



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GUSTAVO PAIVA WEYNE RODRIGUES

**MODELO COMPUTACIONAL DE REDUÇÃO DE CUSTOS EM
REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO COM A
UTILIZAÇÃO DE UM ALGORITMO HÍBRIDO DE BUSCA**

FORTALEZA – CE

2011

GUSTAVO PAIVA WEYNE RODRIGUES

**MODELO COMPUTACIONAL DE REDUÇÃO DE CUSTOS EM
REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO COM A
UTILIZAÇÃO DE UM ALGORITMO HÍBRIDO DE BUSCA**

**Tese apresentada à Coordenação do Curso de
pós-graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal do Ceará como requisito
parcial para a obtenção de grau de Doutor.**

**Área de concentração:
Saneamento Ambiental**

**Orientador:
Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro**

FORTALEZA – CE

2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- R613m Rodrigues, Gustavo Paiva Weyne.
 Modelo computacional de redução de custos em redes coletoras de esgoto sanitário com a
 utilização de um algoritmo híbrido de busca / Gustavo Paiva Weyne Rodrigues. – 2011.
 165 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de
 Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza,
 2011.
 Área de Concentração: Saneamento Ambiental
 Orientação: Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro.
1. Saneamento. 2. Engenharia Hidráulica. 3. Esgotos Sanitários. I. Título.

Esta tese foi submetida como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil – área de concentração: Saneamento Ambiental – outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta tese é permitida, desde que seja feita de acordo com as normas da ética científica.

Gustavo Paiva Weyne Rodrigues

Tese aprovada em 23 de setembro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro (orientador), PhD.
Universidade Federal do Ceará

Membro: Prof. Dr. John Kenedy de Araújo
Universidade Federal do Ceará

Membro: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota
Universidade Federal do Ceará

Membro: Prof. Arthur Mattos, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Membro: Prof^a. Germana Cavalcante Menescal, Dra.
Universidade Federal do Pará

"Espírito algum construirá a escada de ascensão sem atender às determinações do auxílio mútuo"

Adolfo Bezerra de Menezes

A DEUS e nosso irmão maior, Jesus Cristo, pela vida, amor infinito, misericórdia, bondade e tudo que vem me dando nesta breve existência.

Ao meu pai, Glaise Weyne Rodrigues, à minha mãe, Eniziê Paiva Weyne Rodrigues e à minha irmã, Emanuela Paiva Weyne Rodrigues, por todo amor, carinho, paciência, compreensão, incentivo aos estudos, enfim, por tudo que me proporcionaram em todos os momentos e por se mostrarem fortes em momentos de dor e desespero.

À Ana Paula Oliveira da Silva, por toda a convivência, paciência e amor mútuo.

Aos meus irmãos, que sempre tentam me guiar em um caminho de luz.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Aos grandes amigos que ajudaram a constituir esta tese com ideias, explicações e percepções: Luis Henrique Magalhães da Costa, Fernando Peroba Júnior, Gzitas, Érika Rocha e Emílio Maciel Pereira.

Aos grandes companheiros desta longa jornada de engenharia civil: Paulo Roberto Haipek, Francisco Diogo da Costa Neto e José Almir dos Santos, com quem aprendi bastante e tenho muito respeito e admiração por tudo que representam como profissionais e seres humanos.

Ao professor Marco Aurélio, por tudo que me proporcionou ao longo deste curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a DEUS e Jesus Cristo, por me darem a oportunidade de seguir em um caminho com determinação, honestidade, resignação e humildade.

À minha família, pelo incessante estímulo aos estudos desde muito novo, o que contribuiu para a ascensão e melhoria da minha vida pessoal e profissional. Nesta família, gosto de contar sempre com as pessoas que conviveram e devem conviver comigo por muito tempo: Alcione, Luci, Maristela e as respectivas famílias. Aos meus tios Antônio, Juci, Raimundo e Margarida.

À minha namorada Ana Paula Oliveira da Silva. Ao Leonardo, Rita, Fátima, Jaymar e família pela convivência, paciência e carinho durante este período.

Ao meu amigo-irmão, Luis Henrique Magalhães Costa, pelas intermináveis conversas por telefone, pessoalmente ou internet, sempre ajudando, orientando e dando dicas de como proceder com o modelo.

Ao meu amigo-irmão, Fernando Peroba Júnior, um incentivador nato.

À minha amável amiga Gzitas, por todo o companheirismo durante a longa jornada do doutorado.

À minha grande irmã de luz, Graça Queiroz e família.

Aos meus amigos de DEHA: Érika Rocha, André Bezerra dos Santos, Alessandro Araújo, Renata Shirley, Magno Gonçalves, Francione Júnior, Charles Weyne.

Ao professor Marco Aurélio Holanda de Castro, mais uma vez, pela oportunidade dada, compreensão e confiança depositada.

Ao Fortaleza Esporte Clube, meu eterno amor.

Aos professores e amigos Suetônio Mota, John Kenedy de Araújo, Marisete Dantas, Ernesto Pitombeira e Silvrano Adonias do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

Aos companheiros engenheiros civis de tantas jornadas: Paulo Roberto Haipek, José Almir dos Santos, Francisco Diogo da Costa Neto, Linus Paulo Pupo de Oliveira e, mais recentemente, Nelson Pereira da Silva Júnior.

Aos amigos de ontem, hoje e sempre: Florisval Mareco Nunes, Gleice e Davi; Erasmo, Erasmo Augusto, Sarah e família; Clayrton Laurindo, Suellen e família; Ícaro Almeida, Zeni e família; Henrique César, Miguel Ângelo, Ruy Azevedo e família; Emilio Maciel Pereira, Arinda Azevedo e família; Francisco Hermano Nogueira e família; Giancarlo Costa e Amanda Wilson; Tenisson; Vinicithas; Carlos Alberto; Rodriguim; Paulinho, Laene e Fernando; Callyl Castelo e Eline; Professores Delano, Rômulo e tantos outros que fazem ou fizeram parte da minha vida.

Aos outros companheiros de doutorado: Marcus Vinicius (Zacarias) e Luzia, Marcus Erick, Soraia Tavares, Márcio Botto, Érika Sampaio, Neyliane Costa, Aparecida Milhome, Eliezer, por toda a convivência que tivemos. Um agradecimento especial do sempre companheiro e amigo Erivelton Ferreira da Costa. Aos amigos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental: Júnior, Shirley, Xavier, Betinha e Joviene.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro sem o qual não teria sido possível realizar esta pesquisa.

Em especial aos meus guias espirituais Dr. Adolfo Bezerra de Menezes, Francisco Cândido Xavier, André Luiz, Emmanuel, PJ, entre outros.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	22
1.2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	23
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	25
2. REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1. SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	26
2.2. RESTRIÇÕES HIDRÁULICAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO	28
2.3. CUSTOS EM REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO	30
2.4. TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO	32
2.5. OTIMIZAÇÃO EM REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO	34
2.5.1. Programação não-linear	34
2.5.2. Programação dinâmica	36
2.5.3. Programação linear	39
2.5.4. Programação heurística	40
2.5.5. Algoritmos Genéticos	42
2.5.6. Síntese das principais características dos modelos existentes	43
2.6. ALGORITMO DE BUSCA EM LARGURA	43
2.6.1. Introdução	43
2.6.2. Definições	44
3. METODOLOGIA	47
3.1. INTRODUÇÃO	47
3.2. ESTRUTURAS DOS MODELOS	48
3.3. MODELO PARA GERAÇÃO DE QUANTITATIVOS E CUSTOS (UFC9-Q)	50
3.3.1. Considerações iniciais	50
3.3.2. Locação	54
3.3.3. Trânsito e segurança	55

3.3.4. Escavações em campo aberto	56
3.3.5. Reaterro e compactação	62
3.3.6. Aterro e compactação	64
3.3.7. Transporte/DMT	65
3.3.8. Nivelamento e apiloamento de fundo de valas	66
3.3.9. Escoramento	67
3.3.10. Esgotamento/Rebaixamento do lençol freático	69
3.3.11. Poços e caixas (inclusive assentamento de tampão)	70
3.3.12. Assentamento de tubos e conexões – inclusive limpeza e teste	71
3.3.13. Demolições, retiradas e recomposições	74
3.3.14. Cadastro da rede	75
3.4. MODELO DE REDUÇÃO DE CUSTOS (FARC)	75
3.4.1. Considerações iniciais	75
3.4.2. Função objetivo	77
3.4.3. Descrição geral	78
3.4.4. Exemplificação do modelo proposto	79
3.5. INTERFACE DOS MODELOS	85
3.5.1. UFC9 FARC	85
3.5.2. UFC9-Q FARC	86
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	88
4.2. REDES HIPOTÉTICAS	89
4.2.1. Estudo de caso 1	89
4.2.2. Estudo de caso 2	98
4.3. REDES REAIS	107
4.3.1. Estudo de caso 3	107
4.3.2. Estudo de caso 4	122
4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	140

4.4.1. Aspectos Computacionais	140
4.4.2. Aspectos Hidráulicos e Econômicos	142
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	145
5.1. CONCLUSÕES	145
5.2. RECOMENDAÇÕES	146
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
ANEXOS	153
ANEXO I – EXEMPLIFICAÇÃO DO CONCEITO DO ALGORITMO DE BUSCA EXAUSTIVA	153
ANEXO II.1 – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO ASSENTAMENTO TIPO NORMAL DA TUBULAÇÃO	156
ANEXO II.2 – MEMÓRIA DE CÁLCULO – SERVIÇO DE ASSENTAMENTO TIPO LASTRO DE BRITA	156
ANEXO II.2.1. Assentamento da tubulação	156
ANEXO II.2.2. Lastro de brita	156
ANEXO II.3 – MEMÓRIA DE CÁLCULO – SERVIÇO DE ASSENTAMENTO TIPO LASTRO, LAJE E BERÇO	157
ANEXO II.3.1. Assentamento da tubulação	157
ANEXO II.3.2. Lastro de brita	157
ANEXO II.3.3. Laje e berço	158
ANEXO III – TABELAS DE CUSTOS UNITÁRIOS E INSUMOS	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Modelos de otimização	32
Figura 3.1: Fluxograma do método proposto (Sistema UFC9)	50
Figura 3.2: Tela de apresentação do UFC9-Q	52
Figura 3.3: Fluxograma do modelo proposto (UFC9-Q)	52
Figura 3.4: Planilha de apresentação de quantitativos e custos do UFC9-Q	53
Figura 3.5: Tela padrão de cálculo dos itens de trânsito e segurança	55
Figura 3.6: Demarcação da largura da vala	56
Figura 3.7: Tela para ajuste da precisão no cálculo dos quantitativos (UFC9)	59
Figura 3.9: Fluxograma da metodologia de cálculo das áreas para o volume de escavação de um trecho	60
Figura 3.10: Áreas calculadas no UFC9 para os quatro tipos de precisão	61
Figura 3.11: Opções de escavação adotadas como padrão para o trabalho	62
Figura 3.12: Opções de reaterro adotadas	64
Figura 3.13: Seção transversal das áreas para cálculo do aterro e reaterro	65
Figura 3.14: Opção do tipo de compactação de aterro adotada	65
Figura 3.15: Opções para transporte/DMT	66
Figura 3.16: Opção adotada do UFC9-Q para regularização do fundo de valas	67
Figura 3.17: Opções do UFC9-Q para escoramento	68
Figura 3.18: Seção transversal para áreas não passíveis de escoramento	68
Figura 3.19: Seção transversal para áreas passíveis de escoramento	69
Figura 3.20: Opções para esgotamento/rebaixamento de lençol freático	70
Figura 3.21: Opções adotadas do UFC9-Q para tipo de assentamento de valas	74
Figura 3.22: Tela inicial do UFC9 FARC	78
Figura 3.23: Rede exemplo do algoritmo proposto	80
Figura 3.24: Esquema de ramificação da árvore do exemplo (todas as soluções)	81
Figura 3.25: Matriz com os diâmetros discretizados de todas as 27 soluções do exemplo	82

Figura 3.26: Matriz com os diâmetros discretizados das 10 soluções factíveis do exemplo com o filtro 1 aplicado	82
Figura 3.27: Matriz com os diâmetros discretizados das 5 soluções factíveis do exemplo com o filtro 2 aplicado	83
Figura 3.28: Soluções factíveis da árvore do exemplo (com a aplicação do filtro 1)	83
Figura 3.29: Soluções factíveis da árvore do exemplo (com a aplicação do filtro 2)	84
Figura 3.30: Fluxograma do algoritmo proposto	84
Figura 3.31: Tela de soluções factíveis do UFC9 FARC	85
Figura 3.32: Tela de dimensionamento das soluções factíveis do UFC9 FARC	86
Figura 3.33: Tela de apresentação dos custos do UFC9-Q FARC	87
Figura 3.34: Janela com resultado da solução de menor custo no UFC9-Q FARC	87
Figura 4.1: Rede hipotética do estudo de caso 1	90
Figura 4.2: Número de soluções para a rede hipotética do estudo de caso 1	92
Figura 4.3: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 1	92
Figura 4.4: Rede hipotética do estudo de caso 2	99
Figura 4.5: Número de soluções para a rede hipotética do estudo de caso 2	100
Figura 4.6: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 2	101
Figura 4.7: Setor da rede real do estudo de caso 3	108
Figura 4.8: Número de soluções para a rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 1)	110
Figura 4.9: Custos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 3	111
Figura 4.10: Custos para toda a rede real do estudo de caso 3	111
Figura 4.11: Setor da rede real do estudo de caso 4	123
Figura 4.12: Número de soluções para a rede real do estudo de caso 4 (sub-bacia 1)	125
Figura 4.13: Número de soluções para a rede real do estudo de caso 4 (sub-bacia 3)	125
Figura 4.14: Custos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 4	126
Figura 4.15: Custos para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 4	127
Figura 4.16: Custos totais para a rede real do estudo de caso 4	128
Figura 4.17: Números de soluções obtidos para as sub-bacias modificadas pelo modelo de todos os estudos de caso	141
Figura 4.18: Valores obtidos para as sub-bacias modificadas pelo modelo dos estudos de caso	143

Figura I.1: Exemplo de representação da interligação de cidades hipotéticas	153
Figura I.2: Exemplo de representação da interligação de cidades hipotéticas com as respectivas distâncias	155
Figura II.1: Assentamento com lastro de brita	157
Figura II.2: Assentamento com lastro de brita (3D)	157
Figura II.3: Assentamento com lastro, laje e berço	158
Figura II.4: Assentamento com lastro, laje e berço brita (3D)	159

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Itens de trânsito e segurança e suas respectivas fórmulas adotadas (padrão) do UFC9-Q	55
Tabela 4.1: Características da rede hipotética do estudo de caso 1	91
Tabela 4.2: Número de soluções e percentuais para a rede hipotética do estudo de caso 1	91
Tabela 4.3: Valores e percentual de redução dos custos para a rede hipotética do estudo de caso 1	92
Tabela 4.4: Resultados do dimensionamento sem a aplicação do modelo da rede hipotética do estudo de caso 1	93
Tabela 4.5: Resultados do dimensionamento com a aplicação do modelo da rede hipotética do estudo de caso 1	93
Tabela 4.6: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 1 sem a aplicação do modelo	94
Tabela 4.7: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 1 com a aplicação do modelo	95
Tabela 4.8: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a rede hipotética do estudo de caso 1 sem a aplicação do modelo	96
Tabela 4.9: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a rede hipotética do estudo de caso 1 com a aplicação do modelo	97
Tabela 4.10: Características da rede hipotética do estudo de caso 2	100
Tabela 4.11: Número de soluções e percentuais para a rede hipotética do estudo de caso 2	100
Tabela 4.12: Valores e percentual de redução dos custos para a rede hipotética do estudo de caso 2	101
Tabela 4.13: Resultados do dimensionamento sem a aplicação do modelo da rede hipotética do estudo de caso 2	102
Tabela 4.14: Resultados do dimensionamento com a aplicação do modelo da rede hipotética do estudo de caso 2	102
Tabela 4.15: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 2 sem a aplicação do modelo	103
Tabela 4.16: Custos para a rede hipotética do estudo de caso 2 com a aplicação do modelo	104
Tabela 4.17: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a rede hipotética do estudo de caso 2 sem a aplicação do modelo	105

Tabela 4.18: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a rede hipotética do estudo de caso 2 com a aplicação do modelo	106
Tabela 4.19: Vazões concentradas da rede real do estudo de caso 3	107
Tabela 4.20: Parâmetros da rede real do estudo de caso 3	107
Tabela 4.21: Vazões lançadas pelas sub-bacias 2 a 5 na sub-bacia 1 (rede real do estudo de caso 3)	109
Tabela 4.22: Número de soluções e percentuais para a rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 1)	110
Tabela 4.23: Valores e percentual de redução dos custos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 3	110
Tabela 4.24: Valores e percentual de redução dos custos para toda a rede real do estudo de caso 3	111
Tabela 4.25: Resultados do dimensionamento da rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 2)	112
Tabela 4.26: Resultados do dimensionamento da rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 3)	112
Tabela 4.27: Resultados do dimensionamento da rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 4)	112
Tabela 4.28: Resultados do dimensionamento da rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 5)	112
Tabela 4.29: Custos para a sub-bacia 2 da rede real do estudo de caso 3	113
Tabela 4.30: Custos para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 3	114
Tabela 4.31: Custos para a sub-bacia 4 da rede real do estudo de caso 3	115
Tabela 4.32: Custos para a sub-bacia 5 da rede real do estudo de caso 3	116
Tabela 4.33: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 1 sem a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 3	117
Tabela 4.34: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 1 com a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 3	117
Tabela 4.35: Custos da sub-bacia 1 para a rede real do estudo de caso 3 sem a aplicação do modelo	118
Tabela 5.36: Custos da sub-bacia 1 para a rede real do estudo de caso 3 com a aplicação do modelo	119
Tabela 4.37: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 3 sem a aplicação do modelo	120
Tabela 4.38: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 3 com a aplicação do modelo	121

Tabela 4.39: Vazões concentradas da rede real do estudo de caso 4	122
Tabela 4.40: Parâmetros da rede real do estudo de caso 4	122
Tabela 4.41: Vazões lançadas pelas sub-bacias 2 e 3 na sub-bacia 1 (rede real do estudo de caso 4)	124
Tabela 4.42: Número de soluções e percentuais para a rede real do estudo de caso 4 (sub-bacia 1)	124
Tabela 4.43: Número de soluções para a rede real do estudo de caso 4 (sub-bacia 3)	125
Tabela 4.44: Valores e percentual de redução para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso	126
Tabela 4.45: Valores e percentual de redução para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 4	126
Tabela 4.46: Valores e percentuais para toda rede real do estudo de caso 4	127
Tabela 4.47: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 2 do modelo para a rede real do estudo de caso 4	129
Tabela 4.48: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 1 sem a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 4	129
Tabela 4.49: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 1 com a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 4	129
Tabela 4.50: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 3 sem a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 4	130
Tabela 4.51: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 3 com a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 4	130
Tabela 4.52: Custos para a sub-bacia 2 da rede real do estudo de caso 4	131
Tabela 4.53: Custos da sub-bacia 1 para a rede real do estudo de caso 4 sem a aplicação do modelo	132
Tabela 4.54: Custos da sub-bacia 1 para a rede real do estudo de caso 4 com a aplicação do modelo	133
Tabela 4.55: Custos da sub-bacia 3 para a rede real do estudo de caso 4 sem a aplicação do modelo	134
Tabela 4.56: Custos da sub-bacia 3 para a rede real do estudo de caso 4 com a aplicação do modelo	135
Tabela 4.57: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 4 sem a aplicação do modelo	136

Tabela 4.58: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 4 com a aplicação do modelo	137
Tabela 4.59: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 4 sem a aplicação do modelo	138
Tabela 4.60: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 4 com a aplicação do modelo	139
Tabela 4.61: Número e percentuais de soluções obtidos para todos os estudos de caso	141
Tabela 4.62: Valores e percentuais de redução obtidos para todos os estudos de caso	143
Tabela 4.63: Estratégias adotadas pelo modelo em relação ao projeto original e suas respectivas consequências econômicas para todos os estudos de caso	144
Tabela I.1: Levantamento dos possíveis cenários para a solução do exemplo	154
Tabela I.2: Levantamento dos possíveis cenários para a solução do exemplo com as respectivas distâncias percorridas	155
Tabela II.1: Dimensões recomendadas para assentamento com lastro, laje e berço	158
Tabela II.2: Peso por metro e comprimento de barras de ferro	161
Tabela III.1: Itens, insumos e custos unitários– parte 1	162
Tabela III.2: Itens, insumos e custos unitários– parte 2	163
Tabela III.3: Itens, insumos e custos unitários– parte 3	164
Tabela III.4: Itens, insumos e custos unitários– parte 4	165

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABs – Algoritmos de Busca

AGs – Algoritmos genéticos

cm – centímetro

D – diâmetro do coletor

DG – Degrau

DMT – Distância média de transporte

FARC – Ferramenta Auxiliar de Redução de Custos

m – metros

mm – milímetro

Pa – Pascal

PD – Programação dinâmica

PDDD – Programação dinâmica diferencial discreta

PIM – Programação inteira mista

PL – Programação linear

PNL – Programação não-linear

PVs – Poços de visita

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SES – Sistema de Esgotamento Sanitário

VB – Visual Basic

RESUMO

RODRIGUES, G.P.W. (2011). Modelo computacional de redução de custos em redes coletoras de esgoto sanitário com a utilização de um algoritmo híbrido de busca. Fortaleza, 2011. 165 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

O cálculo manual de quantitativos em redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário é lento e, muitas vezes, de precisão duvidosa, devido às quantidades que são estimadas ou arbitradas em vários itens pertencentes ao orçamento. Neste trabalho foi desenvolvido um modelo computacional que realiza uma análise para posterior obtenção do menor custo em redes coletoras de esgoto sanitário. O processo do modelo foi iniciado a partir do aplicativo UFC9 para traçado e dimensionamento hidráulico de redes coletoras de esgoto e foi denominado FARC. A metodologia proposta foi avaliada por meio de quatro estudos de caso, sendo dois hipotéticos e dois reais. Pode-se afirmar que, de acordo com as comparações realizadas, os resultados dos quatro cenários apresentados comprovam a eficácia da FARC, pois houve redução de custos (os percentuais de redução variaram entre 2,20 e 18,79%) em todos os estudos de caso e, ainda, com o emprego de diferentes estratégias.

Palavras-chave: Sistemas de esgotos sanitários. Custos em redes de esgotos. Algoritmos de busca. Busca em largura.

ABSTRACT

RODRIGUES, G.P.W. (2011). Computational model of cost reduction in sanitary sewage systems with the use of a hybrid search algorithm. Fortaleza, 2011. 165 p. Thesis (Doctorate) - Federal University of Ceará, Fortaleza, 2011.

Manual calculation of quantitative nets from water supply and sewage systems is slow and often leads to dubious accuracy due to quantities that are estimated or arbitrated. It was developed a computational model that performs an analysis to obtain the lowest cost in sanitary sewage systems. UFC9 software was the start-point to the computer model that was called FARC. The proposed methodology was assessed through four case studies, two hypothetical and two real. According to the comparisons, the results of four presented scenarios demonstrate model's applicability, because there was a reduction of costs in all case studies (percentage reductions ranged between 2.20 and 18.79%) and also with the use of different strategies.

Keywords: Sanitary sewage systems. Sewage net costs. Search algorithms. Width search.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e a coleta de resíduos sólidos constituem os mais importantes fatores que contribuem para o nível sanitário de um país. Apesar de reconhecida a importância destas infraestruturas de saneamento básico, a situação no Brasil requer atenção, esforços e subsídios para uma resolução, mesmo que parcial.

O Brasil é um país com pequena abrangência no que se refere aos sistemas de esgotamento sanitário. Segundo BRASIL (2004), o atendimento urbano é muito precário e o índice médio nacional é de 50,4%. Somente dois prestadores de serviços de abrangência regional atendem a mais de 50% da população urbana dos municípios a que servem em um subconjunto em que a média é de 38,6%. Já para os prestadores locais, os índices são melhores, sendo que cerca de 48% desses prestadores apresentam valores iguais ou superiores a 50%, em um cenário em que a média do subconjunto é de 76,2%.

Estes dados delineiam o quanto o Brasil está aquém do nível satisfatório no que concerne aos sistemas de esgotamento sanitário. Tais índices promovem ainda mais a busca por novas tecnologias relacionadas à construção, implantação e manutenção dos sistemas de esgotos.

A expansão demográfica e o desenvolvimento tecnológico trazem como consequências imediatas o aumento do volume de esgotos produzido nas comunidades e a redução da eficiência no tratamento destes, principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, além de cidades cujo crescimento é tido como desenfreado e sem planejamento adequado.

Os esgotos, quando não coletados e tratados de forma apropriada, ocasionam proliferação de doenças e outros transtornos que podem afetar a saúde da população, além de poluir as áreas receptoras, causando desequilíbrios ecológicos e destruindo os recursos naturais da região atingida, ou mesmo dificultando o seu aproveitamento pelo homem.

Diante da necessidade de construção ou ampliação dos sistemas de esgotos sanitários, os processos de planejamento, projeto e obra devem estar organizados de forma a serem realizados dentro do cronograma estipulado, levando em conta a racionalização de recursos e prazos.

Dado que uma rede de esgoto utiliza a energia resultante das diferenças de cotas entre os extremos de montante e jusante, a escolha dos diâmetros das tubulações e das respectivas declividades constitui o problema fundamental no processo de dimensionamento.

Por outro lado, as características dos esgotos obrigam que o escoamento ocorra mediante certas condições, de forma que se mantenha o adequado funcionamento hidráulico-sanitário da rede.

Dentro destas condições, ressaltam-se as de autolimpeza (dada pela tensão trativa), as quais correspondem assegurar um valor mínimo da velocidade de escoamento ou do poder de transporte e, conseqüentemente, uma declividade mínima dos coletores.

Em resumo, o dimensionamento da rede está condicionado, por um lado, pelas perdas de energia que devem ser mantidas, sempre que possível, dentro dos limites disponíveis; e, por outro, pela utilização desta energia de forma que sejam mantidas as condições de autolimpeza.

Dentre os quantitativos que podem levar à redução do custo das redes coletoras, podem-se citar: volume de escavação, área de escoramento, extensões das tubulações etc. Entretanto, a determinação de um dimensionamento ótimo consiste na determinação da melhor combinação de diâmetro e declividade, como será explanado no capítulo 4.

1.2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar o modelo computacional de geração de quantitativos e orçamentários e propor um modelo que realiza, a partir do primeiro, uma análise de custos em redes coletoras de esgoto sanitário, com a finalidade de apresentar o menor custo de instalação e garantir o comportamento hidráulico-sanitário dentro das normas vigentes.

Para atingir este propósito, o modelo de análise de custos deve utilizar técnicas de programação matemática computacional. Tais modelos têm como suporte símbolos e relações matemáticas entre variáveis.

Estas técnicas recorrem, para a determinação da solução, a métodos numéricos particularmente adequados à resolução em computadores, o que lhes confere eficiência, precisão e economia na obtenção de resultados. Portanto, a formulação do modelo está associada ao desenvolvimento de um programa de computador para a obtenção da solução.

Foi utilizado o BASIC como linguagem de programação, por meio do compilador *VISUAL BASIC 6*. Este compilador foi escolhido com a finalidade de promover a integração entre o aplicativo AutoCAD e a rotina de dimensionamento hidráulico – o UFC9 – detalhada em Rodrigues (2006).

Dentre as técnicas de programação disponíveis atualmente, o Algoritmo de Busca (AB) foi a ferramenta escolhida por oferecer uma completa exploração do espaço de busca, aliado à possibilidade do uso de variáveis discretas. Além disso, a técnica é de manipulação razoável, o que facilita a sua conectividade com modelos de simulação.

As etapas da metodologia empregada contemplam:

- Comparar as soluções de projetos de redes reais com as soluções ótimas globais geradas a partir do modelo desenvolvido;
- Aplicar e avaliar o modelo, considerando o método da pesquisa, em quatro estudos de caso, sendo dois hipotéticos e dois reais;
- Analisar os resultados obtidos e sugerir recomendações de novas implementações no modelo.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Implantar no UFC9 o recurso de cálculo de quantitativos e custos, o que servirá de base para o modelo de análise de custos;
- Aplicar um algoritmo híbrido de busca em largura, a fim de minimizar os custos em projetos de redes coletoras de esgotos sanitários, aproveitando a interface do UFC9;

- Por fim, desenvolver um aplicativo inédito, no que se refere ao saneamento básico, para traçado, dimensionamento hidráulico, quantificação e redução de custos em redes coletoras de esgotos.

Diante do exposto, este trabalho tem como escopo apresentar uma ferramenta útil em projetos de sistemas de esgotamento sanitário, uma vez que foi desenvolvido e aplicado um modelo de redução de custos utilizando ferramentas computacionais.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta tese está organizada em seis capítulos. O presente capítulo proporciona uma introdução ao tema desenvolvido, os objetivos e as justificativas, apresentando de forma sucinta o modelo proposto e descrevendo o modo como a tese foi elaborada.

O capítulo 2 apresenta uma revisão sobre os principais tópicos abordados neste estudo e os custos relacionados aos sistemas de esgotamento sanitário.

Uma descrição completa do modelo computacional proposto está relatada no capítulo 3, além dos detalhes dos fundamentos do algoritmo desenvolvido e sua interligação com o modelo de dimensionamento hidráulico.

Nos resultados e discussões do capítulo 4, relata-se uma análise do obtida com a aplicação do modelo proposto em quatro estudos de caso.

E, finalmente, o capítulo 5 apresenta as conclusões desta pesquisa e recomendações para futuros trabalhos.

Nos anexos, é demonstrada uma base teórica dos algoritmos de busca, objetivando o entendimento da elaboração e aplicação do algoritmo híbrido de busca em largura desenvolvido neste trabalho, além de apresentar as memórias de cálculo de assentamento das tubulações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Os esgotos contêm cerca de 0,1% de material sólido, compondo-se essencialmente o restante de água. No entanto, essa parcela, numericamente tão pequena, é causadora dos mais desagradáveis transtornos, pois contém elementos nocivos à saúde dos seres humanos e ao meio ambiente.

O esgoto doméstico ou sanitário são as águas servidas procedentes de banho, lavagem de utensílios e roupas, utilização do vaso sanitário, dentre outros hábitos higiênicos, e provenientes dos despejos oriundos de prédios comerciais, públicos e similares.

Conforme Mendonça (1987), a composição do esgoto, que geralmente é perene, é essencialmente orgânica e relativamente constante quando há controle domiciliar de água. É constituído de elevada porcentagem de água, 99,9% (a atividade diária de um indivíduo gera cerca de 1,5 litros de água e menos de 100 gramas de matéria seca).

Para Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), entende-se por sistemas de esgotos o conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias e suficientes para a caracterização completa do sistema a projetar. Estes sistemas, portanto, abrangem a rede coletora com todos os seus componentes, as estações elevatórias e estações de tratamento de esgotos e têm por objetivo primordial a coleta, o transporte e o tratamento do esgoto doméstico.

São apresentados, a seguir, os componentes de um sistema de esgotamento sanitário:

- **Rede coletora:** consiste no conjunto de tubulações e órgãos acessórios destinados à coleta dos esgotos gerados nas edificações, por meio de coletores ou ramais prediais. Os principais acessórios que compõem as redes coletoras de esgoto são: poços de visita, terminais de limpeza, tubos de inspeção e limpeza, tubos de queda, caixas de passagem e sifões invertidos;

- **Ramal predial (ligação predial):** consiste no trecho do coletor compreendido entre o limite do lote e o coletor público. Esta unidade é executada, normalmente, pela solicitação do interessado quando a rede coletora encontra-se em execução ou já em funcionamento;
- **Coletor-tronco:** são tubulações que apenas recebem contribuições de outros coletores, não havendo, portanto, ligações prediais instaladas no mesmo. Estes coletores apresentam diâmetros normalmente superiores aos dos demais coletores da rede de esgotos;
- **Interceptor:** é uma tubulação que recolhe contribuições de uma série de coletores, de modo a evitar que estas deságuem em uma localidade a ser protegida, como por exemplo, uma praia, um lago, um rio etc. Não recebe contribuições diretas de ligações prediais;
- **Emissário:** é a tubulação que recebe esgotos exclusivamente em sua extremidade de montante e os lança na estação de tratamento de esgoto ou no corpo receptor;
- **Sifão invertido:** consiste em uma tubulação rebaixada com escoamento sob pressão, cuja finalidade é transpor obstáculos tais como depressões do terreno, cursos d'água, linhas férreas ou adutoras;
- **Estação elevatória:** quando as profundidades dos coletores tornam-se muito grandes, devido à baixa declividade do terreno ou à necessidade de se transpor uma elevação, faz-se necessário a implantação de uma estação elevatória para bombear os esgotos para um nível mais elevado. A partir desse ponto, os esgotos podem voltar a escoar por gravidade. As estações elevatórias são normalmente construídas sob o abrigo de uma edificação subterrânea;
- **Estação de tratamento:** é uma unidade (ou um conjunto de unidades) destinada a dar condições ao esgoto recolhido de ser devolvido à natureza com o mínimo prejuízo possível ao meio ambiente. Dependendo da qualidade do esgoto e das condições de

lançamento no corpo receptor ou de reuso (se for o caso), devem ser adotados tratamentos em níveis preliminar, primário, secundário ou terciário, sendo este último bastante raro no Brasil;

- **Corpo receptor:** após o tratamento, os esgotos podem ser lançados em um curso ou corpo d'água receptor ou, eventualmente, aplicados no solo. Em ambos os casos, estudos devem ser realizados sobre a diluição dos poluentes ainda presentes nos esgotos tratados, especialmente organismos patogênicos e metais pesados. A tubulação que transporta os esgotos da estação de tratamento ao corpo receptor é chamada de emissário final.

2.2. RESTRIÇÕES HIDRÁULICAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO

O dimensionamento de redes coletoras deve obedecer a uma série de limitações técnicas estabelecidas pela NBR 9649/1986 da ABNT, as quais são discriminadas a seguir:

- a) **Vazão mínima considerada para dimensionamento hidráulico:** para a determinação das dimensões de qualquer trecho, a vazão não deve ser inferior a 1,5 L/s, o que equivale à vazão média de uma descarga de vaso sanitário. Sempre que a vazão de jusante de qualquer trecho for menor que 1,5 L/s, este valor deve ser utilizado para os cálculos hidráulicos;
- b) **Diâmetro mínimo do coletor:** não deve ser inferior a 100 mm. As concessionárias de saneamento costumam exigir no mínimo 150 mm para a rede coletora pública;
- c) **Tensão trativa mínima:** para assegurar a autolimpeza do coletor, este parâmetro não deve ser inferior a 1,0 Pa (1,0 N/m²) e 1,5 Pa (valor recomendado) para interceptores e emissários. Seguindo a NBR 14486/2000, os coletores cujo material é PVC podem ser calculados para uma tensão trativa mínima de 0,6 Pa;

- d) **Velocidade máxima:** a velocidade não deve ser superior a 5,0 m/s para evitar riscos às estruturas e cargas abrasivas nas paredes dos coletores.
- e) **Declividade mínima:** para garantir as condições mínimas de arraste, a declividade mínima do coletor deve obedecer à seguinte expressão (para n de Manning = 0,013): $I_{min} = 0,005 Q^{-0,47}$, sendo I_{min} em m/m e Q (vazão de esgoto no coletor) em L/s;
- f) **Lâmina d'água:** deve, no máximo, alcançar 75% do diâmetro do coletor, garantindo condições de escoamento livre e de ventilação. Entretanto, nos casos em que a velocidade de fim de plano no coletor ultrapassar a velocidade crítica, a lâmina d'água não deve ser superior a 50% do diâmetro do tubo.

A tensão trativa é definida por Mendonça (1987) como o esforço tangencial unitário transmitido às paredes do coletor pelo líquido em escoamento. Alem Sobrinho e Tsutiya (2000) definem a tensão trativa como a componente tangencial do peso do líquido sobre a unidade de área da parede do coletor e que atua sobre o material sedimentado, promovendo seu arraste. A expressão desta tensão é deduzida de forma análoga à da força que age em um sólido que desliza sobre um plano inclinado.

Uma das características importantes a ser observada em projetos de redes coletoras de esgoto é a influência do remanso. Segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), sempre que a cota do nível de água na saída de qualquer PV ou TIL ficar acima de qualquer das cotas dos níveis de água de entrada, deve ser verificada a influência do remanso no trecho de montante.

Crespo (1997) cita que a convergência de vazões a um PV (poço de visita) pode exigir a fixação de um diâmetro superior do coletor de saída. Com a finalidade de se evitar remansos indesejáveis nos coletores afluentes, deve-se coincidir a geratriz superior dos tubos, ou seja, rebaixando o fundo do PV de montante.

Fazer coincidir os níveis de água de montante e de jusante, para profundidades superiores à mínima, em um PV ou TIL (terminal ou tubo de inspeção e limpeza) é prática comum de modo a se evitar o remanso. No caso de se ter mais de um coletor afluente, o nível de água de jusante deve coincidir com o nível de água mais baixo dentre aqueles que chegam.

2.3. CUSTOS EM REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO

De acordo com Colossi (2002), custo representa o valor da soma dos insumos (mão-de-obra, materiais e equipamentos) necessários à realização de um dado produto ou serviço, constituindo-se no valor pago pelos insumos.

A estimativa de custos é a soma de diversas parcelas ou etapas de produção, na qual cada etapa possui um custo total ou unitário. Dependendo do seu comportamento em relação à produção ou ao modo como ocorre em uma empresa, o custo pode ser classificado em categorias.

Para Antunes Júnior (1998), os custos podem ser classificados de acordo com a quantidade produzida ou então conforme a facilidade de alocação deles aos produtos ou serviços.

Relativamente à quantidade produzida, eles são classificados, segundo Kliemann Neto (1986), em:

- **Custo fixo:** é aquele montante que ocorre na empresa, independentemente do volume de produção ou de serviço, ou seja, não está relacionado às oscilações na atividade de produção. Por exemplo: custo de pessoal administrativo, aluguéis, gastos em comunicação, seguro, entre outros;
- **Custo variável:** aquele que varia proporcionalmente de acordo com o nível de produção ou atividades. Seu valor depende diretamente do volume produzido ou volume de vendas efetivado num determinado período. Por exemplo: materiais, mão de obra direta, impostos e taxas, entre outros.

Os custos relacionados com a facilidade de alocação aos produtos ou serviços são classificados em duas categorias, conforme Fuller e Armstrong (1999):

- **Custos diretos:** são os gastos industriais que podem ser alocados direta e objetivamente aos produtos. Assim, ao se considerar uma linha de produtos, os custos de materiais e de mão de obra envolvidos em sua manufatura são custos diretos;
- **Custos indiretos:** são aqueles que, ao apresentarem dificuldade para serem atribuídos diretamente aos produtos ou às atividades produtivas, requerem, para sua apropriação, critérios de distribuição ou rateio. Por exemplo: ferramentas, trabalhos de apoio, instalações auxiliares, administração e manutenção da obra.

