	0,84	0,01771	0,76034
41-42	8,02	110	140	0,84	0,01771	0,81883
42-43	8,02	110	160	0,84	0,01771	0,93581
43-44	8,02	110	161	0,84	0,01771	0,94166
44-45	8,02	110	81	0,84	0,01771	0,47375
45-46	8,02	110	81	0,84	0,01771	0,47375
46-47	1,02	75	111	0,23	0,02592	0,10435
47-48	0,54	75	104	0,12	0,03061	0,03236
29-49	0,55	200	49	0,02	0,04057	0,00016
49-50	0,20	200	187	0,01	0,05739	0,00011
50-51	0,20	200	152	0,01	0,05739	0,00009
51-52	0,20	200	80	0,01	0,05739	0,00005

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 15 - Situação hidráulica dos nós da Rede Atual através do MPG para o nível de água mínimo no reservatório

Nó	Cota Piezométrica (mca)	Cota do terreno(m)	Pressão Disponível (mca)
1	11,13	3,30	7,83
2	10,04	3,25	6,79
3	8,89	3,30	5,59
4	7,81	3,40	4,41
5	6,84	3,80	3,04
6	6,04	3,60	2,44
7	5,49	3,40	2,09
8	5,09	3,00	2,09
9	4,91	2,00	2,91
10	4,71	2,20	2,51
11	11,30	3,35	7,95
12	11,26	3,20	8,06
13	11,18	4,00	7,18
14	10,94	3,80	7,14
15	10,75	3,40	7,35
16	10,65	2,80	7,85
17	9,83	1,20	8,63
18	11,10	4,60	6,50
19	11,03	5,20	5,83
20	11,02	5,50	5,52
21	11,25	4,00	7,25
22	11,21	3,90	7,31
23	11,17	3,80	7,37
24	10,97	3,50	7,47
25	10,76	3,20	7,56
26	10,70	3,00	7,70
27	10,67	2,80	7,87
28	10,61	2,50	8,11
29	11,27	3,40	7,87
30	11,03	3,50	7,53
31	10,78	3,60	7,18
32	10,53	3,00	7,53
33	10,18	3,30	6,88
34	9,99	3,70	6,29
35	9,88	3,80	6,08
36	9,50	3,50	6,00
37	7,44	3,20	4,24
38	7,31	3,10	4,21
39	7,17	3,50	3,67
40	6,66	3,40	3,26
41	5,90	3,00	2,90
42	5,08	2,80	2,28
43	4,14	3,00	1,14
44	3,20	3,40	-0,20
45	2,73	3,30	-0,57
46	2,25	3,20	-0,95
47	2,15	3,30	-1,15
48	2,12	3,00	-0,88
49	11,27	3,50	7,77
50	11,27	3,60	7,67
51	11,27	3,80	7,47
52	11,27	4,20	7,07

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 16 - Situação hidráulica dos nós da Rede Atual através do MPG para o nível de água máximo no reservatório

Nó	Cota Piezométrica (mca)	Cota do terreno(m)	Pressão Disponível (mca)
1	17,13	3,30	13,83
2	16,04	3,25	12,79
3	14,89	3,30	11,59
4	13,81	3,40	10,41
5	12,84	3,80	9,04
6	12,04	3,60	8,44
7	11,49	3,40	8,09
8	11,09	3,00	8,09
9	10,91	2,00	8,91
10	10,71	2,20	8,51
11	17,30	3,35	13,95
12	17,26	3,20	14,06
13	17,18	4,00	13,18
14	16,94	3,80	13,14
15	16,75	3,40	13,35
16	16,65	2,80	13,85
17	15,83	1,20	14,63
18	17,10	4,60	12,50
19	17,03	5,20	11,83
20	17,02	5,50	11,52
21	17,25	4,00	13,25
22	17,21	3,90	13,31
23	17,17	3,80	13,37
24	16,97	3,50	13,47
25	16,76	3,20	13,56
26	16,70	3,00	13,70
27	16,67	2,80	13,87
28	16,61	2,50	14,11
29	17,27	3,40	13,87
30	17,03	3,50	13,53
31	16,78	3,60	13,18
32	16,53	3,00	13,53
33	16,18	3,30	12,88
34	15,99	3,70	12,29
35	15,88	3,80	12,08
36	15,50	3,50	12,00
37	13,44	3,20	10,24
38	13,31	3,10	10,21
39	13,17	3,50	9,67
40	12,66	3,40	9,26
41	11,90	3,00	8,90
42	11,08	2,80	8,28
43	10,14	3,00	7,14
44	9,20	3,40	5,80
45	8,73	3,30	5,43
46	8,25	3,20	5,05
47	8,15	3,30	4,85
48	8,12	3,00	5,12
49	17,27	3,50	13,77
50	17,27	3,60	13,67
51	17,27	3,80	13,47
52	17,27	4,20	13,07

Fonte: Próprio Autor (2017)

A seguir será apresentado o memorial de cálculo para as colunas das tabelas dos resultados hidráulicos dos trechos e dos nós:

- Colunas para a tabela da situação hidráulica dos trechos:
 - Coluna 1: Trechos, definidos no Capítulo 5.
 - Coluna 2: Vazão (L/s).

O cálculo da vazão em cada trecho foi realizado a partir do consumo dos nós extremos. A cada trecho a montante somou-se a vazão no trecho de jusante com o consumo no nó de jusante até chegar ao Reservatório Principal.

- Coluna 3: Diâmetros Nominais (mm), definidos no Capítulo 5.
- Coluna 4: Comprimentos (m): Definidos no Capítulo 5.
- Coluna 5: Velocidade no trecho.

$$V_i = \frac{Q_i}{A_i} \times 1000 \quad (12)$$

Onde:

V_i : Velocidade no trecho i (m/s);

Q_i : Vazão no trecho i (L/s);

A_i : Área circular da seção transversal no trecho i (m²).

$$A_i = \frac{\pi \times D_i^2}{4} \quad (13)$$

Onde:

D_i : Diâmetro no trecho i (m).

- Colunas 6 e 7: Coeficiente de atrito e Perda de Carga.

Parte da energia que os líquidos dispõem em regime dinâmico se dissipa devido ao efeito de sua viscosidade ou atrito interno, unido ao efeito de turbulência ou dos choques entre as partículas do fluido. Essa parte da energia dissipada, que se transforma em calor, denomina-se perda de carga por atrito, perda de energia por atrito, ou perda de carga contínua ao longo do conduto (GOMES, 2009, p.39).

Para Gomes (2009, p.39), “[...] A perda de carga (hf), existente entre duas seções, é proporcional à distância (L) entre as mesmas, e a perda de carga unitária (j), decorrente da relação entre a perda total e o comprimento, permanece constante ao longo do conduto”.

“A perda de carga por atrito depende das características físicas do fluido (viscosidade e massa específica) e das características geométricas do conduto [...] o diâmetro interno (D) e a rugosidade absoluta (ϵ) das paredes internas do tubo” (GOMES,2009, p.39).

Nos dimensionamentos de tubulações permanentes pressurizadas [...] sempre intervém uma equação empírica para representar as perdas de carga ao longo do conduto, em escoamentos permanentes e uniforme. Portanto, o projetista deve escolher uma equação de perda de energia entre as inúmeras fórmulas [...]. Para um regime de escoamento turbulento, que é o tipo reinante nos fluxos pressurizados em adutoras e redes de abastecimento, são muito conhecidas as fórmulas empíricas de Manning, Darcy-Weisbach, Hazen-Williams [...] as duas fórmulas largamente utilizadas pelos projetistas são as de Darcy-Weisbach e de Hazen Williams (GOMES,2009, p.40).

Foi adotada a fórmula de Darcy-Weisbach:

$$hf_i = f_i \frac{L_i \times V_i^2}{D_i \times 2g} \quad (14)$$

Onde:

hf_i : Perda de carga ao longo do trecho i (metros coluna d'água - mca);

f_i : Fator de atrito no trecho i ;

L_i : Comprimento do trecho i (m);

g : Aceleração da gravidade (9,8 m/s²).

O fator de atrito (f) pode ser calculado pela fórmula de Swamee e Jain, utilizada para $10^3 \leq Re \leq 10^8$ e $10^{-6} \leq \frac{\epsilon}{D_i} \leq 10^{-2}$.

$$f_i = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3,7 \times D_i} + \frac{5,74}{Re_i^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (15)$$

Onde:

Re_i : Número de Reynolds do escoamento;

ϵ : 0,001 mm para tubos velhos de plástico (GOMES,2009, p.43);

$$Re_i = \frac{V_i \times D_i}{\nu} \quad (16)$$

Onde:

ν : Viscosidade Cinemática da água dependente da temperatura (0,000000876 m²/s) para uma temperatura de 26 °C (GOMES, 2009, p.42). A temperatura escolhida é a temperatura média na cidade do Recife, dado obtido no *site* Clima Date.

“Pode-se considerar que a fórmula de Darcy-Weisbach é a mais aconselhável para determinação de perdas ao longo dos condutos, já que ela pode ser empregada para qualquer tipo de líquido, materiais e estados das tubulações [...]” (GOMES, 2009, p.43).

- Colunas para as tabelas da situação hidráulica dos nós:

- Coluna 1: Nós, definidos no Capítulo 5.

- Coluna 2: Cota piezométrica (mca).

Em um nó qualquer da rede é a altura da coluna líquida da água menos a perda de carga do trecho a montante:

$$Z_j = Z_{j-1} - hf_i \quad (17)$$

Onde:

Z_j : Cota piezométrica em um nó j (mca);

Z_{j-1} : Cota piezométrica no nó $j-1$ (mca);

hf_i : Perda de carga no trecho i , a montante (mca).

- Coluna 3: Cota do terreno (m), definida no Capítulo 5.

- Coluna 4: Pressão disponível no nó (mca):

Também conhecida como cota manométrica, é a altura em que a água pode atingir. Definida as cotas topográficas e as cotas piezométricas, a pressão disponível em um nó será dada pela diferença entre as duas cotas:

$$H_j = Z_j - C_j \quad (18)$$

Onde:

C_j : Cota do terreno em um nó j (m).

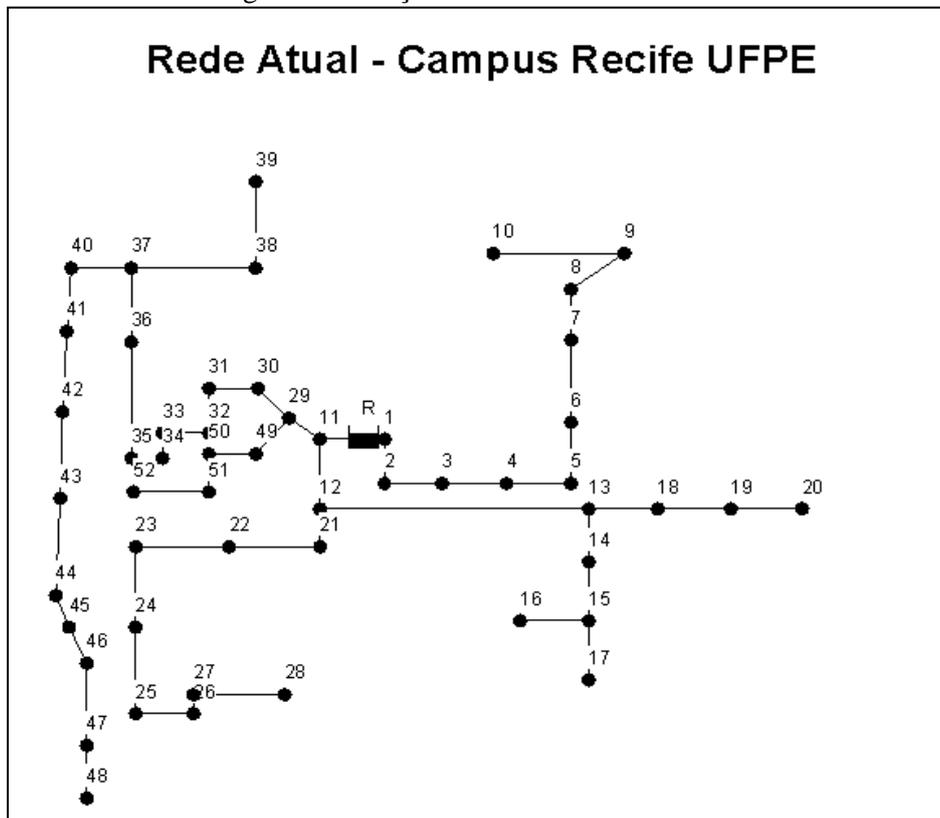
Por fim, a origem do sistema, o reservatório Castelo d'Água, possui cota do terreno igual a 3,40 m, a cota manométrica mínima e máxima igual a 8,00 e 14,00 m, respectivamente, com isso, tem-se a cota piezométrica mínima e máxima igual a 11,40 e 17,40 m, respectivamente.

6.2 SIMULADOR HIDRÁULICO: EPANET

Por se tratar de uma poderosa ferramenta e de fácil operação, o simulador hidráulico EPANET será utilizado para conferência dos resultados obtidos no MPG. De fato, faz-se necessário a utilização de pelo menos dois métodos para uma análise confiável, pois, podem ser cometidos erros na introdução dos dados (diâmetros, comprimentos, cotas, consumos, viscosidade cinemática ou rugosidade) e erros no memorial de cálculo.