Segundo Pereira e Soares (2006 apud Baeta e Sartor, 1999), o orçamento é o custo provável de um serviço ou obra a ser executado, de acordo com especificações técnicas preestabelecidas, realizadas as compensações monetárias para retratar o custo estimado.

Alem Sobrinho e Tsutiya (2000) citam que, de acordo com um estudo realizado pela SABESP em 1980, os fatores de maior peso no custo total, pela ordem, em uma obra de esgotamento sanitário são: escoramento de valas, poços de visita, escavação de valas, reaterro de valas e reposição de pavimentos. O escoramento, escavação e reaterro das valas estão relacionados à profundidade da rede.

Conforme Cynamon (1986), o custo dos sistemas de esgotos é majorado com o aumento do diâmetro dos coletores. Porém, este acréscimo de custo não é proporcional ao aumento do diâmetro, como acontece em redes de distribuição de água, sendo, às vezes, até vantajoso o aumento dos diâmetros para reduzir o aprofundamento de valas, pois esta diminuição acarreta menores áreas escoradas e menor volume de reaterro.

Os aspectos econômicos estão intimamente ligados ao conceito da tensão trativa, a qual garante que sejam mantidas as condições de autolimpeza.

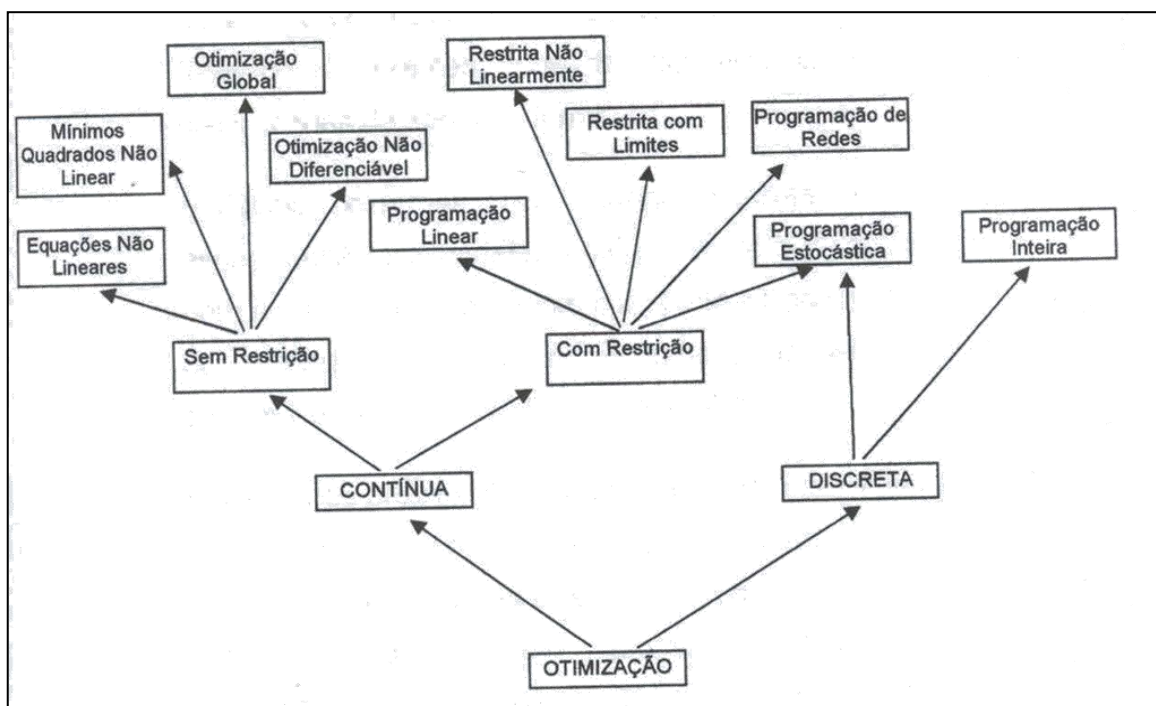
Com efeito, as fórmulas utilizadas na análise do escoamento em uma rede indicam que quanto maior o diâmetro do coletor, menor é a declividade, escavação, reaterro e escoramento.

2.4. TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO

Estas técnicas são expressas por algoritmos que são regidos por preceitos matemáticos baseados em provas e teoremas na busca da solução ótima.

A otimização é uma das técnicas mais utilizadas para a redução de custos em obras, tanto na área de recursos hídricos como na de saneamento ambiental.

Para Oliveira Neto (2004), quando na análise do sistema existir o interesse em otimizar o processo decisório de acordo com um valor estabelecido pela função objetivo, deve-se aplicar técnicas de otimização. A figura 2.1 apresenta os modelos de otimização mais utilizados.



Fonte: Oliveira Neto (2004)

Figura 2.1: Modelos de otimização

Ainda conforme Oliveira Neto (2004), o problema geral de otimização que estes métodos resolvem deve ter a seguinte estrutura:

1. Função Objetivo

Normalmente, esta função relaciona-se diretamente com o custo da variável que se pretende otimizar, como minimizar o custo de uma peça, maximizar o lucro em uma operação financeira, minimizar o volume de escavação em uma vala etc.

2. Variável de decisão

Durante o processo de otimização, o operador trata, geralmente, com diferentes tipos de variáveis. Essas variáveis são classificadas da seguinte forma: prescritas (não mudam durante o processo, pois são especificadas em projeto, regidas, frequentemente, por normas) e de projeto (são parâmetros que podem ser alterados e, por conseguinte, influir no processo de otimização). As variáveis de projeto podem ser divididas em:

- *Contínuas*: podem assumir qualquer valor dentro de um intervalo.
- *Discretas*: podem assumir alguns valores dentro de uma lista de valores inteiros.

3. Restrição

Em otimização, as restrições são chamadas de limites do projeto.

4. Solução possível e solução ótima

Qualquer solução que satisfaça o modelo construído pode-se dizer que é uma solução possível, mas, para que possa ter uma aceitação em todas as restrições e com o alcance do objetivo, que seria maximizar ou minimizar tendo um resultado melhor que o possível, essa é chamada de ótima.

Cita Taha (1998 *apud* OLIVEIRA NETO, 2004) que, para modelos não lineares, a solução encontrada é definida como solução ótima relativa, podendo existir outra que possa satisfazer o modelo com o mesmo valor final, minimizado ou maximizado, modificando apenas os valores das variáveis de decisão, enquanto que os modelos lineares a solução apresentada é uma solução ótima global (caso exista uma).

Até meados da década de 80, os problemas de otimização em engenharia eram geralmente solucionados por meio de técnicas clássicas da pesquisa operacional como, por exemplo, a programação linear (PL), programação não linear (PNL) e programação dinâmica (PD). É notório que o maior impasse da construção desses métodos determinísticos é que estes fazem uso do cálculo de derivadas da função objetivo para a determinação da direção da busca da solução ótima.

Para Wu e Simpson (2001), além da dificuldade do cálculo de derivadas, outras desvantagens dos algoritmos determinísticos são: dificuldade de adaptação a projetos com variáveis discretas e complexidade de aplicação em problemas práticos de engenharia. Em compensação, grande parte desses métodos proporciona rapidez e eficiência na procura de soluções ótimas.

Segundo Costa (2010), a partir da década de 90, com a evolução das linguagens de programação, inúmeros pesquisadores desenvolveram trabalhos envolvendo otimização nas áreas de hidráulica e hidrologia, utilizando-se de técnicas meta-heurísticas, tais como Algoritmos Genéticos, Redes Neurais Artificiais (RNA), Lógica Fuzzy, Simulated Annealing, Árvores de Decisão etc.

2.5. OTIMIZAÇÃO EM REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO

Nos itens a seguir, são explanados os modelos que mais foram empregados para otimização em redes coletoras de esgoto sanitário, bem como os limites de suas utilizações.

2.5.1. Programação não-linear

No conceito geral, em um problema de programação não linear pretende-se determinar um extremo (máximo ou mínimo) em uma função objetivo sujeita a um conjunto de restrições do tipo igualdade e/ou inequação. A função objetivo é sempre não linear, enquanto as restrições podem ser lineares e/ou não lineares.

O primeiro modelo foi desenvolvido por Holland (1966), cujo objetivo foi de otimizar o perfil longitudinal de uma rede coletora de esgotos sanitários, dado o seu traçado em planta.

A vazão de cada trecho era conhecida, bem como a localização das singularidades; as variáveis de decisão eram as cotas dos coletores de montante e jusante e os diâmetros.

Utilizando uma formulação especial das equações de escoamento e admitindo uma forma particular da função objetivo, este autor formulou o modelo e obteve a solução utilizando programação não-linear, em que a função objetivo não linear do problema inicial é substituída pelo somatório de funções lineares de um novo conjunto de variáveis de decisão. No entanto, os diâmetros estavam limitados à gama de valores existentes comercialmente.

Para ultrapassar este inconveniente e reconhecendo as imprecisões significativas que poderiam ser ocasionadas pelo simples arredondamento para os valores comerciais dos diâmetros teóricos obtidos, Holland (1966) seguiu uma metodologia específica.

Os exemplos apresentados limitaram-se a sete trechos, não mencionando qualquer informação quanto à aplicabilidade prática desta técnica.

Deininger (1966) equacionou um modelo, embora não tivesse a respectiva solução, para o dimensionamento econômico de um interceptor de esgoto com um dado traçado em planta. Este autor admitiu que o custo por metro do coletor variava linearmente com o diâmetro e com a profundidade média de escavação.

As variáveis de decisão eram os diâmetros nos trechos e as respectivas cotas de soleira de montante e jusante. Além disso, admitiu-se que o escoamento ocorria em seção plena, o que não é prática corrente nos projetos. Após a linearização das restrições correspondentes à velocidade mínima e máxima, o modelo apresentou uma forma passível de resolução por programação linear, ou seja, em que a função objetivo e as restrições são lineares.

Dajani, Gemmel e Morlok (1972) propuseram um modelo para a determinação do perfil longitudinal ótimo para um dado traçado da rede em planta. As variáveis de decisão eram a soma e a diferença entre as cotas de soleira dos coletores de montante e jusante. Estes autores utilizaram funções de custo obtidas por técnicas de regressão linear múltipla, em que as variáveis independentes são o quadrado do diâmetro e da profundidade média de

escavação, e a variável dependente é o custo por unidade de comprimento de coletor.

Este formato da função de custo conduz a uma função objetivo não-linear. A primeira grande limitação deste modelo resulta no fato de se admitir que o escoamento, também como em Deininger (1966), ocorria em seção plena, o que levou, na fase de otimização, a não se considerar algumas das soluções que seriam mais econômicas.

Gupta *et al* (1976) desenvolveram um modelo em que as variáveis de decisão eram os diâmetros dos coletores e as profundidades de escavação. A função de custo para estimar o custo da rede foi obtida por técnicas de regressão linear múltipla, a partir de dados observados na Índia. As variáveis independentes eram o diâmetro e profundidade de escavação, e a variável dependente era o custo por metro de coletor. As restrições correspondiam ao diâmetro mínimo, velocidades mínima e máxima, profundidades mínima e máxima, aumento progressivo dos diâmetros de montante para jusante e diminuição das cotas de soleira dos coletores de montante para jusante, a altura máxima de escoamento foi fixada em 0,67% do diâmetro.

O exemplo destes autores restringiu-se a uma rede de seis trechos, sem ramificações. Contudo, nada se pode concluir quanto à possibilidade de aplicação deste modelo ao dimensionamento de redes reais.

2.5.2. Programação dinâmica

Segundo Goldbarg e Luna (2005), a programação dinâmica (PD) é uma técnica utilizada para a aplicação de processos de decisão multiestágios, sendo a descrição deste último como aquele que pode ser desdobrado segundo certo número de etapas sequenciais ou estágios.

Decisões são as alternativas incluídas na conclusão de um estágio; e a condição do processo dentro de cada estágio é denominada estado. Cada estágio inclui a tomada de uma decisão que pode ou não alterar o estado do processo.

Mais uma vez, a otimização do perfil longitudinal foi considerado por Haith (1966). Este autor utilizou a PD e baseou-se no princípio de que – para uma certa vazão, condições topográficas e características do terreno – o custo de um trecho

depende exclusivamente da quantidade de energia utilizada neste último. O problema consistia em repartir os recursos disponíveis, ou seja, a diferença de cota entre o ponto mais alto e o mais baixo da rede, de forma a minimizar o custo total.

Este modelo, devido à forma simplificada de sua formulação, não permite a sua utilização no dimensionamento de casos práticos. Ademais, o escoamento foi admitido como seção cheia (plena) e a rede não possuía trechos secundários, hipóteses que se afastavam bastante da realidade prática.

Walsh e Brown (1973), baseando-se nos conceitos apresentados por Haith (1966), desenvolveram um modelo que considera funções de custo mais precisas e admitiram que o escoamento ocorresse em seções parcialmente cheias. Estes autores apresentaram dois exemplos que serviram de base aos testes do programa de computador por eles elaborado. O primeiro correspondia a uma rede hipotética de pequena dimensão, e o segundo representava uma rede com dimensões práticas, incluindo 110 poços de visita.

Para ambos os exemplos, os autores compararam os custos obtidos pelo modelo proposto e pela prática de projeto convencional na época. Concluíram que foram obtidas soluções mais econômicas no primeiro caso, apesar de não serem citadas informações sobre tempo e memória computacional.

A utilização da PD foi difundida por Argaman, Shamir e Spivak (1973), que procuraram otimizar o traçado e o perfil de redes coletoras de esgotos sanitários. No modelo computacional elaborado por estes autores, a função objetivo era composta pelos custos de escavação, tubulação e poços de visita. O modelo foi testado em redes hipotéticas e uma real, compostas de 36 (trinta e seis) poços de visita cada. A deficiência do método, segundo os autores, foi o grande espaço de memória e o longo tempo de processamento requerido para a época, quando o modelo era aplicado em redes de maiores dimensões.

Estes autores sugeriram que redes grandes fossem subdivididas em outras menores e que, para o problema de tempo, fossem avaliadas novas técnicas de programação ou que fossem empregados computadores com alto desempenho de cálculo.

A PD também foi aplicada para otimizar os custos de interceptores de esgotos de configuração predefinida por Merrit e Bogan (1973), por meio de um modelo computacional baseado em programação dinâmica discreta, na qual as variáveis de decisão eram os diâmetros e as respectivas cotas do coletor. O limite do programa era de, no máximo, 200 poços de visita. Afirmaram, após análises dos custos resultantes, que a aplicação do modelo em redes coletoras de esgotos sanitários pode gerar uma economia de 5 a 10% em relação ao custo obtido pelo processo convencional.

Mays e Yen (1975) elaboraram dois modelos computacionais para otimizar redes coletoras de esgotos, utilizando a programação dinâmica e a programação dinâmica diferencial discreta (PDDD). Apresentaram a metodologia seguida na utilização da programação dinâmica convencional para uma rede sem trechos secundários.

A partir deste ponto, generalizaram para o caso de uma rede com configuração ramificada, decompondo o sistema em vários subsistemas, cada um deles com se fosse uma rede sem trechos secundários (designados pelos autores de “*non-serial approach*”).

Com as aplicações destes modelos, os autores compararam as reduções de custos, tempo de processamento e memória requerida, tirando como conclusão ser a PDDD a mais desejável, apresentando uma redução do tempo de cálculo em até 30% em relação à PD, sendo as diferenças de custos e de memória de menor significância.

Braga (1982) utilizou-se dos modelos de Mays e Yen (1975) com o intuito de dimensionar uma rede hipotética e uma real no município de Ibiúna/SP. Segundo este autor, demonstrou-se a aplicabilidade com eficiência para redes de grandes dimensões com o uso de junções fictícias e subdivisão de bacias. A função objetivo aplicada incluiu os custos referentes à tubulação, poços de visita, tubos de queda e movimentos de terra.

Apesar de o modelo ter sido validado em redes reais, obtendo bons resultados, o mesmo ficou restrito às redes de pequeno e médio porte, de no máximo 191 trechos, com a subdivisão da rede em três sub-bacias.

Ainda houve outras limitações como: a não verificação do atendimento da condição de remanso antes de se definir qualquer alternativa econômica para um dado trecho da rede; o cálculo hidráulico não era realizado de forma direta, mas pela interpolação das vazões, áreas e lâminas de escoamento conhecidas; o número de diâmetros comerciais era limitado a seis.

Kulkarni e Khanna (1985) apresentaram um algoritmo de otimização aplicando programação dinâmica, que analisava o perfil dos sistemas de esgotos sanitários por gravidade que necessitavam ou não de bombeamento.

A função objetivo que devia ser minimizada levou em conta os custos de movimentos de terra, tubulações, poços de visita e bombeamento (bombas, acessórios e energia elétrica).

Estes autores tentaram sanar o problema de capacidade de armazenamento de dados da época fazendo uso do conceito de custo efetivo proposto por Gupta, Mehndiratta e Khanna (1983), e subdividindo a rede em sub-bacias. Utilizou-se uma rede composta por 607 trechos, sendo necessário subdividi-la em 3 zonas, mostrando, desta forma, as dificuldades computacionais com relação a redes de grande porte.

Pereira e Câmara (1998) empregaram uma metodologia que otimizava, simultaneamente, a configuração e o perfil de redes de esgoto. Para o traçado, os artífices utilizaram o algoritmo genético em conjunto com regras heurísticas; já para o perfil, a programação dinâmica foi adotada.

2.5.3. Programação linear

Os modelos de programação linear são problemas de otimização nos quais a função objetivo e as restrições são todas lineares, ou seja, podem ser escritos em forma de maximização (ou minimização) de uma função objetivo linear, sujeita a um conjunto de restrições que podem ser expressos sob a forma de inequações ou equações lineares.

A partir da PL, Dajani (1971), em sua tese de doutorado, buscou explorar o comportamento e a natureza dos custos de redes de esgotos sob diferentes condições e formas urbanas.

Neste modelo, foram utilizadas funções de custos que incluíam apenas os custos de escavação e tubulação na rede analisada. Desta maneira, era esperado encontrar uma solução próxima da ótima e não uma ótima global. Consistia na determinação de soluções de custos mínimos, considerando como parâmetros de avaliação as declividades dos coletores e seus diâmetros.

Velon (1971), em seu modelo computacional que utiliza programação linear, relatou sobre as várias maneiras pelas quais os critérios de projeto, como vazões, velocidades, profundidades (máximas e mínimas) e parâmetros das funções de custos, influenciavam nos custos das redes coletoras de esgotos.

2.5.4. Programação heurística

De acordo com Magalhães (1995), modelos de programação heurísticos são procedimentos que se aplicam a problemas de dimensões reais. Conforme Silva (1993), os métodos heurísticos estão baseados em um conjunto de regras formais de decisão, as quais são deduzidas logicamente a partir de suposições consideradas razoáveis.

Existem diversos critérios para a formulação destas regras de decisão, nos quais o elemento básico é a ordem em que as atividades devem ser programadas.

Para Santos e Moccellini (2009), a solução pode ser dada por procedimentos heurísticos, que são mais eficientes computacionalmente que os métodos analíticos, e podem, eventualmente, conduzir à solução ótima. Vários métodos heurísticos têm sido desenvolvidos para tratar rapidamente problemas complexos que seriam extremamente difíceis, senão impossíveis, de resolver de outra forma, produzindo, assim, boas soluções.

O modelo heurístico vem a ser um procedimento que visa reduzir esforços na metodologia de busca, levando à obtenção de soluções aceitáveis (ou viáveis), próximas da ótima, em um baixo tempo computacional. Portanto, tais modelos incorporam o conhecimento empírico, a intuição ou a experiência para evitar funções matemáticas complexas, bem como restrições difíceis de expressar. (MAGALHÃES, 1995)

Com o objetivo de minimizar o volume de escavação para pequenas redes, Liebman (1967) desenvolveu um modelo heurístico para otimizar traçados, por meio de um processo de pesquisa, que tem como ponto de partida um traçado conhecido, composto de rede coletora de diâmetros pré-fixados.

Como o comportamento hidráulico das redes varia com a vazão e topografia da área, este modelo ficou com sua aplicação prática restrita a emissários e/ou outros trechos de redes, os quais não recebem contribuições em marcha.

Outros autores tentaram buscar a minimização do volume de escavação com o método heurístico, como o modelo desenvolvido por Dajani e Hasit (1974), o qual se utilizou de programação inteira mista (PIM). Como meio de redução de tempo de processamento, os autores aconselharam um pré-dimensionamento da rede coletora pela programação separável convexa, obtendo-se, desta forma, uma redução de até 50% do tempo requerido, se somente for utilizada a PIM.

O método heurístico proposto por Desher e Davis (1986) realiza uma análise de sensibilidade da variação dos parâmetros de entrada (critérios de projeto, vazões e diâmetros) sobre o custo de uma rede. Apesar de ter apresentado bons resultados, segundo os autores, o trabalho ficou restrito às redes coletoras de esgotos por gravidade de, no máximo, 100 trechos. Como limitações, cita-se que os diâmetros devem ser pré-fixados e, no cálculo do custo total da rede, não é inserido o custo referente aos poços de visita.

Para cálculo de sistemas de esgotos sanitários de grande porte, Charalambous e Elimam (1990) apresentaram um modelo com a possibilidade de introdução de estações elevatórias. Como essa incorporação causaria certa complexidade em um modelo matemático, optou-se por tentar obter uma solução próxima da ótima, utilizando a heurística da minimização do volume de escavação.

O modelo foi validado com o projeto de várias redes hipotéticas e duas reais em microcomputadores PC/AT, com o programa computacional codificado na linguagem de programação C.

2.5.5. Algoritmos Genéticos

Segundo Goldberg (1989), os algoritmos genéticos (AGs) têm se mostrado um eficiente método para a solução de problemas não lineares de otimização.

Os AGs, que são provavelmente o tipo mais conhecido de programação evolucionária, são definidos como técnicas de otimização estocásticas, que imitam matematicamente os mecanismos de evolução natural das espécies, compreendendo processos da genética das populações e da sobrevivência e adaptação dos indivíduos (GEN e CHENG, 1997).

Para Gameiro *et al* (2005), este método tem sido amplamente estudado no caso de otimização de projetos de redes, buscando-se modificar ou aperfeiçoar o processo, visando maior rapidez na obtenção de soluções que irão convergir para resultados satisfatórios.

Gameiro (2003) desenvolveu e implementou um modelo hidráulico de otimização para o dimensionamento de mínimo custo de redes de esgotos, avaliando o comportamento e as variações da técnica dos AGs. Comparou a eficiência e a robustez do modelo proposto por meio de diversas simulações e analisou os resultados em relação à convergência, qualidade do conjunto final de soluções e solução ótima obtida. Para esta pesquisa, apenas uma rede exemplo foi estudada.

As simulações realizadas nesta rede, com uma configuração teórica, apresentaram resultados melhores aos obtidos por outros pesquisadores, com reduções de custo da ordem de 5,8% a 6,8%, demonstrando, segundo este autor, a viabilidade do modelo.

Apesar de alguns pesquisadores estudarem AGs para otimização em redes de esgotos, notadamente esta técnica não demonstra resultados significativos, pois estes algoritmos não tratam diretamente situações em que ocorram muitas restrições. O método das penalidades dos AGs é utilizado para identificar as soluções inviáveis e, assim, tornar soluções que tenham violado essas restrições em soluções de pouca aptidão. Como uma rede coletora de esgotos é um problema de várias restrições, na qual as variáveis seguem uma ordem de dependência, buscou-se outra metodologia para o presente trabalho.

2.5.6. Síntese das principais características dos modelos existentes

Os modelos descritos nos itens anteriores, quanto aos seus objetivos, podem ser divididos em dois grupos. O primeiro, no qual a literatura técnica é mais abrangente, são os que pretendem determinar o dimensionamento mais econômico do perfil longitudinal da rede para um dado traçado em planta.

O segundo engloba os modelos em que se almeja determinar, simultaneamente, o perfil longitudinal da rede e o traçado em planta mais econômicos.

Um dos principais problemas que os pesquisadores encontraram na formulação e/ou na obtenção da solução de modelos refere-se ao diâmetro dos coletores.

Outro aspecto a ser ponderado, em alguns estudos, foi o de considerar o escoamento em seção plena para diminuir as restrições hidráulicas. Tal fato gerava a eliminação de soluções possivelmente mais suscetíveis do ponto de vista econômico.

A programação dinâmica foi uma das técnicas mais utilizadas nos modelos de otimização para a definição dos perfis longitudinais em redes de esgotos sanitários. Apesar de esta metodologia ter sido apontada como promissora, devido ao caráter sequencial das decisões que tinham que ser realizadas, ela apresentou duas limitações: capacidade de memória e tempo de execução computacional.

2.6. ALGORITMO DE BUSCA EM LARGURA

2.6.1. Introdução

Os algoritmos de busca são aqueles que realizam um caminhamento para explorar um grafo (que é uma representação gráfica das relações existentes entre elementos de dados), examinando todos os seus vértices e arestas. Existem muitos destes algoritmos, sendo que cada um possui uma estratégia específica que é caracterizada pela ordem em que os vértices são visitados.

Há diversos problemas cujas soluções têm o potencial de serem encontradas por meio de métodos de busca. Estes métodos dividem-se em informados ou não informados (busca cega).

Os primeiros utilizam alguma informação específica do problema para gerar um novo estado. Geralmente, é utilizada uma função de avaliação heurística que procura estimar quantos passos são necessários para chegar à solução. Os de busca cega não utilizam qualquer conhecimento específico do problema para determinar a prioridade com que os nós serão expandidos.

Estes algoritmos também são utilizados para encontrar uma sequência de ações que, partindo de um estado inicial, levem a uma determinada configuração desejada. São avaliados, comumente, de acordo com a completude, ou seja, se conseguem chegar a uma solução ótima (otimalidade).

Uma das técnicas de resolução de problemas é gerar todas as possíveis soluções e verificar qual delas é de fato a procurada ou ótima. Esta técnica é denominada busca exaustiva, pois percorre todo o espaço de possíveis soluções em busca da mais pertinente para cada caso.

A busca em largura (ou busca em amplitude) está profundamente relacionada com o conceito de distância entre vértices. Quando aplicada a uma arborescência, a busca em amplitude faz uma varredura por níveis. Por outro lado, a em profundidade é um algoritmo utilizado para realizar uma busca ou travessia em uma árvore, estrutura de árvore ou grafo. O algoritmo começa em um nó raiz e explora, tanto quanto possível, cada um dos seus ramos, antes de retroceder.

Uma arborescência (ou árvore radicada) é um grafo direcionado em que: não existem vértices com grau de entrada maior que 1; existe exatamente um vértice com grau de entrada 0; cada um dos vértices é término de um caminho com origem no único vértice que tem grau de entrada nulo.

2.6.2. Definições

Tipicamente, uma solução por busca exaustiva é composta de duas funções: uma que gera todas as possíveis soluções, e outra que verifica se a solução gerada é a que atende ao problema.

O principal entrave deste modo de busca é que pode existir um número muito grande de soluções a serem verificadas. Por exemplo, um algoritmo para encontrar os divisores de um número natural n é enumerar todos os inteiros de 1 a n , e verificar para cada um se ele dividido por n resulta em resto 0.

O algoritmo supracitado possui uma implementação relativamente simples e sempre encontrará uma solução, se ela existir. Contudo, o custo computacional é proporcional ao número de candidatos à solução que, em problemas reais, tende a crescer exponencialmente e não linearmente. Consequentemente, a força bruta é tipicamente empregada em problemas cujo tamanho é limitado, ou quando há uma heurística usada para reduzir o conjunto de candidatos para um espaço considerado aceitável. O uso deste tipo de busca pode ser também empregado quando a simplicidade da implementação é mais importante que a velocidade de execução.

Uma busca em largura é um método de busca não-informada (ou desinformada) que expande e examina sistematicamente todos os nós de uma árvore em busca de uma solução. Em outras palavras, pode-se dizer que este algoritmo realiza uma busca completa em uma árvore inteira, sem considerar o seu alvo de busca, até que ele o encontre (não utiliza uma heurística). Já a busca em profundidade desempenha uma busca – também não informada – que progride pela expansão do primeiro nó filho da árvore de busca e aprofunda-se cada vez mais, até que o alvo da busca seja encontrado ou até que ele se depare com um nó que não possui filhos (nó folha); após este passo, a busca retrocede (*backtrack*) e começa no próximo nó.

A diferença mais marcante entre a busca em largura e a em profundidade está na estrutura de dados auxiliares empregada por cada uma das estratégias. A busca em largura usa uma fila (de vértices), enquanto a em profundidade usa uma pilha. Contudo, há várias outras diferenças mais superficiais entre os dois algoritmos, a saber:

- na busca em profundidade, o próprio algoritmo propõe o vértice inicial. Na busca em largura começa tipicamente em um vértice especificado pelo usuário;

- a busca em profundidade visita, tipicamente, todos os vértices de um grafo direcionado, enquanto a busca em largura visita apenas os vértices que podem ser atingidos a partir do vértice inicial;
- a busca em profundidade é descrita, usualmente, em estilo recursivo (um tipo de dado para valores que podem conter outros valores do mesmo tipo), enquanto a busca em largura é descrita em estilo iterativo (análise numérica para se chegar a resultados de problemas complexos de serem resolvidas pelo método algébrico) .

Do ponto de vista do algoritmo, todos os nós filhos obtidos pela expansão de um nó são adicionados a uma fila. Em implementações típicas, nós que ainda não foram examinados por seus vizinhos são colocados em uma lista que é chamada "aberta". Uma vez examinados, são colocados em uma lista "fechada".

A busca em largura é completa apenas se a árvore pesquisada tem um número finito de ramos – o algoritmo encontrará o alvo da busca, caso ele exista (alcança todos os nós de uma árvore).

O custo computacional de ambos os algoritmos é proporcional ao número de vértices somados ao número de arestas dos grafos os quais eles atravessam. Quando ocorrem buscas em grafos muito grandes, que não podem ser armazenadas completamente na memória, a busca em profundidade não termina, como em casos onde o comprimento de um caminho em uma árvore de busca é infinito.

O artifício simples, com a utilização de uma variável *booleana* que registra quais nós já foram visitados, tende a não funcionar quando não há memória suficiente. Isso pode ser resolvido estabelecendo-se um limite de aumento na profundidade da árvore.

3. METODOLOGIA

3.1. INTRODUÇÃO

O cálculo manual de quantitativos em redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário é lento e, muitas vezes, de precisão duvidosa devido às quantidades que são estimadas ou arbitradas em vários itens pertencentes ao orçamento.

A construção da rede coletora é um dos fatores de maior peso no custo global de obras de sistema de esgotamento sanitário. Sendo que, para reduzir os custos de implantação desta etapa, os projetistas passaram a utilizar tecnologias mais econômicas e de fácil execução, como os tubos de PVC (Policloreto de Vinila) e/ou PEAD (Polietileno de Alta Densidade) em substituição aos materiais que eram comumente utilizados (concreto, manilha cerâmica etc.).

Muitos engenheiros têm criado suas próprias planilhas no intuito de automatizar os passos para os cálculos dos quantitativos e, por conseguinte, de custos. Esta prática é recomendada, e este trabalho não tem a finalidade de substituir as planilhas pessoais, mas de auxiliar no processo de preenchimento delas.

O processo dos modelos computacionais foi iniciado a partir do aplicativo UFC9 (para traçado e dimensionamento hidráulico de redes coletoras de esgoto), desenvolvido pelo Laboratório de Hidráulica Computacional da Universidade Federal do Ceará. O UFC9 é baseado na geometria e hidráulica dos coletores de esgoto e foi tema de estudo em Rodrigues (2006).

Foi criado um modelo computacional para a geração de quantitativos e custos (UFC9-Q) e, posteriormente, o modelo tema do trabalho foi integrado ao UFC9 por intermédio de uma rotina computacional suplementar para a aplicação específica do método de redução de custos (FARC).

O UFC9 vem sendo bem difundido e utilizado em instituições públicas e privadas nos últimos anos, o que suscitou confiabilidade e demonstra a aplicabilidade em projetos na área de saneamento.

A linguagem de programação utilizada foi o *Visual Basic* (VB). De acordo com Canady (2000), o VB teve sua origem no *Basic*, que é uma linguagem de programação estruturada. Esta linguagem utiliza um modelo de programação orientado a objetos e foi desenvolvida pela empresa americana *Microsoft Corporation*.

Neste capítulo, apresenta-se a estrutura dos modelos computacionais desenvolvidos e descrevem-se os módulos que os compõem.

3.2. ESTRUTURAS DOS MODELOS

Os passos de maior dificuldade na elaboração dos quantitativos para redes de esgoto consistem em estimar os volumes de escavação e áreas de escoramento de toda a rede. Nenhum programa ou planilha que se tinha conhecimento, até então, possuía capacidade em precisar este cálculo sem utilizar para as profundidades das singularidades de montante e jusante médias e/ou regressões lineares para se avaliar tais quantidades, conforme pode ser constatado em Magalhães (1995). Este trabalho é enfadonho e requer experiência do profissional, sendo necessários, além de um estudo de sondagem, todos os perfis longitudinais dos coletores para um cálculo mais preciso.

Cynamon (1986) evidencia alguns fatores que contribuem para o aumento dos custos nos sistemas de esgotos. Em geral, pode-se citar:

- em coletores de até 400 mm (substituindo-se poços de visita por tubos de inspeção e limpeza);
- diâmetro da tubulação;
- profundidade das valas;
- implantação de estações elevatórias;
- exigência das normas.

A profundidade de escavação está diretamente associada à declividade do coletor. Existe, sob o ponto de vista econômico, uma compensação entre o diâmetro e a profundidade. Geralmente, a um diâmetro menor corresponde uma maior declividade e, conseqüentemente, uma maior profundidade de escavação, sendo a recíproca verdadeira.

A afirmação anterior implica que a definição dos diâmetros e das declividades dos tubos, de modo que se garanta um adequado funcionamento hidráulico-sanitário da rede, constitui uma tarefa mais complexa e difícil do que em princípio pode aparentar.

Dado que uma rede é constituída por um grande número de tubos e órgãos acessórios, existem várias combinações possíveis para seus diâmetros e declividades, o que exige ao projetista particular intuição e experiência.

No dimensionamento convencional, ou seja, de forma manual (o que pode ser considerado ultrapassado com o advento da tecnologia dos computadores), a análise econômica limita-se a um número restrito de combinações tecnicamente viáveis, sendo essas combinações consideradas como o conjunto de diâmetros e declividades que garantem uma tensão trativa mínima exigida por ABNT (1986).

A limitação fundamental deste procedimento manual consiste no fato de as decisões sobre as combinações de diâmetros e declividades serem feitas sem uma análise simultânea e sistemática das implicações econômicas, o que pode conduzir a não consideração de algumas combinações que seriam economicamente mais relevantes.

Para a combinação ótima do binômio declividade/diâmetro, um cenário sem a ajuda de microcomputadores para a resolução deste problema é bastante desfavorável. A aplicação de modelos computacionais para a unificação dos processos de dimensionamento, quantificação e redução de custos é o que se propõe para este trabalho, como forma de atenuar o dispêndio de tempo entre estas etapas.

A figura 3.1 ilustra o fluxograma proposto com todas as etapas que irão compor o UFC9, tanto as já desenvolvidas em Rodrigues (2006), como as idealizadas nesta pesquisa.

A rotina de redução de custos é o modelo proposto da pesquisa detalhado no item 3.4. A última fase do fluxograma consiste em se atualizar os resultados da rede com os obtidos pela melhor solução, ou seja, a de menor custo.

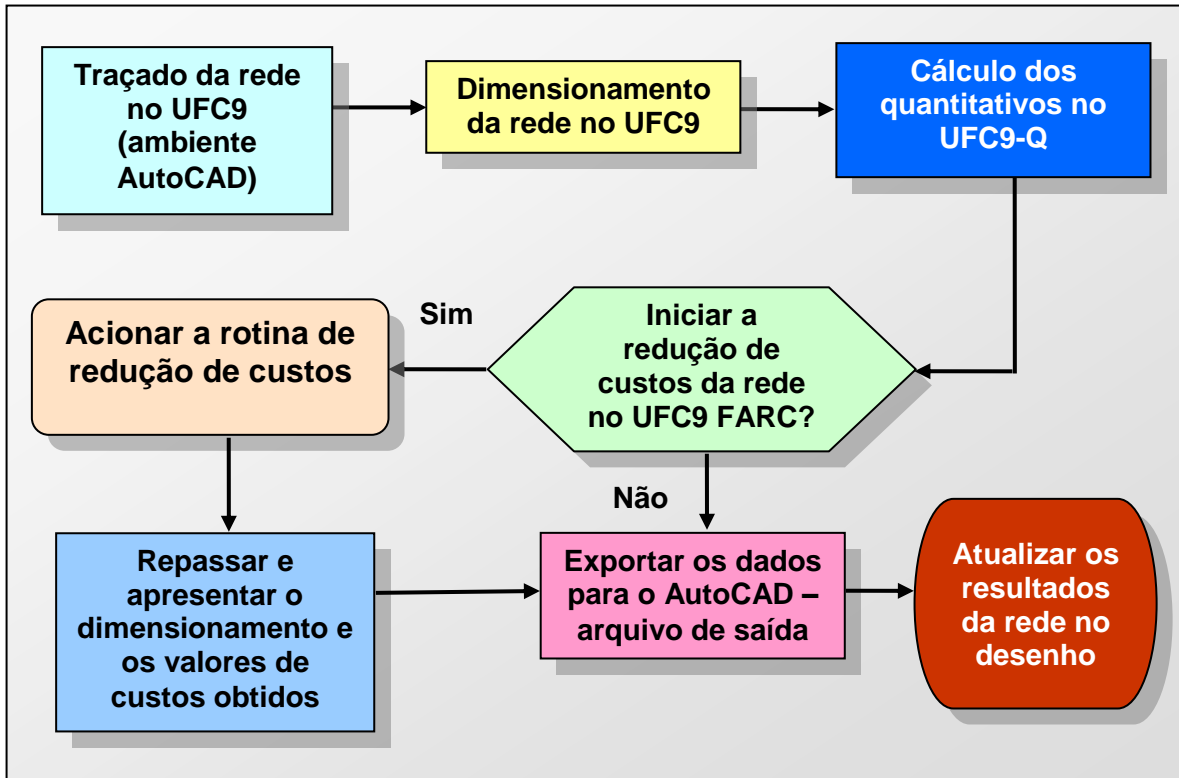


Figura 3.1: Fluxograma do método proposto (Sistema UFC9)

3.3. MODELO PARA GERAÇÃO DE QUANTITATIVOS E CUSTOS (UFC9-Q)

3.3.1. Considerações iniciais

Uma vez que os parâmetros mais importantes, no que concerne ao dimensionamento ótimo em redes de esgoto, estão ligados ao diâmetro e volume de escavação, o traçado do perfil longitudinal do trecho é de bastante relevância. Os perfis são gerados no UFC9 (módulo AutoCAD), e seus respectivos quantitativos são repassados ao módulo VB.