O primeiro passo foi a construção do traçado da rede de distribuição no programa EPANET. A rede foi desenhada no programa AutoCAD, gerando um arquivo DWG. Este formato de arquivo não é lido pelo simulador hidráulico. Mas, o programa EPACAD transforma o arquivo DWG em um arquivo NET do programa EPANET. A rede de distribuição é criada e transformada em trechos e nós (vértices) da rede. Porém, foi necessário a criação de alguns Nós e trechos, os quais não foram criados automaticamente pelo EPACAD, utilizando as ferramentas de criação de nós e tubulações do *software*. A rede de distribuição resultante desse processo pode ser visualizada na Figura 34.

Figura 34 - Traçado da Rede Atual no EPANET



Fonte: EPANET (2017)

O segundo passo foi configurar o simulador, definindo-se as opções hidráulicas (Figura 35). A unidade da vazão foi modificada para Litros Por Segundo (LPS) e para o cálculo das perdas de carga foi selecionada a fórmula de Darcy-Weibach, a mesma utilizada no MPG. A viscosidade relativa também foi modificada; o programa estabelece como sendo a razão entre a viscosidade cinemática do fluido e a viscosidade da água a 20°C ($1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$), adimensional. Como a viscosidade cinemática para a rede em estudo é de $0,876 \cdot 10^{-6}$ (para temperatura de 26°C.), através da proporção obtém-se a viscosidade relativa para a temperatura de 26°C, que é igual a 0,867326732. As outras opções já são pré-estabelecidas pelo programa.

Figura 35 - Opções de Simulação

Hidráulica Opções	
Propriedade	Valor
Unidades de Vazão	LPS
Fórmula de Perda de Carga	D-W
Densidade	1
Viscosidade Relativa	0.867326732
No. Máximo de Iterações	40
Erro Máximo de Convergência	0.001
Se Não Convergir	Continue
Padrão	1
Fator de Consumo	1.0
Expoente p/ Fórmula do Emissor	0.5
Relatório de Estado	No
CHECKFREQ	2
MAXCHECK	10
DAMPLIMIT	0

Fonte: EPANET (2017)

Com relação aos trechos, foram informados: o diâmetro, o comprimento e a rugosidade do tubo. Para os Nós foram informados: a cota do terreno e o consumo.

Para o reservatório (R) foi escolhido a opção de Reservatório de Nível Fixo (RNF), a simulação foi realizada para o nível mínimo e máximo de água no reservatório sendo igual a 11,40 e 17,40 m, respectivamente. Como a simulação é estática, o nível é fixo, entretanto, ao longo do dia o nível de água sofre oscilações no reservatório em detrimento do consumo de água nas edificações.

Com isso, a simulação da rede de distribuição pode ser iniciada. Para a rede em questão a simulação no nível de água mínimo do RNF apresentou mensagens de advertências. Esse fato

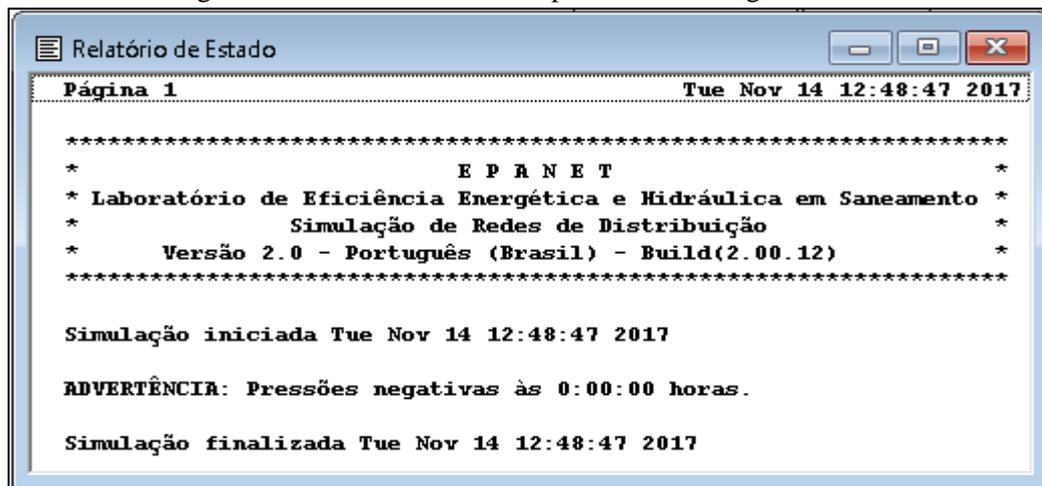
era esperado, pois foram obtidas pressões negativas quando aplicado o MPG. O simulador apresenta o Estado de Simulação (Figura 36) e também é apresentado um Relatório de Estado (Figura 37) para mais detalhes da simulação, explicando o motivo da advertência.

Figura 36 - Estado da Simulação para o nível de água mínimo



Fonte: EPANET (2017)

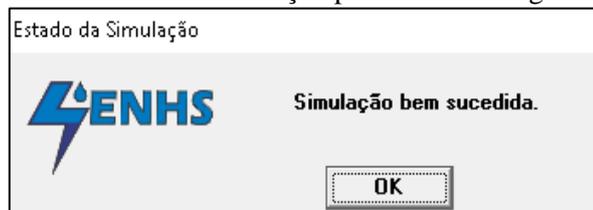
Figura 37 - Relatório de Estado para o nível de água mínimo



Fonte: EPANET (2017)

Para a simulação no nível de água máximo do RNF, o simulador apresentou o Estado de Simulação (Figura 38) como simulação bem-sucedida.

Figura 38 - Estado da Simulação para o nível de água máximo



Fonte: EPANET (2017)

A seguir, as Tabelas 17, 18 e 19, apresentam os valores encontrados na simulação hidráulica pelo EPANET, a primeira tabela apresenta os dados hidráulicos para os trechos (vazão, velocidade, fator de atrito e perda de carga por quilômetro), a segunda e a terceira tabela para os nós (pressão disponível e a carga hidráulica correspondente à cota piezométrica nos nós)

Tabela 17 - Situação hidráulica dos trechos da Rede Atual através do EPANET

Trecho	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/km)	Fator de Atrito
R-1	12.79	1.35	13.56	0.016
1-2	12.79	1.35	13.56	0.016
2-3	12.79	1.35	13.56	0.016
3-4	12.79	1.35	13.56	0.016
4-5	12.03	1.27	12.14	0.016
5-6	9.52	1.00	7.97	0.017
6-7	9.52	1.00	7.97	0.017
7-8	5.59	0.59	3.07	0.019
8-9	3.85	0.41	1.58	0.021
9-10	2.78	0.29	0.89	0.022
R-11	51.07	1.04	3.19	0.014
11-12	14.98	0.31	0.35	0.018
12-13	6.79	0.22	0.25	0.021
13-14	4.46	0.47	2.05	0.020
14-15	4.25	0.45	1.88	0.020
15-16	1.14	0.26	1.14	0.025
15-17	2.27	0.51	3.85	0.021
13-18	2.33	0.25	0.65	0.023
18-19	2.33	0.25	0.65	0.023
19-20	0.21	0.05	0.06	0.040
12-21	8.19	0.17	0.12	0.021
21-22	7.50	0.24	0.30	0.020
22-23	7.50	0.24	0.30	0.020
23-24	7.50	0.42	1.17	0.019
24-25	7.50	0.42	1.17	0.019
25-26	7.18	0.41	1.09	0.019
26-27	5.04	0.29	0.58	0.021
27-28	3.04	0.17	0.24	0.024
11-29	36.09	0.74	1.70	0.015
29-30	35.54	1.13	4.85	0.015
30-31	30.80	0.98	3.74	0.015
31-32	26.66	0.85	2.88	0.016
32-33	26.66	0.85	2.88	0.016
33-34	26.66	0.85	2.88	0.016
34-35	26.66	0.85	2.88	0.016
35-36	19.41	0.62	1.63	0.017
36-37	14.28	1.50	16.55	0.016
37-38	2.35	0.25	0.66	0.023
38-39	2.35	0.25	0.66	0.023
37-40	8.02	0.84	5.85	0.018
40-41	8.02	0.84	5.85	0.018
41-42	8.02	0.84	5.85	0.018
42-43	8.02	0.84	5.85	0.018
43-44	8.02	0.84	5.85	0.018
44-45	8.02	0.84	5.85	0.018
45-46	8.02	0.84	5.85	0.018
46-47	1.02	0.23	0.94	0.026
47-48	0.54	0.12	0.31	0.031
29-49	0.55	0.02	0.00	0.040
49-50	0.20	0.01	0.00	0.045
50-51	0.20	0.01	0.00	0.045
51-52	0.20	0.01	0.00	0.044

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 18 - Situação hidráulica dos nós da Rede Atual através do EPANET para o nível de água mínimo no reservatório

Nó	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
1	11.13	7.83
2	10.04	6.79
3	8.89	5.59
4	7.81	4.41
5	6.83	3.03
6	6.04	2.44
7	5.48	2.08
8	5.08	2.08
9	4.90	2.90
10	4.70	2.50
11	11.30	7.95
12	11.26	8.06
13	11.18	7.18
14	10.94	7.14
15	10.75	7.35
16	10.65	7.85
17	9.83	8.63
18	11.10	6.50
19	11.03	5.83
20	11.02	5.52
21	11.25	7.25
22	11.21	7.31
23	11.17	7.37
24	10.97	7.47
25	10.76	7.56
26	10.70	7.70
27	10.67	7.87
28	10.61	8.11
29	11.27	7.87
30	11.03	7.53
31	10.78	7.18
32	10.53	7.53
33	10.18	6.88
34	9.99	6.29
35	9.88	6.08
36	9.50	6.00
37	7.43	4.23
38	7.30	4.20
39	7.16	3.66
40	6.65	3.25
41	5.89	2.89
42	5.07	2.27
43	4.14	1.14
44	3.19	-0.21
45	2.72	-0.58
46	2.25	-0.95
47	2.14	-1.16
48	2.11	-0.89
49	11.27	7.77
50	11.27	7.67
51	11.27	7.47
52	11.27	7.07
RNF R	11.40	0.00

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 19 - Situação hidráulica dos nós da Rede Atual através do EPANET para o nível de água máximo no reservatório

Nó	Carga Hidráulica (m)	Pressão(m)
1	17.13	13.83
2	16.04	12.79
3	14.89	11.59
4	13.81	10.41
5	12.83	9.03
6	12.04	8.44
7	11.48	8.08
8	11.08	8.08
9	10.90	8.90
10	10.70	8.50
11	17.30	13.95
12	17.26	14.06
13	17.18	13.18
14	16.94	13.14
15	16.75	13.35
16	16.65	13.85
17	15.83	14.63
18	17.10	12.50
19	17.03	11.83
20	17.02	11.52
21	17.25	13.25
22	17.21	13.31
23	17.17	13.37
24	16.97	13.47
25	16.76	13.56
26	16.70	13.70
27	16.67	13.87
28	16.61	14.11
29	17.27	13.87
30	17.03	13.53
31	16.78	13.18
32	16.53	13.53
33	16.18	12.88
34	15.99	12.29
35	15.88	12.08
36	15.50	12.00
37	13.43	10.23
38	13.30	10.20
39	13.16	9.66
40	12.65	9.25
41	11.89	8.89
42	11.07	8.27
43	10.14	7.14
44	9.19	5.79
45	8.72	5.42
46	8.25	5.05
47	8.14	4.84
48	8.11	5.11
49	17.27	13.77
50	17.27	13.67
51	17.27	13.47
52	17.27	13.07
RNF R	17.40	0.00

Fonte: Próprio Autor (2017)

A simulação hidráulica para a situação hipotética de consumo estabelecida não foi bem-sucedida, pois nos resultados hidráulicos foram observados: velocidades baixas na maioria dos trechos, abaixo do permitido pelas normas técnicas (NBR 12218 e a norma interna da COMPESA), que podem provocar o acúmulo de sedimentos nos tubos; excessivas perdas de carga incidindo na maioria dos nós pressões disponíveis inferiores ao desejável pelas normas técnicas; além de pressões “negativas” (nós 44 a 48), que confirmam as reclamações de “baixas pressões na rede” por parte de funcionários que ocupam as edificações próximas aos nós 46 e 47. De fato, tais pressões foram observadas na situação mais desfavorável da simulação quando o nível de água no reservatório é mínimo.

Quando a simulação foi realizada para o nível de água máximo no reservatório houve o aumento de pressão esperado nos nós, porém os nós mais críticos (44 a 48) apresentaram resultados inferiores ao estabelecido pelas normas técnicas.

Um fato interessante a ser revelado é que no trecho 19-20, o qual fornece água para a Casa Feminina, apresentou uma velocidade de 0,02 m/s. Durante a realização de uma visita técnica nesta edificação foi constatado que a mesma está sendo abastecida exclusivamente pela COMPESA, pois a água que escoava para este local pelo sistema de abastecimento próprio do *campus* possui elevada concentração de sedimentos (“lama”), que foi verificado no reservatório inferior da edificação.

A pressão máxima disponível foi verificada no Nó 17, sendo igual a 8,63 e 14,63 m para o nível de água mínimo e máximo, respectivamente. A velocidade máxima foi verificada no trecho R-1, sendo igual a 1,35 m/s.

7 DIMENSIONAMENTO REDE PROPOSTA

7.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UMA REDE

Os custos de uma rede estão relacionados com a implantação e a operação. Os custos de implantação correspondem ao custo dos insumos (tubulações, peças e conexões) e ao custo dos serviços (mão de obra e equipamentos) que serão utilizados para a construção da rede. Os custos dos insumos (Tabela 20) foram obtidos da tabela de Orçamento de Obras de Sergipe (ORSE), a qual tem sido utilizada nos processos licitação de compras da UFPE. Os custos de serviços (Tabela 21) foram obtidos na COMPESA.