A maioria desses modelos conhecidos atualmente para geração de quantitativos pode ser considerada como do tipo “caixa preta” devido à ausência de informações precisas e detalhadas sobre as técnicas utilizadas para atingir os fins a que se destina. O processo de importação e exportação de dados com o UFC9 é realizado por meio de arquivos de texto, seguindo o mesmo procedimento sugerido por Rodrigues (2006).

Na falta de processos automatizados, ou seja, do auxílio de computadores, o projetista teria de realizar todos os cálculos verificando para cada trecho da rede se, devido à profundidade, este seria passível de escoramento.

O escoramento destina-se a manter estáveis as paredes das valas e oferecer segurança aos operários que nelas trabalham. BRASIL (1995), por meio da Portaria nº 04 do Ministério do Trabalho, determina que valas com profundidades superiores a 1,25 m devem ser escoradas, independente do tipo de solo em questão.

O reaterro de valas consiste no preenchimento destas após a execução das tubulações e seus respectivos testes de estanqueidade. Este processo só pode ser iniciado após a obtenção dos valores do volume de escavação – já que o volume de reaterro é dependente do volume de escavação, como será explanado posteriormente. Caso este procedimento fosse realizado manualmente, retardaria ainda mais os cálculos dos volumes citados.

O volume de aterro consiste no material que deve ser adquirido caso o proveniente da própria vala não esteja condizente com o especificado em projeto. Pode ter compactação mecânica ou manual, com material de aquisição ou produzido.

A contagem dos órgãos acessórios, a extensão total da rede, o material dos tubos, os comprimentos totais dos tubos de diâmetro igual, demandam algum tempo em projetos nos quais aplicações computacionais não são utilizadas.

Com o intuito de tornar este cálculo automático e com menos dispêndio de tempo, foi desenvolvido o UFC9-Q (a tela de apresentação do programa está ilustrada na figura 3.2), que, por meio de uma rede dimensionada no UFC9, quantifica todos os passos mencionados anteriormente, dentre outros serviços, e os apresenta em uma planilha. Além disso, alguns parâmetros podem ser modificados se o projetista julgar necessário.

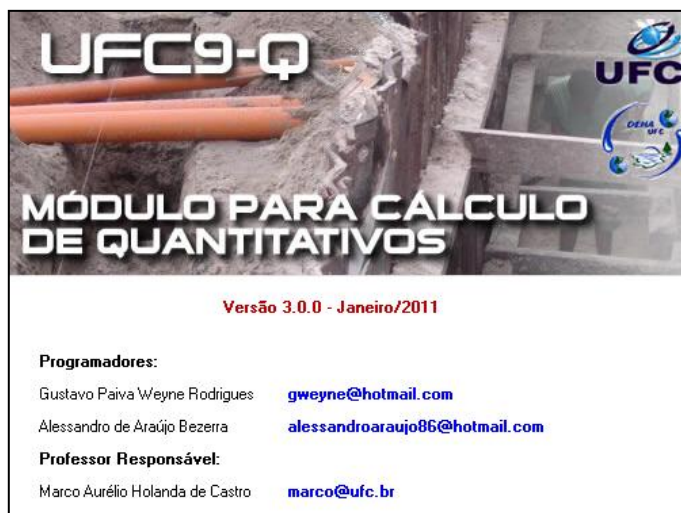


Figura 3.2: Tela de apresentação do UFC9-Q

O custo é apresentado na mesma planilha dos quantitativos, e os preços utilizados como padrões podem ser modificados. A figura 3.3 ilustra o fluxograma do modelo proposto.

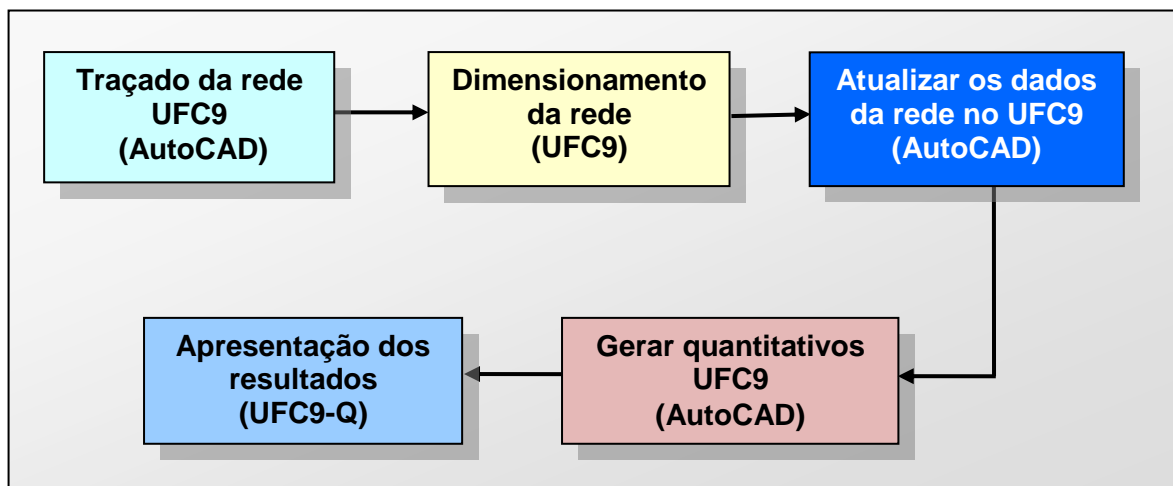


Figura 3.3: Fluxograma do modelo proposto (UFC9-Q)

Conforme esboça a figura 3.4, a planilha de custos da rede coletora divide-se em: serviços e materiais. Este último refere-se aos materiais utilizados na tubulação e a peças especiais; enquanto os serviços, por sua vez, estão subdivididos em:

- locação;
- trânsito e segurança;

- escavações em campo aberto;
- aterro e compactação;
- reaterro e compactação;
- transporte/DMT;
- escoramento de madeira em valas e cavas;
- nivelamento de fundo de valas;
- rebaixamento do lençol freático;
- poços e caixas;
- assentamento de tubos e conexões;
- lastros;
- concreto;
- demolições, retiradas e recomposições;
- cadastro

UFC9-Q - Módulo para cálculo de quantitativos e custos

Arquivo Modificar Quantitativos Exibir Exportar Ajuda

UFC9-Q: Módulo para cálculo de quantitativos e custos em redes coletoras de esgotos
 Universidade Federal do Ceará - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - Laboratório de Hidráulica Com
 Programadores: Gustavo Paiva Weyne Rodrigues [gweyne@hotmail.com] Alessandro Araújo086@hotmail.com - Professor

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Preço total	
REDE COLETORA - SERVIÇO						
LOCAÇÃO						
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	1040.80	1.6	1665.28	Extensão total d
TRÂNSITO E SEGURANÇA						
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m²	52	18.91	983.32	0.05 * extensão
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	520	1.1	572	0.5 * extensão t
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	52	3.36	174.72	0.05 * extensão
C2947	Sinalização de advertência	un.	3	8.09	24.27	Extensão total d
MOVIMENTO DE TERRA						
C1256	Escavação manual campo aberto em terra até 2m	m³	378.99	15.16	5745.49	
C1257	Escavação manual campo aberto em terra, de 2 a 4 metros	m³	108.28	18.06	1955.54	
C1258	Escavação manual campo aberto em terra, de 4 a 6 metros	m³	54.14	20.96	1134.77	
C2921	Reaterro c/ compactação manual s/ controle, material da vala	m³	471.04	8.8	4145.15	Volume que será
C0707	Carga manual de terra em caminhão basculante	m³	70.38	6.96	489.84	
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m³	74.97	31.77	2381.8	Volume a ser ater
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m³	74.97	2.45	183.68	Volume de aterri
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m²	922.88	2.05	1891.9	
ESCORAMENTO						
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m²	1296.79	35.94	46606.63	
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO						
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	52.04	20.85	1085.03	extensão total *
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	38.00	21.33	810.54	número de PVs *
POÇO E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)						
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, DN=1000mm	un.	16	721.95	11551.2	
C2909	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, DN=1200mm	un.	3	903	2709	
C0013	Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	5	343.49	1717.45	
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	19	412.6	7839.4	
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE						
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	927.4	1.76	1632.22	
C0284	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	69.9	2.3	160.77	
C0285	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 250mm	m	43.5	2.97	129.2	
DEMOLIÇÕES, RETIRADAS E RECOMPOSIÇÕES						
C2940	Retirada de pavimentação em paralelepípedo ou pedra tosca	m²	1235.12	3.11	3841.22	
C2929	Recomposição de pavimentação em paralelepípedo com rejuntamento	m²	1235.12	6.15	7595.99	
CADASTRO						
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	1040.800	0.9	936.72	
REDE COLETORA - MATERIAL						
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO						
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	978	14.37	14053.86	
I6952	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	78	22.5	1755	

Figura 3.4: Planilha de apresentação de quantitativos e custos do UFC9-Q

Os itens de serviços, bem como seus respectivos códigos e preços unitários, foram obtidos de SEINFRA (2009), no qual estão disponibilizadas as tabelas de custos com preços de insumos e planos de serviços relativos a junho de 2009. Os serviços supracitados são explanados nos itens a seguir. Todos os preços unitários e serviços utilizados no modelo computacional proposto estão apresentados nos anexos.

3.3.2. Locação

Este item consiste na locação da vala de toda a rede. Por este motivo, o UFC9-Q adota o quantitativo como o mesmo valor da extensão total da rede, conforme a fórmula 3.1.

$$L_{oc} = L_{total} \quad [3.1]$$

Onde:

L_{oc} → locação da rede [L]

L_{total} → extensão total da rede [L]

Segundo Pereira e Soares (2006), deve-se determinar o posicionamento da vala com o objetivo de não realizar serviços indevidos, como escavação em local errado ou de vala com largura diferente da necessária. Para tal, utiliza-se de equipamentos topográficos na determinação de referencial de nivelamento (RN) e na implantação de RNs secundários e pontos de segurança, o que torna mais confiável a definição dos piquetes do eixo da vala e da posição das singularidades.

De acordo com Rodrigues (2008), cada trecho da rede deve ser minuciosamente estudado antes da execução da obra para que não haja qualquer tipo de interferência no seu trajeto, de modo a não inviabilizar o projeto original.

O referido estudo pode ser realizado por intermédio de consultas em plantas e cadastros das concessionárias envolvidas. Outro cuidado a ser observado é em relação à topografia, que deve ter suas cotas de terreno conferidas a partir do eixo da rede.

3.3.3. Trânsito e segurança

A sinalização da obra tem como objetivo a segurança de pedestres, motoristas e da própria equipe de trabalhadores. Constitui-se de vários equipamentos que indicam que a obra está sendo realizada em um determinado local, evitando que animais ou pessoas não autorizadas adentrem a obra involuntariamente. Segundo BRASIL (2009), qualquer obstáculo à circulação e à segurança de veículos e pedestres, seja no leito da via ou nas calçadas, deve ser sinalizado.

De acordo com Pereira e Soares (2006), essa atividade depende do horário (diurno ou noturno), do tipo de interdição da via pública (parcial ou total) e do serviço a ser realizado. Para essas sinalizações são utilizados passadiços com pranchas de madeira, sinalização em tapume com indicativo de fluxo, sinalização fluorescente, sinalização luminosa (lâmpadas), cones, cavaletes e fitas de advertência (também de chamadas de fitas zebreadas).

A tabela 3.1 apresenta os itens contidos neste serviço no UFC9-Q e suas respectivas fórmulas e unidades. Os valores das fórmulas podem ser alterados. A figura 3.5 ilustra a tela – onde se pode alterar o padrão – com os valores adotados para o presente estudo.

Tabela 3.1: Itens de trânsito e segurança e suas respectivas fórmulas adotadas (padrão) do UFC9-Q

Serviço	Fórmula padrão adotada	Unidade
Passadiços com pranchas em madeira	$0.05 \times \text{extensão total da rede}$	m ²
Sinalização de trânsito noturna	$0.5 \times \text{extensão total da rede}$	m
Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	$0.05 \times \text{extensão total da rede}$	m
Sinalização de advertência	$\text{extensão total da rede} / 300$	un.

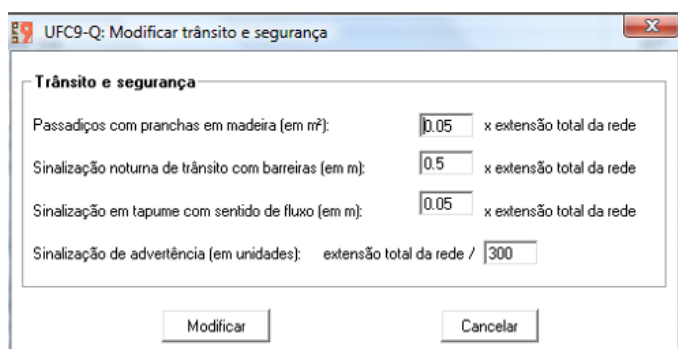


Figura 3.5: Tela padrão de cálculo dos itens de trânsito e segurança

3.3.4. Escavações em campo aberto

Os volumes de escavação, juntamente com os diâmetros das tubulações, compõem as etapas de cálculo mais importantes no que se refere a custos em redes coletoras de esgotos sanitários.

Com todas as recomendações seguidas para a locação da vala, pode-se partir para a demarcação desta. De acordo com Nuvolari (2003), onde houver pavimento ou passeio a ser cortado ou removido, deve-se marcar a largura “L” prevista para a vala adicionada de 30 cm; para cada lado da vala 15 cm a mais (como pode ser constatado na figura 3.6), com a finalidade de evitar acidentes com os operários que nela irão realizar os serviços.

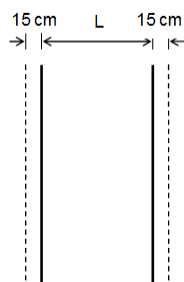


Figura 3.6: Demarcação da largura da vala

Seguindo ainda as recomendações de Nuvolari (2003), para a execução dos PVs deve-se prever uma vala quadrada com 2,20 m de lado; já para os TILs, 1,60 m, sempre atentando para os 15 cm a mais em cada lado da vala.

Para os terminais de limpeza e caixas de passagem, não há necessidade de alargamento adicional da vala, contudo, o posicionamento das mesmas é marcado.

As larguras de vala recomendadas pelo mesmo autor são apontadas na tabela 3.2, sendo as mesmas estabelecidas pelo UFC9-Q para o cálculo dos volumes de escavação.

Tabela 3.2: Larguras de vala adotadas pelo UFC9-Q de acordo com o tipo de escoramento e diâmetro

Diâmetro da rede (mm)	Profundidade da vala (m)	Largura "L" da vala (m)		
		Escoramento tipo pontaleteamento	Escoramento contínuo e descontínuo comum	Escoramento especial
até 200	até 2,00	0,70	0,70	0,80
	de 2 a 4	0,80*	0,90	1,10
	de 4 a 6	NR	1,10	1,40
300	até 2,00	0,80	0,80	0,90
	de 2 a 4	0,90*	1,00	1,20
	de 4 a 6	NR	1,20	1,50
400	até 2,00	0,90	1,10	1,20
	de 2 a 4	1,00*	1,30	1,50
	de 4 a 6	NR	1,50	1,80
450	até 2,00	1,00	1,15	1,25
	de 2 a 4	1,10*	1,35	1,55
	de 4 a 6	NR	1,55	1,85
500	até 2,00	1,10	1,30	1,40
	de 2 a 4	1,20*	1,50	1,70
	de 4 a 6	NR	1,70	2,00
600	até 2,00	1,20	1,40	1,60
	de 2 a 4	1,30*	1,60	1,80
	de 4 a 6	NR	1,80	2,10
700	até 2,00	1,30	1,50	1,60
	de 2 a 4	1,40*	1,70	1,90
	de 4 a 6	NR	1,90	2,20
800	até 2,00	1,40	1,60	1,70
	de 2 a 4	1,50*	1,80	2,00
	de 4 a 6	NR	2,00	2,30
900	até 2,00	1,50	1,70	1,80
	de 2 a 4	1,60*	1,90	2,10
	de 4 a 6	NR	2,10	2,40
1000	até 2,00	1,60	1,80	1,90
	de 2 a 4	1,70*	2,00	2,20
	de 4 a 6	NR	2,20	2,50

Fonte: Nuvolari (2003)

Na tabela 3.2. NR significa não recomendável. É importante observar que o escoramento de valas tipo pontaleteamento somente é recomendável até a profundidade de 2,50 m e sempre que as condições do terreno forem favoráveis. Na tabela supracitada as larguras das valas são dependentes do diâmetro e do tipo de escoramento a serem adotados.

As larguras das valas de cada trecho podem ser determinadas, pois o padrão de escoramento adotado para a rede é fornecido na tela de padrões do UFC9, e os quantitativos só podem ser iniciados após o dimensionamento da rede.

A escavação pode ocorrer de maneiras distintas. A mais comum é a convencional (a céu aberto), que consiste em um método destrutivo, onde a vala é aberta (manual ou mecanicamente) até o ponto de instalação da tubulação. Geralmente, esse tipo de escavação gera transtornos para o trânsito, pedestres e moradores das ruas que estão sendo escavadas. Para ABNT (1992), na NBR 12266, a escavação de valas é a remoção de solo desde a superfície natural do terreno até a profundidade definida no projeto. Um dos fatores que mais oneram uma instalação de uma rede coletora de esgotos é a presença de rochas e outros componentes do solo cujos preços não estavam computados no orçamento devido a um estudo de sondagem ineficiente ou até mesmo a falta deste. A escavação deve ser realizada no sentido inverso do fluxo do esgoto, ou seja, de jusante para montante. (RODRIGUES, 2008)

Ainda segundo Rodrigues (2008), existem casos em que o solo escavado pode ser utilizado para o reaterro da vala, logo, deve estar a uma distância de, no mínimo, 0,60 m a partir da borda da vala. Se o solo escavado for de baixa qualidade, deve ser removido para bota-fora de imediato, partindo do pressuposto de que não será reutilizado em hipótese alguma.

As escavações mecânicas, apesar de possuírem um custo menor em relação à manual, têm fatores limitantes, como: dificuldade de movimentação das máquinas, possibilidade de danos às outras redes ou interferências, presença de elementos no solo capazes de danificar as peças das máquinas (raízes, resíduos sólidos) etc.

Os principais processos para escavações em solos rochosos são os desmontes a fogo e a frio. No primeiro, são utilizados explosivos (bananas de dinamites), e o segundo pode ser realizado com o uso do processo de cunhas hidráulicas ou rompedor pneumático. Este tipo de escavação é executado em localidades/regiões serranas ou montanhosas. Na metodologia proposta, somente após a rede traçada e obrigatoriamente refeita no UFC9 (no ambiente AutoCAD), é que a quantificação pode ser iniciada. Isto se deve ao fato de o UFC9-Q requerer os dados da rede dimensionada.

Para os cálculos dos volumes de escavação e área de escoramento, pode-se fazer o ajuste da precisão na tela de padrões do UFC-9, conforme esboça a figura 3.7. A partir do perfil de cada coletor (ver exemplo na figura 3.8), o UFC9-Q percorre cada trecho, analisando a cota do terreno e a cota da geratriz inferior do coletor, calculando o valor das áreas entre dois pontos consecutivos.

Vale ressaltar que este passo é automático, não sendo necessário o projetista ter traçado o perfil de toda a rede no UFC9.

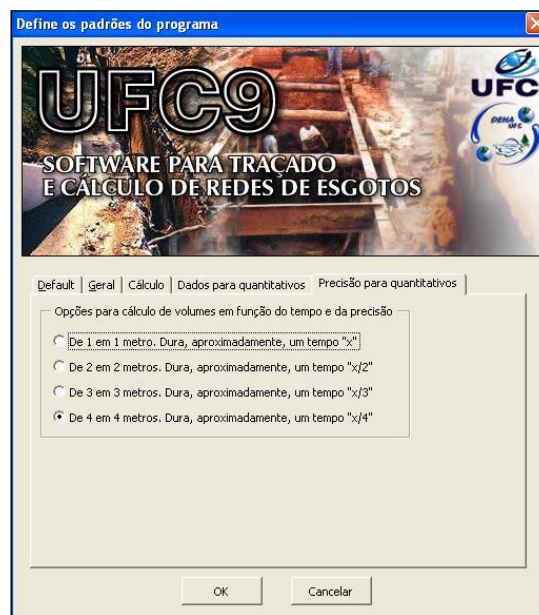


Figura 3.7: Tela para ajuste da precisão no cálculo dos quantitativos (UFC9)

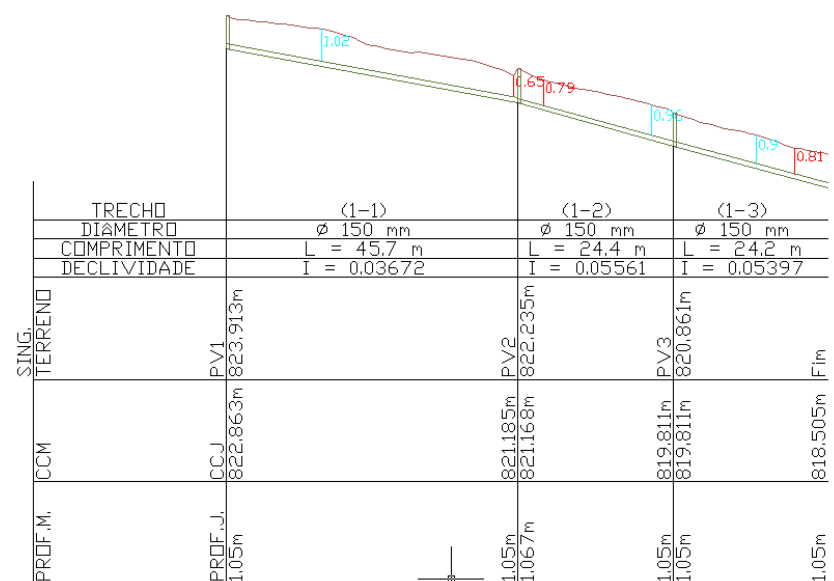


Figura 3.8: Perfil de um coletor gerado no UFC9.

O fluxograma da metodologia de cálculo das áreas para o volume de escavação de um trecho é explanado na figura 3.9.

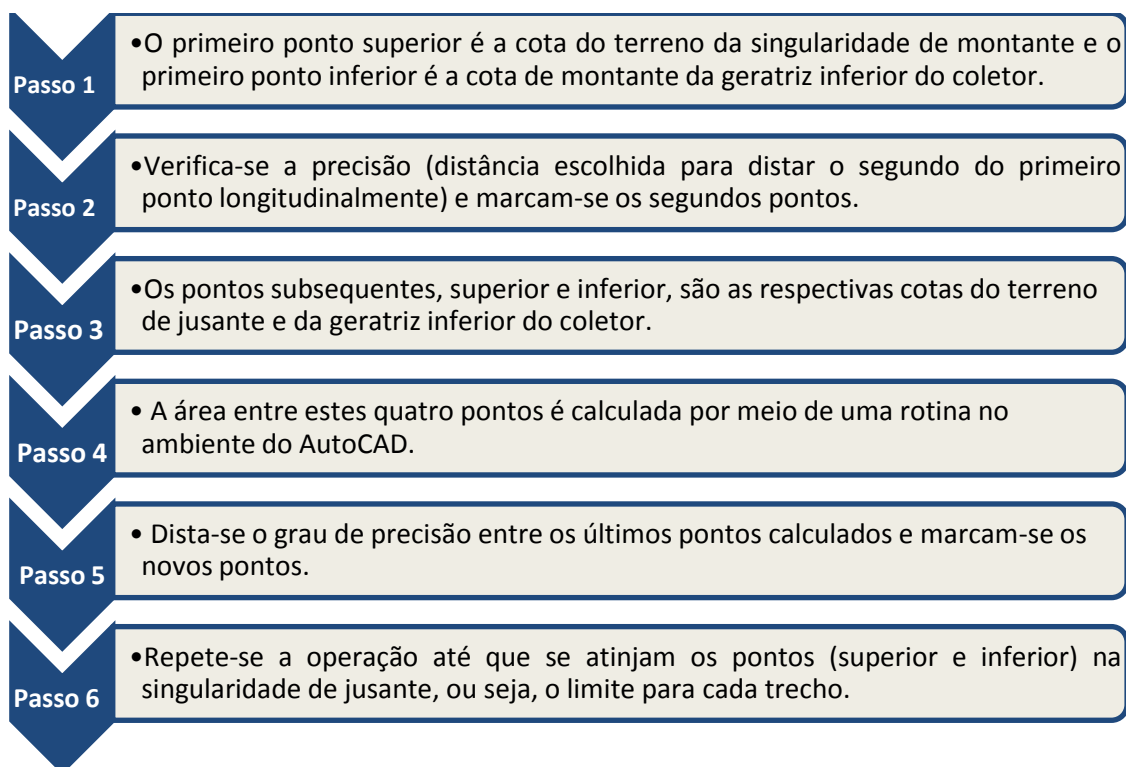


Figura 3.9: Fluxograma da metodologia de cálculo das áreas para o volume de escavação de um trecho

Com estes quatro pontos citados no fluxograma da figura 3.9, tem-se uma área. Partindo dos primeiros pontos inferior e superior (na singularidade de montante) até os últimos (na singularidade de jusante), distando de um ponto ao subsequente, o número de metros do grau de precisão estabelecido – sempre de montante para jusante – tem-se a soma das áreas de um trecho. Multiplicando-se essa soma pela largura da vala (de acordo com a tabela 3.2), produz-se o volume de escavação necessário de cada trecho da rede.

As diferenças entre as precisões são que as mesmas variam entre 1, 2, 3 e 4 metros, ou seja, a análise (cálculo das áreas) varia de acordo com o grau desejado, como apresenta a figura 3.10.

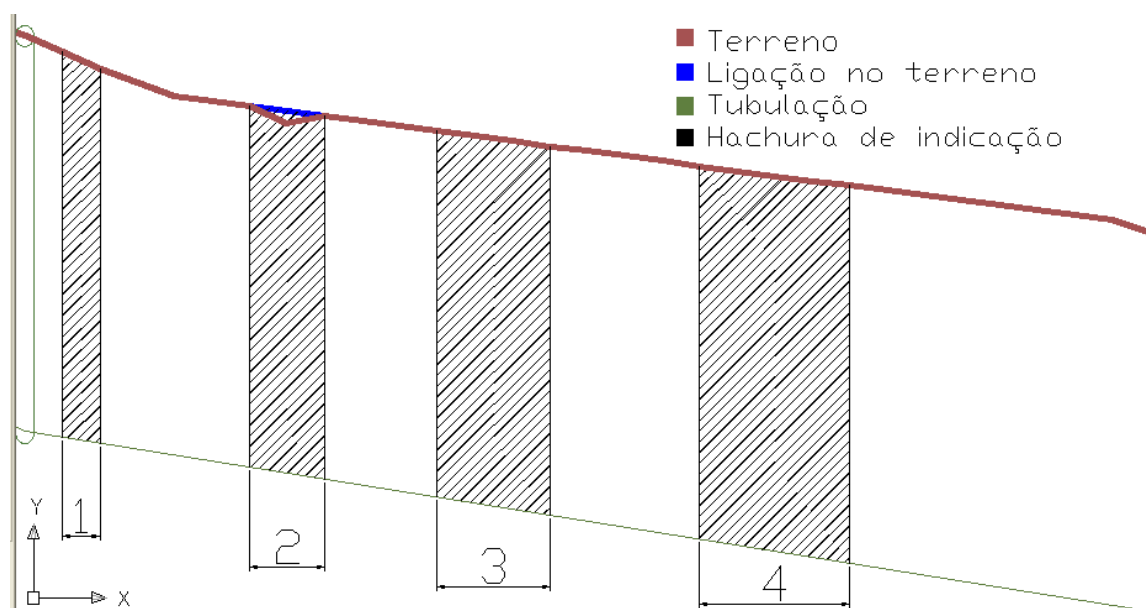


Figura 3.10: Áreas calculadas no UFC9 para os quatro tipos de precisão

A principal distinção do modo de aplicação desta rotina é o tempo computacional e propensão a erros, ou seja, quanto maior a precisão, menos predispostos a erros nos cálculos dos volumes ficam os resultados finais e maior é o fluxo computacional.

Um ponto a se destacar é no caso em que o terreno é acidentado (com pontos altos e baixos em um trecho), o que manualmente seria descartado, o UFC9-Q reproduz o traçado do terreno com interpolações automáticas das curvas de nível.

No UFC9-Q, pode-se optar pela escavação em qualquer terreno ou em rocha, indicar a porcentagem do tipo de escavação (manual e/ou mecanizada) e tipo de remoção de carga (manual ou mecanizada).

A carga manual é realizada por trabalhadores com pás e outros equipamentos, já a mecanizada se dá por intermédio de máquinas. Nas duas formas, o material não aproveitado da vala é lançado no caminhão incumbido para a limpeza. Logo, o valor de remoção de carga é o volume total de escavação diminuído do volume de reaterro – para um determinado trecho.

O padrão adotado para o presente trabalho está apresentado na tabela 3.3 e ilustrado na figura 3.11.

Tabela 3.3: Serviços de escavação em campo aberto adotados como padrão para o trabalho

Serviço	Padrão adotado
Tipo de escavação	Escavação em qualquer terreno, exceto rocha
Percentual do tipo de escavação	0% manual
Percentual do tipo de escavação	100% mecanizada
Tipo de remoção de carga (em caminhão basculante)	mecanizada

Figura 3.11: Opções de escavação adotadas como padrão para o trabalho

3.3.5. Reaterro e compactação

Para Rodrigues (2008), o reaterro ou reposição de terra é definido pelo encobrimento dos tubos com o material (solo) proveniente das escavações ou de empréstimo. Sempre que a tubulação for assentada, verificados o alinhamento, a declividade e a estanqueidade, é importante que a vala seja aterrada de imediato.

A qualidade do solo indica se haverá material de empréstimo ou não no reaterro da vala. Caso seja de boa qualidade, sem a presença de argila ou pedras, a reposição pode ser feita com este material. Caso o solo seja de baixa qualidade, o material deve ser adquirido de outro local com volume suficiente para cobrir a tubulação, no mínimo, 50 cm da cota da geratriz superior do tubo, devendo o restante ser preenchido com material condizente com o de projeto ou especificado pela fiscalização.

Antes da realização do reaterro, faz-se necessário observar se algum material indevido possa ter adentrado na vala, como raízes, restos de pavimento, pedras, pedaços de madeira etc. A carga de um reaterro em um coletor depende da largura da vala, profundidade, peso específico do material de reposição e características de atrito do solo.

O solo de reaterro tende a recalcar em relação ao solo original no qual a vala foi escavada. Tal movimento, no sentido de cima para baixo, induz o esforço cortante no sentido contrário, o qual suporta parte do peso do reaterro. (MENDONÇA, 1987).

A compactação do material pode ser realizada de forma manual ou mecânica. Na manual, com socadores a cada camada (também denominados de malho). Na mecânica, é feita a partir de pressão ou vibração do solo, podendo ser por: impacto, vibração, pressão estática ou amassamento.

Assim como na escavação, a utilização de máquinas de maior porte para compactação mecânica é recomendada para valas de maior largura. As camadas a serem compactadas devem ser pouco espessas, não excedendo 20 cm. O ensaio a ser realizado em laboratório deve ser do tipo Proctor Normal, com γ_s variando entre 95 e 100%, e umidade em torno de $\pm 2\%$ em relação à umidade ótima no mesmo ensaio, segundo recomendações de Nuvolari (2003).

Conforme Rodrigues (2008), o tipo de compactação, bem como a espessura das camadas, deve ser definido no termo de referência da execução da obra e cabe à fiscalização cumpri-los.

No UFC9-Q, o reaterro calculado é o percentual do volume total de escavação que pode ser aproveitado para diferentes profundidades (até 2 metros, 2 a 4 metros, 4 a 6 metros ou acima de 6 metros), conforme explanado a seguir.

O material a ser aplicado deve ser de boa qualidade e condizente com o previsto em projeto, frisando-se que quanto mais profunda a vala, a qualidade do solo tende a piorar.

A figura 3.12 ressalta os percentuais de aproveitamento do material para o reaterro que foram estabelecidos para este trabalho, bem como o tipo de compactação para este serviço. Estes valores estimados foram obtidos de projetos executivos de sistemas de esgotamento sanitário elaborados pela empresa NE Consult – Consultores Associados Ltda.:

- Profundidade até 2,00 metros: 90%
- Profundidade de 2,00 a 4,00 metros: 70%
- Profundidade de 4,00 a 6,00 metros: 25%
- Profundidade acima de 6,00 metros: 0%
- Compactação mecânica, com controle – material da vala

The screenshot shows a software dialog box titled 'UFC9-Q: Opções de Reaterro'. It contains the following elements:

- A section titled 'Informe a porcentagem de aproveitamento de material escavado para o reaterro:' with four input fields:
 - Profundidade até 2,00 metros: 90
 - Profundidade de 2,00 a 4,00 metros: 70
 - Profundidade de 4,00 a 6,00 metros: 25
 - Profundidade acima de 6,00 metros: 0
- A section titled 'Informe o tipo de compactação para o reaterro:' with two radio button options:
 - Manual, sem controle - material da vala
 - Mecânica, com controle - material da vala
- A 'Modificar' button at the bottom center.

Figura 3.12: Opções de reaterro adotadas

3.3.6. Aterro e compactação

O volume de aterro é, para esta metodologia, elucidado pela equação 3.2.

$$V_{\text{aterro}} = V_{\text{esctotalc}} - V_{\text{reaterro}} - V_{\text{tubos}} \quad [3.2]$$

Onde:

$V_{\text{aterro}} \rightarrow$ volume de aterro [L]³

$V_{\text{esctotalc}} \rightarrow$ volume total de escavação [L]³

$V_{\text{reaterro}} \rightarrow$ volume de reaterro [L]³

$V_{\text{tubos}} \rightarrow$ volume total ocupado pelos tubos [L]³

A figura 3.13 ilustra as áreas para cálculo do aterro e reaterro. A figura 3.14 destaca as opções adotadas como padrão pelo UFC9-Q. O tipo de compactação pode ser mecânico (com controle do grau, com material de aquisição ou produzido – sem transporte) ou manual (sem controle do grau de compactação, com material de aquisição ou produzido – sem transporte).

Os cálculos dos lastros são explanados nos anexos. As equações para o cálculo do volume ocupado por cada coletor são apresentadas a seguir:

$$A_{\text{tubo}} = \pi R^2 \quad [3.3]$$

$$R = D/2 \quad [3.4]$$

$$V_{\text{tubo}} = \pi R^2 C \quad [3.5]$$

Onde:

A_{tubo} → área ocupada pelo coletor [L]²

R → raio do tubo [L]

D → diâmetro do tubo [L]

C → comprimento do coletor [L]

V_{tubo} → volume ocupado pelo coletor [L]³

L → largura da vala [L]

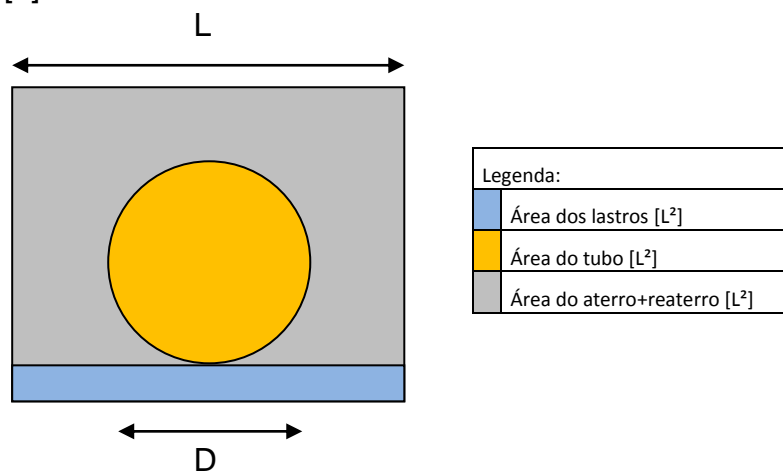


Figura 3.13: Seção transversal das áreas para cálculo do aterro e reaterro

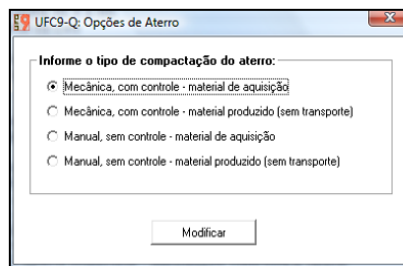


Figura 3.14: Opção do tipo de compactação de aterro adotada

3.3.7. Transporte/DMT

Estes itens referem-se ao transporte/DMT (distância média de transporte) do material lançado no caminhão basculante. Divide-se em exceto rocha ou local (rocha). Caso o projeto não contemple os locais de bota-fora e empréstimo e suas respectivas DMTs, estes itens podem ser ignorados no UFC9-Q. O valor estabelecido para este trabalho foi:

- Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0,5 Km.

As outras opções de transporte não são computadas nos custos, pois são para escavações em rocha, sendo que este último item não foi contido neste trabalho. A figura 3.15 apresenta a tela de opções de transporte/DMT.

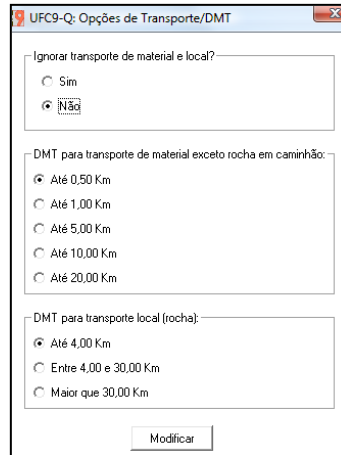


Figura 3.15: Opções para transporte/DMT

3.3.8. Nivelamento e apiloamento de fundo de valas

A regularização do fundo da vala é necessária antes do assentamento do coletor. De acordo com Nuvolari (2003), dependendo do tipo de assentamento de tubulação a utilizar, a técnica mais adequada é o corte em um nível 5 cm superior ao de projeto, para o fundo da escavação para, posteriormente, obter-se o nível correto apiloando o fundo.

Os quantitativos do nivelamento e apiloamento do fundo – os quais são os mesmos – são determinados pelas fórmulas 3.6 e 3.7 para cada trecho da rede:

$$N_{\text{fundo}} = C \cdot L_{\text{vala}} \quad [3.6]$$

$$A_{\text{fundo}} = C \cdot L_{\text{vala}} \quad [3.7]$$

Onde:

N_{fundo} → nivelamento de fundo de vala [L]²

A_{fundo} → apiloamento de fundo de vala [L]²

O somatório, obtido pelas fórmulas acima, de todos os trechos resultam nos valores totais de nivelamento e apiloamento de fundo de valas, respectivamente. Para este trabalho, os referidos itens foram incluídos, porém no UFC9-Q eles podem ser descartados, bastando desmarcar a opção “incluir regularização de fundo de valas”, como ilustra a figura 3.16.

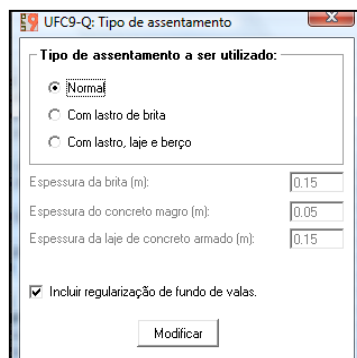


Figura 3.16: Opção adotada do UFC9-Q para regularização do fundo de valas

3.3.9. Escoramento

Conforme Rodrigues (2008), a finalidade do escoramento é manter a estabilidade do solo que forma as paredes laterais das valas escavadas para o assentamento da rede, de modo a evitar acidentes com os trabalhadores e garantir segurança para prédios próximos às escavações. BRASIL (1995) exige que as valas com profundidades superiores a 1,25 m devem, obrigatoriamente (Portaria n°. 04 do Ministério do Trabalho), ser escoradas.

Qualquer acidente que envolva vidas humanas tornará o responsável pela obra passível de responder por tal ocorrência perante a lei. Logo, em caso de haver uma indecisão sobre qual tipo de escoramento a ser executado, deve-se selecionar sempre para um de qualidade superior. Os principais elementos que constituem o escoramento são a estronca, longarina, pranchas, chapuz e ficha. Os principais tipos de escoramento são pontaleamento, aberto ou descontínuo, contínuo ou fechado. O escoramento com pontaletes não possui longarinas e é geralmente utilizado em terrenos argilosos de boa qualidade em valas com profundidade não superior a 2,00 m. O escoramento do tipo descontínuo é normalmente utilizado em terrenos firmes, sem a presença de água do lençol freático, em valas com profundidades de até 3,00 m. O escoramento do tipo contínuo cobre todas as paredes laterais da vala, não deixando espaçamento entre as pranchas, como no descontínuo. A vantagem deste tipo de escoramento é que o mesmo pode ser utilizado em qualquer tipo de solo, salvo em terrenos arenosos. Há existência de escoramentos em profundidades maiores que 1,50m, como no caso da construção de emissários de esgotos, que geralmente apresentam profundidades mais elevadas. (RODRIGUES, 2008)

No UFC9-Q, existem quatro tipos de escoramento: contínuo, descontínuo, pontaleamento e especial (figura 3.17). Para este trabalho, utilizou-se do escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba (sem reutilização), que é o tipo mais empregado em obras de saneamento, além de possuir o menor custo por metro quadrado.

A determinação das áreas de escoramento ocorre de modo análogo ao cálculo das áreas de escavação, explanado no item 3.3.3. Contudo, as áreas só são computadas acima de 1,25 m, conforme ilustram as figuras 3.18 e 3.19.

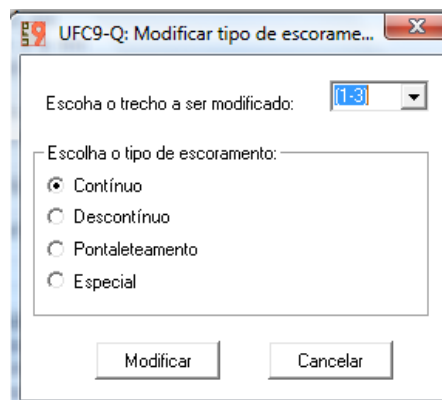


Figura 3.17: Opções do UFC9-Q para escoramento

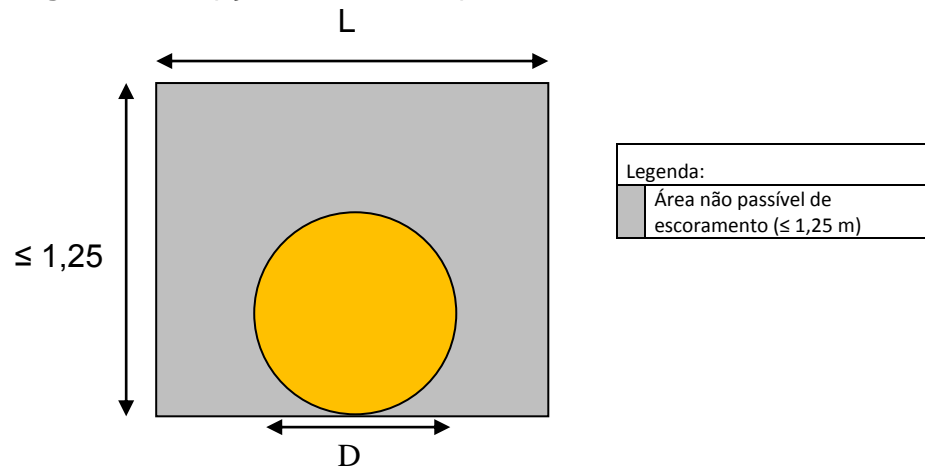
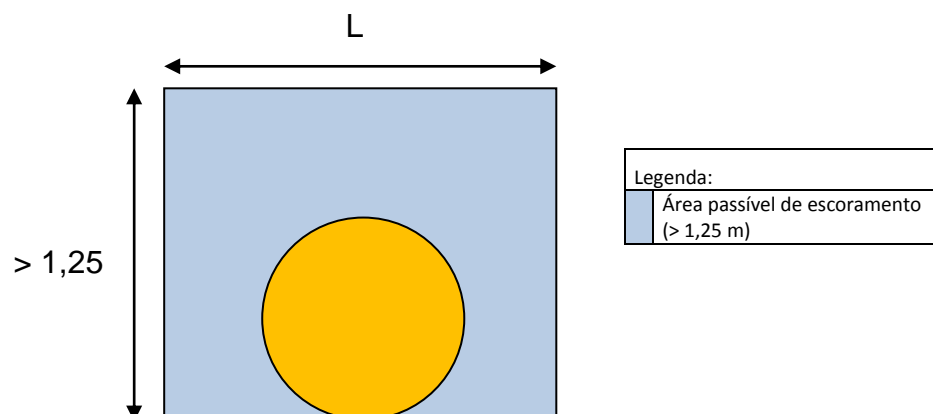


Figura 3.18: Seção transversal para áreas não passíveis de escoramento



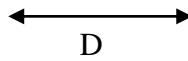


Figura 3.19: Seção transversal para áreas passíveis de escoramento

3.3.10. Esgotamento/Rebaixamento do lençol freático

No UFC9-Q foi previsto rebaixamento do lençol freático com a finalidade de não comprometer as estabilidades das escavações nas valas, devido às chuvas ou infiltração do lençol freático que, porventura, venham a adentrar o interior das valas. Em trechos que apresentem estas características, é importante que se drene a água para pontos mais baixos – que funcionam como um poço provisório – e que seja instalada uma bomba para esgotar a água. Para Rodrigues (2008), é importante que as equipes, tanto de construção como de fiscalização, atentem para desmoronamentos no solo em virtude da presença de água na vala como forma de preservar a integridade física dos trabalhadores.

Considerou-se, neste trabalho, 5% da extensão total de valas com rebaixamento e 10% dos poços de visita com 2 ponteiros durante 5 dias, utilizando-se do método de rebaixamento de ponteiros filtrantes. Estes valores podem ser alterados no programa, conforme a figura 3.20.

Os itens para rebaixamento são calculados seguindo as fórmulas 3.8 e 3.9:

$$R_{\text{valas}} = L_{\text{total}} \cdot PL_{\text{total}} \quad [3.8]$$

$$R_{\text{áreas}} = N_{\text{PVS}} \cdot N_{\text{Pts}} \cdot N_{\text{dias}} \cdot PPVs \quad [3.9]$$

Onde:

R_{valas} → rebaixamento de lençol freático em valas [L]

PL_{total} → percentual estimado da extensão total a ser considerada

$R_{\text{áreas}}$ → rebaixamento de lençol freático em áreas (PVs) [pt . dia]

N_{PVS} → número total de poços de visita da rede [unid.]

N_{Pts} → número de ponteiros adotado [pt]

N_{dias} → duração adotada de dias [dias]

PPVs → percentual de poços de visita a serem considerados

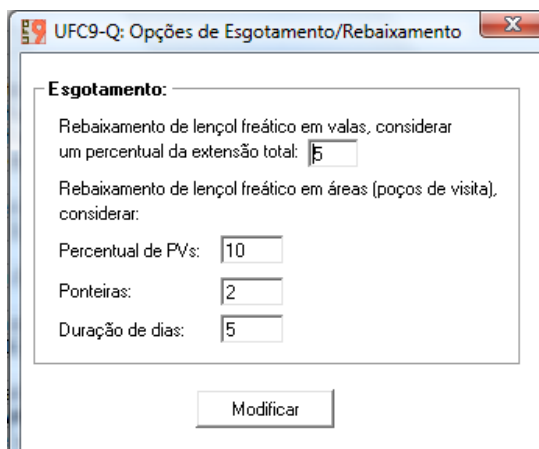


Figura 3.20: Opções para esgotamento/rebaixamento de lençol freático

3.3.11. Poços e caixas (inclusive assentamento de tampão)

No UFC9 (módulo AutoCAD), podem ser inseridos quatro órgãos acessórios, a saber: poço de visita, tubo (terminal) de inspeção e limpeza, terminal de limpeza e caixa de passagem.

O UFC9-Q lista todas as singularidades pertencentes à rede, salvando-as em um vetor (variável) computacional e, posteriormente, somando-as para gerar os quantitativos.

Para este estudo, optou-se por utilizar apenas poços de visita (PVs), em anéis de concreto, pois são as singularidades mais adotadas em nosso país, sendo que estes foram divididos em três distintos grupos seguindo os itens de SEINFRA (2009):

- Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,00m, D=600mm;
- Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm;
- Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm.

Poços de visita com profundidades inferiores a 1,00m enquadram-se no primeiro grupo explanado. Em caso de profundidades entre 1,00 e 1,50m, o PV é pertencente ao segundo grupo. O PV é categorizado no terceiro caso se a profundidade exceder 1,50m, no qual deverão ser utilizadas câmaras (D = 1200 mm), conforme explicação a seguir.

Em projetos de sistemas de esgotamento sanitário, deve-se acrescentar de câmara com anéis de concreto de 1200 mm de diâmetro para os PVs que possuem profundidade superior a 1,50m.

Assim, a implantação de novos anéis de concreto é dada pela seguinte equação:

$$\text{ACRESC}_{\text{PV}} = \text{Pf}_{\text{PV}} - 1,50 \quad [3.10]$$

Onde:

$\text{ACRESC}_{\text{PV}}$ → acréscimo de câmara com anéis de concreto [L]

Pf_{PV} → profundidade do PV [L]

Outro item que foi adicionado aos quantitativos do UFC9-Q é o tampão de ferro fundido para poço de visita de diâmetro igual a 1,00m. Como em SEINFRA (2009) apenas o tampão para diâmetros de 1,00m é contemplado, considerou-se o somatório dos tampões como o número total de PVs da rede.

3.3.12. Assentamento de tubos e conexões – inclusive limpeza e teste

Algumas precauções são importantes para o assentamento dos tubos, como o transporte de onde estes estão localizados até o fundo da vala – que pode ser realizado de forma manual ou mecânica por intermédio de equipamentos adequados. Ainda segundo este autor, ultimamente as companhias de saneamento estão utilizando tubulações com materiais mais simples de serem manuseados e instalados, como tubos de PVC com juntas elásticas integradas. A execução do assentamento deve ser realizada no sentido inverso do fluxo do esgoto, ou seja, de jusante para montante.

Dividiu-se o assentamento dos condutos em três tipos: normal, lastro de brita e lastro, laje e berço. A memória de cálculo do UFC9-Q para estes itens está apresentada nos anexos.

Para o estudo em questão, utilizou-se o assentamento normal (incluindo regularização do fundo das valas) e tubos de PVC como o material das redes coletoras, devido este material ser o mais empregado no Brasil.

A limpeza da vala deve ser realizada antes da execução do serviço de assentamento da tubulação. Se o material encontrado no fundo da vala for de baixa qualidade, o mesmo deve ser substituído por de qualidade superior como brita ou areia. O correto assentamento do conduto evita que o mesmo saia da sua posição original e, conseqüentemente, leve ao desgaste das juntas e quebra da tubulação (dependendo do tipo do material do tubo empregado). As juntas nas tubulações devem ser estanques, evitando, assim, a contaminação do lençol freático por vazamentos casuais, bem como impedindo a entrada de água pelas juntas dos tubos, o que contribui para o aumento da vazão. O teste deve ser efetuado após o assentamento dos condutos tanto por gravidade como em linhas de recalque (pressurizadas) e pode ser realizado por ensaios hidrostáticos e pelo método da fumaça. O ensaio hidrostático é mais elaborado, porém com a permissão e acompanhamento da fiscalização pode ser substituído pelo teste da fumaça, que é mais simples. (RODRIGUES, 2008)

O teste da fumaça é realizado fechando-se uma das extremidades do tubo e, pelo outro lado, introduzindo-se fumaça insuflada por uma ventoinha. Caso existam juntas com falhas, a fumaça tende a sair por elas (NUVOLARI, 2003).

Normal (Simples)

O tipo normal ou simples é definido quando a tubulação é assentada no próprio terreno. A quantificação do assentamento é dada pela extensão total de cada diâmetro das tubulações pertencentes à rede, ou seja, se um coletor de 150 mm possui uma extensão total de 1.980m, logo o item assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150 mm será 1.980m. Isto ocorre de forma análoga para cada diâmetro.

Lastro de Brita e Lastro, Laje e Berço

Para o tipo lastro, laje e berço, o coletor é assentado em um berço de concreto, apoiado sobre um lastro de concreto magro, construído acima de um lastro de pedra britada n°. 4, usualmente utilizado em terrenos inconsistentes na

presença de água, tais como turfas e argilas moles. O lastro de brita tem como objetivo drenar águas e reforçar o solo no apoio do tubo coletor.

Estes dois tipos de assentamento exigem serviços adicionais ao normal. Portanto, foram acrescentados ao UFC9-Q oito novos itens (tabela 3.4) que estão contemplados nestes tipos de assentamento, sendo que os sete últimos pertencem somente ao tipo lastro, laje e berço.

Tabela 3.4: Serviços adicionais para o assentamento tipo lastro, laje e berço

Código SEINFRA	Item	Unidade
C2862	Lastro de brita	m ³
C0836	Concreto não estrutural preparo manual	m ³
C0842	Concreto P/VIBR., FCK 20 MPa com agregado adquirido	m ³
C1604	Lançamento e aplicação de concreto s/ elevação	m ³
C0028	Adensamento/regularização sup. concreto régua dupla L=3 a 6m	m ³
C1405	Forma plana chapa compensada resinada, esp.= 12mm UTIL. 3 X	m ²
C0216	Armadura CA-50A média D = 6,3 A 10,0mm	Kg
C0034	Adição de impermeabilizante para concreto estrutural	m ³

As opções estabelecidas para o presente trabalho estão destacadas na figura 3.20 que, também, incluiu a regularização do fundo de valas. Os valores adotados como padrão no UFC9-Q são apresentados na tabela 3.5, podendo ser modificados dependendo das peculiaridades de cada projeto.

Tabela 3.5: Valores adotados como padrão no UFC9-Q para lastro, laje e berço

Serviço	Valor padrão adotado (m)
Espessura da brita	0.15
Espessura do concreto magro	0.05
Espessura do concreto armado	0.15

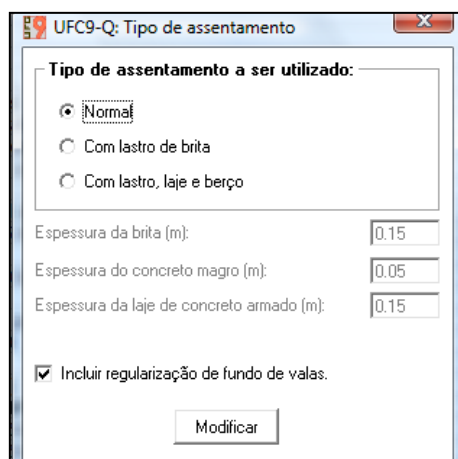


Figura 3.21: Opções adotadas do UFC9-Q para tipo de assentamento de valas

3.3.13. Demolições, retiradas e recomposições

A demolição e/ou retirada de pavimento (asfalto, blokret, paralelepípedo, concreto, passeio cimentado, pedra tosca ou portuguesa etc.) é a primeira etapa da implantação da rede coletora de esgotos e deve ser realizada de acordo com a largura da vala mais 0,15m de folga em cada lado. Pode ser manual ou mecânica. O material resultante deve ser retirado do local da obra, evitando transtornos às máquinas e operários.

Seja qual for o tipo de pavimento que foi removido da via pública para a construção das redes coletoras de esgoto sanitário, este deverá ser reconstruído em menor tempo possível, já que obras desta natureza obstruem a passagem de pedestres e veículos. A imediata recomposição do pavimento também protege a tubulação já assentada.

Pereira e Soares (2006) recomendam que este serviço deve ter qualidade igual ou superior à situação existente antes da implantação da rede coletora. Caso o pavimento seja asfáltico, o revestimento deve ser adensado com rolos lisos com vibração.

O modelo computacional quantifica a recomposição igual à demolição/retirada (equação 3.11). Como nesta pesquisa considerou-se todo o pavimento como terreno natural, não há pavimentação a ser retirada e recomposta.

$$R_{\text{PAVIMENTO}} = L_{\text{TRECHO}} \cdot (L + 0,30) \quad [3.11]$$

Onde:

$R_{\text{PAVIMENTO}}$ → retirada ou recomposição de pavimento [m^2]

3.3.14. Cadastro da rede

Segundo Pereira e Soares (2006), o cadastro consiste no registro de informações da posição (horizontal e vertical) do coletor em relação aos padrões de referência.

O presente trabalho tem como valor final do cadastro (em metros) igual à extensão total da rede (fórmula 3.12).

$$\text{CAD}_{\text{rede}} = L_{\text{total}} \quad [3.12]$$

Onde:

CAD_{rede} → cadastro da rede [L]

3.4. MODELO DE REDUÇÃO DE CUSTOS (FARC)

3.4.1. Considerações iniciais

Nos últimos anos, dentre os vários algoritmos utilizados para redução de custos em redes coletoras de esgoto sanitário, nunca foi utilizado um algoritmo de busca exaustiva com o objetivo de percorrer toda a rede e que arbitrasse os diâmetros para cada trecho, verificando e atendendo a todas as restrições hidráulicas. Esta é a meta primordial desta pesquisa.

Uma característica comum, em se tratando de otimização em redes de esgotos, é que a principal variável de decisão é o diâmetro dos coletores. Considerar o diâmetro uma variável de decisão contínua levanta o problema de arredondamento do diâmetro teórico calculado para o diâmetro comercial mais próximo. Por outro lado, considerar o diâmetro uma variável de decisão discreta conduz a um excessivo tempo e capacidade de memória de um computador para a obtenção da solução.

As dificuldades decorrentes dos diâmetros dos coletores serem considerados variáveis de decisão contínuas ou discretas constituíram, desde o início da formulação do modelo, uma das preocupações principais.

Para a formulação do modelo computacional, uma série de restrições deve ser seguida em relação ao dimensionamento hidráulico de redes coletoras de esgoto sanitário, como:

- diâmetro mínimo regulamentar;
- aumento progressivo dos diâmetros da rede, conforme a NBR 9649/1986;
- limite superior para a velocidade de escoamento;
- tensão trativa mínima;
- profundidade de assentamento mínima dos coletores medida sob seu extradorso.

As duas primeiras restrições são implicitamente consideradas no modelo, dado que este último inicia somente após a atribuição do diâmetro mínimo da rede em todos os trechos. Nestas condições, compete ao tomador de decisão selecionar os diâmetros de tal forma que sejam maiores ou iguais ao mínimo regulamentar. A terceira e quarta restrições são de caráter exclusivamente hidráulico.

O formato da função objetivo e a sua definição pressupõem um conhecimento prévio do tipo das funções de custo, a partir das quais se relacionam o custo de uma componente do sistema com os dados de entrada.

As restrições correspondentes à profundidade de assentamento mínima dos coletores, medida sobre o seu extradorso, exigem que a diferença entre as cotas do terreno e do extradorso do coletor seja, em qualquer ponto da rede, maior ou igual a um valor mínimo especificado.

As cotas dos extradorsos dos coletores em cada um dos seus extremos de montante e jusante podem ser obtidas a partir das declividades, dos comprimentos, dos poços de visita e da cota da soleira na extremidade de jusante do primeiro coletor no trecho.

Em princípio, seria de esperar que para cada coletor tivessem de ser escritas duas restrições: uma para o seu extremo de jusante e outra para o seu extremo de montante. No entanto, dado que terá de se manter o aumento progressivo das cotas das geratrizes superiores interiores dos coletores da rede, de jusante para montante, só será necessária a restrição correspondente ao extremo de jusante. Salvo os casos correspondentes aos coletores de cabeceira da rede, para os quais a restrição tem de ser escrita, também, para o extremo de montante.

A dedução destas restrições é baseada exclusivamente na geometria do perfil longitudinal, partindo sempre do ponto mais a jusante na rede. Todas as restrições foram obedecidas e fazem parte do UFC9, cujo estudo detalhado pode ser verificado em Rodrigues (2006).

A partir dos quantitativos e custos calculados pelo modelo UFC9-Q, dá-se início ao algoritmo híbrido de busca exaustiva em largura para a análise e redução de custos.

3.4.2. Função objetivo

Em relação à redução de custos, neste trabalho a função objetivo expressa a soma dos custos de investimento de serviços da rede coletora (movimento de terra, escoramento, execução de poços de visita, tubos de queda, locação, cadastro, trânsito e segurança etc.) e fornecimento de material.

A expressão de custos da equação 3.13 representa a função objetivo a ser minimizada.

$$Ct = \sum_{i=0}^{NT} (Cserv + Cmat) \quad [3.13]$$

Onde:

$Ct \rightarrow$ custo total da rede [R\$]

$NT \rightarrow$ número de trechos da rede [unidade]

$Cserv \rightarrow$ custos dos serviços da rede [R\$]

$Cmat \rightarrow$ custos do fornecimento de material da rede [R\$]

3.4.3. Descrição geral

A FARC é o módulo que contém todos os passos para a análise e redução de custos de uma rede coletora de esgotos. A figura 3.22 exibe a tela inicial do UFC9 FARC desenvolvido em VB.



Figura 3.22: Tela inicial do UFC9 FARC

O VB proporciona ao programador ferramentas diversas para que este desenvolva um aplicativo com uma interface amigável e intuitiva. Os formulários, recursos numéricos e gráficos, facilidade de uso e o sistema de tratamento de erros são adequados ao modelo computacional proposto, sendo estes os principais motivos da escolha do VB.

Iniciando-se de um arquivo de entrada, gerado pelo UFC9, o modelo inicia as instruções para a busca completa da rede. Este arquivo fornece o comprimento do trecho, singularidades de montante e jusante, vazões concentradas, profundidades de montante e jusante etc., para que, posteriormente, o algoritmo possa realizar o dimensionamento de todas as soluções com os dados fornecidos. A solução inicial do UFC9 serve de base para o reconhecimento do modelo de quais são os diâmetros mínimos a serem utilizados em cada trecho da rede.

A hibridez do algoritmo se dá pela geração de 1 a n nós iniciais ou "pais". Onde n corresponde ao número de trechos que são pontas-secas, ou seja, não recebem contribuição a montante. Tais trechos são os primeiros a serem calculados em redes de esgotos, como indica o algoritmo das vazões em Rodrigues (2006). No algoritmo de busca em largura comum, inicia-se com apenas um nó "pai". Nesta hibridez, destaca-se também a existência de um último nó único.

A partir dos trechos pontas-secas, são arbitrados diâmetros (predeterminados) para todos os trechos subsequentes da rede, formando, assim, uma árvore que cresce em largura e profundidade. Nesta pesquisa, como citado anteriormente, o material utilizado na tubulação é o PVC. A gama de diâmetros comerciais do PVC varia em 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 mm.

Para redes maiores que nove trechos, no modelo deste trabalho, foram requeridos longos tempos de processamento, apesar da velocidade de processamento dos computadores da atualidade. Baseado nestas constatações, utilizou-se as considerações de Argaman, Shamir e Spivak (1973), subdividindo as redes de maior porte em menores. Seguindo sugestões de Mays e Yen (1975) em redes de muitos coletores, a metodologia decompõe a rede em sub-redes, cada uma como se não houvesse trechos secundários ("*non-serial approach*"), como está apresentado no item 2.5.3.

A seguir, elucida-se o modelo proposto com uma exemplificação prática do algoritmo em questão.

3.4.4. Exemplificação do modelo proposto

Seja uma rede coletora de esgotos com 3 trechos em PVC (figura 3.23) e uma gama de apenas 3 (três) diâmetros disponíveis (100, 150 e 200 mm). Nomeando-se os trechos em 1-1, 1-2 e 1-3, com os referidos diâmetros em forma de vetor, produzem-se uma solução (S_0) e custo iniciais (C_0):

$$S_0: [100; 150; 200] \rightarrow C_0$$

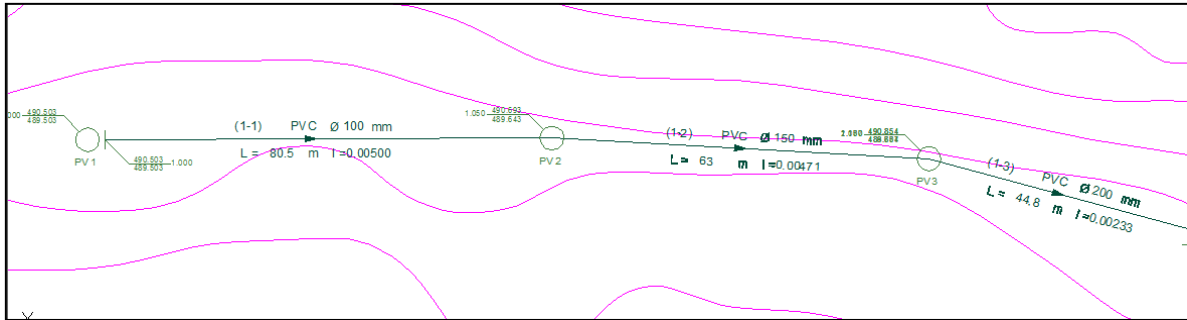


Figura 3.23: Rede exemplo do algoritmo proposto

Arbitrar os diâmetros como variáveis discretas faz com que o algoritmo imponha números inteiros positivos aos diâmetros. Para a gama de diâmetros deste exemplo, ter-se-ia: 1 para 100 mm, 2 para 150 mm e 3 para 200 mm. Para todos os diâmetros comerciais do PVC, o aplicativo aplica números inteiros às variáveis da seguinte forma:

- 1 para 100 mm;
- 2 para 150 mm;
- 3 para 200 mm;
- 4 para 250 mm;
- 5 para 300 mm;
- 6 para 350 mm;
- 7 para 400 mm.

O algoritmo de busca impõe os diâmetros predeterminados (solução inicial do UFC9) partindo dos trechos pontas-secas, seguindo o caminho até o fim da rede. No exemplo, o caminho é realizado da seguinte maneira:

- Trecho 1-1 (ponta-seca e, assim, nó inicial) [100 mm];
- Trecho 1-2 [150 mm];
- Trecho 1-3 (nó final/último trecho) [200 mm].

A figura 3.24 exhibe todas as soluções possíveis (para 3 diâmetros e 3 trechos). Entre estas soluções, encontram-se as factíveis e não factíveis. Uma matriz (variável computacional) foi criada para armazenar todas as soluções.

O número de soluções possíveis é determinado pela quantidade de diâmetros disponíveis elevado ao número de trechos, como se constata na equação 3.14. Segue-se a sequência até o final da rede. A altura máxima da árvore é o maior caminho entre os pontos inicial e final.

Para o exemplo, tem-se $3^3 = 27$, logo, são vinte e sete soluções. Todas as soluções estão em forma de matriz com os diâmetros discretizados, como exhibe a figura 3.25.

$$\text{NST} = \text{NDD}^{\text{NT}} \quad [3.14]$$

Onde:

NST → número de soluções totais

NDD → número de diâmetros disponíveis

NT → número de trechos da rede.

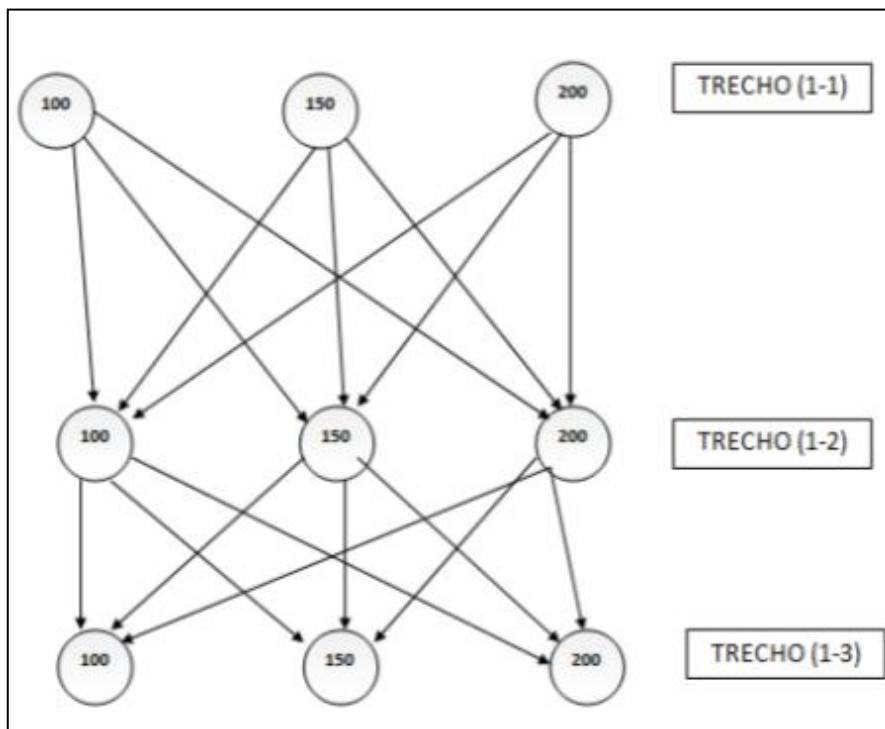


Figura 3.24: Esquema de ramificação da árvore do exemplo (todas as soluções)

111
112
113
121
122
123
131
132
133
211
212
213
221
222
223
231
232
233
311
312
313
321
322
323
331
332
333

Figura 3.25: Matriz com os diâmetros discretizados de todas as 27 soluções do exemplo

Como forma de se reduzir significativamente o número soluções, dois filtros são aplicados ao algoritmo, os quais estão detalhados a seguir.

No filtro 1, marcam-se e eliminam-se os galhos das soluções não factíveis, o que reduz significativamente o número de soluções, enviando para a próxima etapa apenas as soluções factíveis. As soluções inviáveis do primeiro filtro são que não atendem à progressividade dos diâmetros que é exigida em norma. Portanto, o trecho 1-3 não pode ter diâmetro superior ao trecho 1-2 que, por sua vez, não pode ter diâmetro maior que o 1-1.

Em forma de matriz, o filtro 1 aplicado produz 10 soluções viáveis ilustradas na figura 3.26.

111
112
113
122
123
133
222
223
233
333

Figura 3.26: Matriz com os diâmetros discretizados das 10 soluções factíveis do exemplo com o filtro 1 aplicado

Partindo da solução inicial do UFC9, o filtro 2 marca e retira os galhos das soluções inviáveis do filtro 1, que são aquelas que não são condizentes com as restrições hidráulicas referenciadas no item 2.2. Em forma de matriz, o filtro 2 aplicado produz 5 soluções viáveis ilustradas na figura 3.27.

123
133
223
233
333

Figura 3.27: Matriz com os diâmetros discretizados das 5 soluções factíveis do exemplo com o filtro 2 aplicado

As implicações das considerações acima estão esboçadas nas figuras 3.28 e 3.29, nas quais se verifica a vertiginosa redução de soluções infactíveis – somente as viáveis estão apresentadas. Com o primeiro filtro aplicado, as soluções passam a ser 10 (dez) e, com o segundo filtro, caem para 5 (cinco), sendo, respectivamente, 37,04% e 18,54% de todas as possíveis.

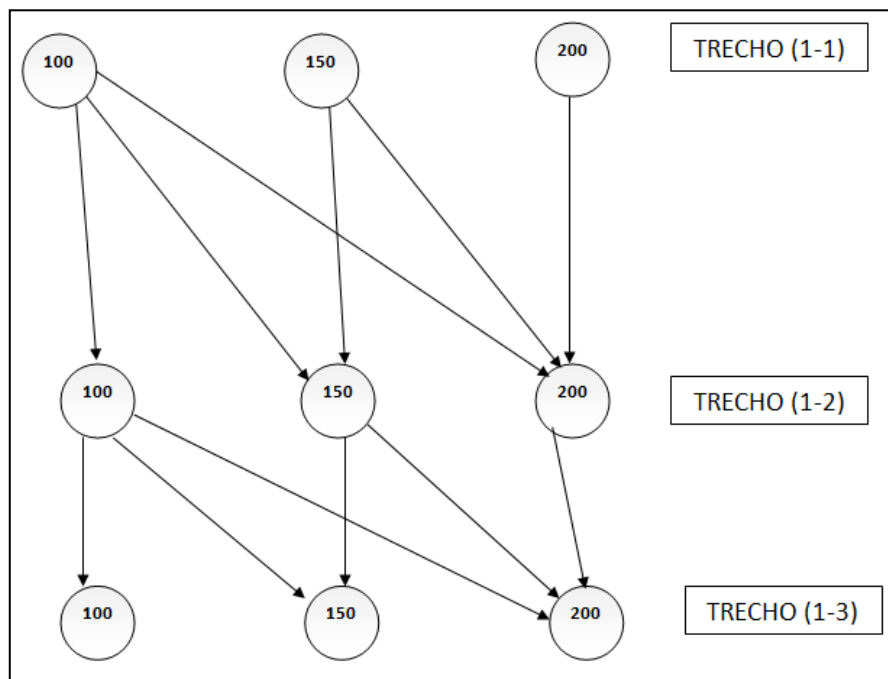


Figura 3.28: Soluções factíveis da árvore do exemplo (com a aplicação do filtro 1)

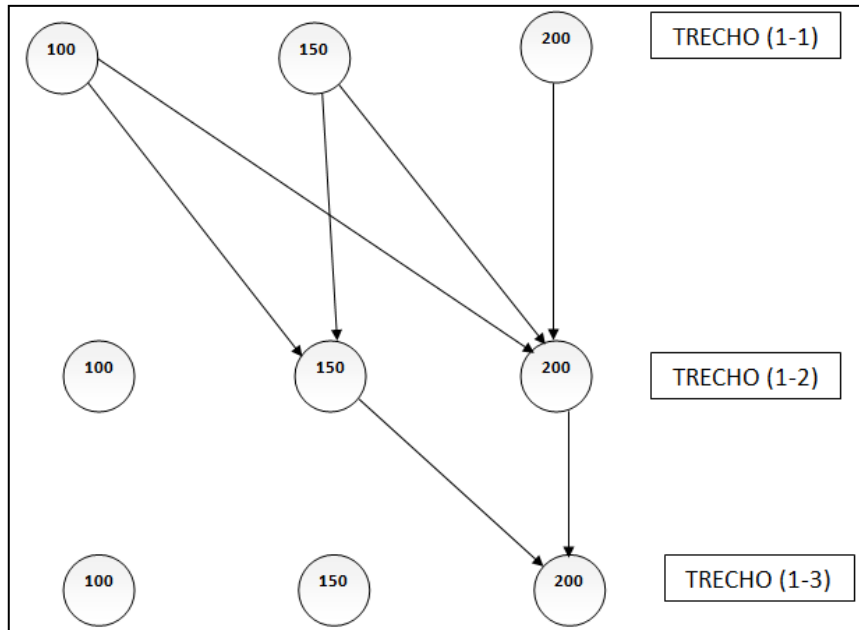


Figura 3.29: Soluções factíveis da árvore do exemplo (com a aplicação do filtro 2)

O fluxograma do algoritmo proposto é ilustrado na figura 3.30.

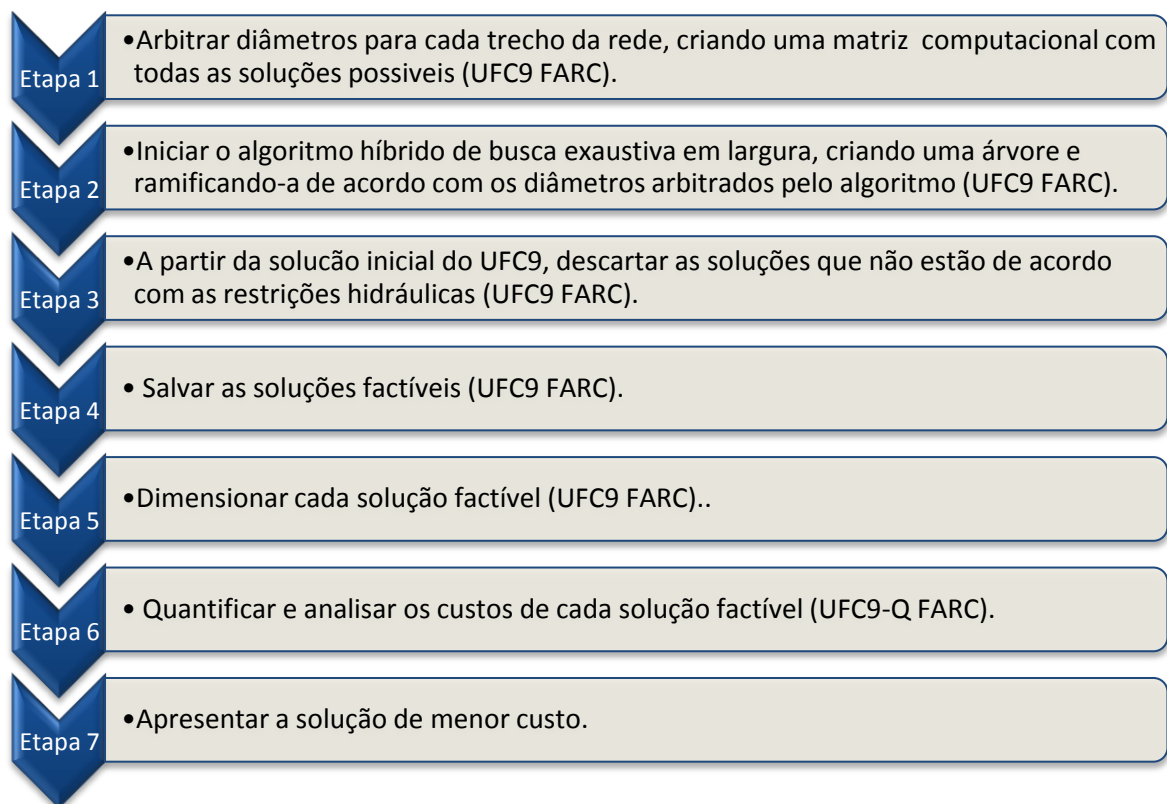


Figura 3.30: Fluxograma do algoritmo proposto

Com este algoritmo, percorre-se todo o espaço de busca da rede, ou seja, todas as soluções. Dentre as soluções factíveis, dimensiona-se e calcula-se o custo de cada uma, apresentando, em seguida, a de menor custo.