O custo de operação é um custo variável, o qual está relacionado com o consumo de energia elétrica utilizada na estação elevatória de recalque de água tratada, onde é bombeada para o reservatório principal. Deve-se ter em mente que a energia introduzida no sistema pelo conjunto motor-bomba não influencia nas pressões disponíveis da rede de distribuição, esta é fornecida pelo reservatório principal.

O custo de operação atual (CO) foi calculado a partir da equação abaixo:

$$CO = C_h \cdot H \cdot F_a \quad (19)$$

Onde:

- C_h = custo de operação da estação de bombeamento, por unidade de altura manométrica;

$$C_h = \frac{9,8 \cdot Q}{n} \cdot N_b \cdot p \quad (20)$$

Onde:

- Q = Vazão total (m^3/s), obtida por meio do somatório dos consumos estabelecidos, logo, $Q = 0,09195 m^3/s$;
- N_b = número de horas anuais de utilização da estação elevatória de água tratada, foi considerado que o fornecimento de água tratada ocorre ao longo de todo ano (365,25 dias), 8 horas por dia, logo, $N_b = 2922$ horas;
- p = custo do KWh, obtido através da Companhia de Energia Elétrica de Pernambuco (CELPE), $p = 0,62$ KWh;
- n = rendimento esperado do conjunto motor-bomba, foi considerado um rendimento de 75%.

Com isso, foi obtido $Ch = 2.176,65$ R\$/m/ano.

- Fa = fator de atualização do custo de operação;

$$Fa = \left[\frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \right] \times \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (21)$$

Onde:

- e = aumento de energia anual, em decimal, conforme informações da Companhia de Energia Elétrica de Pernambuco (CELPE), o aumento de energia anual é de 8%;
- i = taxa de juro anual, está taxa, geralmente, é estabelecida pelos órgãos financiadores do projeto, por conseguinte, foi considerado i = 12%;
- n = número de anos correspondente à vida útil das instalações ou ao alcance do projeto, foi considerado n = 20 anos.

Com isso, o resultado obtido para o fator de atualização foi de Fa = 12,92.

- H = Altura manométrica de bombeamento.

“H” é a soma do desnível geométrico entre o nível mínimo do reservatório de montante e o nível máximo do reservatório de jusante, mais a perda de carga na tubulação de recalque e sucção, por segurança foi adotado um valor de 10 metros.

Logo, o custo de operação atual obtido foi de: CO = 281.223,18 R\$.

Tabela 20 - Custo dos insumos

Descrição	Unidade	Custo (R\$)
Tubo de PVC D = 50 mm	m	10,18
Tubo de PVC D = 75 mm	m	20,82
Tubo de PVC D = 100 mm	m	36,21
Tubo de PVC D = 150 mm	m	58,44
Tubo de PVC D = 200 mm	m	78,88
Tubo de PVC D = 250 mm	m	108,22
Tubo de PVC D = 300 mm	m	146,89

Fonte: Tabela de Orçamento de Obras de Sergipe (2017)

Tabela 21 - Custo dos serviços

Descrição	Unidade	Custo (R\$)	Natureza
Locação e nivelamento de valas para rede de distribuição com uso de equipamentos topográficos	m	1,17	Equipamento e mão de obra
Escavação manual de valas em material de 1ª e/ou 2ª categoria até 2,0 metros de profundidade	m (*)	45,88	Mão de obra
Reaterro apilado em camadas de 0,20 metros com aproveitamento do material	m (*)	42,35	Mão de obra
Assentamento de tubulação ponta e bolsa em PVC ou PRFV ou RPVC ou CPRFV com conexões e peças especiais - DN - 50 mm, inclusive carga, transporte e descarga	m	1,54	Equipamento e mão de obra
Assentamento de tubulação ponta e bolsa em PVC ou PRFV ou RPVC ou CPRFV com conexões e peças especiais - DN - 75 mm, inclusive carga, transporte e descarga	m	2,27	Equipamento e mão de obra
Assentamento de tubulação ponta e bolsa em PVC ou PRFV ou RPVC ou CPRFV com conexões e peças especiais - DN - 100 mm, inclusive carga, transporte e descarga	m	2,79	Equipamento e mão de obra
Assentamento de tubulação ponta e bolsa em PVC ou PRFV ou RPVC ou CPRFV com conexões e peças especiais - DN - 150 mm, inclusive carga, transporte e descarga	m	3,51	Equipamento e mão de obra
Assentamento de tubulação ponta e bolsa em PVC ou PRFV ou RPVC ou CPRFV com conexões e peças especiais - DN - 200 mm, inclusive carga, transporte e descarga	m	4,22	Equipamento e mão de obra
Assentamento de tubulação ponta e bolsa em PVC ou PRFV ou RPVC ou CPRFV com conexões e peças especiais - DN - 250 mm, inclusive carga, transporte e descarga	m	4,94	Equipamento e mão de obra
Assentamento de tubulação ponta e bolsa em PVC ou PRFV ou RPVC ou CPRFV com conexões e peças especiais - DN - 300 mm, inclusive carga, transporte e descarga	m	6,10	Equipamento e mão de obra

Fonte: COMPESA (2017)

Nota:

(*) foi considerada vala com 2 m de altura e 0,5 m de largura.

7.2 MÉTODO PNL 2000

Este método tem por objetivo estabelecer o custo mínimo para implantação da “Rede Proposta” em função dos diâmetros, os quais são determinados em função das variáveis hidráulicas (vazões e pressões disponíveis nos pontos de consumo) e das características topológicas da rede de distribuição de água.

Segundo Gomes (2009), o custo mínimo de implantação da rede depende, principalmente, da cota piezométrica do ponto de alimentação da rede. Percebe-se que quanto maior for a cota piezométrica menor será o custo de implantação da rede, pois serão selecionadas tubulações

com menores diâmetros já que existirão cargas suficientes para superar maiores perdas provocadas por elas.

Logo, para que o método apresente uma solução satisfatória utilizando a ferramenta *solver* é necessário atribuir valores iniciais para todas as variáveis. Para a otimização do sistema foi necessário a realização de 2 etapas:

- Na primeira etapa é realizado um pré-dimensionamento em que os diâmetros e as vazões dos trechos são as variáveis a serem determinadas no processo de otimização. Vale ressaltar que a primeira etapa é realizada em duas fases, a solução inicial e a solução otimizada. A solução inicial é realizada a partir dos diâmetros iniciais que são obtidos por meio da escolha da velocidade média dos trechos, geralmente, 1 m/s. A solução otimizada é realizada através da ferramenta *solver* em função das restrições hidráulicas;
- A segunda etapa também é realizada por meio de duas fases, a solução inicial e a solução otimizada ou solução definitiva. A partir dos resultados obtidos no pré-dimensionamento, os diâmetros calculados não coincidem com os diâmetros comerciais, com isso, para a solução inicial, faz-se necessário o ajuste dos diâmetros inicialmente calculados. O ajuste é realizado modificando o diâmetro de cada trecho para o diâmetro comercial mais próximo, tais modificações promovem o desequilíbrio do sistema. Por conseguinte, é realizada a solução definitiva em que os diâmetros são fixos e a vazão é a variável a ser determinada no processo de otimização por meio da ferramenta *solver* em função das restrições hidráulicas;
- Eventualmente pode ocorrer a necessidade de complementação do modelo, caso não ocorra o equilíbrio hidráulico da rede no fim do processo de otimização da segunda etapa.

Para resolução do método foi necessário a construção de dois tipos de tabela: a primeira, relacionada aos “Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede”, onde são apresentados os dados dos trechos, as equações referentes às perdas de carga e o custo dos tubos e a segunda relacionada às “Restrições”, onde são apresentados os resultados das equações de restrição e os dados hidráulicos referentes aos nós. Cada etapa é formada por duas fases e, cada fase, por duas tabelas.

A seguir são apresentadas as colunas para criação das tabelas com seu respectivo significado e memorial de cálculo (equações e restrições hidráulicas), as colunas foram identificadas a partir da planilha eletrônica do Excel. As tabelas e as etapas são apresentadas posteriormente.

- “Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede”

- Coluna C: Trechos, definidos no Capítulo 5.

- Coluna D: Vazão (L/s).

São dados inicialmente atribuídos e que são variáveis a serem ajustadas hidraulicamente no processo de otimização. As vazões são atribuídas em função das demandas nos nós, de modo que a vazão de origem da rede seja a soma de todas as demandas. Para a solução inicial foi adotada a seguinte regra: Parte-se de um nó extremo e, respeitando o princípio de conservação de massa nos nós e os sentidos das vazões inicialmente arbitrados, são somadas, de jusante para montante, as demandas dos nós da rede com as vazões nos trechos de jusante, até ser alcançada a demanda no trecho de origem.

- Coluna E: Diâmetro Nominal (mm).

Os diâmetros dos trechos são as variáveis de decisão a serem otimizadas. A restrição vinculada aos diâmetros dos trechos deve estar contida no seguinte intervalo: $50 \leq \text{Diâmetro do trecho} \leq 300$. Vale ressaltar que os valores iniciais atribuídos aos diâmetros na primeira etapa podem ultrapassar esse intervalo.

- Coluna F: Comprimento dos trechos, definidos no capítulo 5.

- Coluna G e H: Coeficiente de atrito e perda de carga:

O memorial de cálculo é o mesmo utilizado no MPG, utilizando a fórmula de Darcy-Weisbach. A única mudança é a utilização da operação “SE” do Excel na equação da perda de carga, evitando-se valores negativos, devido à variação da vazão no processo iterativo, a qual pode convergir para valores negativos, com isso, para tais casos a equação da perda de carga deve ser multiplicada por “-1”.

➤ Coluna I: Custo unitário (R\$).

A Tabela 22, informa o custo unitário para implantação da tubulação em função do diâmetro.

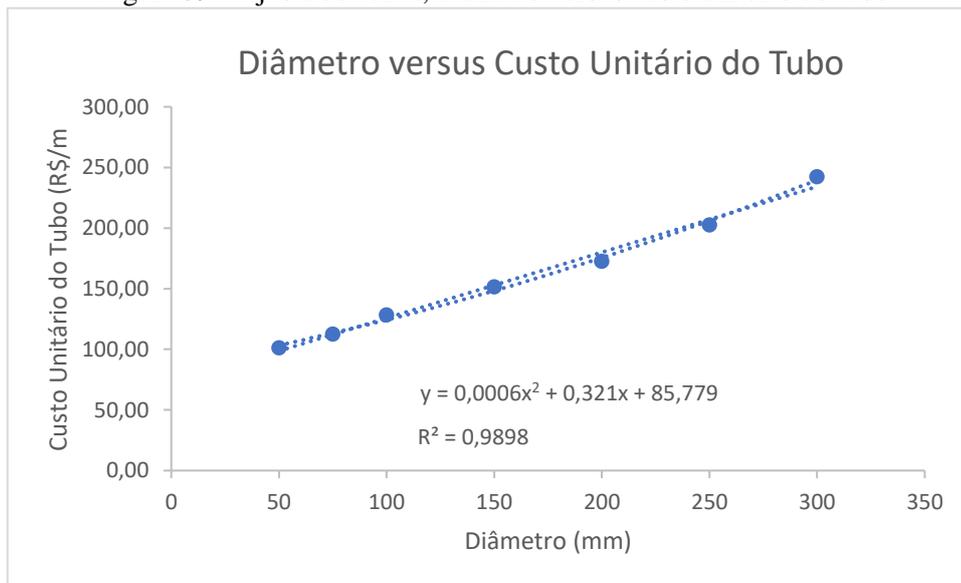
Tabela 22 - Custo unitário em função do diâmetro do tubo

Diâmetro (mm)	Custo unitário (R\$/m)
50	101,12
75	112,49
100	128,40
150	151,35
200	172,50
250	202,56
300	242,39

Fonte: Próprio Autor (2017)

Com isso, faz-se necessário, a criação de uma equação que relaciona o custo unitário ao diâmetro, esta equação pode ser obtida através de um programa de ajuste de curva, foi utilizado o Excel, na ferramenta de criação de gráficos de dispersão, o ajuste da curva foi realizado para uma equação polinomial de segundo grau (Figura 39).

Figura 39 - Ajuste de curva, diâmetro versus custo unitário do tubo



Fonte: Próprio Autor (2017)

Ou seja, a coluna de custo unitário é preenchida segundo a equação apresentada no gráfico em detrimento do diâmetro do tubo.

- Coluna J: Custo total do trecho e custo total da rede.

O custo total do trecho é o produto do custo unitário pelo comprimento do trecho. O custo da rede é a função objetivo, ou seja, o valor mínimo a ser determinado no processo de otimização do sistema.

- Coluna K: Velocidade média no trecho.

Determinado da mesma forma que no MPG, mais a operação “ABS” do Excel que representa o módulo da vazão, corrigindo as vazões negativas. A restrição para essa variável será estabelecida para o seguinte intervalo: $0,2 \leq \text{Velocidade no trecho} \leq 3,5$.

- “Restrições”

- Coluna C: Nós, apresentados no Capítulo 5.

- Coluna D: Cota piezométrica (m) disponível no nó.

Obtida através da cota piezométrica do nó de montante menos a perda de carga no trecho, da mesma forma como foi definida no MPG. O reservatório, R, é o ponto de partida da cota piezométrica, sendo igual a 11,40 metros (3,40 metros a cota do terreno, mais o nível mínimo de água do reservatório que é igual a 8,00 metros).

- Coluna E: Demanda (L/s) no nó, definida no capítulo 5.

- Coluna F: Cota do terreno (m), definida no capítulo 5.

- Coluna G: Pressão disponível no nó.

Sendo igual a cota piezométrica menos a cota do terreno. No intuito de que a água chegue aos reservatórios inferiores com pressão adequada foi adotada o seguinte intervalo para essa restrição: $5,00 \leq \text{Pressão disponível}$.

Apesar de ser um valor abaixo do indicado pela norma NBR 12218 (2017), 10 m de coluna d’água, e a norma interna da COMPESA, 6 m de coluna d’água, o reservatório principal

possui uma baixa cota piezométrica, incidindo em menores pressões disponíveis nos nós, além disso a otimização é realizada para a situação mais crítica, a qual ocorre quando o nível de água no reservatório é mínimo, porém ao longo do dia ocorrerão flutuações neste nível, aumentando a pressão inicial da rede e conseqüentemente as pressões disponíveis nos nós.

➤ Coluna H: Equação da continuidade.

A equação da continuidade é a soma das vazões que chegam no nó menos as vazões que saem. A soma dessas vazões deve ser igual a zero para que o equilíbrio hidráulico do sistema seja atingido.

➤ Coluna I: Equação de energia.

A equação de energia é a soma das perdas de carga em um anel. A soma das perdas de carga deve ser igual a zero, está é a restrição da coluna, formando 3 equações, já que a rede é formada por 3 anéis. Vale lembrar, que as perdas de cargas serão positivas quando as vazões estiverem no sentido horário e negativas para o sentido anti-horário.

➤ Coluna J: Anel.

Identificação do anel para a equação de energia.

A seguir são apresentadas as soluções das etapas 1 e 2 em função das tabelas anteriormente explicadas:

- Etapa 1 - Solução Inicial:

As Tabelas 23 e 24 representam a solução inicial da primeira etapa, vale ressaltar que para essa configuração, os diâmetros são ajustados segundo a velocidade média do trecho, 1 m/s, e que a rede está em desequilíbrio hidráulico, além disso os diâmetros na solução inicial não necessariamente obedecem ao intervalo anteriormente definido.

Tabela 23 - Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede - Solução inicial da primeira etapa

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
9	Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede de Distribuição									
10	Trecho	Vazão (L/s)	D. Nominal (mm)	Comprimento (m)	f	Perdas (mca)	Preço unitário (R\$)	Custo total (R\$)	Velocidade(m/s)	
11	R-1	91,95	342,16	13	0,01373	0,02661	265,86	3456,15	1,00	
12	1-2	44,74	238,67	77	0,01468	0,24169	196,57	15136,03	1,00	
13	2-3	33,33	206,00	81	0,01510	0,30297	177,37	14366,82	1,00	
14	3-4	32,29	202,76	311	0,01515	1,18547	175,53	54591,00	1,00	
15	4-5	5,47	83,45	101	0,01812	1,11864	116,75	11791,41	1,00	
16	5-6	5,40	82,92	175	0,01814	1,95341	116,52	20391,20	1,00	
17	6-7	13,10	129,15	137	0,01656	0,89610	137,24	18802,36	1,00	
18	7-8	18,97	155,41	194	0,01596	1,01622	150,16	29130,80	1,00	
19	8-9	33,35	206,06	121	0,01510	0,45243	177,40	21465,80	1,00	
20	9-1	33,35	206,06	231	0,01510	0,86373	177,40	40980,17	1,00	
21	8-10	14,38	135,31	65	0,01640	0,40201	140,20	9112,97	1,00	
22	10-11	10,85	117,54	253	0,01688	1,85335	131,80	33344,64	1,00	
23	11-12	7,18	95,61	210	0,01761	1,97312	121,96	25610,75	1,00	
24	12-13	5,56	84,14	115	0,01809	1,26117	117,03	13459,01	1,00	
25	13-14	2,95	61,29	106	0,01936	1,70803	107,71	11416,80	1,00	
26	14-15	2,95	61,29	193	0,01936	3,10991	107,71	20787,19	1,00	
27	15-16	10,27	114,35	112	0,01697	0,84806	130,33	14597,12	1,00	
28	16-2	11,41	120,53	182	0,01679	1,29350	133,19	24239,85	1,00	
29	15-17	3,52	66,95	127	0,01899	1,83787	109,96	13964,64	1,00	
30	17-18	3,20	63,83	143	0,01919	2,19291	108,71	15546,00	1,00	
31	18-19	3,20	63,83	217	0,01919	3,32771	108,71	23590,79	1,00	
32	19-20	7,76	99,40	200	0,01747	1,79306	123,61	24722,92	1,00	
33	20-21	10,97	118,18	198	0,01686	1,44090	132,10	26155,12	1,00	
34	21-22	16,02	142,82	264	0,01623	1,53033	143,86	37979,66	1,00	
35	22-4	26,82	184,79	97	0,01542	0,41306	165,59	16061,88	1,00	
36	Custo da Rede:							540701,08		

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 24 - Restrições - Solução Inicial da primeira etapa

	C	D	E	F	G	H	I	J
38	Restrições							
39	Nó	Cota Piezométrica (mca)	Consumo (L/s)	Cota (m)	Pressão Disponível (mca)	Equação de Continuidade	Equação de Energia	Anel
40	1	11,37	13,86	3,35	8,02	0,00	-2,33	Anel 1
41	2	11,13	0,00	3,20	7,93	0,00	3,02	Anel 2
42	3	10,83	1,04	3,40	7,43	0,00	-3,82	Anel 3
43	4	9,64	0,00	3,30	6,34	0,00		
44	5	8,52	10,87	3,20	5,32	0,00		
45	6	8,14	7,70	3,10	5,04	0,00		
46	7	9,04	5,87	3,00	6,04	0,00		
47	8	10,06	0,00	3,00	7,06	0,00		
48	9	10,51	0,00	3,15	7,36	0,00		
49	10	9,66	3,53	3,20	6,46	0,00		
50	11	7,80	3,67	2,50	5,30	0,00		
51	12	5,83	1,62	2,50	3,33	0,00		
52	13	4,57	2,61	3,00	1,57	0,00		
53	14	5,88	5,90	3,20	2,68	0,00		
54	15	8,99	3,80	3,50	5,49	0,00		
55	16	9,84	1,14	3,35	6,49	0,00		
56	17	7,15	0,32	3,30	3,85	0,00		
57	18	4,96	6,40	2,80	2,16	0,00		
58	19	4,47	4,56	2,80	1,67	0,00		
59	20	6,26	3,21	3,00	3,26	0,00		
60	21	7,70	5,05	3,10	4,60	0,00		
61	22	9,23	10,80	3,20	6,03	0,00		

Fonte: Próprio Autor (2017)

- Etapa 1 - Solução Otimizada:

A solução otimizada para a primeira etapa é obtida através da ferramenta *solver* do aplicativo Excel. A Figura 40 mostra a caixa de diálogo “Parâmetros do *Solver*”, na qual são inseridas as informações sobre o processo de otimização, informando ao programa a célula em que se encontra a função objetivo (custo total da rede), as variáveis de decisão (vazões e diâmetros dos trechos) e as restrições do problema (diâmetro mínimo e máximo, velocidade mínima e máxima, pressão disponível mínima, equação da energia e da continuidade).

Figura 40 - Entrada de parâmetros da ferramenta *solver* para otimização da primeira etapa

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para: Máx. Min. Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

- $\$E\$11:\$E\$35 \leq 300$
- $\$E\$11:\$E\$35 \geq 50$
- $\$G\$39:\$G\$60 \geq 5$
- $\$H\$39:\$H\$60 = 0$
- $\$I\$39:\$I\$41 = 0$
- $\$K\$11:\$K\$35 \leq 3,5$
- $\$K\$11:\$K\$35 \geq 0,2$

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Método de Solução

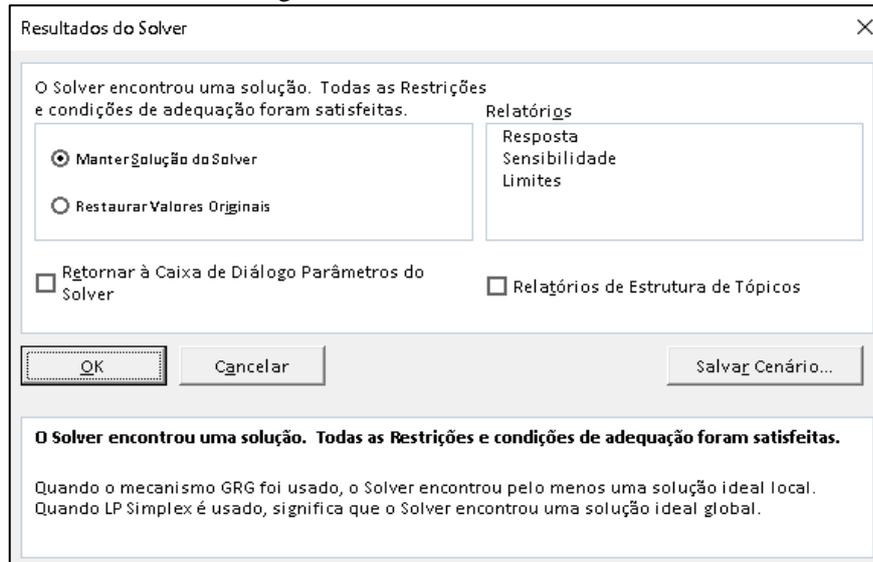
Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda Resolver Fechar

Fonte: Excel do Microsoft (2017)

Clica-se em “resolver” e o programa apresenta: Resultados do *Solver* (Figura 41).

Figura 41 - Resultados do Solver



Fonte: Excel do Microsoft (2017)

As Tabelas 25 e 26 apresentam a solução otimizada da primeira etapa. Verifica-se que os valores encontrados para os diâmetros não coincidem com os diâmetros comerciais e devido a isso deve-se ajustar tais valores e realizar novo processo de otimização através da Etapa 2.

Tabela 25 - Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede - Solução Otimizada da primeira etapa

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
9	Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede de Distribuição									
10	Trecho	Vazão (L/s)	D. Nominal (mm)	Comprimento (m)	f	Perdas (mca)	Preço unitário (R\$)	Custo total (R\$)	Velocidade(m/s)	
11	R-1	91,95	300,00	13	0,01342	0,05019	236,08	3069,03	1,30	
12	1-2	52,30	251,98	77	0,01441	0,24710	204,76	15766,37	1,05	
13	2-3	35,53	214,54	81	0,01503	0,27974	182,26	14763,43	0,98	
14	3-4	34,49	212,63	311	0,01509	1,06259	181,16	56341,20	0,97	
15	4-5	10,48	99,32	101	0,01645	1,56039	123,58	12481,67	1,35	
16	5-6	0,39	50,00	175	0,02991	0,21366	103,33	18082,58	0,20	
17	6-7	8,09	116,04	137	0,01787	0,63020	131,11	17961,56	0,77	
18	7-8	13,96	136,21	194	0,01652	1,10239	140,63	27282,59	0,96	
19	8-9	25,79	190,61	121	0,01563	0,41336	168,77	20420,68	0,90	
20	9-1	25,79	190,56	231	0,01563	0,79021	168,74	38978,18	0,90	
21	8-10	11,82	140,51	65	0,01718	0,23574	142,73	9277,48	0,76	
22	10-11	8,29	126,61	253	0,01809	0,80033	136,04	34417,98	0,66	
23	11-12	4,62	106,63	210	0,01976	0,53219	126,83	26634,06	0,52	
24	12-13	3,00	93,89	115	0,02115	0,24856	121,21	13938,87	0,43	
25	13-14	0,39	50,00	106	0,02991	0,12941	103,33	10952,87	0,20	
26	14-15	5,51	93,10	193	0,01850	1,28091	120,86	23326,56	0,81	
27	15-16	15,63	143,50	112	0,01632	0,60726	144,20	16150,23	0,97	
28	16-2	16,77	146,49	182	0,01616	1,01453	145,68	26513,77	1,00	
29	15-17	6,33	99,15	127	0,01821	0,79900	123,50	15685,11	0,82	
30	17-18	6,01	97,65	143	0,01835	0,88191	122,85	17567,05	0,80	
31	18-19	0,39	50,00	217	0,02991	0,26493	103,33	22422,39	0,20	
32	19-20	4,95	119,13	200	0,01994	0,33727	132,53	26506,66	0,44	
33	20-21	8,16	137,95	198	0,01848	0,40365	141,48	28012,72	0,55	
34	21-22	13,21	158,75	264	0,01722	0,65082	151,86	40091,25	0,67	
35	22-4	24,01	188,98	97	0,01582	0,30371	167,87	16283,11	0,86	
36	Custo da Rede:							552927,40		

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 26 - Restrições - Solução Otimizada da primeira etapa

	C	D	E	F	G	H	I	J
38	Restrições							
39	Nó	Altura Piezométrica(mca)	Consumo (l/s)	Cota (m)	Pressão Disponível (mca)	Equação de Continuidade	Equação de Energia	Anel
40	1	11,35	13,86	3,35	8,00	0,00	0,00	Anel 1
41	2	11,10	0,00	3,20	7,90	0,00	0,00	Anel 2
42	3	10,82	1,04	3,40	7,42	0,00	0,00	Anel 3
43	4	9,76	0,00	3,30	6,46	0,00		
44	5	8,20	10,87	3,20	5,00	0,00		
45	6	8,41	7,70	3,10	5,31	0,00		
46	7	9,04	5,87	3,00	6,04	0,00		
47	8	10,15	0,00	3,00	7,15	0,00		
48	9	10,56	0,00	3,15	7,41	0,00		
49	10	9,91	3,53	3,20	6,71	0,00		
50	11	9,11	3,67	2,50	6,61	0,00		
51	12	8,58	1,62	2,50	6,08	0,00		
52	13	8,33	2,61	3,00	5,33	0,00		
53	14	8,20	5,90	3,20	5,00	0,00		
54	15	9,48	3,80	3,50	5,98	0,00		
55	16	10,09	1,14	3,35	6,74	0,00		
56	17	8,68	0,32	3,30	5,38	0,00		
57	18	7,80	6,40	2,80	5,00	0,00		
58	19	8,06	4,56	2,80	5,26	0,00		
59	20	8,40	3,21	3,00	5,40	0,00		
60	21	8,81	5,05	3,10	5,71	0,00		
61	22	9,46	10,80	3,20	6,26	0,00		

Fonte: Próprio Autor (2017)

- Etapa 2 - Solução Inicial:

De posse dos resultados obtidos na etapa 1, realiza-se novo processo de otimização sem considerar os diâmetros como variáveis. Na solução inicial da segunda etapa é necessário estabelecer, para cada trecho, o diâmetro comercial adjacente mais próximo ao valor teórico obtido na solução otimizada da etapa 1, podendo ser o diâmetro comercial inferior ou superior, deve-se ter cuidado ao fazer tal mudança, pois, a diminuição do diâmetro provocará o aumento da perda de carga e da velocidade média no trecho, mais a diminuição do custo da rede, enquanto que o aumento do diâmetro ocorrerá o inverso.