3.5. INTERFACE DOS MODELOS

3.5.1. UFC9 FARC

Como relatado no item 3.1, o modelo de dimensionamento hidráulico é o UFC9. Optou-se por adicionar à interface do referido modelo um comando no qual pode ser dado início aos modelos deste trabalho.

Como indica a figura 3.31, o UFC9 FARC exibe os números de soluções factíveis para os filtros 1 e 2. São dados dez segundos de espera, caso seja desejado cancelar o processo de busca.

Após aplicar os dois filtros, o algoritmo inicia o dimensionamento de todas as soluções factíveis para o filtro 2 (figura 3.32), ou seja, todas as que realmente têm suas restrições hidráulicas atendidas para a rede.



Figura 3.31: Tela de soluções factíveis do UFC9 FARC

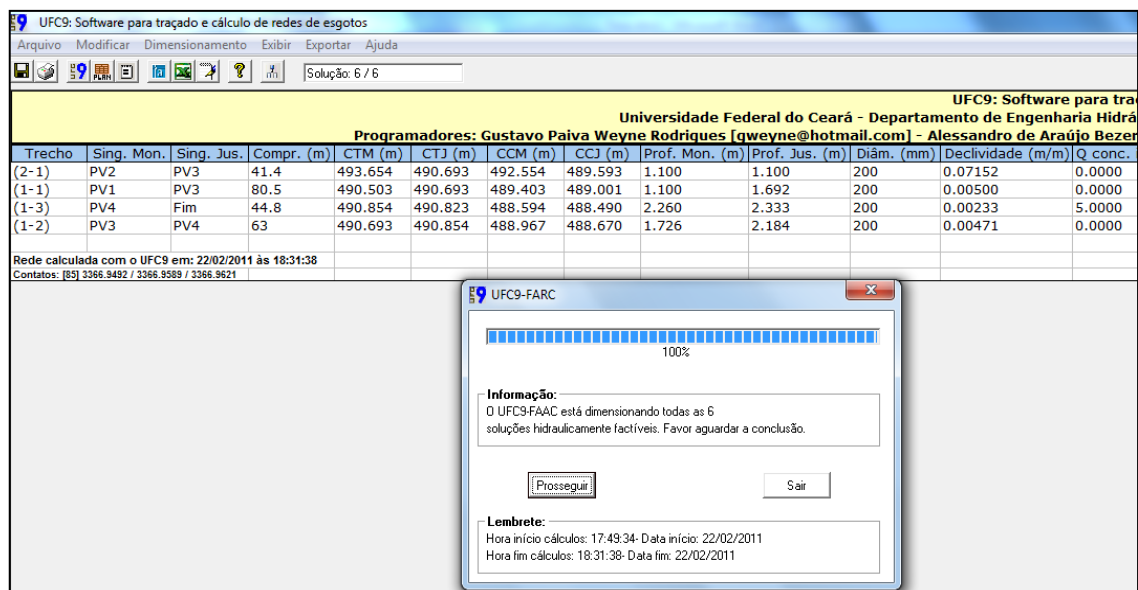


Figura 3.32: Tela de dimensionamento das soluções factíveis do UFC9 FARC

3.5.2. UFC9-Q FARC

Após o prosseguimento sugerido na figura 3.32, é iniciado o UFC9-Q FARC com a quantificação e cálculo de custos de cada solução. Ao final do processo, como exhibe a figura 3.33, o programa apresenta uma tela que indica os valores das soluções de maior e menor custo.

Uma particularidade desta ferramenta computacional é o fato de não se trabalhar com banco de dados externos à interface do modelo, o que abrevia o tempo exigido para: geração de todas as soluções, filtragem das soluções viáveis, dimensionamento e quantificação da rede.

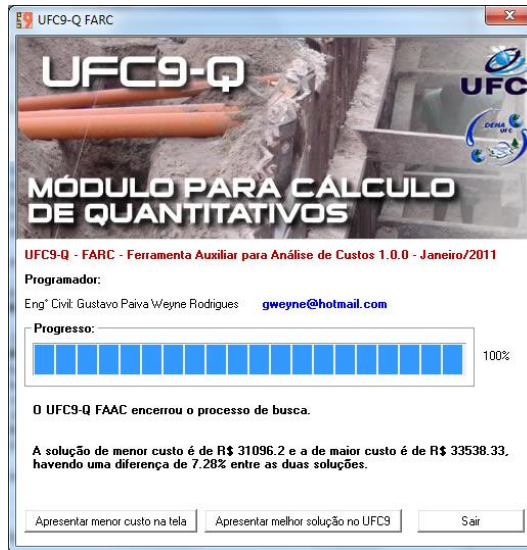


Figura 3.33: Tela de apresentação dos custos do UFC9-Q FARC

Para finalizar toda a metodologia da pesquisa, uma janela pode ser ativada no intuito de apresentar a solução de menor custo calculada (figura 3.34).

Cód. SEINFRA/CE		Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Preço total	
REDE COLETORA - SERVIÇO							
LOCAÇÃO							
C2876		Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	229.70	1.60	367.52	Extensão total d
TRÂNSITO E SEGURANÇA							
C2892		Passadiços com pranchas em madeira	m ²	11	18.91	208.01	0.05 * extensão
C2949		Sinalização de trânsito noturna	m	115	1.10	126.5	0.5 * extensão t
C2950		Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	11	3.36	36.96	0.05 * extensão
C2947		Sinalização de advertência	un.	1	8.09	8.09	Extensão total d
MOVIMENTO DE TERRA							
C1267		Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	211.18	1.73	365.34	
C1267		Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	72.06	1.99	143.4	
C2920		Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	240.50	8.67	2085.13	Volume que será
C0710		Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	42.74	1.88	80.35	Volume de escav
C0328		Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	85.25	31.77	2708.39	Volume de escav
C2529		Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0,5 Km	m ³	85.25	2.45	208.86	Volume de aterro
C3319		Nivelamento de fundo de valas	m ²	197.77	2.05	405.43	
C0095		Aplomamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	197.77	8.8	1740.38	
ESCORAMENTO							
C1272		Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	335.83	35.94	12069.73	
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO							
C2923		Rebaixamento de lençol freático em valas	m	11.49	20.85	239.57	extensão total
C2922		Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	8.00	21.33	170.64	número de Pvs
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)							
C2908		Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	2	721.95	1443.9	
C2909		Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm	un.	2	903	1806	
C0013		Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	0.89	343.49	305.71	
C2310		Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	4	412.6	1650.4	
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE							
C0281		Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 100mm	m	80.5	1.21	97.4	
C0284		Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	149.2	2.3	343.16	
CADASTRO							
C0584		Cadastro de rede de esgoto/emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	229.70	0.9	206.73	
REDE COLETORA - MATERIAL							
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO							
16950		Tubo PVC rígido OCRE JE1 DN 100 (NBR-7362)	m	90.00	7.04	633.6	
16952		Tubo PVC rígido OCRE JE1 DN 200 (NBR-7362)	m	162.00	22.5	3645	
						TOTAL GERAL	31096.2

Figura 3.34: Janela com resultado da solução de menor custo no UFC9-Q FARC

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nas aplicações do modelo proposto, foram utilizados quatro estudos de caso. Os dois primeiros caracterizam-se por ter seus estudos aplicados a redes hipotéticas. O terceiro e o quarto foram baseados em dois projetos executivos de sistemas de esgotamento sanitário elaborados pela empresa de consultoria em saneamento NE Consult – Consultores Associados Ltda.

Cada estudo de caso possui uma particularidade específica. A escolha das redes hipotéticas dos primeiros casos, apesar de serem redes com menos trechos que as reais, foi motivada por permitir que uma avaliação mais completa da metodologia fosse realizada mediante a exploração de todo o espaço de busca sem segmentações nas redes.

Para os outros casos, foram efetuadas comparações dos resultados dos modelos da pesquisa com os valores originais dos projetos executivos referentes aos sistemas de coleta de esgoto sanitário das cidades de Rio Tinto/PB (Bacia X) e Brejo dos Santos/PB (Bacia 5). Em todas as redes, excluiu-se o diâmetro de 100 mm, ou seja, o mínimo utilizado foi de 150 mm (seguindo a prática usual das concepções de esgoto).

Com o objetivo de expressar os resultados com a maior fidedignidade possível, os projetos foram repassados ao UFC9 com os mesmos parâmetros de projeto, como: material da tubulação, diâmetros, recobrimento mínimo, taxas de contribuição linear, degrau mínimo, altura mínima do tubo de queda, extensão virtual da rede, conforme as tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente, para Rio Tinto e Brejo dos Santos. Ademais, não se poderiam fazer comparativos de quantidades e custos em qualquer projeto cuja memória de cálculo não estivesse detalhada passo a passo, sem os cálculos particularizados, principalmente dos volumes de escavação que, em sua maioria, são estimados.

Por este motivo, optou-se por repassar os projetos para o UFC9 (com os mesmos dados de topografia) e, a partir deste aplicativo, realizaram-se os estudos comparativos balizados em uma mesma metodologia (FARC) para se avaliar o desempenho do algoritmo em relação aos principais custos envolvidos (diâmetros e assentamento das tubulações, volume de escavação, escoramento).

4.2. REDES HIPOTÉTICAS

4.2.1. Estudo de caso 1

Como relatado no item 3.1, o modelo de dimensionamento hidráulico das redes coletoras de esgotos é o aplicativo UFC9. Adicionou-se à interface do referido aplicativo um comando a partir do qual pode se dar início aos modelos deste trabalho.

Neste primeiro estudo de caso, utilizou-se uma rede hipotética com apenas 6 trechos (um setor da rede está apresentado na figura 4.1). As características da rede estão apresentadas na tabela 4.1. Optou-se por uma rede não ramificada, com altos valores de vazões concentradas no PV10 (30,00 e 60,00 L/s para início e fim de plano, respectivamente).

Os trechos estão dispostos a favor da declividade natural do terreno, porém, como as vazões concentradas são elevadas, o questionamento consiste em determinar se é mais vantajoso forçar o coletor a jusante – aumentando a declividade e profundidade e, conseqüentemente, os custos com escavação e escoramento – ou aumentar o diâmetro.

Dimensionou-se a rede no UFC9 sem a rotina de redução de custos. Após este passo, foi acionado o modelo que apresentou as características apontadas na tabela 4.1. O número de soluções factíveis e não factíveis para este caso é de 6⁶, ou seja, 46.656, conforme a tabela 4.2 e figura 4.2.

Ao término da execução do modelo, notadamente para este exemplo, houve uma considerável redução nos custos no que concerne em aumentar o diâmetro para diminuir o volume de escavação e área de escoramento.

O algoritmo variou o diâmetro do trecho (1-5) de 150 mm para 200 mm, resultando em diminuição brusca de profundidade, como pode ser verificado nos dimensionamentos (tabelas 4.4 e 4.5). Esta mudança acarretou escavações em profundidades inferiores a 2 metros e diminuição da área de escoramento, amortizando os custos finais. As variações dos custos totais estão representadas na tabela 4.3 e figura 4.3. As tabelas 4.6 e 4.7 exibem os resultados dos quantitativos e valores para as redes sem e com a aplicação do modelo, respectivamente.

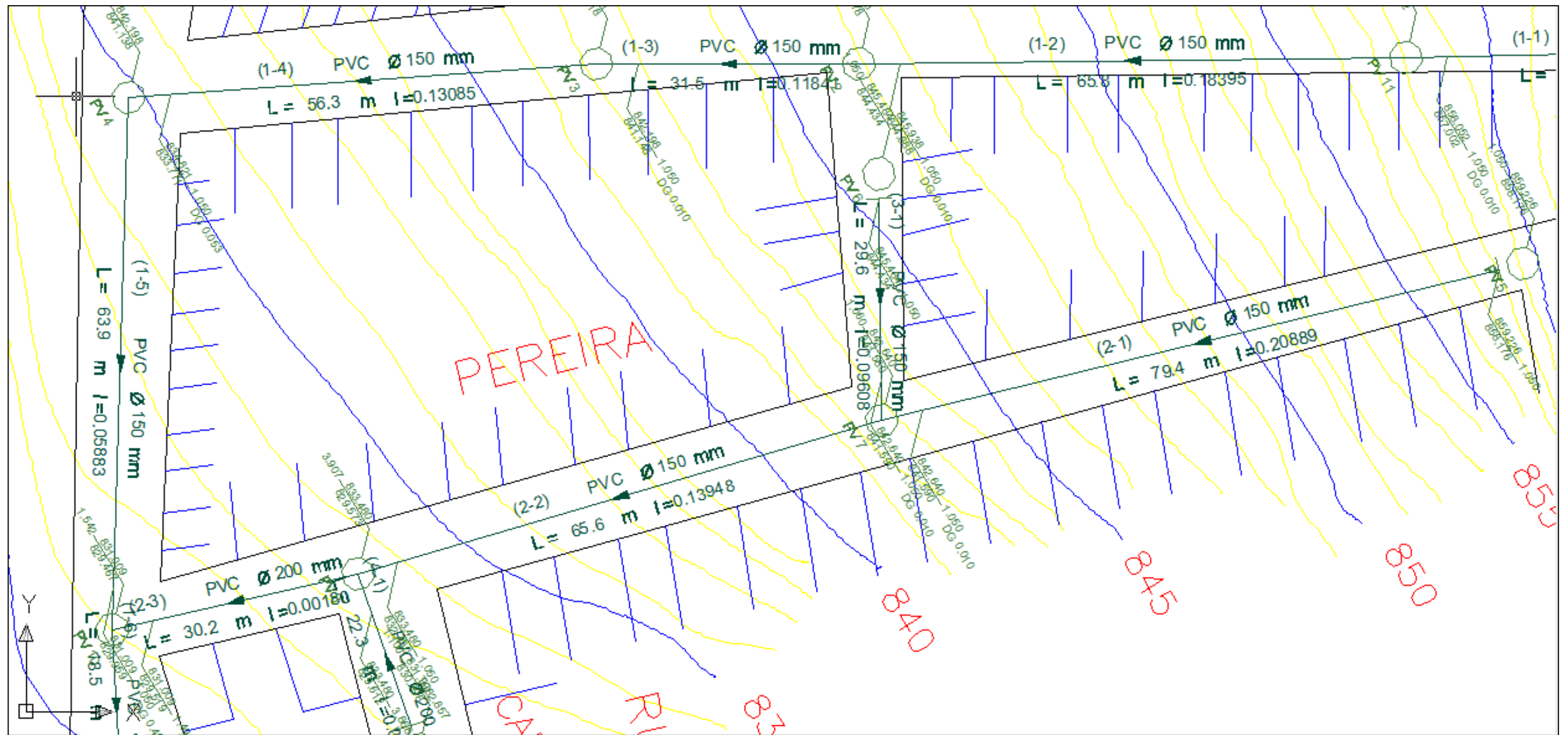


Figura 4.1: Rede hipotética do estudo de caso 1

Para esta ocorrência, a redução foi de 18,79%. O valor inicial de R\$ 27.195,20 resultou em R\$ 22.892,58. Nas tabelas 4.8 e 4.9 estão listados apenas os serviços passíveis de modificações, ficando evidentes as drásticas reduções de profundidades e de área de escoramento.

Tabela 4.1: Características da rede hipotética do estudo de caso 1

Característica	Valor
Número de trechos	6
Número de poços de visita	6
Material da tubulação	PVC
Diâmetro mínimo	150 mm
Recobrimento mínimo	0,90 m
Degrau mínimo	0,05 m
Altura mínima do tubo de queda	0,50 m
Taxa de contribuição linear (início de plano)	0,00913 (L/s.m)
Taxa de contribuição linear (fim de plano)	0,01897 (L/s.m)
Extensão virtual da rede	286,70 m
Lâmina líquida máxima	0,75
Tensão trativa mínima	1,0 Pa
Coeficiente de retorno	80%
Coeficiente per capita	150 (L/hab.dia)
Coeficiente de infiltração	0,0001 (L/s.m)
Coeficiente K_1	1,2
Coeficiente K_2	1,5

Tabela 4.2: Número de soluções e percentuais para a rede hipotética do estudo de caso 1

Solução	Número de soluções	Percentual em relação ao número total de soluções
Total (sem filtros)	46.656	-
Factíveis (filtro 1)	462	0,990%
Factíveis (filtro 2)	461	0,988%

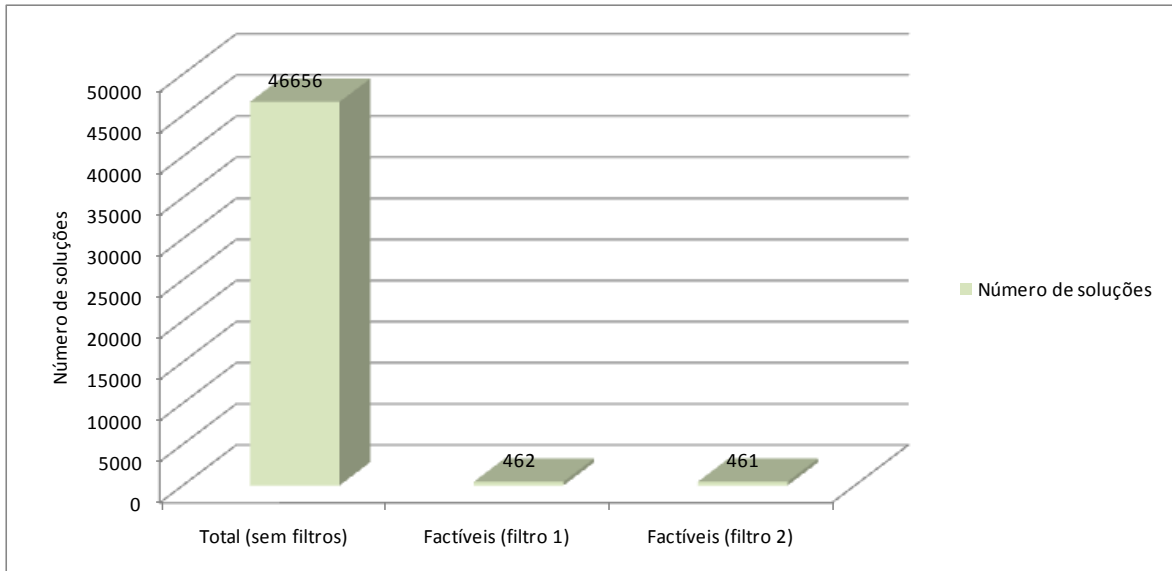


Figura 4.2: Número de soluções para a rede hipotética do estudo de caso 1

Tabela 4.3: Valores e percentual de redução dos custos para a rede hipotética do estudo de caso 1

Solução	Valor (R\$)	Percentual de redução em relação à solução inicial
Inicial – sem aplicação do modelo	27.195,20	-
Ótima – com aplicação do modelo	22.892,58	18,79%

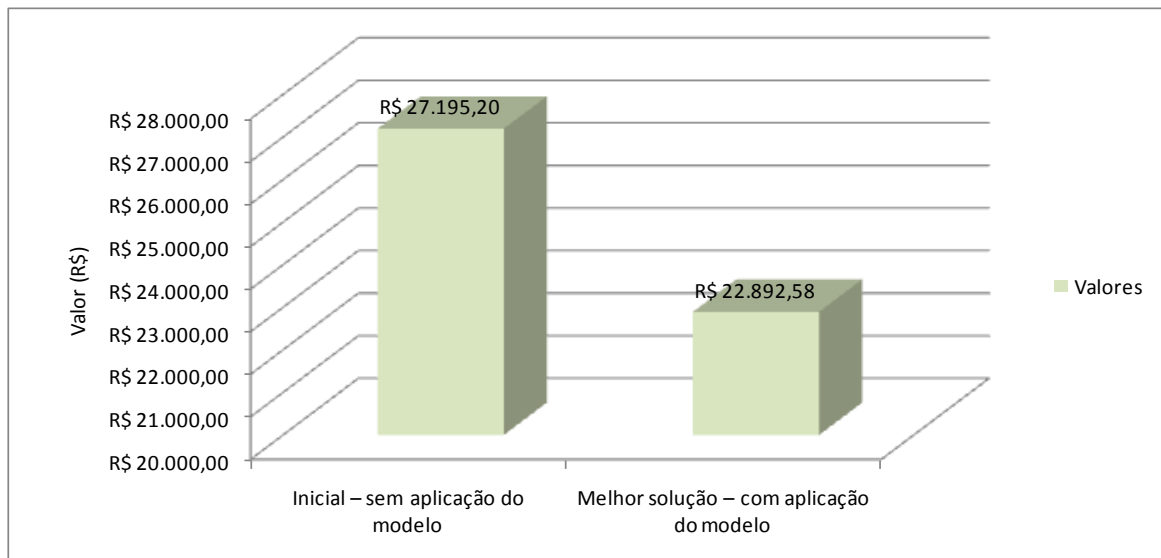


Figura 4.3: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 1

Tabela 4.4: Resultados do dimensionamento sem a aplicação do modelo da rede hipotética do estudo de caso 1

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(1-6)	PV10	Fim	18.5	831.009	829.915	825.465	824.371	5.544	5.544	200	0.05914	0	0	32.6176	65.4387	2.92	3.49	4.38	24.64	39	58	
(1-5)	PV4	PV10	63.9	834.821	831.009	833.682	825.465	1.139	5.544	150	0.12859	30	60	32.4487	65.0878	3.94	4.58	4	24.836	47	75	
(1-4)	PV3	PV4	56.3	842.198	834.821	841.138	833.771	1.06	1.05	150	0.13085	0	0	1.8653	3.8756	1.74	2.16	2.27	13.791	11	16	DG 0.089
(1-3)	PV2	PV3	31.5	845.938	842.198	844.878	841.148	1.06	1.05	150	0.11841	0	0	1.3512	2.8076	1.57	1.9	2.14	11.581	10	14	DG 0.010
(1-2)	PV11	PV2	65.8	858.052	845.938	856.992	844.888	1.06	1.05	150	0.18395	0	0	1.0636	2.21	1.83	2.06	1.93	16.261	9	11	DG 0.010
(1-1)	PV1	PV11	50.7	868.004	858.052	866.954	857.002	1.05	1.05	150	0.19629	0	0	0.4629	0.9618	1.87	1.87	1.75	17.088	9	9	DG 0.010

Tabela 4.5: Resultados do dimensionamento com a aplicação do modelo da rede hipotética do estudo de caso 1

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(1-6)	PV10	Fim	18.5	831.009	829.915	829.899	828.815	1.11	1.1	200	0.05859	0	0	32.6176	65.4387	2.92	3.49	4.38	24.64	39	58	
(1-5)	PV4	PV10	63.9	834.821	831.009	833.681	829.909	1.14	1.1	200	0.05903	30	60	32.4487	65.0878	2.93	3.5	4.37	24.76	38	57	DG 0.010
(1-4)	PV3	PV4	56.3	842.198	834.821	841.138	833.771	1.06	1.05	150	0.13085	0	0	1.8653	3.8756	1.74	2.16	2.27	13.791	11	16	DG 0.090
(1-3)	PV2	PV3	31.5	845.938	842.198	844.878	841.148	1.06	1.05	150	0.11841	0	0	1.3512	2.8076	1.57	1.9	2.14	11.581	10	14	DG 0.010
(1-2)	PV11	PV2	65.8	858.052	845.938	856.992	844.888	1.06	1.05	150	0.18395	0	0	1.0636	2.21	1.83	2.06	1.93	16.261	9	11	DG 0.010
(1-1)	PV1	PV11	50.7	868.004	858.052	866.954	857.002	1.05	1.05	150	0.19629	0	0	0.4629	0.9618	1.87	1.87	1.75	17.088	9	9	DG 0.010

Tabela 4.6: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 1 sem a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	286,70	1,60	458,72
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	14	18,91	264,74
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	143	1,10	157,30
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	14	3,36	47,04
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8,09	8,09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	44,23	1,73	76,52
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	21,07	1,99	41,93
C1269	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 4 a 6m	m ³	74,33	2,44	181,37
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	73,14	8,67	634,12
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	66,49	1,88	125,00
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	81,03	31,77	2574,32
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	81,03	2,45	198,52
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	261,73	2,05	536,55
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	261,73	8,8	2303,22
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	147,24	35,94	5291,81
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	14,34	20,85	298,99
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	12	21,33	255,96
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	5	721,95	3609,75
C2909	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm	un.	1	903,00	903,00
C0013	Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	4,04	343,49	1387,70
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	6	412,60	2475,60
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	268,20	1,76	472,03
C0284	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	18,50	2,30	42,55
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	286,70	0,90	258,03
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	282	14,37	4052,34
I6952	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	24	22,50	540,00
				TOTAL GERAL	27.195,02

Tabela 4.7: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 1 com a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	286,70	1,60	458,72
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	14	18,91	264,74
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	143	1,10	157,30
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	14	3,36	47,04
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8,09	8,09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	66,36	1,73	114,80
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	59,72	8,67	517,77
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	6,64	1,88	12,48
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	29,08	31,77	923,87
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0,5 Km	m ³	29,08	2,45	71,25
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	258,03	2,05	528,96
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	258,03	8,8	2270,66
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	73,73	35,94	2649,86
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	14,34	20,85	298,99
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	12	21,33	255,96
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	5	721,95	3609,75
C2909	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm	un.	1	903,00	903,00
C0013	Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	4,04	343,49	1387,70
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	6	412,6	2475,60
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	204,3	1,76	359,57
C0284	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	82,4	2,30	189,52
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	286,70	0,90	258,03
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	216	14,37	3103,92
I6952	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	90	22,50	2025,00
				TOTAL GERAL	22.892,58

Tabela 4.8: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a rede hipotética do estudo de caso 1 sem a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	44,23	1,73	76,52
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	21,07	1,99	41,93
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 4 a 6m	m ³	74,33	2,44	181,37
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	73,14	8,67	634,12
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	66,49	1,88	125,00
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	81,03	31,77	2574,32
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	81,03	2,45	198,52
Nivelamento de fundo de valas	m ²	261,73	2,05	536,55
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	261,73	8,80	2303,22
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	147,24	35,94	5291,81
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	268,20	1,76	472,03
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	18,50	2,30	42,55
REDE COLETORA - MATERIAL				
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	282	14,37	4052,34
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	24	22,50	540,00
TOTAL GERAL				17.070,28

Tabela 4.9: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a rede hipotética do estudo de caso 1 com a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	66,36	1,73	114,80
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	59,72	8,67	517,77
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	6,64	1,88	12,48
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	29,08	31,77	923,87
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	29,08	2,45	71,25
Nivelamento de fundo de valas	m ²	258,03	2,05	528,96
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	258,03	8,80	2270,66
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	73,73	35,94	2649,86
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	204,3	1,76	359,57
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	82,4	2,3	189,52
REDE COLETORA - MATERIAL				
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	216	14,37	3103,92
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)		90	22,5	2025,00
TOTAL GERAL				14.428,33

4.2.2. Estudo de caso 2

Para o estudo de caso número dois, utilizou-se um SES hipotético, com uma rede de 8 trechos (figura 4.4). As características da rede estão apresentadas na tabela 4.10. Desta vez, optou-se por uma rede ramificada, com situações de trechos que recebem contribuições de um e dois outros coletores, além de terem sido atribuídas vazões concentradas no PV 4 (10,00 e 20,00 L/s para início e fim de plano, respectivamente).

Em relação ao terreno, propositalmente, alguns trechos foram impostos contra a declividade natural. O propósito desta imposição foi o de avaliar quanto seria a diferença de quantitativos e custos entre aprofundar os coletores para não aumentar o diâmetro ou caso fosse efetuada uma ação contrária.

Dimensionou-se a rede no UFC9 sem a rotina de redução de custos. Após este passo, foi acionado o modelo que apresentou as características apontadas na tabela 4.11. O número total de soluções (viáveis e inviáveis) para este caso é de 6^8 , ou seja, 1.679.616, de acordo com a tabela 4.12 e figura 4.5.

O custo da solução inicial teve o valor total de R\$ 51.292,41. Em seguida ao término do modelo computacional, o menor custo gerado foi de R\$ 49.845,96, ou seja, uma redução de 2,82% em relação ao custo inicial (tabela 4.12 e figura 4.6).

Nesta rede, o modelo teve uma ação bilateral, reduzindo o diâmetro do trecho (1-4) de 300 para 200 mm e aumentando o diâmetro do trecho (3-1) de 150 para 200 mm. Este conjunto de decisões foi o mais econômico, como pode ser constatado nas tabelas 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18 (nestas duas últimas tabelas estão listados somente os serviços passíveis de modificações).

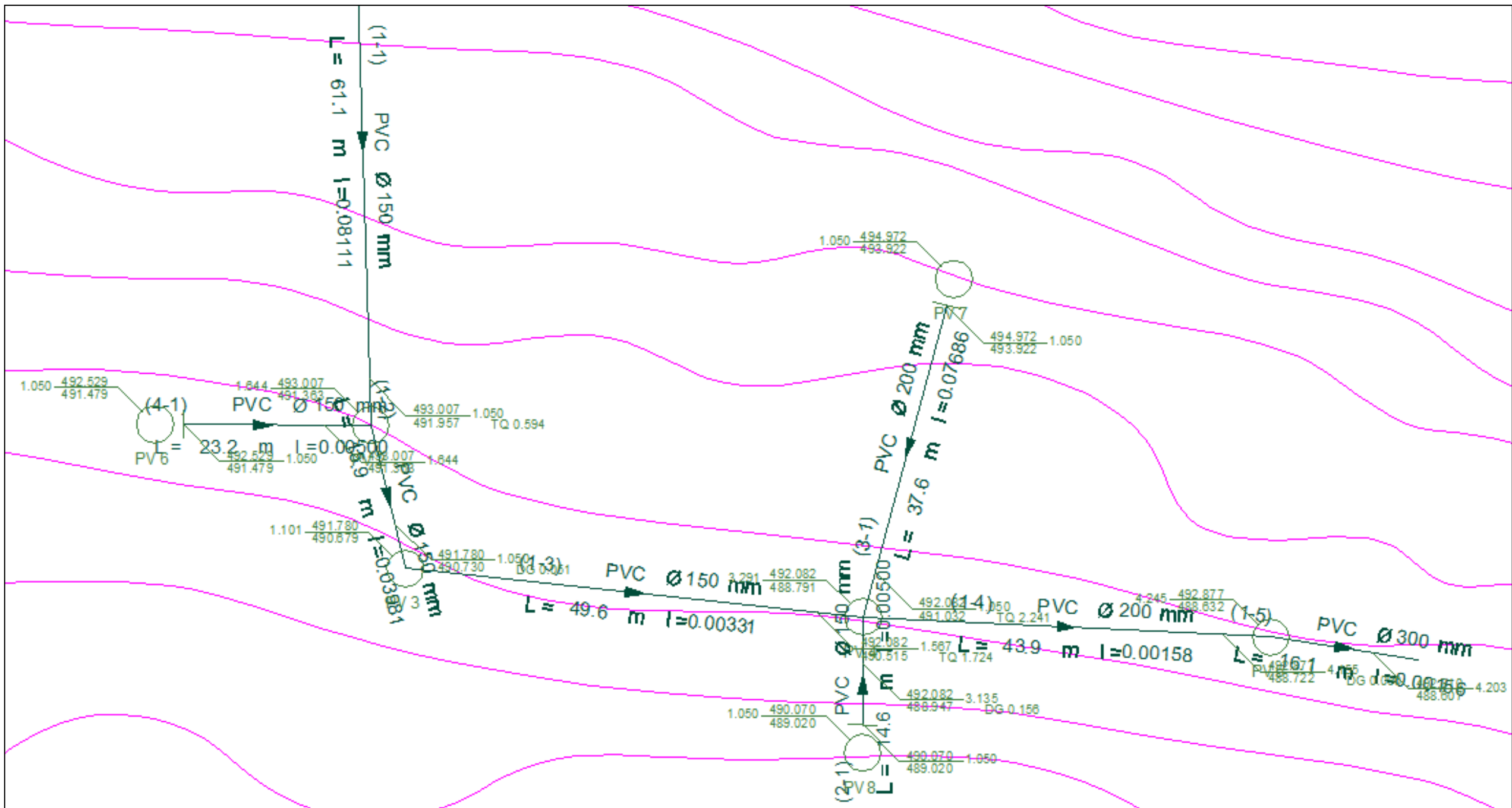


Figura 4.4: Rede hipotética do estudo de caso 2

Tabela 4.10: Características da rede hipotética do estudo de caso 2

Característica	Valor
Número de trechos	8
Número de poços de visita	8
Material da tubulação	PVC
Diâmetro mínimo	150 mm
Recobrimento mínimo	0,90 m
Degrau mínimo	0,05 m
Altura mínima do tubo de queda	0,50 m
Taxa de contribuição linear (início de plano)	0,02324 (L/s,m)
Taxa de contribuição linear (fim de plano)	0,04760 (L/s,m)
Extensão virtual da rede	262,00 m
Lâmina líquida máxima	0,75
Tensão trativa mínima	1,0 Pa
Coeficiente de retorno	80%
Coeficiente per capita	150 (L/hab.dia)
Coeficiente de infiltração	0,0001 (L/s/m)
Coeficiente K_1	1,2
Coeficiente K_2	1,5

Tabela 4.11: Número de soluções e percentuais para a rede hipotética do estudo de caso 2

Solução	Número de soluções	Percentual em relação ao número total de soluções
Total (sem filtros)	1.679.616	-
Factíveis (filtro 1)	20.892	1,24%
Factíveis (filtro 2)	15.546	0,91%

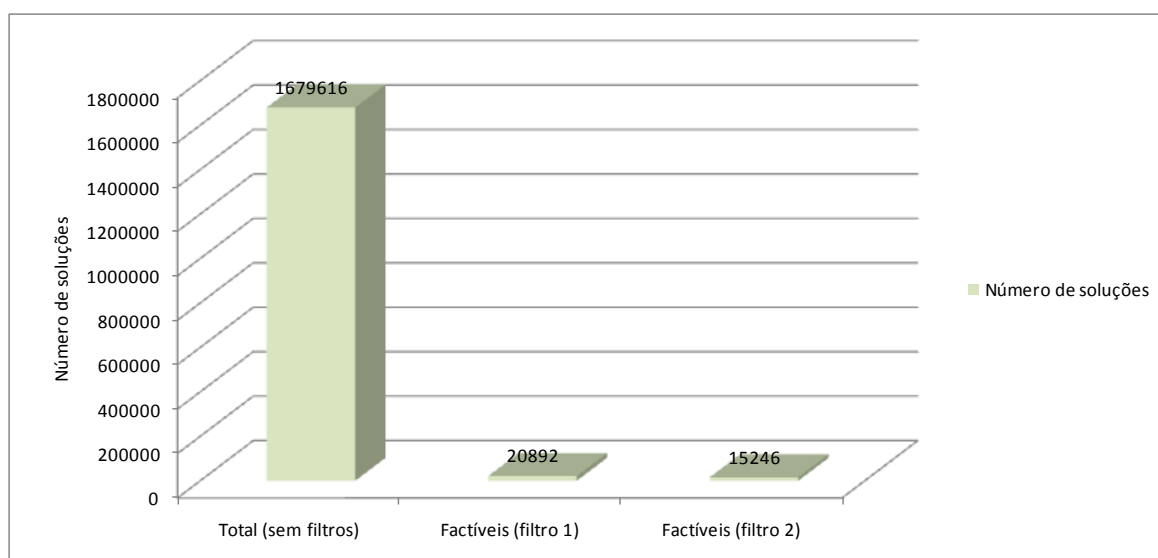
**Figura 4.5:** Número de soluções para a rede hipotética do estudo de caso 2

Tabela 4.12: Valores e percentual de redução dos custos para a rede hipotética do estudo de caso 2

Solução	Valor (R\$)	Percentual de redução em relação à solução inicial
Inicial – sem aplicação do modelo	51.292,41	-
Ótima – com aplicação do modelo	49.845,96	2,82%

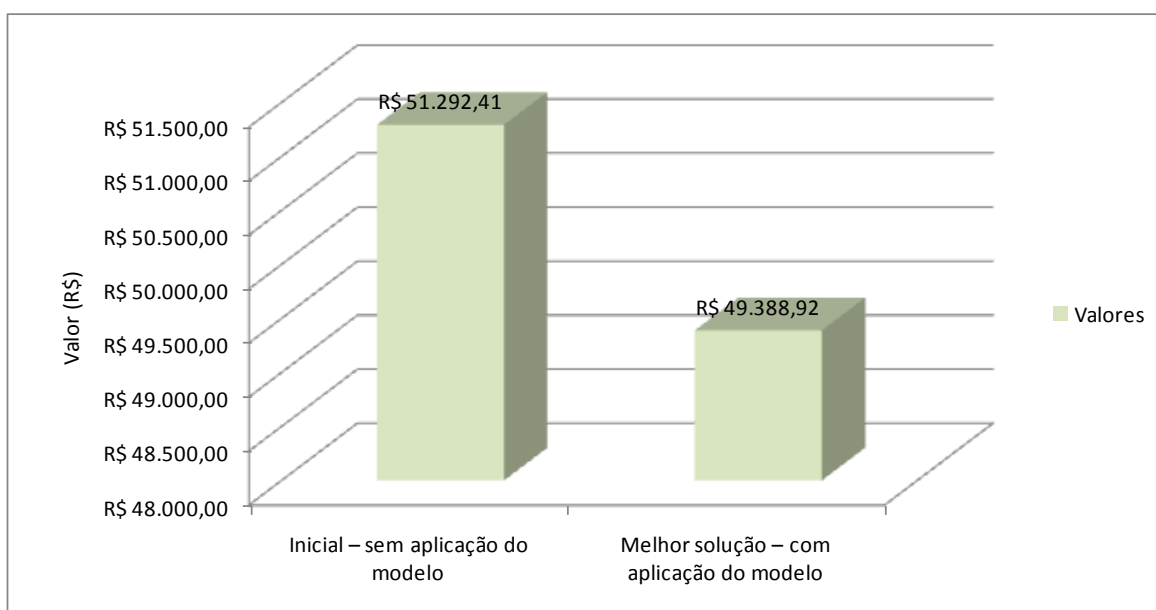


Figura 4.6: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 2

Tabela 4.13: Resultados do dimensionamento sem a aplicação do modelo da rede hipotética do estudo de caso 2

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(4-1)	PV6	PV2	23,2	492,529	493,007	491,479	491,363	1,05	1,644	150	0,005	0	0	0,5392	1,1043	0,52	0,52	2,64	1	22	22	
(3-1)	PV7	PV4	37,6	494,972	492,082	493,922	491,032	1,05	1,05	150	0,07686	0	0	0,8738	1,7898	1,35	1,42	2,03	8,27	11	12	TQ 2.241
(2-1)	PV8	PV4	14,6	490,07	492,082	489,02	488,947	1,05	3,135	150	0,005	0	0	0,3393	0,695	0,52	0,52	2,64	1	22	22	DG 0.156
(1-5)	PV5	Fim	16,1	492,877	492,81	488,722	488,655	4,155	4,155	300	0,00416	0	0	16,0889	32,4712	0,89	1,08	4,93	2,145	30	44	
(1-4)	PV4	PV5	43,9	492,082	492,877	488,791	488,722	3,291	4,155	300	0,00158	10	20	15,7147	31,7048	0,63	0,75	5,37	1	39	58	
(1-3)	PV3	PV4	49,6	491,78	492,082	490,679	490,515	1,101	1,567	150	0,00331	0	0	3,4814	7,1305	0,57	0,68	3,79	1	38	57	TQ 1.724
(1-2)	PV2	PV3	15,9	493,007	491,78	491,363	490,73	1,644	1,05	150	0,03981	0	0	2,3286	4,7695	1,22	1,51	2,71	6,044	16	23	DG 0.051
(1-1)	PV1	PV2	61,1	497,963	493,007	496,913	491,957	1,05	1,05	150	0,08111	0	0	1,42	2,9084	1,38	1,68	2,25	8,622	11	15	TQ 0.594

Tabela 4.14: Resultados do dimensionamento com a aplicação do modelo da rede hipotética do estudo de caso 2

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(1-4)	PV4	PV5	43,9	492,082	492,877	488,815	488,655	3,267	4,222	200	0,00364	10	20	15,7147	31,7048	1,08	1,25	4,62	1	47	75	
(3-1)	PV7	PV4	37,6	494,972	492,082	493,872	490,982	1,1	1,1	200	0,07686	0	0	0,8738	1,7898	1,3	1,37	1,97	7,792	8	9	TQ 2.167
(4-1)	PV6	PV2	23,2	492,529	493,007	491,479	491,363	1,05	1,644	150	0,005	0	0	0,5392	1,1043	0,52	0,52	2,64	1	22	22	
(2-1)	PV8	PV4	14,6	490,07	492,082	489,02	488,947	1,05	3,135	150	0,005	0	0	0,3393	0,695	0,52	0,52	2,64	1	22	22	DG 0.132
(1-5)	PV5	Fim	16,1	492,877	492,81	488,655	488,588	4,222	4,222	300	0,00416	0	0	16,0889	32,4712	0,89	1,08	4,93	2,145	30	44	
(1-3)	PV3	PV4	49,6	491,78	492,082	490,679	490,515	1,101	1,567	150	0,00331	0	0	3,4814	7,1305	0,57	0,68	3,79	1	38	57	TQ 1.700
(1-2)	PV2	PV3	15,9	493,007	491,78	491,363	490,73	1,644	1,05	150	0,03981	0	0	2,3286	4,7695	1,22	1,51	2,71	6,044	16	23	DG 0.051
(1-1)	PV1	PV2	61,1	497,963	493,007	496,913	491,957	1,05	1,05	150	0,08111	0	0	1,42	2,9084	1,38	1,68	2,25	8,622	11	15	TQ 0.594

Tabela 4.15: Custos totais para a rede hipotética do estudo de caso 2 sem a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA – SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	262,00	1,60	419,20
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	13	18,91	245,83
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	131	1,10	144,1
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	13	3,36	43,68
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8,09	8,09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	210,52	1,73	364,20
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	186,92	1,99	371,97
C1269	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 4 a 6m	m ³	104,76	2,44	255,61
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	346,5	8,67	3004,16
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	155,7	1,88	292,72
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	185,08	31,77	5879,99
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	185,08	2,45	453,45
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	253,80	2,05	520,29
C0095	Apilamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	253,80	8,80	2233,44
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	483,48	35,94	17376,27
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	13,1	20,85	273,14
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	16	21,33	341,28
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	5	721,95	3609,75
C2909	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm	un.	3	903,00	2709,00
C0013	Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	4,62	343,49	1586,92
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	8	412,6	3300,80
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	202	1,76	355,52
C0286	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 300mm	m	60	3,63	217,80
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	262	0,90	235,80
REDE COLETORA – MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	216	14,37	3103,92
I6952	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	66	59,78	3945,48
				TOTAL GERAL	51.292,41

Tabela 4.16: Custos para a rede hipotética do estudo de caso 2 com a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA – SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	262,00	1,60	419,20
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	13	18,91	245,83
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	131	1,1	144,1
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	13	3,36	43,68
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8,09	8,09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	210,52	1,73	364,2
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	165,07	1,99	328,49
C1269	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 4 a 6m	m ³	113,28	2,44	276,4
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	333,34	8,67	2890,06
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	155,54	1,88	292,42
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	186,64	31,77	5929,55
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	186,64	2,45	457,27
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	249,41	2,05	511,29
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	249,41	8,8	2194,81
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	485,49	35,94	17448,51
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	13,1	20,85	273,14
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	16	21,33	341,28
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	5	721,95	3609,75
C2909	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm	un.	3	903	2709,00
C0013	Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	4,62	343,49	1586,92
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	8	412,6	3300,80
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	202	1,76	355,52
C0284	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	43,9	2,3	100,97
C0286	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 300mm	m	16,1	3,63	58,44
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	262	0,90	235,80
REDE COLETORA – MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	216	14,37	3103,92
I6952	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	48	22,5	1080
I6954	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	18	59,78	1076,04
				TOTAL GERAL	49.845,96

Tabela 4.17: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a rede hipotética do estudo de caso 2 sem a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	210,52	1,73	364,2
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	186,92	1,99	371,97
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 4 a 6m	m ³	104,76	2,44	255,61
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	346,5	8,67	3004,16
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	155,7	1,88	292,72
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	185,08	31,77	5879,99
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	185,08	2,45	453,45
Nivelamento de fundo de valas	m ²	253,8	2,05	520,29
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	253,8	8,80	2233,44
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	483,48	35,94	17376,27
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	202	1,76	355,52
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 300mm	m	60	3,63	217,80
REDE COLETORA – MATERIAL				
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	216	14,37	3103,92
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	66	59,78	3945,48
TOTAL GERAL				38.374,82

Tabela 4.18: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a rede hipotética do estudo de caso 2 com a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	212,21	1,73	367,12
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	165,07	1,99	328,49
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 4 a 6m	m ³	113,28	2,44	276,4
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	334,86	8,67	2903,24
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	155,71	1,88	292,73
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	186,97	31,77	5940,04
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	186,97	2,45	458,08
Nivelamento de fundo de valas	m ²	249,41	2,05	511,29
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	249,41	8,8	2194,81
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	487,37	35,94	17516,08
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	164,4	1,76	289,34
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	81,5	2,3	187,45
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	16,1	3,63	58,44
REDE COLETORA – MATERIAL				
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	174	14,37	2500,38
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	90	22,5	2025
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	18	59,78	1076,04
TOTAL GERAL				36.924,93

4.3. REDES REAIS

4.3.1. Estudo de caso 3

A rede da bacia X (figura 4.7) do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Rio Tinto (Estado da Paraíba) é composta de 23 trechos, 23 poços de visita, 1.721,50 m de extensão total e 1.362,60 m de extensão virtual. A coleta é encaminhada para uma estação elevatória de esgoto bruto (EEEB3), de onde este é recalcado para outra bacia. A rede é, quase em sua totalidade, a favor da declividade natural do terreno, porém possui trechos que recebem vazões pontuais oriundas de outras bacias, o que ocasiona aumento dos volumes de esgotos. Estas contribuições estão detalhadas na tabela 4.19, e os parâmetros principais da rede estão apresentados na tabela 4.20.

Tabela 4.19: Vazões concentradas da rede real do estudo de caso 3

Trecho	PV de montante	Vazão concentrada de início de plano (L/s)	Vazão concentrada de fim de plano (L/s)
(1-4)	PV4	5,12	9,56
(1-5)	PV5	15,77	28,43
(1-6)	PV6	20,93	38,78

Tabela 4.20: Parâmetros da rede real do estudo de caso 3

Característica	Valor
Número de trechos	23
Número de poços de visita	23
Material da tubulação	PVC
Diâmetro mínimo	150 mm
Recobrimento mínimo	0,90 m
Degrau mínimo	0,05 m
Altura mínima do tubo de queda	0,50 m
Taxa de contribuição linear (início de plano)	0,00433 (L/s.m)
Taxa de contribuição linear (fim de plano)	0,00868 (L/s.m)
Extensão virtual da rede	1362,60 m
Lâmina líquida máxima	0,75
Tensão trativa mínima	1,0 Pa
Coeficiente de retorno	80%
Coeficiente per capita	120 (L/hab.dia)
Coeficiente de infiltração	0,0001 (L/s.m)
Coeficiente K_1	1,2
Coeficiente K_2	1,5

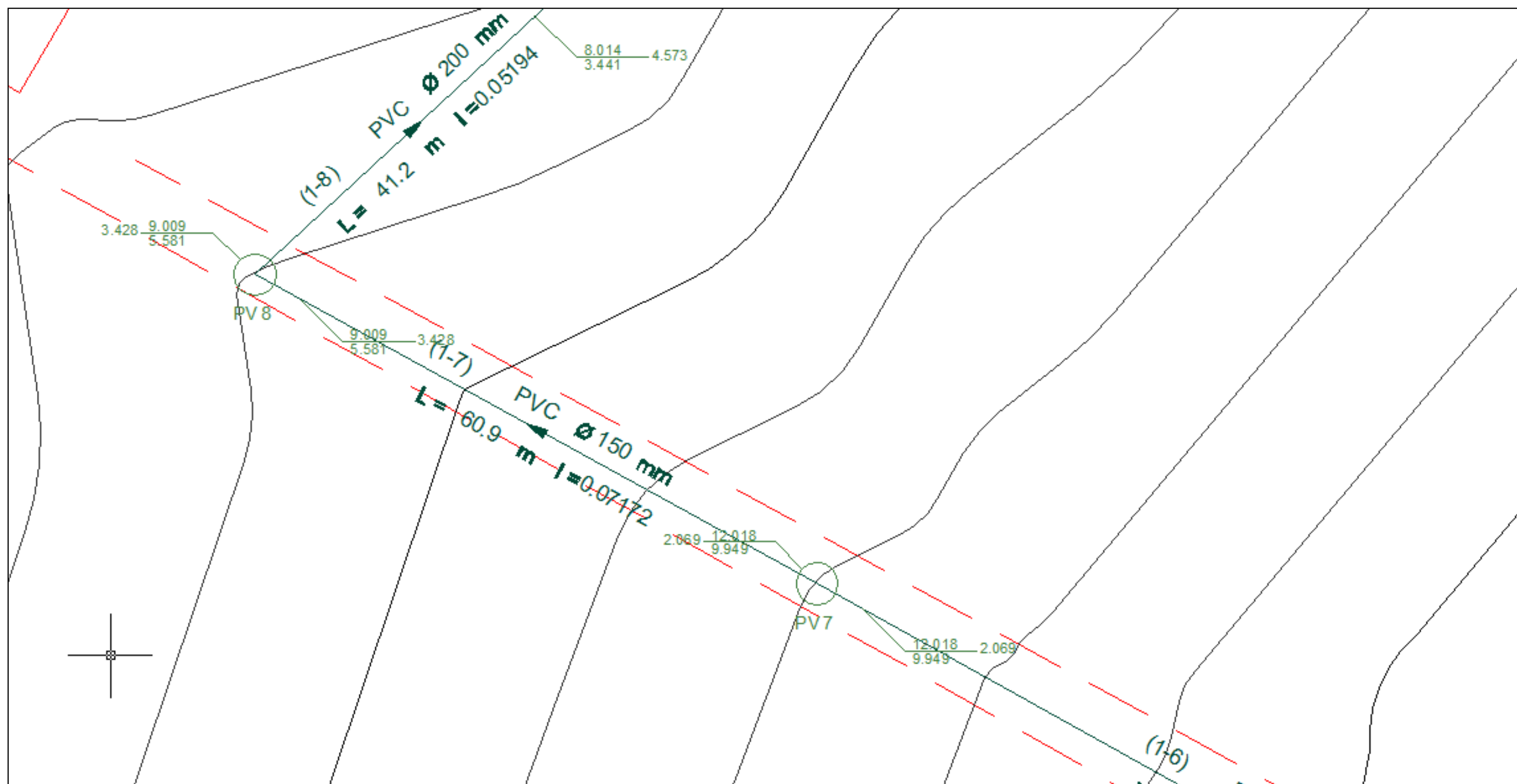


Figura 4.7: Setor da rede real do estudo de caso 3

Atualmente, este sistema é operado pela concessionária CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba), que é responsável pela coleta, manutenção, tratamento e disposição final.

Com uma rede de 23 trechos, requerer-se-ia um longo tempo de processamento computacional para a utilização da FARC, conforme explanado anteriormente. Logo, a rede foi dividida em 5 sub-bacias para acelerar os cálculos computacionais.

Como esperado, para as sub-bacias de 2 a 5 os resultados obtidos pela FARC não foram melhores que os cálculos iniciais do UFC9 utilizando-se dos parâmetros do projeto, haja vista que os coletores estão seguindo o terreno natural e não há vazões pontuais. Os resultados do dimensionamento foram iguais e estão apresentados da tabela 4.25 a 4.28. Os custos destas sub-bacias estão detalhados nas tabelas 4.29 a 4.32.

Na sub-bacia 1, incluíram-se, além das vazões pontuais oriundas de outras bacias, as vazões lançadas pela sub-bacias 2 a 5, conforme a tabela 4.21.

Tabela 4.21: Vazões lançadas pelas sub-bacias 2 a 5 na sub-bacia 1 (rede real do estudo de caso 3)

Trecho contribuinte	Trecho da sub-bacia 1 que recebe a contribuição	Sub-bacia de origem	PV da sub-bacia 1 que recebe as vazões	Vazão lançada de início de plano (L/s)	Vazão lançada de fim de plano (L/s)
(2-3)	(1-4)	2	PV4	1,0197	2,0441
(3-3)	(1-3)	3	PV3	1,0245	2,0537
(4-3)	(1-2)	4	PV2	1,0448	2,0945
(5-6)	(1-8)	5	PV8	0,7335	1,4704

A sub-bacia 1 foi dimensionada no UFC9 com todas as características assinaladas acima e de acordo com os diâmetros apontados em projeto (sem a rotina de redução de custos). Posteriormente, foram gerados os quantitativos e custos. Estes resultados estão apresentados nas tabelas 4.33 e 4.35.

O número total de soluções para este caso é de 6⁸, ou seja, 1.679.616. Utilizando-se o modelo, as soluções factíveis caem para 1.287 com a aplicação do filtro 1 e 1.286 com o filtro 2 aplicado, como pode ser constatado na tabela 4.22 e figura 4.8.

Tabela 4.22: Número de soluções e percentuais para a rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 1)

Soluções	Número de soluções	Percentual em relação ao número total de soluções
Total (sem filtros)	1.679.616	-
Factíveis (filtro 1)	1.287	0,077%
Factíveis (filtro 2)	1.286	0,077%

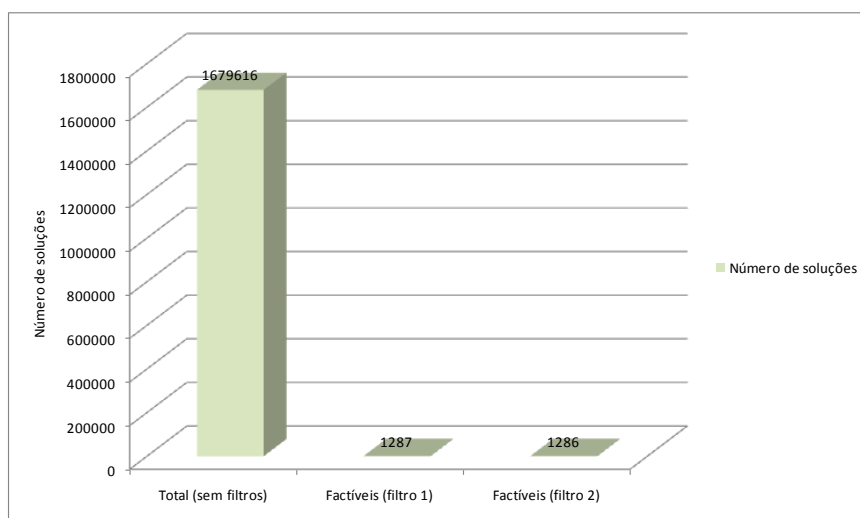


Figura 4.8: Número de soluções para a rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 1)

Os custos da solução inicial estão exibidos na tabela 4.34 e figura 4.9, tendo o valor total de R\$ 70.751,09. Com a conclusão do modelo computacional, o menor custo determinado foi de R\$ 61.316,44, ou seja, houve uma redução de 15,39% em relação ao custo inicial.

Para toda a rede, ou seja, computando todas as sub-bacias, o percentual de redução é de 4,88% e os custos totais de R\$ 202.628,05 foram reduzidos para R\$ 193.193,40 (tabela 4.24 e figura 4.10). A FARC proporcionou uma considerável redução nos custos, no que se refere a aumentar o diâmetro de coletores, com o intuito de reduzir o volume de escavação e a área de escoramento.

Tabela 4.23: Valores e percentual de redução dos custos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 3

Solução	Valor (R\$)	Percentual de redução em relação à solução inicial
Inicial – sem aplicação do modelo	70.751,09	-
Ótima – com aplicação do modelo	61.316,44	15,39%

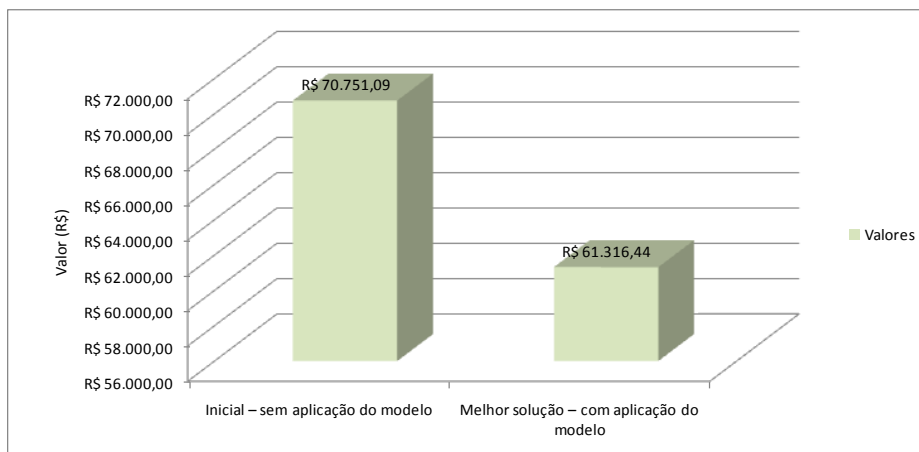


Figura 4.9: Custos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 3

O algoritmo aumentou os diâmetros dos trechos (1-6) e (1-7) de 150 mm para 200 mm, resultando na diminuição de profundidade, como pode ser verificado nas tabelas 4.33 e 4.34. Esta configuração de diâmetros da sub-bacia 1 eliminou escavações em profundidades superiores a 4 metros e reduziu a área de escoramento, diminuindo, assim, os custos finais.

As tabelas 4.37 e 4.38 pormenorizam apenas os serviços passíveis de modificações de quantitativos com a aplicação do modelo.

Tabela 4.24: Valores e percentual de redução dos custos para toda a rede real do estudo de caso 3

Solução	Valor (R\$)	Percentual de redução em relação à solução inicial
Inicial - sem aplicação do modelo	202.628,05	-
Ótima - com aplicação do modelo	193.193,40	4,88%

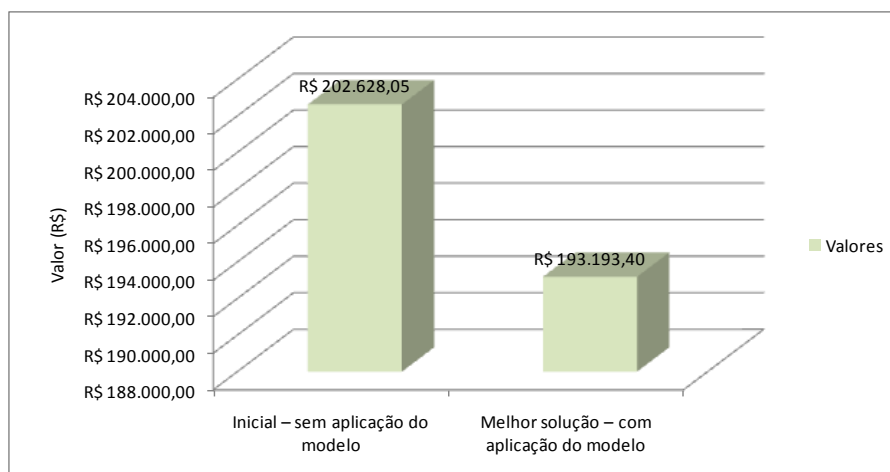


Figura 4.10: Custos para toda a rede real do estudo de caso 3

Tabela 4.25: Resultados do dimensionamento da rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 2)

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm).	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(2-3)	PV24	PV4	53.3	25.375	25.752	22.55	22.284	2.825	3.468	150	0.005	0	0	1.0197	2.0441	0.52	0.57	2.83	1	22	26	
(2-2)	PV23	PV24	92.1	24.531	25.375	23.01	22.55	1.521	2.825	150	0.005	0	0	0.7889	1.5815	0.52	0.52	2.67	1	22	23	
(2-1)	PV20	PV23	90.1	24.51	24.531	23.46	23.01	1.05	1.521	150	0.005	0	0	0.3901	0.7821	0.52	0.52	2.64	1	22	22	

Tabela 4.26: Resultados do dimensionamento da rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 3)

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm).	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(3-3)	PV22	PV3	81.9	32.035	31.495	30.985	30.445	1.05	1.05	150	0.00659	0	0	1.0245	2.0537	0.57	0.62	2.75	1.226	21	24	
(3-2)	PV21	PV22	74.9	32.757	32.035	31.707	30.985	1.05	1.05	150	0.00964	0	0	0.6699	1.3428	0.65	0.65	2.46	1.649	19	19	
(3-1)	PV15	PV21	79.8	33.683	32.757	32.633	31.707	1.05	1.05	150	0.0116	0	0	0.3455	0.6927	0.7	0.7	2.41	1.905	18	18	

Tabela 4.27: Resultados do dimensionamento da rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 4)

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm).	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(4-3)	PV27	PV2	64.5	38.829	37.233	37.779	36.183	1.05	1.05	150	0.02474	0	0	1.0448	2.0945	0.91	1	2.38	3.433	15	18	
(4-2)	PV26	PV27	83.9	40.335	38.829	39.285	37.779	1.05	1.05	150	0.01795	0	0	0.7655	1.5346	0.81	0.82	2.31	2.675	16	16	
(4-1)	PV25	PV26	92.9	41.958	40.335	40.908	39.285	1.05	1.05	150	0.01747	0	0	0.4023	0.8064	0.8	0.8	2.3	2.619	16	16	

Tabela 4.28: Resultados do dimensionamento da rede real do estudo de caso 3 (sub-bacia 5)

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm).	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(5-6)	PV14	Fim	64.2	11.003	9.009	8.772	7.959	2.231	1.05	150	0.01266	0	0	0.7335	1.4704	0.72	0.72	2.38	2.039	18	18	
(5-5)	PV13	PV14	98.2	10.963	11.003	9.263	8.772	1.7	2.231	150	0.005	0	0	0.7335	1.4704	0.52	0.52	2.64	1	22	22	
(5-4)	PV12	PV13	80.1	10.713	10.963	9.663	9.263	1.05	1.7	150	0.005	0	0	0.7335	1.4704	0.52	0.52	2.64	1	22	22	
(5-3)	PV11	PV12	75.2	15.831	10.713	14.781	9.663	1.05	1.05	150	0.06806	0	0	0.7335	1.4704	1.29	1.29	1.98	7.526	12	12	
(5-2)	PV10	PV11	77.5	17.928	15.831	16.321	14.781	1.607	1.05	150	0.01987	0	0	0.7335	1.4704	0.84	0.84	2.27	2.895	16	16	
(5-1)	PV9	PV10	91.9	17.83	17.928	16.78	16.321	1.05	1.607	150	0.005	0	0	0.3979	0.7977	0.52	0.52	2.64	1	22	22	

Tabela 4.29: Custos para a sub-bacia 2 da rede real do estudo de caso 3

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA – SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	235.5	1.6	376.8
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	12	18.91	226.92
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	118	1.1	129.8
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	12	3.36	40.32
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8.09	8.09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	51.28	1.73	88.71
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	53.15	1.99	105.77
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	83.36	8.67	722.73
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	21.07	1.88	39.61
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	16.91	31.77	537.23
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0,5 Km	m ³	16.91	2.45	41.43
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	201.29	2.05	412.64
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	201.29	8.8	1771.35
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	126.45	35.94	4544.61
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	11.78	20.85	245.61
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	6	21.33	127.98
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	1	721.95	721.95
C2909	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm	un.	2	903	1806
C0013	Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	1.35	343.49	463.71
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	3	412.6	1237.8
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	235.5	1.76	414.48
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem (MEIO MAGNÉTICO)	m	235.5	0.9	211.95
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	252	14.37	3621.24
				TOTAL GERAL	17896.73

Tabela 4.30: Custos para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 3

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	236.6	1.6	378.56
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	12	18.91	226.92
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	118	1.1	129.8
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	12	3.36	40.32
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8.09	8.09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	63.84	1.73	110.44
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	57.46	8.67	498.18
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	6.38	1.88	11.99
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	19.96	31.77	634.13
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	19.96	2.45	48.9
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	212.94	2.05	436.53
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	212.94	8.8	1873.87
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	70.94	35.94	2549.58
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	11.83	20.85	246.66
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	6	21.33	127.98
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	3	721.95	2165.85
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	3	412.6	1237.8
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	236.6	1.76	416.42
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem (MEIO MAGNÉTICO)	m	236.6	0.9	212.94
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	252	14.37	3621.24
				TOTAL GERAL	14976.20

Tabela 4.31: Custos para a sub-bacia 4 da rede real do estudo de caso 3

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	241.3	1.6	386.08
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	12	18.91	226.92
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	121	1.1	133.1
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	12	3.36	40.32
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8.09	8.09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	63.93	1.73	110.6
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	57.54	8.67	498.87
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	6.39	1.88	12.01
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	18.51	31.77	588.06
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	18.51	2.45	45.35
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	217.17	2.05	445.2
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	217.17	8.8	1911.1
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	71.04	35.94	2553.18
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	12.07	20.85	251.66
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	6	21.33	127.98
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	3	721.95	2165.85
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	3	412.6	1237.8
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	241.3	1.76	424.69
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem (MEIO MAGNÉTICO)	m	241.3	0.9	217.17
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	258	14.37	3707.46
				TOTAL GERAL	15091.49

Tabela 4.32: Custos para a sub-bacia 5 da rede real do estudo de caso 3

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	487.1	1.6	779.36
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	24	18.91	453.84
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	244	1.1	268.4
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	24	3.36	80.64
C2947	Sinalização de advertência	un.	2	8.09	16.18
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	611.59	1.73	1058.05
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	57.17	1.99	113.77
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	590.45	8.67	5119.2
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	78.31	1.88	147.22
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	148.93	31.77	4731.51
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	148.93	2.45	364.88
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	425.55	2.05	872.38
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	425.55	8.8	3744.84
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	1362.83	35.94	48980.11
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	24.36	20.85	507.91
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	12	21.33	255.96
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	3	721.95	2165.85
C2909	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm	un.	3	903	2709
C0013	Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	1.04	343.49	357.23
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	6	412.6	2475.6
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	487.1	1.76	857.3
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	487.1	0.9	438.39
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	516	14.37	7414.92
				TOTAL GERAL	83.912.54

Tabela 4.33: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 1 sem a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 3

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm).	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(1-1)	PV1	PV2	24.4	38	37.233	36.95	36.183	1.05	1.05	150	0.03143	0	0	0.1057	0.2118	0.99	0.99	2.16	4.134	14	14	
(1-2)	PV2	PV3	87.9	37.233	31.495	36.183	30.445	1.05	1.05	150	0.06528	1.0448	2.0945	1.5311	3.0693	1.28	1.58	2.33	7.354	12	17	
(1-3)	PV3	PV4	91.2	31.495	25.752	30.445	24.702	1.05	1.05	150	0.06297	1.0245	2.0537	2.9505	5.9146	1.54	1.89	2.7	9.592	17	23	
(1-4)	PV4	PV5	71.4	25.752	21.002	24.702	19.952	1.05	1.05	150	0.06653	6.1397	11.6041	9.3993	18.1384	2.2	2.64	3.4	16.615	29	41	
(1-5)	PV5	PV6	49.7	21.002	17.615	19.952	16.565	1.05	1.05	150	0.06815	0	0	9.6145	18.5698	2.24	2.68	3.41	17.096	29	41	DG 0.051
(1-6)	PV6	PV7	94.3	17.615	12.018	16.514	9.949	1.101	2.069	150	0.06962	15.77	28.43	25.7928	47.8184	2.96	3.36	4	22.819	50	75	
(1-7)	PV7	PV8	60.9	12.018	9.009	9.949	5.581	2.069	3.428	150	0.07172	0	0	26.0565	48.347	2.99	3.4	4	19.707	49	75	
(1-8)	PV8	Fim	41.2	9.009	8.014	5.581	3.441	3.428	4.573	200	0.05194	21.6635	40.2504	47.72	88.5974	3.08	3.51	4.62	13.712	49	75	

Tabela 4.34: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 1 com a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 3

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm).	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(1-1)	PV1	PV2	24.4	38	37.233	36.95	36.183	1.05	1.05	150	0.03143	0	0	0.1057	0.2118	0.99	0.99	2.16	4.134	14	14	
(1-2)	PV2	PV3	87.9	37.233	31.495	36.183	30.445	1.05	1.05	150	0.06528	1.0448	2.0945	1.5311	3.0693	1.28	1.58	2.33	7.354	12	17	
(1-3)	PV3	PV4	91.2	31.495	25.752	30.445	24.702	1.05	1.05	150	0.06297	1.0245	2.0537	2.9505	5.9146	1.54	1.89	2.7	9.592	17	23	
(1-4)	PV4	PV5	71.4	25.752	21.002	24.702	19.952	1.05	1.05	150	0.06653	6.1397	11.6041	9.3993	18.1384	2.2	2.64	3.4	16.615	29	41	
(1-5)	PV5	PV6	49.7	21.002	17.615	19.952	16.565	1.05	1.05	150	0.06815	0	0	9.6145	18.5698	2.24	2.68	3.41	17.096	29	41	DG 0.051
(1-6)	PV6	PV7	94.3	17.615	12.018	16.514	9.949	1.101	2.069	150	0.06962	15.77	28.43	25.7928	47.8184	2.96	3.36	4	22.819	50	75	
(1-7)	PV7	PV8	60.9	12.018	9.009	9.949	5.581	2.069	3.428	150	0.07172	0	0	26.0565	48.347	2.99	3.4	4	19.707	49	75	
(1-8)	PV8	Fim	41.2	9.009	8.014	5.581	3.441	3.428	4.573	200	0.05194	21.6635	40.2504	47.72	88.5974	3.08	3.51	4.62	13.712	49	75	

Tabela 4.35: Custos da sub-bacia 1 para a rede real do estudo de caso 3 sem a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	521	1.6	833.6
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	26	18.91	491.66
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	261	1.1	287.1
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	26	3.36	87.36
C2947	Sinalização de advertência	un.	2	8.09	16.18
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	425.66	1.73	736.39
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	194.62	1.99	387.29
C1269	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 4 a 6m	m ³	95.75	2.44	233.63
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	543.27	8.67	4710.15
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	172.77	1.88	324.81
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	237.72	31.77	7552.36
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	237.72	2.45	582.41
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	464.96	2.05	953.17
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	464.96	8.8	4091.65
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	794.41	35.94	28551.1
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	26.05	20.85	543.14
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	16	21.33	341.28
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	6	721.95	4331.7
C2909	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm	un.	2	903	1806
C0013	Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	2.5	343.49	858.72
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	8	412.6	3300.8
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	479.8	1.76	844.45
C0284	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	41.2	2.3	94.76
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	521	0.9	468.9
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	504	14.37	7242.48
I6952	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	48	22.5	1080
				TOTAL GERAL	70.751.09

Tabela 5.36: Custos da sub-bacia 1 para a rede real do estudo de caso 3 com a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	521	1.6	833.6
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	26	18.91	491.66
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	261	1.1	287.1
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	26	3.36	87.36
C2947	Sinalização de advertência	un.	2	8.09	16.18
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	476.28	1.73	823.96
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	20.81	1.99	41.41
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	443.23	8.67	3842.8
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	53.87	1.88	101.28
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	220.33	31.77	6999.88
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	220.33	2.45	539.81
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	468.9	2.05	961.24
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	468.9	8.8	4126.32
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	552.33	35.94	19850.74
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	26.05	20.85	543.14
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	16	21.33	341.28
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	6	721.95	4331.7
C2909	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1200mm	un.	2	903	1806
C0013	Acréscimo de câmara em PV com anéis de concreto D=1200mm	m	2.5	343.49	858.72
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	8	412.6	3300.8
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	324.6	1.76	571.3
C0284	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	196.4	2.3	451.72
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	521	0.9	468.9
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	342	14.37	4914.54
I6952	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	210	22.5	4725
				TOTAL GERAL	61.316.44

Tabela 4.37: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 3 sem a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	425,66	1,73	736,39
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	194,62	1,99	387,29
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 4 a 6m	m ³	95,75	2,44	233,63
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	543,27	8,67	4710,15
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	172,77	1,88	324,81
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	237,72	31,77	7552,36
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	237,72	2,45	582,41
Nivelamento de fundo de valas	m ²	464,96	2,05	953,17
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	464,96	8,80	4091,65
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	794,41	35,94	28551,10
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	479,8	1,76	844,45
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	41,2	2,30	94,76
REDE COLETORA - MATERIAL				
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	504	14,37	7242,48
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	48	22,50	1080,00
TOTAL GERAL				57.384,65

Tabela 4.38: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 3 com a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	476,28	1,73	823,96
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	20,81	1,99	41,41
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	443,23	8,67	3842,80
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	53,87	1,88	101,28
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	220,33	31,77	6999,88
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	220,33	2,45	539,81
Nivelamento de fundo de valas	m ²	468,90	2,05	961,24
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	468,90	8,80	4126,32
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	552,33	35,94	19850,74
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	324,6	1,76	571,30
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 200mm	m	196,4	2,30	451,72
REDE COLETORA - MATERIAL FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	342	14,37	4914,54
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	210	22,5	4725,00
TOTAL GERAL				47.950,00

4.3.2. Estudo de caso 4

Neste caso, estudou-se a rede da bacia 3 (figura 4.11) do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Brejo dos Santos, também no estado da Paraíba. Esta bacia é composta de 14 trechos, 14 poços de visita e 964,30 m de extensão virtual e total da rede. Os esgotos provenientes desta rede são lançados na bacia 1 do sistema por gravidade. Somente dois trechos da rede não seguem a declividade natural do terreno: (3-4) e (2-4). Mesmo com esta peculiar característica, os coletores finais possuem vazões de alto valor, já que um trecho recebe vazão concentrada de outra bacia. A escolha desta bacia foi motivada, principalmente, por esta particularidade, pois o projeto original aprofundou bastante os trechos finais para não haver o aumento do diâmetro.

Estas contribuições de vazões estão detalhadas na tabela 4.39, e os parâmetros principais da rede estão apresentados na tabela 4.40.

Tabela 4.39: Vazões concentradas da rede real do estudo de caso 4

Trecho	PV de montante	Vazão concentrada de início de plano (L/s)	Vazão concentrada de fim de plano (L/s)
(3-4)	PV4	5,12	9,56

Tabela 4.40: Parâmetros da rede real do estudo de caso 4

Característica	Valor
Número de trechos	14
Número de poços de visita	14
Material da tubulação	PVC
Diâmetro mínimo	150 mm
Recobrimento mínimo	0,90 m
Degrau mínimo	0,05 m
Altura mínima do tubo de queda	0,50 m
Taxa de contribuição linear (início de plano)	0,00222 (L/s.m)
Taxa de contribuição linear (fim de plano)	0,00434 (L/s.m)
Extensão virtual da rede	964,30 m
Lâmina líquida máxima	0,75
Tensão trativa mínima	1,0 Pa
Coeficiente de retorno	80%
Coeficiente per capita	150 (L/hab . dia)
Coeficiente de infiltração	0,0001 (L/s.m)
Coeficiente K ₁	1,2
Coeficiente K ₂	1,5

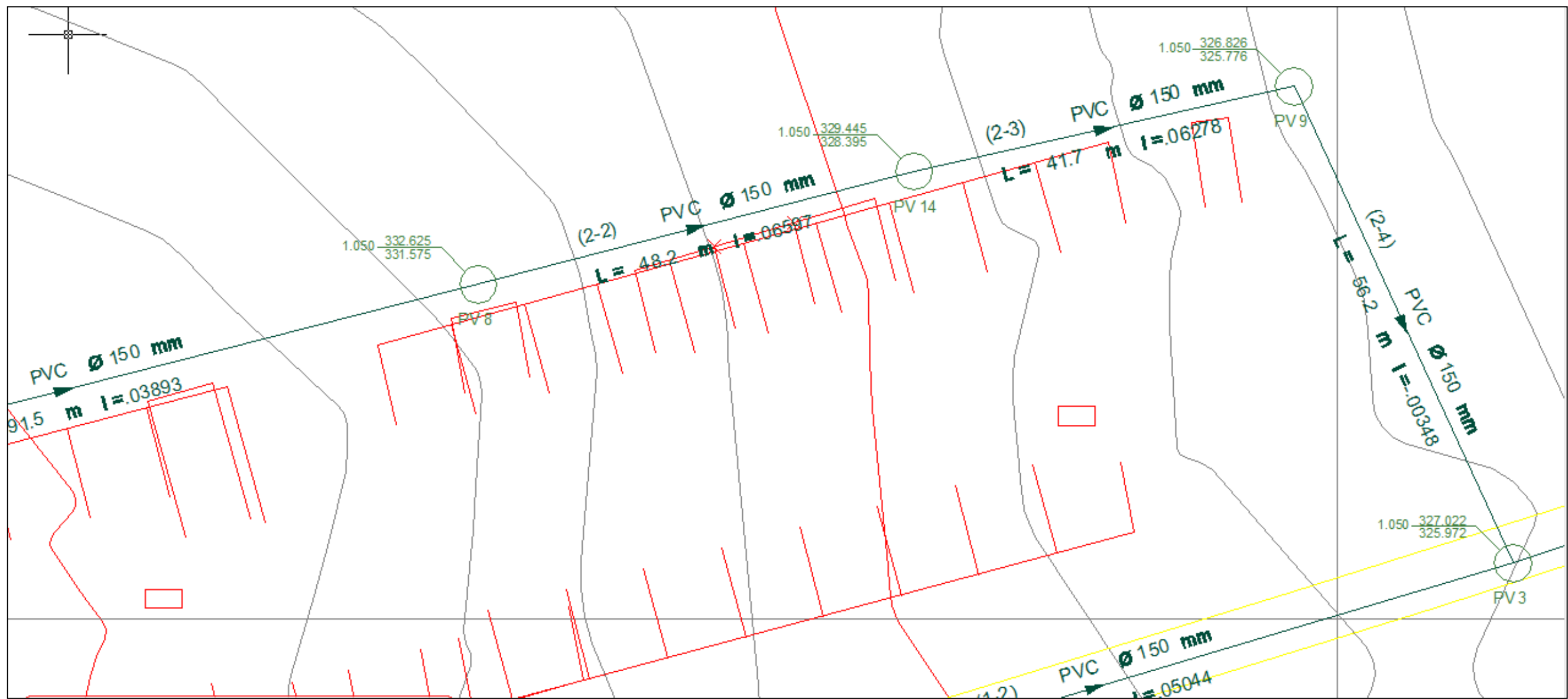


Figura 4.11: Setor da rede real do estudo de caso 4

Este sistema também é atualmente operado pela concessionária CAGEPA, sendo que esta é responsável pela coleta, manutenção, tratamento e disposição final.