Com isso, ajusta-se os valores dos diâmetros, obtendo a solução inicial da segunda etapa (Tabelas 27 e 28), novamente o sistema encontra-se em desequilíbrio.

Tabela 27 - Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede - Solução Inicial da segunda etapa

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
9	Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede de Distribuição									
10	Trecho	Vazão (L/s)	D. Nominal (mm)	Comprimento (m)	f	Perdas (mca)	Preço unitário (R\$)	Custo total (R\$)	Velocidade(m/s)	
11	R-1	91,95	300	13	0,01342	0,05019	236,08	3069,03	1,30	
12	1-2	52,30	300	77	0,01488	0,10666	236,08	18178,08	0,74	
13	2-3	35,53	250	81	0,01547	0,13400	203,53	16485,85	0,72	
14	3-4	34,49	250	311	0,01556	0,48758	203,53	63297,52	0,70	
15	4-5	10,48	100	101	0,01647	1,51027	123,88	12511,78	1,33	
16	5-6	0,39	75	175	0,03346	0,03147	113,23	19815,08	0,09	
17	6-7	8,09	150	137	0,01884	0,18413	147,43	20197,77	0,46	
18	7-8	13,96	150	194	0,01683	0,69351	147,43	28601,23	0,79	
19	8-9	25,79	200	121	0,01578	0,32804	173,98	21051,46	0,82	
20	9-1	25,79	200	231	0,01578	0,62625	173,98	40189,15	0,82	
21	8-10	11,82	150	65	0,01741	0,17229	147,43	9582,89	0,67	
22	10-11	8,29	150	253	0,01874	0,35521	147,43	37299,54	0,47	
23	11-12	4,62	150	210	0,02131	0,10416	147,43	30960,09	0,26	
24	12-13	3,00	100	115	0,02145	0,18395	123,88	14246,09	0,38	
25	13-14	0,39	75	106	0,03346	0,01906	113,23	12002,27	0,09	
26	14-15	5,51	100	193	0,01878	0,90914	123,88	23908,65	0,70	
27	15-16	15,63	150	112	0,01646	0,49083	147,43	16512,05	0,88	
28	16-2	16,77	150	182	0,01623	0,90551	147,43	26832,08	0,95	
29	15-17	6,33	100	127	0,01824	0,76697	123,88	15732,63	0,81	
30	17-18	6,01	100	143	0,01844	0,78694	123,88	17714,70	0,76	
31	18-19	0,39	75	217	0,03346	0,03902	113,23	24570,69	0,09	
32	19-20	4,95	150	200	0,02098	0,11211	147,43	29485,80	0,28	
33	20-21	8,16	150	198	0,01881	0,27025	147,43	29190,94	0,46	
34	21-22	13,21	150	264	0,01702	0,85450	147,43	38921,26	0,75	
35	22-4	24,01	200	97	0,01600	0,23124	173,98	16875,96	0,76	
36	Custo da Rede:							587232,57		

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 28 - Restrições - Solução Inicial da segunda etapa

	C	D	E	F	G	H	I	J
38	Restrições							
39	Nó	Cota Piezométrica (mca)	Consumo (L/s)	Cota (m)	Pressão Disponível (mca)	Equação de Continuidade	Equação de Energia	Anel
40	1	11,35	13,86	3,35	8,00	0,00	0,38	Anel 1
41	2	11,24	0,00	3,20	8,04	0,00	-0,62	Anel 2
42	3	11,11	1,04	3,40	7,71	0,00	0,82	Anel 3
43	4	10,62	0,00	3,30	7,32	0,00		
44	5	9,11	10,87	3,20	5,91	0,00		
45	6	9,52	7,70	3,10	6,42	0,00		
46	7	9,70	5,87	3,00	6,70	0,00		
47	8	10,40	0,00	3,00	7,40	0,00		
48	9	10,72	0,00	3,15	7,57	0,00		
49	10	10,22	3,53	3,20	7,02	0,00		
50	11	9,87	3,67	2,50	7,37	0,00		
51	12	9,76	1,62	2,50	7,26	0,00		
52	13	9,58	2,61	3,00	6,58	0,00		
53	14	8,94	5,90	3,20	5,74	0,00		
54	15	9,85	3,80	3,50	6,35	0,00		
55	16	10,34	1,14	3,35	6,99	0,00		
56	17	9,08	0,32	3,30	5,78	0,00		
57	18	8,29	6,40	2,80	5,49	0,00		
58	19	9,15	4,56	2,80	6,35	0,00		
59	20	9,27	3,21	3,00	6,27	0,00		
60	21	9,54	5,05	3,10	6,44	0,00		
61	22	10,39	10,80	3,20	7,19	0,00		

Fonte: Próprio Autor (2017)

- Etapa 2 - Solução Otimizada (definitiva):

Para a solução definitiva do sistema, faz-se necessário a utilização da ferramenta *solver*. Na Figura 42 é apresentado a caixa de diálogo “Parâmetros do Solver”. Nesta etapa de otimização do modelo, os diâmetros são fixos, em quanto que as vazões nos trechos são variáveis de decisão. As restrições hidráulicas são mantidas, exceto as restrições dos diâmetros, a função objetivo continua sendo o custo total da rede.

As Tabelas 29 e 30 apresentam a solução otimizada da segunda etapa. Neste caso, a solução definitiva do sistema. O custo total mínimo obtido para a implantação da “Rede Proposta” segundo o Método do “PNL 2000” foi de R\$ 587.232,57.

Figura 42 - Parâmetros de entrada da ferramenta *solver* para otimização da segunda etapa

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para: Máx. Mín. Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

\$G\$39:\$G\$60 >= 5
 \$H\$39:\$H\$60 = 0
 \$I\$39:\$I\$41 = 0
 \$K\$11:\$K\$35 <= 3,5
 \$K\$11:\$K\$35 >= 0,2

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Fonte: Excel do Microsoft (2017)

Tabela 29 - Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede - Solução Definitiva

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
9	Cálculos Hidráulicos e Custo da Rede de Distribuição									
10	Trecho	Vazão (L/s)	D. Nominal (mm)	Comprimento (m)	f	Perdas (mca)	Preço unitário (R\$)	Custo total (R\$)	Velocidade(m/s)	
11	R-1	91,95	300	13	0,01342	0,05019	236,08	3069,03	1,30	
12	1-2	51,24	300	77	0,01493	0,10276	236,08	18178,08	0,72	
13	2-3	35,69	250	81	0,01546	0,13506	203,53	16485,85	0,73	
14	3-4	34,65	250	311	0,01555	0,49158	203,53	63297,52	0,71	
15	4-5	9,96	100	101	0,01663	1,37833	123,88	12511,78	1,27	
16	5-6	0,91	75	175	0,02668	0,13495	113,23	19815,08	0,21	
17	6-7	8,61	150	137	0,01860	0,20573	147,43	20197,77	0,49	
18	7-8	14,48	150	194	0,01671	0,74051	147,43	28601,23	0,82	
19	8-9	26,85	200	121	0,01565	0,35288	173,98	21051,46	0,85	
20	9-1	26,85	200	231	0,01565	0,67367	173,98	40189,15	0,85	
21	8-10	12,37	150	65	0,01725	0,18682	147,43	9582,89	0,70	
22	10-11	8,84	150	253	0,01849	0,39804	147,43	37299,54	0,50	
23	11-12	5,17	150	210	0,02078	0,12694	147,43	30960,09	0,29	
24	12-13	3,55	100	115	0,02066	0,24734	123,88	14246,09	0,45	
25	13-14	0,94	75	106	0,02648	0,08604	113,23	12002,27	0,21	
26	14-15	4,96	100	193	0,01920	0,75464	123,88	23908,65	0,63	
27	15-16	14,42	150	112	0,01673	0,42403	147,43	16512,05	0,82	
28	16-2	15,56	150	182	0,01648	0,79030	147,43	26832,08	0,88	
29	15-17	5,65	100	127	0,01867	0,62684	123,88	15732,63	0,72	
30	17-18	5,33	100	143	0,01891	0,63596	123,88	17714,70	0,68	
31	18-19	1,07	75	217	0,02563	0,22074	113,23	24570,69	0,24	
32	19-20	5,63	150	200	0,02039	0,14064	147,43	29485,80	0,32	
33	20-21	8,84	150	198	0,01849	0,31146	147,43	29190,94	0,50	
34	21-22	13,89	150	264	0,01685	0,93456	147,43	38921,26	0,79	
35	22-4	24,69	200	97	0,01591	0,24309	173,98	16875,96	0,79	
36								Custo da Rede:	587232,57	

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 30 - Restrições - Solução Definitiva

	C	D	E	F	G	H	I	J
38	Restrições							
39	Nó	Cota Piezométrica (mca)	Consumo (L/s)	Cota (m)	Pressão Disponível (mca)	Equação de Continuidade	Equação de Energia	Anel
40	1	11,35	13,86	3,35	8,00	0,00	0,00	Anel 1
41	2	11,25	0,00	3,20	8,05	0,00	0,00	Anel 2
42	3	11,11	1,04	3,40	7,71	0,00	0,00	Anel 3
43	4	10,62	0,00	3,30	7,32	0,00		
44	5	9,24	10,87	3,20	6,04	0,00		
45	6	9,38	7,70	3,10	6,28	0,00		
46	7	9,58	5,87	3,00	6,58	0,00		
47	8	10,32	0,00	3,00	7,32	0,00		
48	9	10,68	0,00	3,15	7,53	0,00		
49	10	10,14	3,53	3,20	6,94	0,00		
50	11	9,74	3,67	2,50	7,24	0,00		
51	12	9,61	1,62	2,50	7,11	0,00		
52	13	9,36	2,61	3,00	6,36	0,00		
53	14	9,28	5,90	3,20	6,08	0,00		
54	15	10,03	3,80	3,50	6,53	0,00		
55	16	10,46	1,14	3,35	7,11	0,00		
56	17	9,41	0,32	3,30	6,11	0,00		
57	18	8,77	6,40	2,80	5,97	0,00		
58	19	8,99	4,56	2,80	6,19	0,00		
59	20	9,13	3,21	3,00	6,13	0,00		
60	21	9,44	5,05	3,10	6,34	0,00		
61	22	10,38	10,80	3,20	7,18	0,00		

Fonte: Próprio Autor (2017)

7.3 MÉTODO LENHSNET - EPANET

“O método LENHSNET é um algoritmo iterativo de dimensionamento otimizado de um sistema de abastecimento pressurizado de distribuição de água, composto pela rede de abastecimento, com o seu dispositivo de impulsão” (GOMES, 2009, p.241).

Segundo Gomes (2009), o simulador hidráulico que trabalha com o algoritmo é o EPANET. O processo de otimização inicia-se com os diâmetros mínimos admitidos no projeto, acarretando no custo mínimo de implantação da rede, porém essa solução apresenta perdas de cargas excessivas nos trechos, logo as pressões disponíveis nos nós são insuficientes.

O processo de otimização é realizado iterativamente de modo que a cada solução obtida, dependerá da solução anterior. Com isso, aumentam-se os diâmetros de maneira que o custo associado seja o menor possível. O processo de otimização finaliza quando a rede atende às restrições pré-estabelecidas em detrimento dos diâmetros otimizados.

Assim como foi realizado no capítulo 6, faz-se necessário desenhar o traçado da “Rede Proposta” no programa EPANET (Figura 43) e introduzir as opções hidráulicas para o dimensionamento, as quais já foram apresentadas ao leitor. Posteriormente, são introduzidos os dados básicos referentes aos nós e aos trechos. Para os nós devem ser introduzidos a cota topográfica e o consumo. Para os trechos devem ser introduzidos o comprimento, a rugosidade da tubulação e o diâmetro mínimo, 50 mm, estabelecido no projeto. No reservatório, ponto de origem do sistema, deve ser introduzido o nível de água mínimo do mesmo.