A rede foi subdividida em 3 sub-bacias para atenuar os cálculos computacionais. Diferentemente do estudo de caso anterior, apenas para a sub-bacia 2 os resultados obtidos pela FARC foram idênticos aos cálculos iniciais do UFC9 com os diâmetros de projeto, haja vista que na sub-bacia supracitada os coletores estão seguindo o terreno natural e não há vazões pontuais (tabela 4.47).

As sub-bacias 1 e 3 apresentaram melhores resultados com o modelo da pesquisa (tabelas 4.48 a 4.51). Na sub-bacia 1 incluíram-se as vazões lançadas pelas sub-bacias 2 e 3, conforme a tabela 4.41.

Tabela 4.41: Vazões lançadas pelas sub-bacias 2 e 3 na sub-bacia 1 (rede real do estudo de caso 4)

Trecho contribuinte	Trecho da sub-bacia 1 que recebe a contribuição	Sub-bacia de origem	PV da sub-bacia 1 que recebe as vazões	Vazão lançada de início de plano (L/s)	Vazão lançada de fim de plano (L/s)
(2-4)	(1-3)	2	PV3	0.5275	1.0312
(3-4)	(1-6)	3	PV6	21.8782	38.8268

As sub-bacias 1 e 3 foram dimensionadas no UFC9 com todas as características relatadas (sem a rotina de redução de custos), mantendo-se os diâmetros do projeto original e, em seguida, foram gerados os quantitativos e custos. O número total de soluções factíveis e infactíveis é, para este caso, de 6^6 e 6^4 , ou seja, 46.656 e 1.296 para as sub-bacias 1 e 3, respectivamente. Utilizando-se o modelo, as soluções factíveis caem para 126 com a aplicação do filtro 1 e 69 com o filtro 2 aplicado (em ambos os casos), como pode ser constatado por meio das tabelas 4.42 e 4.43 e figuras 4.12 e 4.13.

Tabela 4.42: Número de soluções e percentuais para a rede real do estudo de caso 4 (sub-bacia 1)

Soluções	Número de soluções	Percentual em relação ao número total de soluções
Total (sem filtros)	46.656	-
Factíveis (filtro 1)	126	0,270%
Factíveis (filtro 2)	69	0,148%

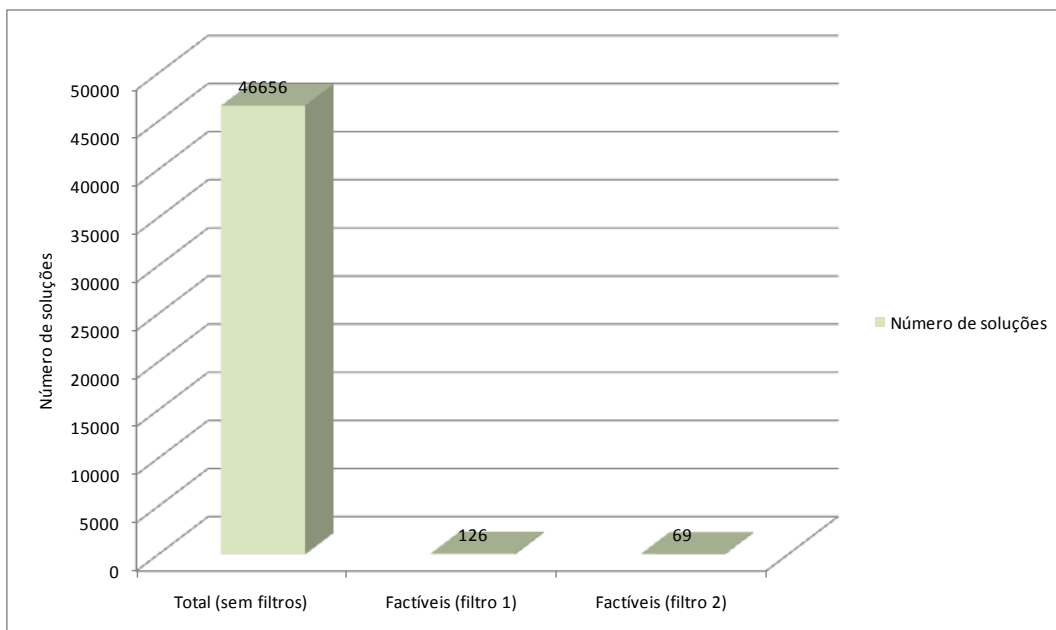


Figura 4.12: Número de soluções para a rede real do estudo de caso 4 (sub-bacia 1)

Tabela 4.43: Número de soluções para a rede real do estudo de caso 4 (sub-bacia 3)

Soluções	Número de soluções	Percentual em relação ao número total de soluções
Total (sem filtros)	1.296	-
Factíveis (filtro 1)	126	9,722%
Factíveis (filtro 2)	69	5,324%

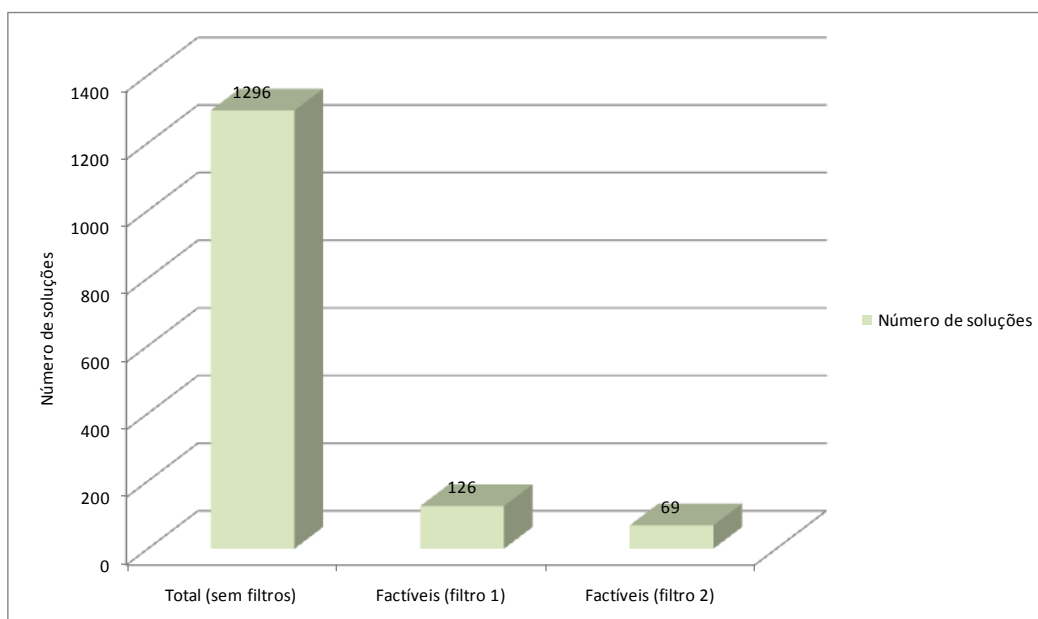


Figura 4.13: Número de soluções para a rede real do estudo de caso 4 (sub-bacia 3)

Na tabela 4.44 estão exibidos os custos das soluções inicial e final da sub-bacia 1. O valor sem a aplicação do modelo foi de R\$ 50.390,54 e, após a conclusão do modelo computacional, ficou em R\$ 49.303,76. Os custos foram reduzidos em 2,204% (figura 4.14).

Tabela 4.44: Valores e percentual de redução para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso

Solução	Valor (R\$)	Percentual de redução em relação à solução inicial
Inicial – sem aplicação do modelo	50.390,54	-
Ótima – com aplicação do modelo	49.303,76	2,204%

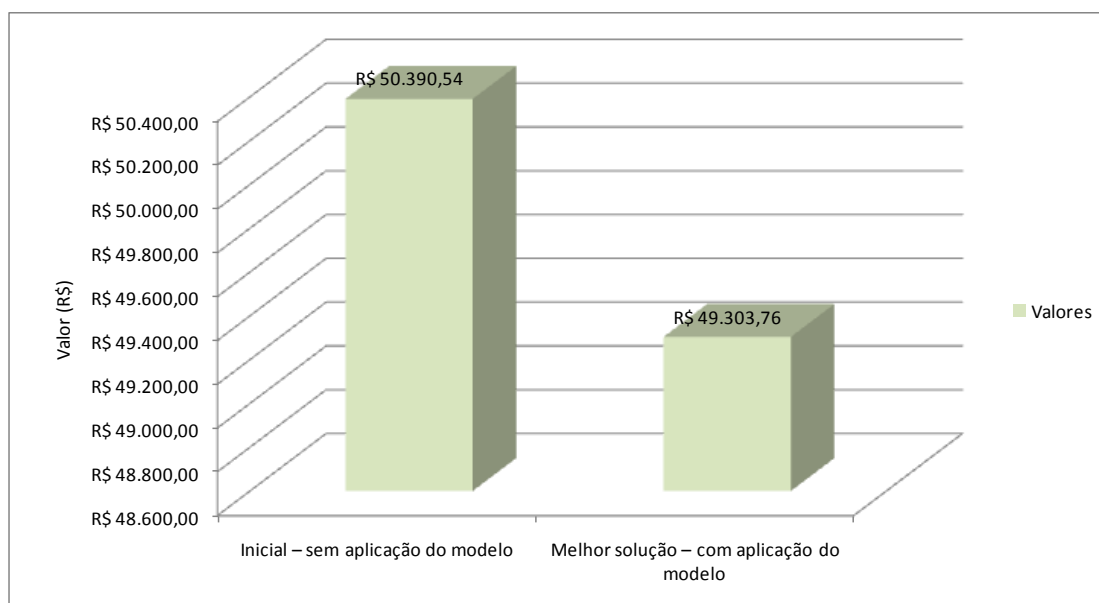


Figura 4.14: Custos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 4

Para a sub-bacia 3, os custos foram de R\$ 40.200,04 para R\$ 38.254,12, propiciando um percentual redutor de 5,087%, conforme a tabela 4.45 e figura 4.15.

Tabela 4.45: Valores e percentual de redução para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 4

Solução	Valor (R\$)	Percentual de redução em relação à solução inicial
Inicial – sem aplicação do modelo	40.200,04	-
Melhor solução – com aplicação do modelo	38.254,12	5,087%

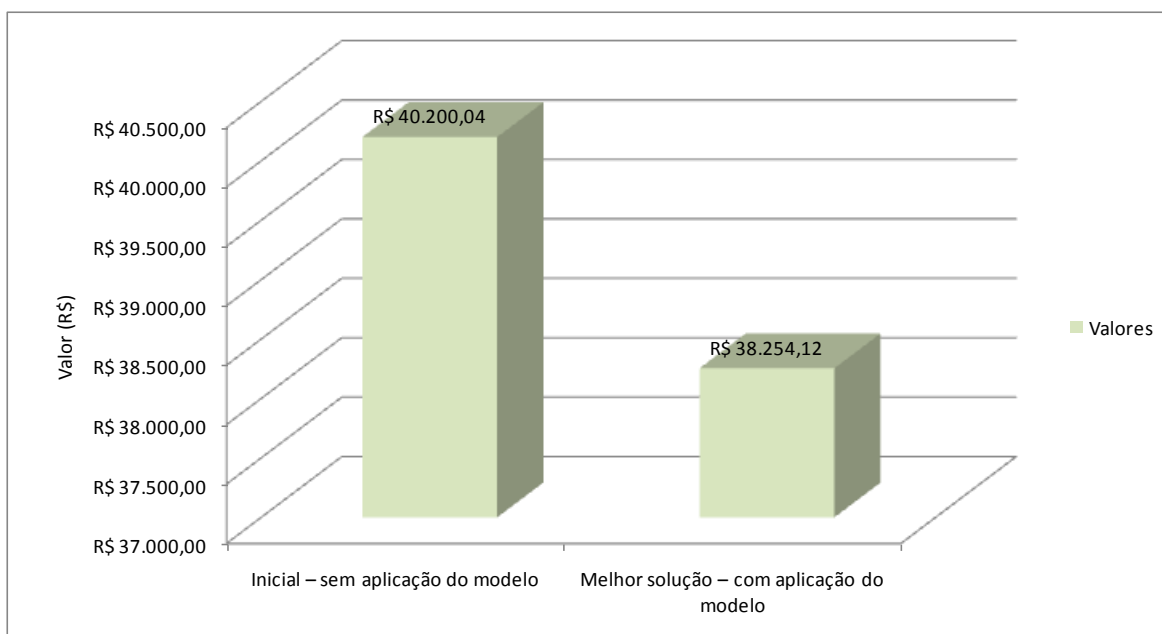


Figura 4.15: Custos para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 4

No cômputo geral, o algoritmo proporcionou uma redução discreta nos custos no que se refere à escolha do diâmetro ótimo dos coletores (tabela 4.46 e figura 4.16).

A ferramenta computacional, na sub-bacia 3, reduziu o diâmetro do último trecho (3-4) de 300 para 250 mm, onerando um pouco os custos com escavação e escoramento, entretanto, diminuindo os valores com o assentamento e aquisição das tubulações.

A mesma estratégia foi adotada para a sub-bacia 1, também no último coletor (1-6), acarretando características de compensação de valores semelhantes. Os serviços que sofreram mudanças em suas quantidades antes e após a aplicação do algoritmo estão detalhados nas tabelas 4.57 a 4.60.

Tabela 4.46: Valores e percentuais para toda rede real do estudo de caso 4

Solução	Valor (R\$)	Percentual de redução em relação à solução inicial
Inicial – sem aplicação do modelo	111.989,62	-
Ótima – com aplicação do modelo	108.956,92	2,78%

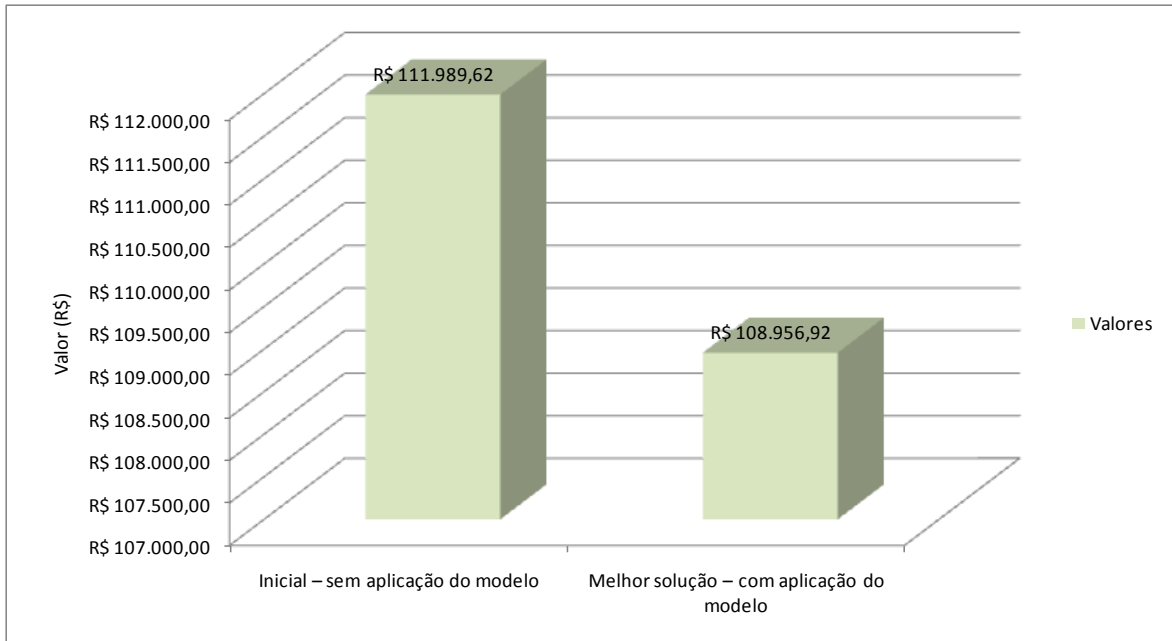


Figura 4.16: Custos totais para a rede real do estudo de caso 4

Tabela 4.47: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 2 do modelo para a rede real do estudo de caso 4

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(2-4)	PV9	Fim	56,2	326,826	327,022	325,776	325,535	1,05	1,487	150	0,00429	0	0	2,0647	4,1081	0,54	0,65	3,33	7,232	27	39	
(2-3)	PV14	PV9	41,7	329,445	326,826	328,395	325,776	1,05	1,05	150	0,06281	0	0	1,5764	3,1364	1,28	1,57	2,35	7,232	12	17	
(2-2)	PV8	PV14	48,2	332,625	329,445	331,575	328,395	1,05	1,05	150	0,06598	0	0	1,214	2,4154	1,28	1,48	2,21	7,347	12	15	
(2-1)	PV7	PV8	91,5	336,189	332,625	335,139	331,575	1,05	1,05	150	0,03895	0	0	0,7951	1,582	1,06	1,08	2,13	4,882	13	14	

Tabela 4.48: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 1 sem a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 4

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(1-6)	PV6	Fim	34,1	318,207	317,041	317,157	315,841	1,05	1,2	300	0,03859	23,2925	41,6554	27,4437	49,8934	2,21	2,62	4,34	14,099	23	31	
(1-5)	PV5	PV6	47,7	320,05	318,207	319	317,157	1,05	1,05	150	0,03864	0	0	3,9858	7,9107	1,42	1,73	3,03	7,487	22	31	
(1-4)	PV4	PV5	78,4	323,003	320,05	321,953	319	1,05	1,05	150	0,03767	0	0	3,7544	7,4527	1,38	1,68	3	7,15	21	30	
(1-3)	PV3	PV4	84,1	327,022	323,003	325,972	321,953	1,05	1,05	150	0,04779	2,0647	4,1081	3,3742	6,7001	1,46	1,78	2,86	8,213	19	27	
(1-2)	PV2	PV3	93,4	331,731	327,022	330,681	325,972	1,05	1,05	150	0,05042	0	0	0,9016	1,7846	1,17	1,23	2,13	5,965	13	14	
(1-1)	PV1	PV2	92,5	335,909	331,731	334,859	330,681	1,05	1,05	150	0,04517	0	0	0,4486	0,888	1,12	1,12	2,07	5,477	13	13	

Tabela 4.49: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 1 com a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 4

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(1-6)	PV6	Fim	34,1	318,207	317,041	317,101	315,891	1,106	1,15	250	0,03548	23,2925	41,6554	27,4437	49,8934	2,25	2,65	4,38	14,489	30	41	
(1-5)	PV5	PV6	47,7	320,05	318,207	319	317,157	1,05	1,05	150	0,03864	0	0	3,9858	7,9107	1,42	1,73	3,03	7,487	22	31	DG 0.056
(1-4)	PV4	PV5	78,4	323,003	320,05	321,953	319	1,05	1,05	150	0,03767	0	0	3,7544	7,4527	1,38	1,68	3	7,15	21	30	
(1-3)	PV3	PV4	84,1	327,022	323,003	325,972	321,953	1,05	1,05	150	0,04779	2,0647	4,1081	3,3742	6,7001	1,46	1,78	2,86	8,213	19	27	
(1-2)	PV2	PV3	93,4	331,731	327,022	330,681	325,972	1,05	1,05	150	0,05042	0	0	0,9016	1,7846	1,17	1,23	2,13	5,965	13	14	
(1-1)	PV1	PV2	92,5	335,909	331,731	334,859	330,681	1,05	1,05	150	0,04517	0	0	0,4486	0,888	1,12	1,12	2,07	5,477	13	13	

Tabela 4.50: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 3 sem a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 4

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(3-4)	PV13	Fim	68,1	317,331	318,207	316,147	315,791	1,184	2,416	300	0,00523	0	0	23,2925	41,6554	0,47	0,47	2,47	1	9	9	
(3-3)	PV12	PV13	67,4	319,447	317,331	318,347	316,231	1,1	1,1	200	0,03139	0	0	22,8165	40,7102	2,11	2,45	4,26	12,863	38	52	DG 0.084
(3-2)	PV11	PV12	78,2	320,598	319,447	319,498	318,347	1,1	1,1	200	0,01472	0	0	22,3454	39,7747	1,59	1,82	4,52	6,96	46	66	
(3-1)	PV10	PV11	82,8	321,517	320,598	320,417	319,498	1,1	1,1	200	0,0111	21,22	37,54	21,7988	38,6893	1,42	1,61	4,59	5,488	49	72	

Tabela 4.51: Resultados do dimensionamento da sub-bacia 3 com a aplicação do modelo para a rede real do estudo de caso 4

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
(3-4)	PV13	Fim	68,1	317,331	318,207	316,147	315,943	1,184	2,264	250	0,003	0	0	23,2925	41,6554	0,94	1,06	5,16	12,863	51	75	
(3-3)	PV12	PV13	67,4	319,447	317,331	318,347	316,231	1,1	1,1	200	0,03139	0	0	22,8165	40,7102	2,11	2,45	4,26	12,863	38	52	DG 0.084
(3-2)	PV11	PV12	78,2	320,598	319,447	319,498	318,347	1,1	1,1	200	0,01472	0	0	22,3454	39,7747	1,59	1,82	4,52	6,96	46	66	
(3-1)	PV10	PV11	82,8	321,517	320,598	320,417	319,498	1,1	1,1	200	0,0111	21,22	37,54	21,7988	38,6893	1,42	1,61	4,59	5,488	49	72	

Tabela 4.52: Custos para a sub-bacia 2 da rede real do estudo de caso 4

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	237,6	1,6	380,16
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	12	18,91	226,92
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	119	1,1	130,9
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	12	3,36	40,32
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8,09	8,09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	110,56	1,73	191,27
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	99,5	8,67	862,66
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	11,06	1,88	20,79
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	105	31,77	3335,85
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0,5 Km	m ³	105	2,45	257,25
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	213,84	2,05	438,37
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	213,84	8,8	1881,79
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	122,84	35,94	4414,87
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	11,88	20,85	247,7
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	8	21,33	170,64
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	4	721,95	2887,8
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	4	412,6	1650,4
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	237,6	1,76	418,18
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem (MEIO MAGNÉTICO)	m	237,6	0,9	213,84
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	252	14,37	3621,24
				TOTAL GERAL	21399,04

Tabela 4.53: Custos da sub-bacia 1 para a rede real do estudo de caso 4 sem a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	430,2	1,6	688,32
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	22	18,91	416,02
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	215	1,1	236,5
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	22	3,36	73,92
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8,09	8,09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	371,72	1,73	643,08
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	334,54	8,67	2900,46
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	37,17	1,88	69,88
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	277,98	31,77	8831,42
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0,5 Km	m ³	277,98	2,45	681,05
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	390,59	2,05	800,71
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	390,59	8,8	3437,19
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	408,92	35,94	14696,58
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	21,51	20,85	448,48
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	12	21,33	255,96
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	6	721,95	4331,7
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	6	412,6	2475,6
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	396,1	1,76	697,14
C0286	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 300mm	m	34,1	3,63	123,78
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem MEIO MAGNÉTICO)	m	430,2	0,9	387,18
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	420	14,37	6035,4
I6954	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	36	59,78	2152,08
				TOTAL GERAL	50390,54

Tabela 4.54: Custos da sub-bacia 1 para a rede real do estudo de caso 4 com a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	430,2	1,6	688,32
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	22	18,91	416,02
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	215	1,1	236,5
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	22	3,36	73,92
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8,09	8,09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	369,98	1,73	640,07
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	332,98	8,67	2886,94
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	37	1,88	69,56
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	270,76	31,77	8602,05
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0,5 Km	m ³	270,76	2,45	663,36
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	388,89	2,05	797,22
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	388,89	8,8	3422,23
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	409,03	35,94	14700,54
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	21,51	20,85	448,48
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	12	21,33	255,96
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	6	721,95	4331,7
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	6	412,6	2475,6
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	396,1	1,76	697,14
C0285	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 250mm	m	34,1	2,97	101,28
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem (MEIO MAGNÉTICO)	m	430,2	0,9	387,18
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	420	14,37	6035,4
I6953	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 250 (NBR-7362)	m	36	37,95	1366,2
				TOTAL GERAL	49303,76

Tabela 4.55: Custos da sub-bacia 3 para a rede real do estudo de caso 4 sem a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	296,5	1,60	474,40
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	15	18,91	283,65
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	148	1,10	162,80
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	15	3,36	50,40
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8,09	8,09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	281,54	1,73	487,06
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	10,07	1,99	20,04
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	260,43	8,67	2257,93
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	31,18	1,88	58,62
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0,5 Km	m ³	186,2	31,77	5915,57
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	186,2	2,45	456,19
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	273,66	2,05	561,00
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	314,26	35,94	11294,50
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	14,83	20,85	309,21
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	8	21,33	170,64
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	4	721,95	2887,80
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	4	412,60	1650,40
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	228,4	2,30	525,32
C0286	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 300mm	m	68,1	3,63	247,20
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem (MEIO MAGNÉTICO)	m	296,5	0,90	266,85
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	240	22,50	5400,00
I6954	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	72	59,78	4304,16
				TOTAL GERAL	40200,04

Tabela 4.56: Custos da sub-bacia 3 para a rede real do estudo de caso 4 com a aplicação do modelo

Cód. SEINFRA/CE	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
REDE COLETORA - SERVIÇO					
LOCAÇÃO					
C2876	Locação e nivelamento de rede de esgoto/emissário/drenagem	m	296,5	1,60	474,40
TRÂNSITO E SEGURANÇA					
C2892	Passadiços com pranchas em madeira	m ²	15	18,91	283,65
C2949	Sinalização de trânsito noturna	m	148	1,10	162,80
C2950	Sinalização em tapume com indicativo de fluxo	m	15	3,36	50,40
C2947	Sinalização de advertência	un.	1	8,09	8,09
MOVIMENTO DE TERRA					
C1267	Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	276,85	1,73	478,95
C2920	Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	10,38	1,99	20,66
C0710	Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	256,43	8,67	2223,25
C0328	Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	30,8	1,88	57,90
C2529	Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0,5 Km	m ³	178,9	31,77	5683,65
C3319	Nivelamento de fundo de valas	m ²	178,9	2,45	438,31
C0095	Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	270,26	2,05	554,03
ESCORAMENTO					
C1272	Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	314,27	35,94	11294,86
ESGOTAMENTO/REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO					
C2923	Rebaixamento de lençol freático em valas	m	14,83	20,85	309,21
C2922	Rebaixamento de lençol freático em áreas (poços de visita)	PT x dia	8	21,33	170,64
POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)					
C2908	Poço de visita com anéis de concreto, profundidade até 1,50m, D=1000mm	un.	4	721,95	2887,80
C2310	Tampão de ferro fundido p/ poço de visita de DIAM = 1 m	m	4	412,60	1650,40
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE					
C0283	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	228,4	2,30	525,32
C0285	Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 250mm	m	68,1	2,97	202,26
CADASTRO					
C0584	Cadastro de rede de esgoto /emissário/drenagem (MEIO MAGNÉTICO)	m	296,5	0,90	266,85
REDE COLETORA - MATERIAL					
FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO					
I6951	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	240	22,50	5400,00
I6953	Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 250 (NBR-7362)	m	72	37,95	2732,40
				TOTAL GERAL	38254,12

Tabela 4.57: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 4 sem a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	371,72	1,73	643,08
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	334,54	8,67	2900,46
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	37,17	1,88	69,88
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	277,98	31,77	8831,42
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	277,98	2,45	681,05
Nivelamento de fundo de valas	m ²	390,59	2,05	800,71
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	390,59	8,80	3437,19
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	408,92	35,94	14696,58
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	396,1	1,76	697,14
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 300mm	m	34,1	3,63	123,78
REDE COLETORA - MATERIAL FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	420	14,37	6035,40
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	36	59,78	2152,08
TOTAL GERAL				41.068,77

Tabela 4.58: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 1 da rede real do estudo de caso 4 com a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	369,98	1,73	640,07
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	332,98	8,67	2886,94
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	37	1,88	69,56
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	270,76	31,77	8602,05
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	270,76	2,45	663,36
Nivelamento de fundo de valas	m ²	388,89	2,05	797,22
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	388,89	8,80	3422,23
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	409,03	35,94	14700,54
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	396,1	1,76	697,14
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 250mm	m	34,1	2,97	101,28
REDE COLETORA - MATERIAL FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 150 (NBR-7362)	m	420	14,37	6035,4
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 250 (NBR-7362)	m	36	37,95	1366,2
TOTAL GERAL				39.981,99

Tabela 4.59: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 4 sem a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	281,54	1,73	487,06
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	10,07	1,99	20,04
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	260,43	8,67	2257,93
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	31,18	1,88	58,62
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	186,2	31,77	5915,57
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	186,2	2,45	456,19
Nivelamento de fundo de valas	m ²	273,66	2,05	561
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	273,66	8,80	2408,21
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	314,26	35,94	11294,5
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	228,4	2,3	525,32
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 300mm	m	68,1	3,63	247,2
REDE COLETORA - MATERIAL FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	240	22,5	5400
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 300 (NBR-7362)	m	72	59,78	4304,16
TOTAL GERAL				33.935,80

Tabela 4.60: Serviços passíveis de modificação de quantitativos para a sub-bacia 3 da rede real do estudo de caso 4 com a aplicação do modelo

Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
MOVIMENTO DE TERRA				
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha até 2m	m ³	276,85	1,73	478,95
Escavação mecânica campo aberto em terra exceto rocha de 2 a 4m	m ³	10,38	1,99	20,66
Reaterro c/ compactação mecânica e controle, material da vala	m ³	256,43	8,67	2223,25
Carga mecanizada de terra em caminhão basculante	m ³	30,8	1,88	57,9
Aterro com compactação mecânica, com controle - material de aquisição	m ³	178,9	31,77	5683,65
Transporte de material, exceto rocha em caminhão até 0.5 Km	m ³	178,9	2,45	438,31
Nivelamento de fundo de valas	m ²	270,26	2,05	554,03
Apiloamento de piso ou fundo de valas c/ maço de 30 a 60 kg	m ²	270,26	8,80	2378,29
ESCORAMENTO				
Escoramento comum de valas tipo contínuo com pranchas peroba	m ²	314,27	35,94	11294,86
ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 150mm	m	2,3	525,32	2,3
Assentamento de tubos e conexões em PVC, JE DN 250mm	m	2,97	202,26	2,97
REDE COLETORA - MATERIAL FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO				
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 200 (NBR-7362)	m	240	22,5	5400
Tubo PVC rígido OCRE JEI DN 250 (NBR-7362)	m	72	59,78	4304,16
TOTAL GERAL				32.839,33

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.4.1. Aspectos Computacionais

Os algoritmos de busca tradicionalmente são utilizados para encontrar uma sequência de ações que, partindo de um estado inicial, levem a uma determinada configuração almejada. Desta forma, estes algoritmos suscitam novos estados, a partir da aplicação de operadores no estado corrente, até que seja alcançada a solução. Portanto, dado um problema, devem-se definir seus estados inicial e final, além dos operadores que serão aplicados para gerar novos estados.

Comumente, estes algoritmos são avaliados de acordo com a completude, ou seja, se conseguem chegar a uma solução e a otimalidade, que diz respeito a encontrar a solução ótima e complexidades de tempo e de espaço.

A grande demanda computacional consiste no maior problema encontrado por estes algoritmos, já que estes percorrem todo o espaço de busca possível. No entanto, a análise de todas as soluções possíveis garante a ótima global.

Uma das estratégias adotadas como meio para minimizar o tempo computacional foi a de filtrar as soluções e armazenar apenas aquelas que são hidraulicamente factíveis e, por conseguinte, calcular os quantitativos e custos destas últimas.

A outra estratégia estipulada foi a de subdividir as redes, ou seja, diminuir o número de trechos da rede para acelerar os cálculos hidráulicos e de quantitativos. Se no estudo de caso 3 a rede fosse avaliada plenamente (mesmo arbitrando o diâmetro mínimo de 150 mm), seriam 6^{23} , ou seja, 789.730.223.053.603.000 de soluções totais, o que, na atualidade, tornaria inviável computacionalmente tal procedimento ser realizado em um computador comum. Caso tal busca fosse efetuada, esta demanda ultrapassaria centenas de anos.

O dimensionamento hidráulico de redes coletoras de esgoto é demasiadamente restritivo, o que levou ao estudo de um modelo que não empregasse técnicas de otimização que utilizassem penalidades ou não obtivessem resultados comprovados ou amplamente detalhados para esta situação.

A aplicação dos filtros para o armazenamento somente das soluções factíveis acelera os cálculos das ferramentas computacionais, pois reduz de maneira drástica o número de soluções a serem avaliadas, como se pode constatar na tabela 4.61 e figura 4.16 para todos os estudos de caso deste trabalho.

Tabela 4.61: Número e percentuais de soluções obtidos para todos os estudos de caso

Descrição	Soluções totais	Soluções factíveis (filtro 1)	Soluções factíveis (filtro 2)	Percentual de soluções com a aplicação dos 2 filtros em relação à total
Rede Hipotética 1	46.656	462	461	0,99%
Rede Hipotética 2	1.679.616	20.892	15.246	0,91%
Rede Real 1 (sub-bacia 1)	1.679.616	1.287	1.286	0,08%
Rede Real 2 (sub-bacia 1)	46.656	126	69	0,15%
Rede Real 2 (sub-bacia 3)	1.296	126	69	5,32%

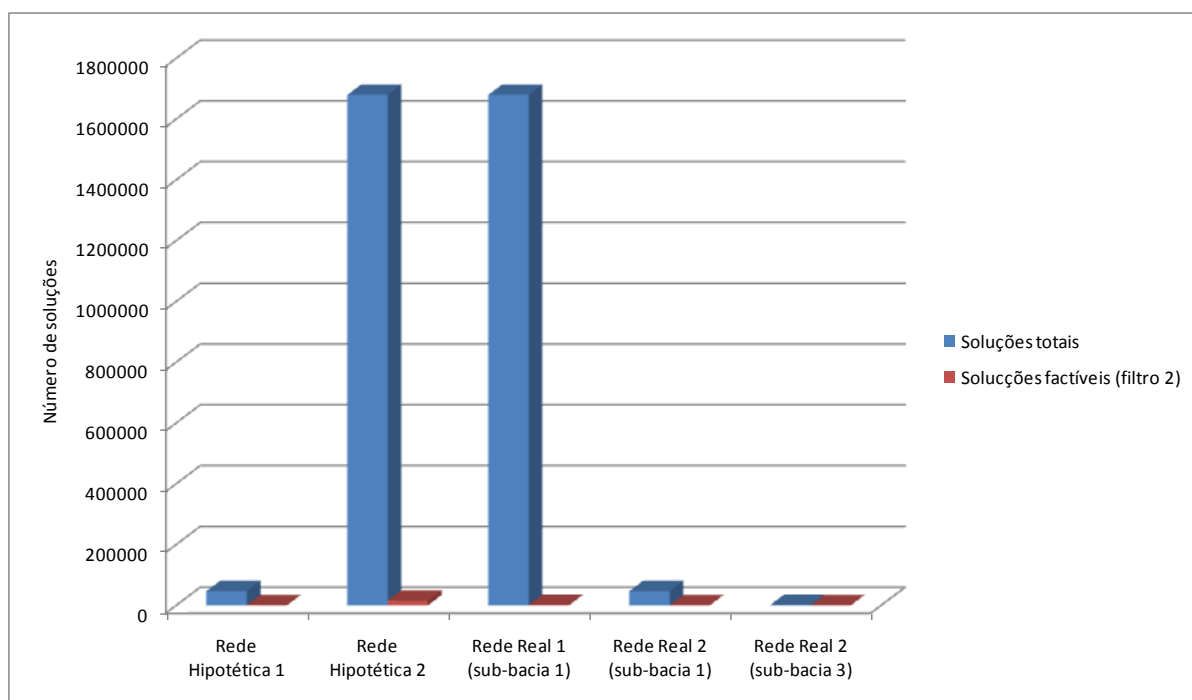


Figura 4.17: Números de soluções obtidos para as sub-bacias modificadas pelo modelo de todos os estudos de caso

4.4.2. Aspectos Hidráulicos e Econômicos

Dentre os estudos de caso, o primeiro apresenta o menor número de trechos e, conseqüentemente, diminuto espaço de busca. Utilizou-se uma rede hipotética não ramificada, com altos valores de vazões concentradas e com os trechos dispostos de acordo com a declividade natural do terreno.

O questionamento consistiu em determinar se é mais vantajoso forçar o coletor a jusante – aumentando a declividade e profundidade e, por conseguinte, os custos com escavação e escoramento – ou aumentar o diâmetro.

Pelos resultados obtidos no estudo de caso 1, verificou-se que o algoritmo impôs o aumento do diâmetro, resultando em diminuição brusca de profundidade. Esta mudança acarretou escavações em profundidades inferiores a 2 metros e diminuição da área de escoramento, barateando os custos finais.

No segundo estudo de caso, as regiões factíveis são maiores quando comparadas ao primeiro, pois existem dois trechos a mais. Optou-se por uma rede hipotética ramificada, além de vazões concentradas. Propositadamente, alguns trechos foram impostos contra a declividade natural para que o modelo avaliasse a diferença de quantitativos e custos entre aprofundar os coletores para não aumentar o diâmetro. Os resultados obtidos nesta ocorrência também foram positivos, pois a FARC reduziu o diâmetro de um trecho e aumentou o de outro, como forma de atenuar os custos.

Como forma de avaliar a aplicação para redes reais, foi utilizada uma bacia da cidade de Rio Tinto/PB para o estudo de caso 3. Esta rede é composta de 23 trechos, possui 1.721,50 m de extensão total e é, quase em sua totalidade, a favor da declividade natural do terreno, porém possui trechos que recebem vazões pontuais oriundas de outras bacias. Neste caso, segmentou-se a rede em 5 sub-bacias, sendo que apenas a primeira sub-bacia tornou-se passível de redução de custos. O algoritmo aumentou os diâmetros de trechos, o que resultou na diminuição de profundidade. Esta configuração de diâmetros da sub-bacia 1 eliminou escavações em profundidades superiores a 4 metros e reduziu a área de escoramento.