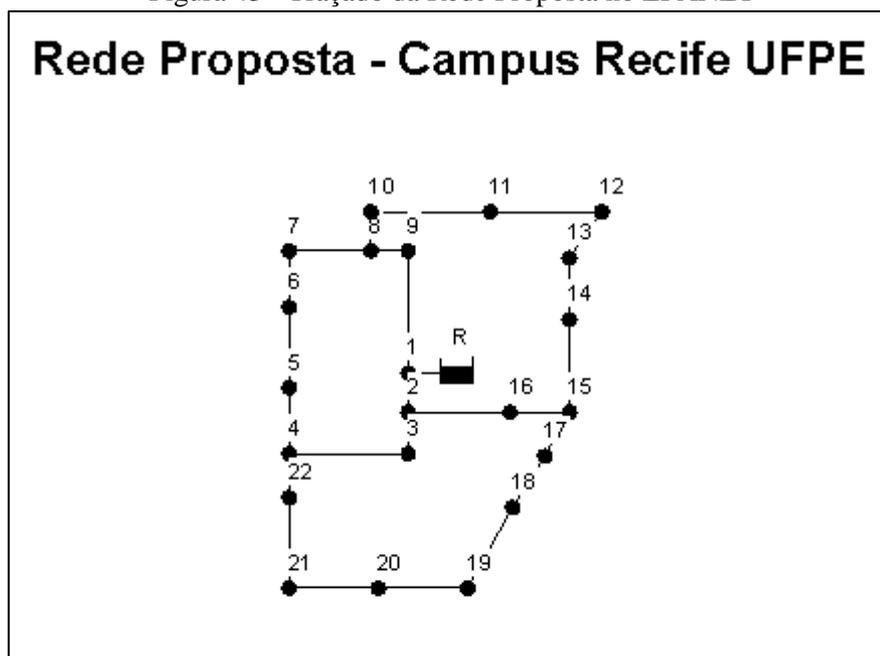
Na opção Lenhsnet no EPANET é necessário preencher a propriedade Dados do Projeto (Figura 44), onde devem ser informados as condições de contorno do projeto. O primeiro passo é a informação da natureza da cota de origem, no caso em estudo, cota fixa. O segundo passo é informar os limites de velocidades e pressões mínimas e máximas. Para o dimensionamento foi adotado uma velocidade máxima de 3,5 m/s, a velocidade mínima foi escolhida como 0,6 m/s. Porém, ao ser executado o dimensionamento, o EPANET apresentou uma caixa de diálogo (Figura 45), informando que a velocidade mínima não foi atingida. Outras velocidades inferiores foram testadas, não tendo sido obtido resultado favorável.

Com isso, a velocidade mínima não foi introduzida. Foi escolhida a opção “Não” para tal limite, o mesmo foi adotado para a pressão máxima e a pressão mínima adotada foi de 5 mca.

Foram também introduzidos os Dados dos Tubos (Figura 46), foi introduzido os diâmetros a serem utilizados no dimensionamento, bem como sua rugosidade e o custo unitário associado.

Com isso, foi realizada a execução do dimensionamento na própria ferramenta do Lenhsnet. O programa informa que o dimensionado está terminado (Figura 47), e o estado da simulação (Figura 48) informando que a simulação foi bem-sucedida. A seguir o programa informa o Relatório LenhsNet (Figura 49), onde são apresentadas, as pressões mínimas e máximas, bem como o custo total de implantação da rede.

Figura 43 - Traçado da Rede Proposta no EPANET



Fonte: EPANET (2017)

Figura 44 - Dados do Projeto

Dados do Projeto

Cota Piezométrica na Origem

Trechos Ignorados

Limites

Sim Não Velocidade Máxima = m/s

Sim Não Velocidade Mínima = m/s

Sim Não Pressão Máxima = mca

Pressão Mínima = mca

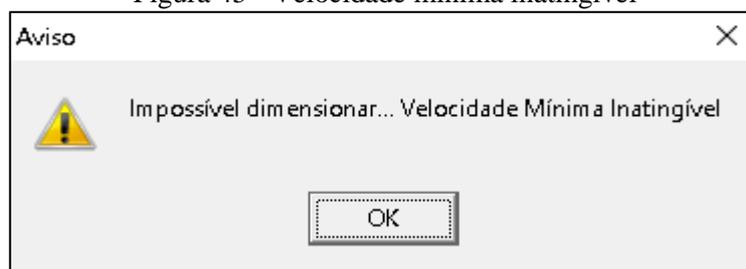
Cota de Cabeceira Fixa | Cota de Cabeceira Variável

Dividir ultimo trecho para aproveitamento de pressão

Sim Não

Fonte: EPANET (2017)

Figura 45 - Velocidade mínima inatingível



Fonte: EPANET (2017)

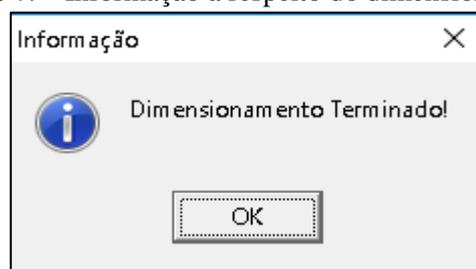
Figura 46 - Dados dos Tubos

Diâmetro	Rugosidade	Tipo	Custo (\$/m)
50	0.001	PVC	101.12
75	0.001	PVC	112.49
100	0.001	PVC	128.40
150	0.001	PVC	151.35
200	0.001	PVC	172.50
250	0.001	PVC	202.56
300	0.001	PVC	242.39

Abriu Salvar Fechar

Fonte: EPANET (2017)

Figura 47 - Informação a respeito do dimensionamento



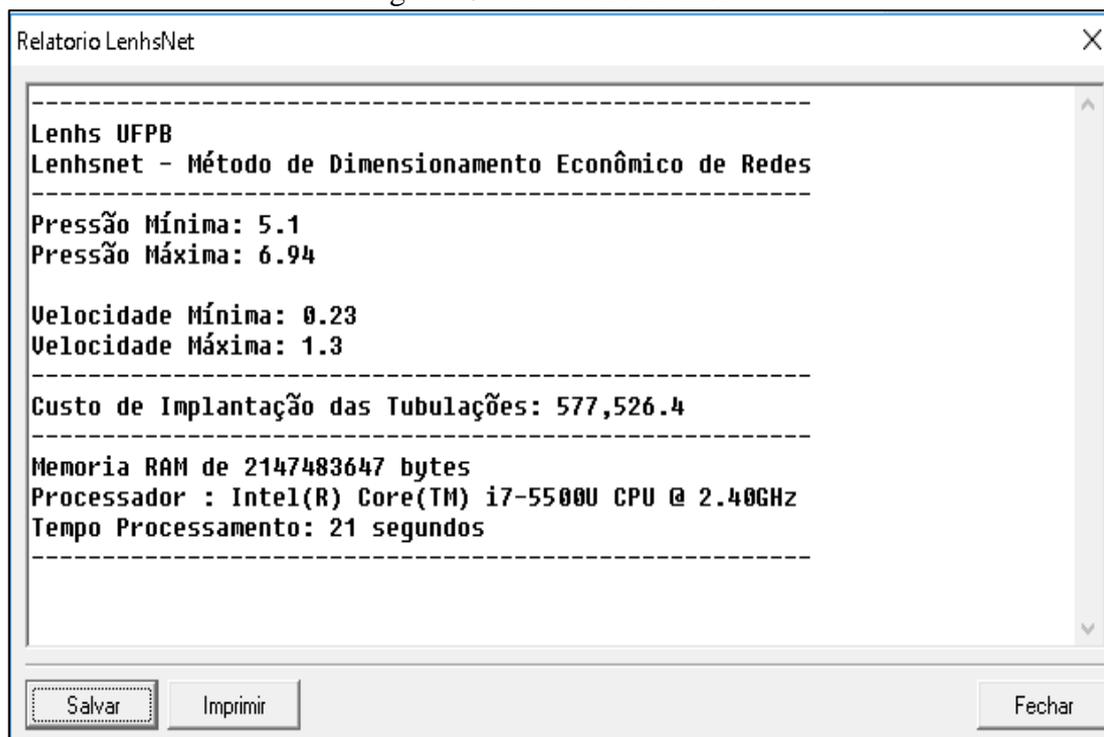
Fonte: EPANET (2017)

Figura 48 - Estado da Simulação



Fonte: EPANET (2017)

Figura 49 - Relatório LenhsNet



Fonte: EPANET (2017)

A ferramenta LENHSNET apresentou o custo total de implantação da rede igual a R\$ 577.526,40.

Nas tabelas 31 e 32 são apresentados os valores hidráulicos obtidos para os trechos (diâmetro otimizado, velocidade, perda de carga e o fator de atrito) e para os nós (carga hidráulica e pressão disponível) da “Rede Proposta” após a conclusão do dimensionamento.

Tabela 31 - Resultados hidráulicos dos trechos da Rede Proposta através do LENHSNET

Trecho	D. Nominal (mm)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/Km)	Fator de Atrito
R-1	300	1.30	3.96	0.014
1-2	300	0.95	2.23	0.015
2-3	300	0.57	0.89	0.016
3-4	250	0.80	2.05	0.016
4-5	200	0.63	1.74	0.017
5-6	150	0.51	1.67	0.019
6-7	75	0.29	1.45	0.025
7-8	100	0.58	3.52	0.020
8-9	150	0.63	2.46	0.018
9-1	150	0.63	2.46	0.018
8-10	100	0.83	6.63	0.019
10-11	75	0.68	6.61	0.021
11-12	50	0.33	3.03	0.027
12-13	75	0.51	3.98	0.022
13-14	100	0.62	3.92	0.020
14-15	150	0.61	2.32	0.018
15-16	200	0.81	2.72	0.016
16-2	200	0.85	2.94	0.016
15-17	150	0.61	2.33	0.018
17-18	150	0.59	2.21	0.018
18-19	100	0.52	2.89	0.021
19-20	50	0.23	1.61	0.030
20-21	100	0.47	2.35	0.021
21-22	150	0.49	1.58	0.019
22-4	200	0.62	1.69	0.017

Fonte: Próprio Autor (2017)

Tabela 32 - Resultados hidráulicos dos nós da Rede Proposta através do LENHSNET

Nó	Carga Hidráulica(m)	Pressão (m)
1	11.35	6.94
2	11.18	6.92
3	11.10	6.68
4	10.47	6.22
5	10.29	6.15
6	10.00	5.98
7	9.80	5.90
8	10.48	6.49
9	10.78	6.62
10	10.05	5.94
11	8.38	5.10
12	9.02	5.65
13	9.48	5.62
14	9.89	5.80
15	10.34	5.93
16	10.64	6.32
17	10.04	5.85
18	9.72	6.01
19	9.10	5.46
20	9.42	5.57
21	9.89	5.89
22	10.30	6.16
RNF R	11.40	0.00

Fonte: Próprio Autor (2017)

Com relação aos resultados hidráulicos obtidos, notou-se que os dimensionamentos da “Rede Proposta” pelo método “PNL 2000” e a metodologia LENHSNET incorporada ao *software* EPANET não obtiveram sucesso quanto o limite para a velocidade mínima de 0,6 m/s, valor estabelecido pela NBR 12218 (2017), para que não haja deposição de sedimentos no interior dos tubos, o que pode causar diminuição da seção transversal do tubo e conseqüentemente redução da capacidade da vazão do conduto.

Entretanto, tais valores foram obtidos para o pior cenário de consumo de água admitido pelo projetista, de fato, ao longo de sua vida útil e da operação da rede ocorrerão velocidades distintas daquela calculada, pois tais consumos variam ao longo do tempo e do espaço, interferindo na vazão que escoará pelos tubos e conseqüentemente nos demais parâmetros hidráulicos. Com isso, faz-se necessário a aplicação periódica de escoamentos a altas velocidades, no intuito de aumentar a vida útil do conduto.

Quanto às velocidades máximas, a maior apresentada nos dois métodos foi de 1,30 m/s, no trecho R-1, com isso, a velocidade máxima, 3,5 m/s permitida pela norma não foi atingida em nenhum trecho.

Com relação as perdas de cargas nos trechos, foi observado que o trecho 4-5 com diâmetro de 100 mm quando aplicado o método “PNL 2000” apresentou uma perda de carga de 1,38 metros, valor maior em relação aos outros trechos. Tentou-se corrigir, aumentando o diâmetro no intuito de diminuir a perda de carga nesse trecho, porém a ferramenta *solver* do Excel não conseguiu obter uma solução viável para a modificação realizada, ou seja, o processo de otimização não conseguiu obter o equilíbrio hidráulico do sistema. Para o mesmo trecho, quando aplicado o método “LENHSNET”, obteve-se um diâmetro de 200 mm, com uma perda de carga igual a 0,18 metros.

Quanto à pressão disponível nos nós, o método “PNL 2000” apresentou uma pressão mínima de 5,97 mca e uma pressão máxima igual à 8,05 mca e o método “LENHSNET” obteve uma pressão mínima igual a 5,10 mca e uma pressão máxima igual 6,94 mca. Com isso, percebe-se que a variação da pressão disponível na rede dimensionada pelo método “LENHSNET” mostrou-se ser menos brusca, quando comparada com o método “PNL 2000”, porém este apresentou pressões disponíveis maiores.

De fato, a pressão mínima de 10 mca recomenda pela NBR 12218 (2017) não foi atingida em nenhum nó quando o nível de água no reservatório é mínimo. Para a norma interna da COMPESA, a pressão mínima de 6 mca recomendada foi atingida na maioria dos nós. Este

problema está vinculado à baixa pressão piezométrica de início da rede fornecida pelo reservatório.

Por fim, também foi observado que a simulação da “Rede Proposta”, no geral, apresentou resultados hidráulicos mais satisfatórios quando comparada com a “Rede Atual” em detrimento das condições hidráulicas pré-estabelecidas no projeto. Outro ponto positivo da “Rede Proposta” em relação a “Rede Atual” é a diminuição da área ocupada pela rede e da quantidade de nós e trechos, facilitando a operação e o controle sobre o sistema de abastecimento de água do *campus* Recife/UFPE. A seguir, na Tabela 33 é apresentado as pressões disponíveis nos nós que possuem pontos de consumo para as duas redes quando simulada para o nível de água mínimo no reservatório.

Tabela 33 - Comparativo entre as pressões nos nós da Rede Proposta associado aos nós da Rede Atual

Nó		Pressão (m)		
Rede Proposta	Rede Atual	Rede Proposta		Rede Atual
		PNL 2000	LENHSNET	
1	(30 / 31)	8,00	6,94	(7,53 / 7,18)
	49	8,00	6,94	7,77
3	21	7,71	6,68	7,25
5	35	6,04	6,15	6,08
6	36	6,28	5,98	6,00
7	37	6,58	5,90	4,24
10	39	6,94	5,94	3,67
11	10	7,24	5,10	2,51
12	9	7,11	5,65	2,91
13	8	6,36	5,62	2,09
14	7	6,08	5,80	2,09
15	5	6,53	5,93	3,04
16	4	7,11	6,32	4,41
17	14	6,11	5,85	7,14
18	(15 / 16 / 17)	5,97	6,01	(7,35 / 7,85 / 8,63)
19	28	6,19	5,46	8,11
20	26	6,13	5,57	7,70
21	(25 / 27)	6,34	5,89	(7,56 / 7,87)
	(47 / 48)	6,34	5,89	(-1,15 / -0,88)
22	46	7,18	6,16	-0,95
	52	7,18	6,16	7,07

Fonte: Próprio Autor (2017)

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a análise hidráulica da “Rede Atual” pelo método “Pimentel Gomes” e o *software* EPANET, bem como o dimensionamento econômico da “Rede Proposta” utilizando o método “PNL 2000” e o algoritmo “LENHSNET” incorporado ao simulado hidráulico EPANET. Os resultados obtidos foram adequados, concisos e práticos.

A análise hidráulica da “Rede Atual” a partir da estimativa de consumo de água realizada no presente trabalho apresentou resultados iguais para os dois métodos utilizados, tanto o Método “Pimentel Gomes” através da planilha do Excel, quanto para o Software EPANET como de fato era esperado. As duas metodologias utilizadas foram práticas, de fácil construção e compreensão.

Entretanto, a simulação hidráulica não foi bem-sucedida para a situação mais desfavorável, pois em alguns pontos da rede foram obtidos resultados que não atendem ao seu bom funcionamento hidráulico indicados pelas normas técnicas, porém, tais resultados podem ter ocorrido devido às incertezas referentes à estimativa de consumo de água nas edificações do *campus*; às características topológicas (traçado da rede e altimetria dos pontos de demanda e de distribuição de água); aos diâmetros inseridos. Ainda assim, percebeu-se resultados satisfatórios quando confrontados com reclamações por parte dos funcionários e verificações realizadas pelo projetista nos reservatórios inferiores das edificações próximas a tais resultados.

Com isso, evidencia-se a necessidade do abastecimento fornecido pela COMPESA e troca de diâmetros ou desativação dos trechos que apresentaram resultados desfavoráveis. Porém, por se tratar de uma rede antiga e para o maior controle e planejamento da rede de distribuição de água do *campus* Recife/UFPE, a melhor solução para os problemas encontrados é o dimensionamento de uma nova rede de distribuição de água.

A escolha da metodologia a ser empregada para análises de redes de distribuição fica a critério do projetista. As planilhas eletrônicas tem sido uma das principais ferramentas computacionais usadas pelos projetistas devido a sua facilidade de edição quando comparada a outros programas de otimização. Vale ressaltar que para o método “Pimentel Gomes” é necessário a construção das equações hidráulicas na planilha eletrônica, não sendo necessário

no EPANET, entretanto, neste é necessária a construção do traçado da rede de distribuição, bem como a introdução dos dados acarretando em um maior tempo para avaliação da rede quando comparada às planilhas.

Após a construção da planilha, o projetista pode realizar modificações nos dados de entrada (vazão, comprimento e diâmetro) de maneira prática, verificando a repercussão hidráulica de tais modificações de forma instantânea e em uma única planilha, economizando o tempo de simulação. Para o EPANET essas modificações não podem ser visualizadas de maneira instantânea, porém, a sua interface e as múltiplas opções de dimensionamento hidráulico, evidenciam uma ferramenta poderosa.

Para o dimensionamento econômico da “Rede Proposta” através do método “PNL 2000” utilizando a ferramenta *solver* do Excel e do algoritmo “LENHSNET” incorporado ao simulador hidráulico EPANET se mostraram eficazes para a situação apresentada nesta dissertação, os resultados foram adequados e concisos, além de econômicos voltados para um custo mínimo de dimensionamento. Com relação ao custo mínimo de implantação da rede, o segundo apresentou uma economia de 1,65% em relação ao primeiro.

Com relação a aplicação dessas duas metodologias, as vantagens encontradas para o método “PNL 2000” utilizando a planilha eletrônica do Excel através da ferramenta *solver* foram: facilidade e economia do trabalho na edição das inúmeras equações que envolvem o modelo; visualização em uma única tabela de todo o cálculo hidráulico e econômico do dimensionamento de uma rede; possibilidade de edição da estrutura da função objetivo ou na inclusão de novas restrições.

Entretanto, a ferramenta *solver* do Excel possui limitações quanto ao número máximo de restrições (200). Sendo assim, impossível o dimensionamento de redes malhadas de médio a grande porte. Além da falta de flexibilidade de ajuste das restrições de conservação de energia nos anéis com diâmetros fixos na etapa 2. Sendo necessário uma nova etapa de cálculo para obtenção do equilíbrio hidráulico da rede.

O algoritmo “LENHSNET” mostrou-se ser uma ferramenta de dimensionamento econômico eficiente, de fácil construção e compreensão, além de apresentar valores pertinentes, buscando a minimização do custo de implantação em redes de distribuição de água.

8.2 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos, tornou-se possível fazer algumas recomendações para futuros estudos no sistema de abastecimento de água do *campus* Recife/UFPE, além de possíveis estratégias que a administração da UFPE pode adotar para a otimização do sistema. Tais recomendações são descritas a seguir:

- Pesquisas de consumo de água mais profundas, a partir de levantamentos diários de maneira multidisciplinar em todas as edificações do *campus*, possibilitando resultados mais confiáveis;
- Estudo da presença dos reservatórios inferiores e superiores nas edificações do *campus*, indicando as consequências dessas reservas nas demandas máximas diárias, possibilitando corrigir as vazões de projeto nos trechos, por ocasião do planejamento e dimensionamento da rede de distribuição;
- Instalação de medidores de vazão, os hidrômetros, em pontos estratégicos do sistema de abastecimento de água do *campus* com o intuito de obter a otimização do sistema a partir de seu balanço hídrico; controlando a oferta e a demanda de água; verificação da necessidade do abastecimento realizado pela COMPESA e por caminhões pipas; verificação e diminuição das perdas de água; eficiência e produção de água tratada da ETA *campus*; planejamento estático e dinâmico da rede de distribuição, tornado possível quando necessário a melhor decisão econômica para trocas de tubulações ou eventuais ampliações. Atualmente, tem-se optado pela utilização da Telemetria, a qual é um sistema de gerenciamento e controle de sistemas de abastecimento de água, formado por um conjunto de computadores, sensores de nível, comunicação wireless, alarmes e medidores de vazão, os quais podem controlar o sistema automaticamente. Porém, está atrelado a um alto custo de investimento, além disso é necessário para sua operação profissionais qualificados.
- Avaliação de reforma no reservatório Castelo d'Água, visando elevar seus níveis. Logo, com o aumento da pressão piezométrica de início da rede de distribuição do *campus*, as pressões disponíveis nos nós também sofrerão acréscimos, tornando o abastecimento de

água nos pontos de consumo mais seguro. Pode-se ainda, criar a possibilidade de bombeamento direto de água tratada na rede a partir da ETA *campus* quando for conveniente, utilizando válvulas de manobra, os registros.

- Instalação de um *booster* na saída do reservatório Castelo d'água com o objetivo de elevar a pressão nos nós da rede de distribuição, pois as pressões na rede devem estar dentro dos limites recomendados pelas normas técnicas. Como recomendação para futura pesquisa, pode-se realizar o estudo econômico e financeiro da utilização de um *booster* na rede de distribuição de água do *campus* Recife/UFPE.
- Instalação de válvulas de seccionamento, permitindo o isolamento dos condutos em caso de avaria ou manutenção, válvulas de descarga nos pontos mais baixos para o esvaziamento completo dos condutos quando for necessária a operação ou manutenção da rede de distribuição. Por fim, a instalação das ventosas em pontos mais elevados para expulsar o ar dos condutos.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, J.R.G.; BAPTISTA, M.B; CABRAL, J.J.S.P.; CANALI, G.V.; CIRILO, J.A; COELHO, M.M.L.P.; MASCARENHAS, F.C.B.; MONTENEGRO, S.M.G.L. - **Hidráulica Aplicada** - 2ª. Ed. Revista e ampliada. Porto Alegre: ABRH, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde - **Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**: Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.

BRASIL. NBR 12218 - **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público** - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994.

BRASIL. NR24 - **Norma Regulamentadora nº 24, de 08 de junho de 1978** - Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho. Brasília, 1978.

CLIMATE-DATA.ORG - [internet]. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/location/5069/>> Acesso em: 30/11/2017.

COMPESA - **Companhia Pernambucana de Saneamento** - Pernambuco, 2017.

DIVULGAÇÃO - **Folha de Pernambuco** - [Internet]. Disponível em: <<http://www.folhape.com.br/noticias/noticias/folha-educ/2017/03/09/NWS,20347,70,518,NOTICIAS,2190-UFPE-ABRE-INSCRICOES-PARA-CURSOS-GRATUITOS-ITALIANO.aspx>>. Acesso em: 21/10/2017.

FORMIGA, K.T.M; GOMES, H.P. - **PNL 2000 - Método Prático de Dimensionamento Econômico de Redes Malhadas de Abastecimento de Água** - Disponível em: <http://www.academia.edu/11815837/Dimensionamento_de_Redres_Malhadas_de_Abastecimento_de_%C3%81gua>. Acesso em: 10/11/2017.

GOMES, H.P.; SALVINO, M.M. - **EPANET 2.0: Manual do Usuário** - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2009.

GOMES, H.P. - **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias** - 3ª. Ed. Revisada e ampliada. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009.

Google Maps - [Internet]. Disponível em:

<<https://www.google.com.br/maps/place/Universidade+Federal+de+Pernambuco+UFPE/@-8.0516916,-34.9532287,1711m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x7ab1966d409d415:0x497df2e2ee00ea5218m2!3d-8.0517067!4d-34.9504323?dcr=0>>. Acesso em: 23/11/2017.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L - **Abastecimento de água para consumo humano** - 2ª.Ed. Revisada e atualizada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

MENEZES, V.R. - **Avaliação da rede de abastecimento do campus da UFPE utilizando o software Excel para os métodos “Hardy Cross” e “Pimentel Gomes” e com software “EPANET”** - Dissertação (graduação). UFPE. Recife-PE, 2016

ORSE - Orçamento de Obras de Sergipe - [Internet]. Disponível em:

<<http://www.cehop.se.gov.br/orse/>>. Acesso em: 12/11/2017.

PORTO, R.M. - **Hidráulica Básica** - 4ª. Ed. Revisada e ampliada. São Carlos: EESC/USP, 2006.

SALVINO, M.M. - **Método de Dimensionamento e Controle Operacional Otimizado para Redes de Distribuição de Água** - Dissertação (mestre). UFPB. João Pessoa-PB, 2009.

SANTOS, M.C.C; GOMES, H.P. - **Simulação de Cenários de Operação de Sistemas de Distribuição de Água através do Método PNL 2000** - Disponível em:

<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/4serea/serea2002/trabalhos/A27_02.pdf>. Acesso em: 10/11/2017.

TOMAZ, P. - **Previsão de Consumo de Água** - 1ª Ed. São Paulo: Editora Navegar, 2000.

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco - [Internet]. Disponível em:

<<https://www.ufpe.br/web/guest/inicio>>. Acesso em: 20/10/2017.

ANEXOS

A seguir serão apresentadas os Anexos A1, A2 e A3 referentes ao quantitativo dos Discentes, Docentes e Técnicos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Anexo A1 - Quantitativo dos Discentes da UFPE

Centro	Cursando	Desvinculado do Curso	Formado	Matrícula trancada
CAA	4004	226	147	140
CAC	3777	204	302	164
CAV	1561	66	100	17
CCB	1485	87	142	58
CCEN	664	60	32	28
CCJ	1191	12	112	20
CCS	3654	125	288	61
CCSA	3120	206	267	155
CE	1040	45	76	30
CFCH	2301	193	191	140
CIN	1230	60	41	57
CTG	4212	147	208	112
Total	21483	1431	1906	982

Fonte: PROPLAN - UFPE (2015)

Anexo A2 - Quantitativo dos Docentes da UFPE

CENTRO/DEPARTAMENTO	QUANTIDADE
CAA	298
CAA - NUCLEO DE CIENCIA DA VIDA	47
CAA - NUCLEO DE DESIGN	44
CAA - NUCLEO DE FORMACAO DE DOCENTES	54
CAA - NUCLEO DE GESTAO	55
CAA - NUCLEO DE TECNOLOGIA	50
CENTRO ACADEMICO DO AGRESTE	27
NUCLEO INTERD. CIENC. EXAT. E INOV. TECN	21
CAC	318
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO	51
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DA INFORMACAO	28
DEPARTAMENTO DE COMUNICACAO SOCIAL	40
DEPARTAMENTO DE DESIGN	27
DEPARTAMENTO DE EXPRESSAO GRAFICA	21
DEPARTAMENTO DE LETRAS	77
DEPARTAMENTO DE MUSICA	37
DPTO TEORIA DA ARTE EXPRESSAO ARTISTICA	37
CAV	179
CENTRO ACADEMICO DE VITORIA	179
CCB	205
DEPARTAMENTO DE ANATOMIA	21
DEPARTAMENTO DE ANTIBIOTICOS	18
DEPARTAMENTO DE BIOQUIMICA	26
DEPARTAMENTO DE BOTANICA	19
DEPARTAMENTO DE GENETICA	16
DEPARTAMENTO DE HISTOLOGIA E EMBRIOLOGIA	21
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA	15
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA	26
DEPARTAMENTO FISILOGIA E FARMACOLOGIA	24
DEPTO DE BIOFISICA E RADIOBIOLOGIA	19
CCEN	170
DEPARTAMENTO DE ESTATISTICA	30
DEPARTAMENTO DE FISICA	49
DEPARTAMENTO DE MATEMATICA	51
DEPARTAMENTO DE QUIMICA FUNDAMENTAL	40
CCJ	75
DPTO DE DIREITO PUBLICO ESPECIALIZADO	31
DPTO DIREITO PUBLICO GERAL E PROCESSUAL	23
DPTO TEO GERAL DO DIREITO E DIREI PRIVAD	21
CCS	564
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FARMACEUTICAS	32
DEPARTAMENTO DE CIRURGIA	59

Continuação:

CENTRO/DEPARTAMENTO	QUANTIDADE
DEPARTAMENTO DE EDUCACAO FISICA	26
DEPARTAMENTO DE ENFERMAGEM	55
DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA	35
DEPARTAMENTO DE FONOAUDIOLOGIA	31
DEPARTAMENTO DE MEDICINA CLINICA	55
DEPARTAMENTO DE MEDICINA SOCIAL	25
DEPARTAMENTO DE MEDICINA TROPICAL	25
DEPARTAMENTO DE NEURO-PSIQUIATRIA	20
DEPARTAMENTO DE NUTRICAÇÃO	36
DEPARTAMENTO DE PATOLOGIA	14
DEPARTAMENTO DE TERAPIA OCUPACIONAL	25
DEPARTAMENTO MATERNO INFANTIL	48
DPTO DE CLINICA E ODONTOLOGIA PREVENTIVA	30
DPTO DE PROTESE E CIRURGIA BUCO-FACIAL	48
CCSA	185
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS	56
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS CONTABEIS	41
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECONOMICAS	37
DEPARTAMENTO DE HOTELARIA E TURISMO	26
DEPARTAMENTO DE SERVICO SOCIAL	25
CE	201
COLEGIO DE APLICACAO	58
DEPARTAMENTO METODOS TECNICAS DE ENSINO	60
DPTO DE ADM ESCOLAR E PLANEJ EDUCACIONAL	26
DPTO DE PSICOLOGIA E ORIENTAC EDUCACIONA	33
DPTO FUNDAM SOCIO-FILOFICOS DA EDUCACAO	24
CFCH	194
DEPART DE ANTROPOLOGIA E MUSEOLOGIA	23
DEPARTAMENTO DE ARQUEOLOGIA	14
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOGRAFICAS	31
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS POLITICAS	18
DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA	21
DEPARTAMENTO DE HISTORIA	25
DEPARTAMENTO DE PSICOLOGIA	37
DEPARTAMENTO DE SOCIOLOGIA	25
CIN	89
CENTRO DE INFORMATICA	1
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DA COMPUTACAO	28
DEPARTAMENTO DE INFORMACAO E SISTEMAS	28
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DA COMPUTACAO	32
CTG	354
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMEDICA	10

Continuação:

CENTRO/DEPARTAMENTO	QUANTIDADE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRAFICA	20
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DA PRODUCAO	20
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS	11
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA	64
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR	19
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUIMICA	42
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	30
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA	26
DEPTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL	58
DIR CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS	1
DPTO DE ENGENHARIA ELETRONICA E SISTEMAS	26
DPTO ENGENHARIA ELETRIC SISTEMA POTENCIA	27
ORG SUP	2
NUCLEO DE EDUCACAO FISICA E DESPORTO	1
NUCLEO DE SAUDE PUBLICA E DESENV SOCIAL	1
Total	2834

Fonte: PROPLAN - UFPE (2015)

CENTRO/DEPARTAMENTO	QUANTIDADE
CAA	113
BIBLIOTECA SETORIAL DO CAA	9
CAA - NUCLEO DE CIENCIA DA VIDA	13
CAA -CENTRO ACADEMICO DO AGRESTE	91
CAC	142
BIBLIOTECA SETORIAL DO CAC	16
CENTRO DE ARTES E COMUNICACAO	1
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO	11
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DA INFORMACAO	8
DEPARTAMENTO DE COMUNICACAO SOCIAL	21
DEPARTAMENTO DE DESIGN	10
DEPARTAMENTO DE EXPRESSAO GRAFICA	5
DEPARTAMENTO DE LETRAS	18
DEPARTAMENTO DE MUSICA	8
DIRETORIA CENTRO DE ARTES E COMUNICACAO	31
DPTO TEORIA DA ARTE EXPRESSAO ARTISTICA	13
CAV	78
BIBLIOTECA SETORIAL DO CAV	10
CENTRO ACADEMICO DE VITORIA	68
CCB	132
BIBLIOTECA SETORIAL DO CCB	10
COORDENACAO DA AREA III	6
DEPARTAMENTO DE ANATOMIA	12
DEPARTAMENTO DE ANTIBIOTICOS	9
DEPARTAMENTO DE BIOQUIMICA	9
DEPARTAMENTO DE BOTANICA	8
DEPARTAMENTO DE GENETICA	9
DEPARTAMENTO DE HISTOLOGIA E EMBRIOLOGIA	6
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA	6
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA	6
DEPARTAMENTO FISILOGIA E FARMACOLOGIA	9
DEPTO DE BIOFISICA E RADIOBIOLOGIA	6
DIRETORIA CENTRO DE CIENCIAS BIOLOGICAS	36
CCEN	104
BIBLIOTECA SETORIAL DO CCEN	16
COORDENACAO DA AREA II	5
DEPARTAMENTO DE ESTATISTICA	10
DEPARTAMENTO DE FISICA	27
DEPARTAMENTO DE MATEMATICA	10
DEPARTAMENTO DE QUIMICA FUNDAMENTAL	25
DIR CENTRO DE CIENCIAS EXATAS E NATUREZA	11
CCJ	64

Continuação:

CENTRO/DEPARTAMENTO	QUANTIDADE
BIBLIOTECA SETORIAL DO CCJ	13
DIRETORIA CENTRO DE CIENCIAS JURIDICAS	40
DPTO DE DIREITO PUBLICO ESPECIALIZADO	3
DPTO DIREITO PUBLICO GERAL E PROCESSUAL	4
DPTO TEO GERAL DO DIREITO E DIREI PRIVAD	4
CCS	224
BIBLIOTECA SETORIAL DO CCS	17
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FARMACEUTICAS	19
DEPARTAMENTO DE CIRURGIA	16
DEPARTAMENTO DE EDUCACAO FISICA	6
DEPARTAMENTO DE ENFERMAGEM	7
DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA	9
DEPARTAMENTO DE FONOAUDIOLOGIA	7
DEPARTAMENTO DE MEDICINA CLINICA	7
DEPARTAMENTO DE MEDICINA SOCIAL	4
DEPARTAMENTO DE MEDICINA TROPICAL	15
DEPARTAMENTO DE NEURO-PSIQUIATRIA	6
DEPARTAMENTO DE NUTRICAO	23
DEPARTAMENTO DE PATOLOGIA	11
DEPARTAMENTO DE TERAPIA OCUPACIONAL	3
DEPARTAMENTO MATERNO INFANTIL	8
DIRETORIA DO CENTRO DE CIENCIAS DA SAUDE	29
DPTO DE CLINICA E ODONTOLOGIA PREVENTIVA	10
DPTO DE PROTESE E CIRURGIA BUCO-FACIAL	27
CCSA	91
BIBLIOTECA SETORIAL DO CCSA	15
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS	10
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS CONTABEIS	5
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECONOMICAS	6
DEPARTAMENTO DE HOTELARIA E TURISMO	7
DEPARTAMENTO DE SERVICO SOCIAL	7
DIRET CENTRO CIENCIAS SOCIAIS APLICADAS	41
CE	85
BIBLIOTECA SETORIAL DO CAP	5
BIBLIOTECA SETORIAL DO CE	16
CENTRO DE EDUCACAO	1
COLEGIO DE APLICACAO	19
DEPARTAMENTO METODOS TECNICAS DE ENSINO	2
DIRETORIA DO CENTRO DE EDUCACAO	35
DPTO DE ADM ESCOLAR E PLANEJ EDUCACIONAL	2
DPTO DE PSICOLOGIA E ORIENTAC EDUCACIONA	3
DPTO FUNDAM SOCIO-FILOFICOS DA EDUCACAO	2

Continuação:

CENTRO/DEPARTAMENTO	QUANTIDADE
CFCH	124
BIBLIOTECA SETORIAL DO CFCH	16
COORDENACAO DA AREA I	4
DEPART DE ANTROPOLOGIA E MUSEOLOGIA	9
DEPARTAMENTO DE ARQUEOLOGIA	12
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOGRAFICAS	10
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS POLITICAS	6
DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA	5
DEPARTAMENTO DE HISTORIA	11
DEPARTAMENTO DE PSICOLOGIA	13
DEPARTAMENTO DE SOCIOLOGIA	9
DIR CENTRO FILOSOFIA E CIENCIAS HUMANAS	29
CIN	30
DIRETORIA DO CENTRO DE INFORMATICA	30
CTG	211
BIBLIOTECA SETORIAL DO CTG	14
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMEDICA	3
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRAFICA	7
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DA PRODUCAO	6
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS	6
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA	15
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR	27
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUIMICA	29
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	9
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA	17
DEPTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL	22
DIR CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS	39
DPTO DE ENGENHARIA ELETRONICA E SISTEMAS	11
DPTO ENGENHARIA ELETRIC SISTEMA POTENCIA	6
GAB REIT	436
GABINETE DO REITOR	88
SUPERITENDENCIA DE PROJETOS E OBRAS	37
SUPERITENDENCIA DE SEGURANCA INSTITUCION	311
HC	1453
HC - COORD DE ENFERMAGEM/INTERNACAO	297
HC - COORDENACAO DE APOIO ADMINISTRATIVO	52
HC - COORDENACAO DE APOIO DIAGNOSTICO	241
HC - COORDENACAO DE ENFERMAGEM/AMBULATOR	153
HC - COORDENACAO DE GESTAO DE PESSOAS	13
HC - COORDENACAO DE INFORMATICA	10
HC - COORDENACAO DE MATERIAL	22
HC - COORDENACAO DE ORCAMENTO E FINANÇAS	21

Continuação:

CENTRO/DEPARTAMENTO	QUANTIDADE
HC - COORDENACAO DE RESIDENCIA	4
HC - COORDENACAO MEDICA	323
HC - DIRETORIA SUPERINTENDENCIA	15
HOSPITAL DAS CLINICAS	302
ORG SUP	293
EDITORIA UNIVERSITARIA	22
LABORATORIA DE IMUNO PATOL KEISO ASAMI	15
NUCLEO DE EDUCACAO FISICA E DESPORTO	14
NUCLEO DE SAUDE PUBLICA E DESENV SOCIAL	19
NUCLEO DE TECNOLOGIA DA INFORMACAO	102
NUCLEO DE TELEVISAO E RADIO UNIVERSITARI	73
PREFEITURA DA CIDADE UNIVERSITARIA	48
ORG SUPL	34
BIBLIOTECA CENTRAL	34
PROACAD	86
PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS ACADEMICOS	86
PROAES	37
PRO-REITORIA DE ASSUNTOS ESTUDANTIS	33
RESTAURANTE UNIVERSITARIO	4
PROCIT	18
PRO-REITORIA DA COMUNIC, INFORM E TECNOL	18
PROEXT	57
CECINE - COORDENADORIA CIENCIA NORDESTE	4
PRO-REITORIA DE EXTENSAO	53
PROGEPE	189
DEPARTAMENTO DE GESTAO DE PESSOAS	56
DEPARTAMENTO DE QUALIDADE DE VIDA	43
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO DE PESSOAL	27
PRO-REITORIA DE GESTAO DE PESSOAS E QUAL	63
PROGEST	104
DEPARTAMENTO DE GESTAO DE BENS SERVICOS	52
DIRETORIA DE LICITACAO E CONTRATO	21
PRO-REITORIA DE GESTAO ADMINISTRATIVA	31
PROPEAQ	42
PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS DE PESQ E POS	42
PROPLAN	86
DEPARTAMENTO DE CONTABILIDADE E FINANÇAS	2
PRO-REITORIA DE PLANEJ ORCAMENT E FINANÇ	84
Total	2525

Fonte: PROPLAN - UFPE (2015)