No último caso, utilizou-se outra rede real de menor porte que a anterior (composta de 14 trechos e com 964,30 m de extensão). Os coletores finais possuem vazões de alto valor, pois recebem vazões concentradas de outra bacia.

A rede foi segregada em três sub-bacias e, diferentemente do estudo de caso anterior, duas sub-bacias (1 e 3) apresentaram melhores resultados com o modelo. Nas sub-bacias 1 e 3, o algoritmo reduziu o diâmetro do último coletor, onerando pouco os custos com escavação e escoramento, entretanto, diminuindo os valores com o assentamento e aquisição das tubulações.

Um resumo dos percentuais e valores reduzidos pela FARC está exibido na tabela 4.62 e figura 4.18. Na tabela 4.63 detalham-se as diferentes estratégias utilizadas pelo algoritmo, em relação ao dimensionamento original, e suas respectivas consequências econômicas.

Tabela 4.62: Valores e percentuais de redução obtidos para todos os estudos de caso

Descrição	Valor sem a aplicação do modelo (R\$)	Valor com a aplicação do modelo (R\$)	Percentual de redução em relação à solução inicial
Rede Hipotética 1	27.195,20	22.892,58	18,79%
Rede Hipotética 2	51.292,41	49.388,92	3,85%
Rede Real 1 (sub-bacia 1)	70.751,09	61.316,44	15,39%
Rede Real 2 (sub-bacia 1)	50.390,54	49.303,76	2,20%
Rede Real 2 (sub-bacia 3)	40.200,04	38.254,12	5,09%

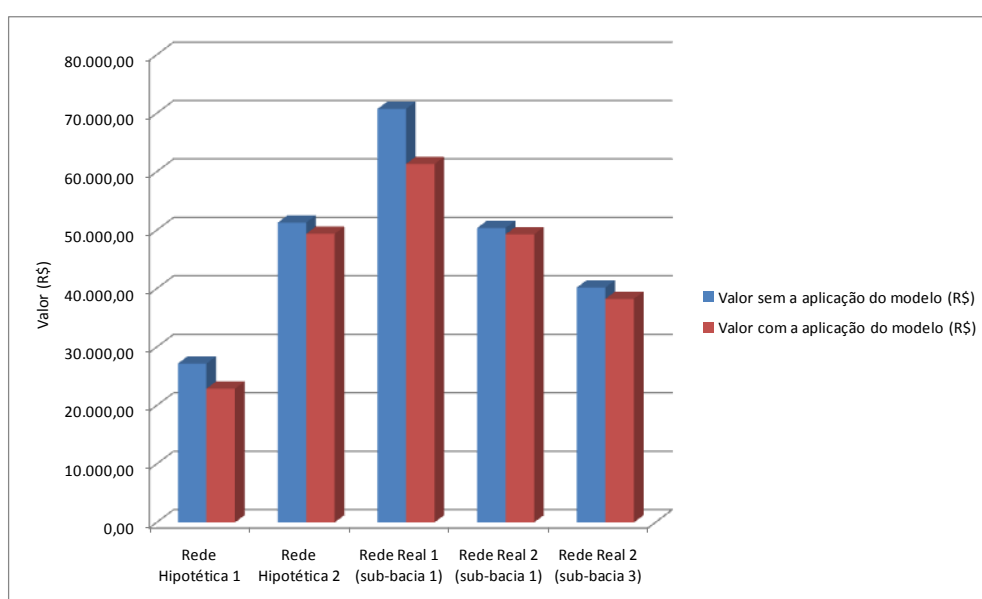


Figura 4.18: Valores obtidos para as sub-bacias modificadas pelo modelo dos estudos de caso

Tabela 4.63: Estratégias adotadas pelo modelo em relação ao projeto original e suas respectivas consequências econômicas para todos os estudos de caso

Descrição	Estratégia adotada	Consequências econômicas
Rede Hipotética 1	Aumento do diâmetro do trecho (1-5) de 150 para 200 mm	Diminuição brusca de volume de escavação em profundidades inferiores a 2 metros e diminuição da área de escoramento
Rede Hipotética 2	Redução do diâmetro do trecho (1-4) de 300 para 200 mm e aumento do (3-1) de 150 para 200 mm	Redução do volume de escavação e área de escoramento
Rede Real 1 (sub-bacia 1)	Aumento dos diâmetros dos trechos (1-6) e (1-7) de 150 para 200 mm (coletores finais da rede)	Eliminação do volume de escavações em profundidades superiores a 4 metros e redução do volume de escavação em profundidades inferiores a 2 metros e área de escoramento
Rede Real 2 (sub-bacia 1)	Redução do diâmetro do ultimo trecho da rede (1-6) de 300 para 250 mm	Aumento discreto dos custos com escavação e escoramento. Redução dos valores com o assentamento e aquisição das tubulações
Rede Real 2 (sub-bacia 3)	Redução do diâmetro do ultimo trecho da rede (3-4) de 300 para 250 mm	Aumento discreto dos custos com escavação e escoramento. Redução dos valores com o assentamento e aquisição das tubulações

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

Como relatado em itens anteriores, a maioria dos programas de geração de quantitativos pode ser considerada como do tipo “caixa preta” devido à ausência de informações sobre as técnicas utilizadas. Neste trabalho, apresentou-se um aplicativo para geração de quantitativos e custos, detalhando-se todos os passos utilizados, bem como as opções que podem ser modificadas pelos tomadores de decisão. Este aplicativo serviu como base para o modelo computacional tema da pesquisa, o qual visa analisar redes coletoras de esgoto sanitário, realizando uma busca completa pela solução de menor custo.

As redes hipotéticas foram balizadores para a validação do modelo, pois se utilizaram configurações distintas que comumente são encontradas em projetos reais. As redes reais foram repassadas na íntegra ao UFC9 mantendo-se os diâmetros calculados nos projetos originais. Em seguida, realizaram-se as comparações dos resultados do dimensionamento e custos do modelo com os custos do dimensionamento dos projetos originais. As principais conclusões são descritas a seguir.

Em princípio, deparou-se com o fato de que redes superiores a nove trechos exigiriam uma alta velocidade computacional pelo fato de o algoritmo, primeiramente, percorrer todas as soluções possíveis. Como solução, dividiram-se as redes reais em sub-bacias ou sub-redes, o que não compromete os resultados finais, pois o coletor tronco foi dimensionado a partir dos resultados das sub-bacias contribuintes. Com tal implicação, as quatro redes foram dimensionadas no UFC9 e, em seguida, utilizou-se a ferramenta computacional e analisou-se sua eficácia.

Pode-se afirmar que, de acordo com as comparações realizadas, os resultados dos quatro cenários apresentados comprovam a eficácia da FARC, pois houve redução de custos em todos os estudos de caso e, ainda, com o emprego de diferentes estratégias para culminar no objetivo final.

Um ponto que se deve frisar em relação à pesquisa foi agregar duas redes reais – de projetos executivos de sistemas de esgotamento sanitário – como prova da viabilidade técnica resultante do modelo, pois este último reduziu os custos para ambos os casos.

Outra característica que o modelo propicia é a quantificação dos volumes de escavação que se aproxima da topografia real do terreno, segundo explanado no item 3.3.4.

Vale ressaltar que, mesmo com um maior tempo que uma rede de grande porte pode acarretar com a utilização da ferramenta computacional, tal procedimento ainda é válido, pois se tem a garantia da solução ótima global do sistema em questão. Ademais, pode-se trabalhar (partindo-se de uma variação do código fonte do programa) com diversos computadores concomitantemente.

Com o acelerado aumento da capacidade dos processadores dos computadores, em alguns anos não será mais necessária a utilização de técnicas de otimização, pois em determinados casos poder-se-á percorrer todo o espaço de busca para a obtenção da melhor solução.

Em suma, a racionalização de cálculos e custos presentes no modelo deste trabalho faz com que a ferramenta seja prática e útil.

5.2. RECOMENDAÇÕES

Embora o modelo possua todas as características para a redução de custos em uma rede coletora de esgotos, algumas sugestões relevantes, com o intuito de expandir a aplicabilidade e o conhecimento do trabalho desenvolvido:

- Possibilidade de inserção de outros materiais de tubulação além do PVC;
- Atualização automática dos preços via *internet*;
- Implantação de uma programação com processo paralelo, para que diversas instruções sejam processadas simultaneamente;
- A partir do primeiro dimensionamento, verificar a possibilidade de o algoritmo distinguir automaticamente diâmetros que certamente iriam onerar os custos e, assim, eliminá-los, ou seja, não seria compensatória a utilização de tais diâmetros – o que tornaria o processamento mais veloz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-9649 – *Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-12266 – *Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ALEM SOBRINHO, P. TSUTIYA, M. T. Universidade de São Paulo. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. 2ª. ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária, 2000. 547p.
- ANTUNES JÚNIOR, J.A.V. *Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero*. Doutorado em Administração. Escola de Administração/Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 1998.
- ARGAMAN, Y.; SHAMIR, U.; SPIVAK, E. *Design of optimal sewerage systems*. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, v.99, n.5, p.703-716, Out., 1973.
- ARMSTRONG JÚNIOR, N. B. *Proposta e implementação de um algoritmo paralelo de busca exaustiva para o problema do dobramento de proteínas com um modelo discreto*. Dissertação de mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2008. 166 p.
- BAETA, F.C.; SARTOR, V. *Custos de construções*. 2ª. ed. Vicosa: Ed. UFV, 1999. v. 1. 100 p.
- BRAGA, F. S., 1982. *Otimização de custos aplicada ao processo de dimensionamento de redes de esgotos sanitários*. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 250p.

- BRASIL. Secretaria Segurança e Saúde no Trabalho. *Portaria n° 04, de 04 de julho de 1995*. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 7 jul. 1995 (Seção I – págs. 10.066 a 10.077).
- BRASIL. Programa de Modernização do Setor Saneamento (Brasil). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Visão Geral da Prestação dos Serviços de Água e Esgotos - 2002: (Um Extrato do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos)*. BRASÍLIA: PMSS/SNIS, 2004. 93 p.
- BRASIL. Lei n°. 9503, 23 de setembro de 1997. Disponível em <<http://www.lei.adv.br/9503-97.htm>>. Acesso em 17 jun. 2009.
- CANADY, T. *Microsoft Visual Basic 6.0 Expert sem limites*. São Paulo: Editora Berkeley, 2000. 474 p.
- CHARALAMBOUS, C.; ELIMAM, A. A. *Heuristic design of sewer networks*. Journal Environmental Engineering, ASCE, v.116, n.6, p.1181-1199, Nov./Dec., 1990.
- COLOSSI, N. *Modelos Paramétricos de Custos para Projetos de Sistemas de Esgoto Sanitário*. 2002. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.
- COSTA, L. H. M. *Utilização de um algoritmo genético híbrido na operação de sistemas de abastecimento de água com ênfase na eficiência energética*. 146 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- CRESPO, P. G. *Sistema de Esgotos*. Belo Horizonte: Editora Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 131p.
- CYNAMON, S. E. *Sistema não convencional de esgoto sanitário a custo reduzido*. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, 1986. 52 p.
- DAJANI, J. S. *Network evaluation of wastewater collection economics*. Tese de doutorado (PhD) - North Western University, Evanston, Illinois, 1971.

- DAJANI, J. S.; GEMMEL, R.S.; MORLOK, E.K. *Optimal design of urban wastewater collection networks*. Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, v.98, n.6, p.853-867, Dec., 1972.
- DAJANI, J. S.; HASIT, Y. *Capital cost minimization of drainage networks*. Journal of environmental engineering division, ASCE, v.100, n.2, p.325-337, Abr., 1974.
- DEININGER, R. A. *Computer Aided Design of Waste Collection and Treatment Systems*. University of Chicago. Chicago: Proceedings of the 2nd. Annual American Water Resources Conference, 1966.
- DESHER, D. P.; DAVIS, P. K. *Designing sanitary sewers with microcomputers*. Journal Environmental Engineering, ASCE, v.112, n.6, p.993-1007, Dez., 1986.
- FULLER, J. L.; ARMSTRONG, N. *How to analyze and estimate cost*. In: JOINT ISPA/SCEA INTERNATIONAL CONFERENCE. San Antonio: ISPA, 1999.
- GAMEIRO, L. F. S. *Dimensionamento otimizado de redes de esgotos sanitários com a utilização de algoritmos genéticos*. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2003.
- GAMEIRO, L. F. S.; SOUZA, R. S.; POLIZER, M.; STEFFEN, J. L. *Dimensionamento otimizado de redes de esgotos sanitários com a utilização de algoritmos genéticos*. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. Anais... Campo Grande: ABES, 2005.
- GEN, M.; CHENG, R. *Genetic Algorithms and Engineering Design*. New York, John Wiley & Sons, INC, 1997.
- GOLDBARG, M.C.; LUNA, H.P.L. *Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos*. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Departamento Elsevier, 2005. 618p.
- GUPTA, J. M. et al. *Optimal Design of Wastewater Collection Systems*. Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, v.102, EES, p.1029-1041, Out. 1976.

- GUPTA, A.; MEHNDIRATTA, S. L.; KHANNA, P. *Gravity wastewater collection systems optimization*. Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, v.109,n.5,p.1195-1209, Out., 1983.
- HAITH, D. *Vertical Alignment of Sewers and Drainage Systems by Dynamic Programming*. Master's Thesis. Massachusetts: Institute of Technology, 1966.
- HOLLAND, M. E. *Computer model of wastewater collection systems*. Harvard, Water Resources Group. Cambridge: Harvard University, 1966.
- JONES, N.; PEVZNER, P. *An Introduction to Bioinformatics Algorithms*, 1st ed. Cambridge: MIT Press, 2004.
- KLIEMANN NETO, F. J., *Custos Industriais – Apostila de Custos Industriais*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 1986.
- KULKARNI, V. S.; KHANNA, P. *Pumped wastewater collection systems optimization*. Journal Environmental Engineering, ASCE, v.111, n.5, p.589-601, Oct. 1985.
- LIEBMAN, J. C. *A heuristic aid for the design of sewer networks*. Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, v.93, n.4, p.81-90, Ago., 1967.
- MAGALHÃES, C. A. G. *Dimensionamento dos sistemas de esgotos sanitários de grande porte via redução de custos*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995. 195p.
- MAYS, L. W.; YEN, B. C. *Optimal design of branched sewer system*. Water Resources Research, Urbana, Illinois, v.11, n.1, p.37-47, Fev., 1975.
- MENDONÇA, S. R. *Tópicos Avançados em Esgotos Sanitários*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; Companhia de água e esgotos da Paraíba. Rio de Janeiro: ABES, 1987. 259 p.
- MERRIT, L. B.; BOGAN, R. H. *Computer – based optimal design of sewers systems*. Journal of the Environmental Engineering Division, v.99, n.1, p.35-53, Fev., 1973.

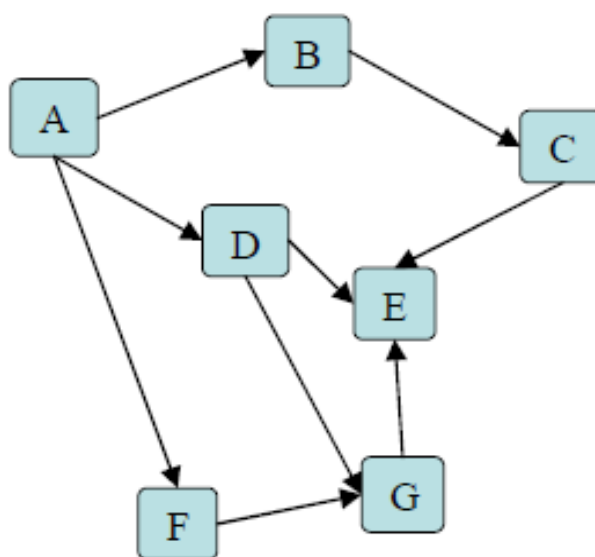
- NUVOLARI, A. *A construção das redes de esgoto sanitário*. In: NUVOLARI, A. (coord.); Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Fundação de apoio à tecnologia; Centro Paula Souza. *Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola*. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 520 p. Capítulo 6.
- OLIVEIRA NETO, R. A. C. *Otimização de redes de distribuição de água usando programação não linear*. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Ceará, 2004. 162 p.
- PEREIRA, D. J .F.; CÂMARA, A. S. *Tridimensional optimization of sewage and stormwater networks*. In: IFAC Conference on systems analysis applied to water and related land resources, Lisbon, 1985. Proceedings. Edited by L. Valadares Tavares and J Evaristo da Silva. Oxford, Pergamon, 1986, p.97-102. (IFAC Proceedings Series, 4)
- PEREIRA, J. A. R.; SOARES, J. M. *Rede coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação*. Belém: NUMA/UFPA, 2006. 296 p.
- RODRIGUES, G. P. W. *Computação gráfica e modelagem computacional aplicadas ao traçado e dimensionamento hidráulico de redes coletoras de esgoto sanitário*. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Ceará, 2006. 165 p.
- RODRIGUES, G. P. W. *Métodos construtivos de redes de esgoto*. In: Marco Aurélio Holanda de Castro. (Org.). *Projeto e construção de sistemas de esgotamento sanitário*. 1 ed. Salvador: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2008, v. 1, p. 141-158.
- SANTOS, M. T. S.; MOCCELLIN, J. V. *Método heurístico para programação de projetos baseado em critérios gerenciais de empresas construtoras*. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR19_0673.pdf> Acesso em: 05 nov. 2009.
- SEINFRA. Secretaria da Infraestrutura. *Tabela de Custos Unificada SEINFRA - Preços de Insumos - Versão 016 Fortaleza, 2009*. Disponível em: <<http://www.seinfra.ce.gov.br/index.php/downloads/category/2-tabela-de-custos-unificada>>. Acesso em: 26 jul. 2009.

- SILVA, S. A. R. *Métodos de programação de empreendimentos: avaliação e critérios para seleção*. São Paulo. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.
- TAHA, H. A. *Operations research: an introduction*. 6a. ed. Editora Prentice-Hall, 1998. 909 p.
- VELON, J. P. *Sewer cost – estimation model: an application*. Dissertação de mestrado (MSc) North Western University, Evanston, Illinois, 1971.
- WALSH, S.; BROWN, L.C. *Least cost method for sewer design*. Journal of the Environmental Engineer Division, ASCE, v.99, n.3, p.333-345, Jun., 1973.
- WU, Y. Z.; SIMPSON, A. R. *Competent Genetic-Evolutionary Optimization of Water Distribution Systems*. Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 15, Nº 2, p.89-101, 2001.

ANEXOS

ANEXO I – EXEMPLIFICAÇÃO DO CONCEITO DO ALGORITMO DE BUSCA EXAUSTIVA

Um exemplo citado por Armstrong Júnior (2008) é apresentado na figura I.1. Esta ilustração representa um mapa geográfico hipotético, com cidades indicadas pelas letras de A a G e as setas são as estradas que interligam as cidades. O sentido das setas representa o sentido possível de se trafegar nessas estradas.



Fonte: Armstrong Júnior (2008)

Figura I.1: Exemplo de representação da interligação de cidades hipotéticas

O melhor caminho entre as cidades A e E é o problema a ser resolvido para este exemplo. Existem diversos cenários ou candidatos à solução que podem ser elaborados. A solução ótima torna-se relativa, pois deve ser definido o conceito para a obtenção da solução do problema.

Para a avaliação do exemplo, Armstrong Júnior (2008) propôs que a melhor solução seria a que passasse por menos cidades. Logo, puderam ser definidos os panoramas possíveis que representassem todas as soluções, ou seja, todas as possibilidades de trajetos da cidade A até E (tabela I.1). Nesta tabela, constam as soluções obtidas e o número de cidades existentes em cada trajeto, parâmetro este que indica o sucesso do cenário candidato.

Tabela I.1: Levantamento dos possíveis cenários para a solução do exemplo

Caminho (cenário)	Trajeto	Número de cidades
1	A – B – C – E	4
2	A – D – E	3
3	A – D – G – E	4
4	A – F – G – E	4

Fonte: Armstrong Júnior (2008)

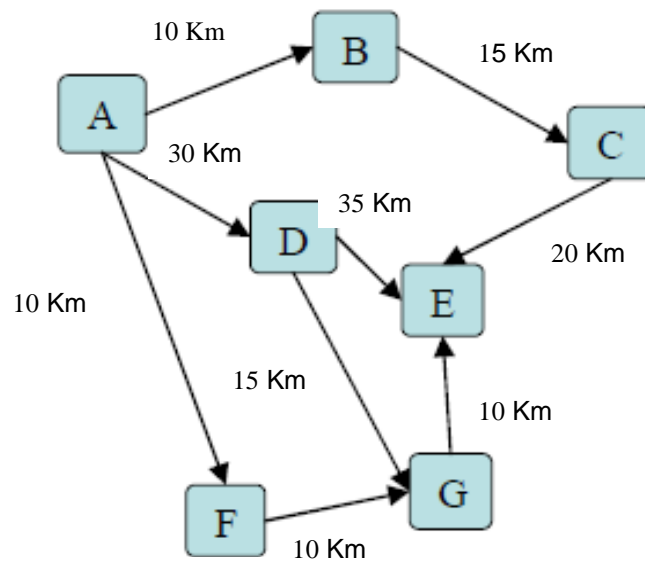
A busca exaustiva tem por objetivo analisar absolutamente todos os cenários possíveis e, com isso, ser capaz de afirmar se existe solução para o problema e, se sim, determiná-la. Para tanto, há a necessidade de análise de todos os estados possíveis, por meio de uma função em geral simples, como a lista apontada na tabela I.1.

O exemplo descrito é simples, pois conta com sete estados e quatro potenciais soluções. Esse tipo de análise é realizado quando se tem pouca informação sobre o problema. Em geral, sabe-se apenas a modelagem e o objetivo do problema que, para este caso, seriam o mapa e o conceito do melhor caminho, respectivamente.

Para que se atinja o conjunto total de respostas, faz-se necessário analisar todos os estados possíveis do problema, relacionando todas as potenciais soluções, sendo este o único meio de afirmar que o algoritmo obteve a solução ótima global.

Segundo Jones e Pevzner (2004), a vantagem direta desse método é que com poucos caminhos é possível chegar a absolutamente todas as respostas. A desvantagem é que, em grande parte dos casos, torna a sua utilização proibitiva, ou seja, a demanda de custo computacional pode ser extremamente ampla, pois, geralmente, o tempo para se percorrer todos os estados interconectados aumenta em uma taxa superior ao aumento do tamanho do problema.

Em adição ao exemplo anterior, estipularam-se distâncias entre as cidades, como ilustra a figura I.2.



Fonte: Adaptado de Armstrong Júnior (2008)

Figura I.2: Exemplo de representação da interligação de cidades hipotéticas com as respectivas distâncias

Realizando uma busca em largura partindo da cidade A (nó pai) até a cidade E (alvo), novamente depara-se com 4 trajetos admissíveis. O objetivo é percorrer o trajeto com a menor distância possível.

Tabela I.2: Levantamento dos possíveis cenários para a solução do exemplo com as respectivas distâncias percorridas

Caminho (cenário)	Trajeto	Número de cidades	Distância total percorrida no trajeto (Km)
1	A – B – C – E	4	45
2	A – D – E	3	65
3	A – D – G – E	4	55
4	A – F – G – E	4	30

Fonte: Adaptado de Armstrong Júnior (2008)

Desta vez, a melhor solução (ou solução ótima) não é a que passa por menos cidades e, sim, a que tem a menor distância entre as cidades (cenário 4).

Caso o exemplo citado possuísse 1.000 estados, com milhares de caminhos entre si, possivelmente a busca exaustiva não seria utilizada por requerer um tempo inatingível para o caso.

ANEXO II.1 – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO ASSENTAMENTO TIPO NORMAL DA TUBULAÇÃO

Conforme explanado no item 3.3.12, a quantificação do assentamento é dada pela extensão total de cada diâmetro das tubulações pertencentes à rede, ou seja, segundo a fórmula II.1.

$$A_{\text{DIAM}} = L_{\text{TOTALDIAM}} \quad [\text{II.1}]$$

Onde:

A_{DIAM} → assentamento de uma tubulação para um mesmo diâmetro [L]

$L_{\text{TOTALDIAM}}$ → somatório das extensões de tubos para um mesmo diâmetro [L]

ANEXO II.2 – MEMÓRIA DE CÁLCULO – SERVIÇO DE ASSENTAMENTO TIPO LASTRO DE BRITA

ANEXO II.2.1. Assentamento da tubulação

Este item é calculado de forma análoga ao II.1.

ANEXO II.2.2. Lastro de brita

O volume do lastro de brita de cada trecho é dado pela extensão deste multiplicado pela largura da vala e pela espessura utilizada para o lançamento da brita. O volume total do lastro (equação II.3) é o somatório de todos os volumes calculados pela equação II.2.

$$V_{\text{LASTROBRITA}} = \text{ESP}_{\text{BRITA}} \cdot L_{\text{TRECHO}} \cdot L \quad [\text{II.2}]$$

$$V_{\text{TOTALASTROBRITA}} = \sum V_{\text{LASTROBRITA}} \quad [\text{II.3}]$$

Onde:

$V_{\text{LASTROBRITA}}$ → volume do lastro de brita em um trecho [L]³

$\text{ESP}_{\text{BRITA}}$ → espessura para a brita [L]

L → largura da vala [L]

L_{TRECHO} → comprimento do trecho [L]

$V_{\text{TOTALASTROBRITA}}$ → volume total de brita [L]³

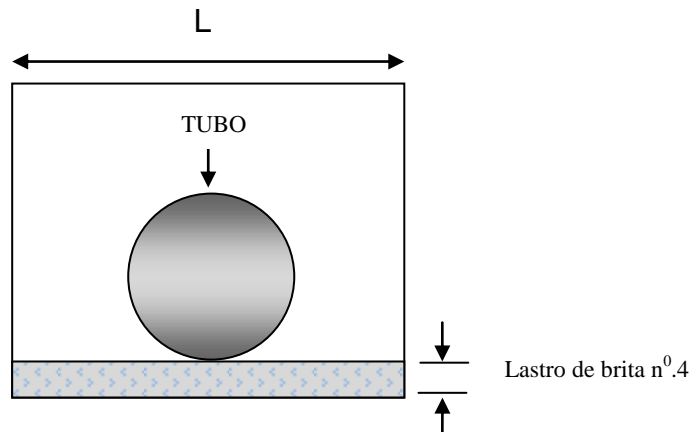
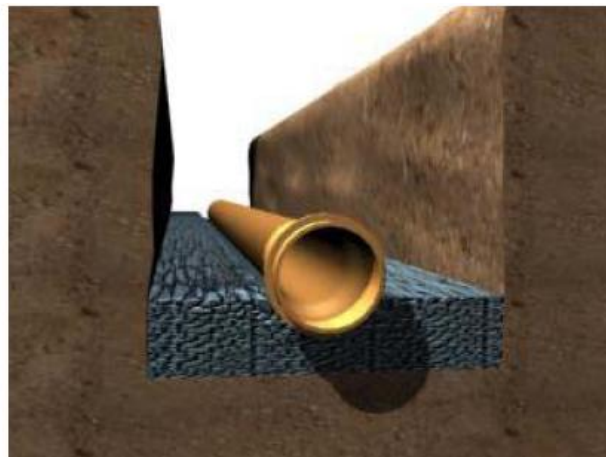


Figura II.1: Assentamento com lastro de brita



Fonte: DESO (2009)

Figura II.2: Assentamento com lastro de brita (3D)

ANEXO II.3 – MEMÓRIA DE CÁLCULO – SERVIÇO DE ASSENTAMENTO TIPO LASTRO, LAJE E BERÇO

ANEXO II.3.1. Assentamento da tubulação

Este item é calculado de forma análoga ao II.1.

ANEXO II.3.2. Lastro de brita

O volume do lastro de brita é calculado de forma análoga ao item II.2.2.

ANEXO II.3.3. Laje e berço

Para o tipo lastro, laje e berço, o coletor é assentado em um berço de concreto, apoiado sobre um lastro de concreto magro, construído acima de um lastro de pedra britada n°. 4, conforme ilustra a figura II.1. As dimensões recomendadas estão apresentadas na tabela II.1. Os sete serviços necessários à execução do concreto magro e armado, que foram acrescidos (tabela 3.4 do item 3.3.12.) para este tipo de assentamento, são comentados nos itens *a* ao *g* a seguir

Tabela II.1: Dimensões recomendadas para assentamento com lastro, laje e berço

Diâmetro Interno Ø Int (mm)	Diâmetro Externo Ø Ext (mm)	Diâmetro da bolsa Ø Bolsa (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Ferragem tipo grelha	
						Longitudinal: Ø=10 mm cada 0,20 m Transversal: Ø=6.3 mm cada 0,25 m	
200	240	300	0,15	0,50	0,30	2 unid. x m	4 unid./m +1
300	350	400	0,15	0,60	0,40	3 unid. x m	4 unid./m +1
400	500	600	0,15	0,70	0,60	4 unid. x m	4 unid./m +1
500	600	700	0,15	0,80	0,70	5 unid. x m	4 unid./m +1
600	700	800	0,15	0,90	0,80	5 unid. x m	4 unid./m +1
700	850	1000	0,15	1,10	1,00	6 unid. x m	4 unid./m +1
800	950	1100	0,20	1,20	1,10	7 unid. x m	4 unid./m +1
900	1050	1200	0,20	1,30	1,20	7 unid. x m	4 unid./m +1
1000	1200	1300	0,25	1,40	1,30	8 unid. x m	4 unid./m +1
1100	1300	1450	0,30	1,60	1,50	9 unid. x m	4 unid./m +1
1200	1400	1600	0,40	1,70	1,60	9 unid. x m	4 unid./m +1

Fonte: Nuvolari (2003)

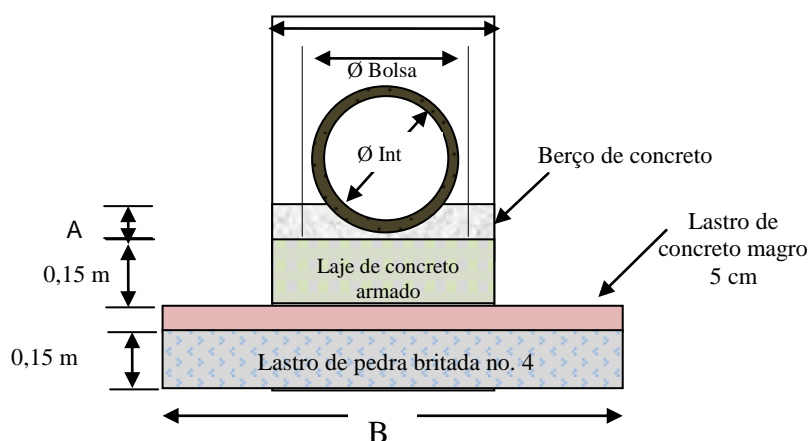
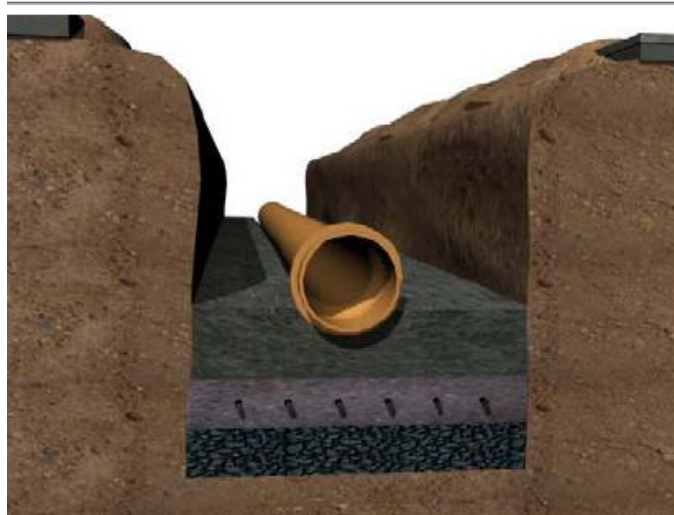


Figura II.3: Assentamento com lastro, laje e berço



Fonte: DESO (2009)

Figura II.4: Assentamento com lastro, laje e berço brita (3D)

a) Concreto não estrutural preparo manual

Este item refere-se à execução do concreto magro. O volume total do concreto magro (equação II.5) é o somatório de todos os volumes calculados pela fórmula II.4.

$$V_{\text{CONCRETOMAGRO}} = \text{ESP}_{\text{CONCRETOMAGRO}} \cdot L_{\text{trecho}} \cdot B \quad [\text{II.4}]$$

$$V_{\text{TOTALCONCRETOMAGRO}} = \sum V_{\text{CONCRETOMAGRO}} \quad [\text{II.5}]$$

Onde:

$V_{\text{CONCRETOMAGRO}} \rightarrow$ volume de concreto magro $[\text{L}]^3$

$\text{ESP}_{\text{CONCRETOMAGRO}} \rightarrow$ espessura do concreto magro estipulado $[\text{L}]$

$B \rightarrow$ largura (tabela II.1/figura II.3) $[\text{L}]$

b) Concreto para vibração, FCK 20 MPa com agregado adquirido

Este item refere-se à execução do concreto estrutural. O volume total do concreto estrutural (equação II.7) é o somatório de todos os volumes calculados pela fórmula 8.3.

$$V_{\text{CONCRETOEST}} = (\text{ESP}_{\text{CONCRETOEST}} + A) \cdot L_{\text{trecho}} \cdot C \quad [\text{II.6}]$$

$$V_{\text{TOTALCONCRETOEST}} = \sum V_{\text{CONCRETOEST}} \quad [\text{II.7}]$$

Onde:

$V_{\text{CONCRETOEST}}$ → volume de concreto estrutural [L]³

$ESP_{\text{CONCRETOARM}}$ → espessura da laje do concreto armado estipulado [L]

A → altura (tabela II.1/figura II.3) [L]

C → largura (tabela II.1/figura II.3) [L]

c) Lançamento e aplicação de concreto s/ elevação

Este item refere-se ao lançamento e aplicação do concreto estrutural sem elevação. O quantitativo deste serviço é o mesmo do item b, pois o volume desta aplicação é o mesmo que foi usinado.

d) Adensamento/regularização sup. concreto régua dupla L=3 a 6m

Este item refere-se ao adensamento e regularização do concreto estrutural sem elevação, com a utilização de régua dupla variando de 3 a 6 m. O quantitativo deste serviço é o mesmo do item b, pois o adensamento deste volume é o mesmo que foi usinado.

e) Forma plana chapa compensada resinada, esp.= 12mm UTIL. 3 X

As áreas das formas planas em chapas compensadas com espessura de 12 mm, as quais são dispostas nas laterais da laje e do berço. O volume total das áreas das formas (equação II.9) é o somatório de todas as áreas calculadas pela fórmula II.8.

$$A_{\text{FORMAS}} = [2 \cdot (A + ESP_{\text{CONCRETOEST}})] \cdot (L_{\text{TRECHO}} + C) \quad [\text{II.8}]$$

$$A_{\text{TOTALFORMAS}} = \sum A_{\text{FORMAS}} \quad [\text{II.9}]$$

Onde:

A_{FORMAS} → área das formas planas [m²]

$ESP_{\text{CONCRETOEST}}$ → espessura do concreto estrutural estipulado [L]

$A_{\text{TOTALFORMAS}}$ → área total das formas [m²]

f) Armadura CA-50A média D = 6,3 A 10,0mm

A armação deve ser em malha de aço soldado ou aço CA-50, conforme o projeto. É realizada a concretagem apenas da laje, segundo os critérios estabelecidos nas especificações de obras semelhantes.

O alinhamento da geratriz inferior do duto a ser assentado deve corresponder com a superfície superior da laje. As ferragens devem ser tipo grelha e espaçadas do seguinte modo:

- Longitudinal: $\varnothing=10$ mm a cada 0,20 m de C (tabela II.1/figura II.3).
- Transversal: $\varnothing=6.3$ mm cada 0,25 m do comprimento de cada trecho tabela II.1/figura II.3).

O número de unidades da ferragem a ser utilizada em cada trecho está na sétima coluna da tabela II.1 e é dependente do diâmetro do tubo. Por exemplo, um trecho de diâmetro 400 mm e 50 m teria 200 (duzentas) barras de ferro transversais $\varnothing=6.3$ mm e 4 (quatro) longitudinais $\varnothing=10$ mm. Os pesos por metro e comprimento das varas de ferro nas bitolas a serem utilizadas estão referenciados na tabela II.2.

Tabela II.2: Peso por metro e comprimento de barras de ferro

Barra de ferro	Peso por metro (kg)	Comprimento da barra (m)
$\varnothing=10$ mm	0.624	12
$\varnothing=6.3$ mm	0.248	12

Como a ferragem é adquirida por peso, as fórmulas consideradas para o quantitativo deste serviço são:

$$F_1 = NB_1 \cdot 12 \cdot 0.248 \quad [\text{II.10}]$$

$$F_2 = NB_2 \cdot 12 \cdot 0.624 \quad [\text{II.11}]$$

$$P_{\text{TOTAL}} = F_1 + F_2 \quad [\text{II.12}]$$

Onde:

$F_1 \rightarrow$ número de barras de ferro $\varnothing=10$ mm [unid.]

$F_2 \rightarrow$ número de barras de ferro $\varnothing=6.3$ mm [unid.]

$P_{\text{TOTAL}} \rightarrow$ peso total de ferro a ser adquirido [Kg]

g) Adição de impermeabilizante para concreto estrutural

Este item é relativo à adição de impermeabilizante para o concreto estrutural. O quantitativo deste serviço é o mesmo do item b, pois a adição deste volume é a mesma que foi usinada.

ANEXO III – TABELAS DE CUSTOS UNITÁRIOS E INSUMOS

Nas tabelas III.1 a III.4 a seguir, são apresentados todos os itens, insumos, descrições, unidades e custos unitários dos itens pertencentes ao UFC9-Q.

Tabela III.1: Itens, insumos e custos unitários– parte 1

ITEM (SEINFRA)	INSUMO (SEINFRA)	DESCRIÇÃO	UNID.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)
1		SERVIÇOS PRELIMINARES		
1.6		LOCAÇÃO DA OBRA		
1.6.8	C2876	LOCAÇÃO E NIVELAMENTO DE REDE DE ESGOTO/EMISSÁRIO/DRENAGEM	M	1,60
1.8		TRÂNSITO E SEGURANÇA		
1.8.3	C2892	PASSADIÇOS COM PRANCHAS DE MADEIRA	M ²	18,91
1.8.6	C2949	SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO NOTURNA	M	1,10
1.8.7	C2950	SINALIZAÇÃO EM TAPUME COM INDICATIVO DE FLUXO	M ²	3,36
1.8.4	C2947	SINALIZAÇÃO DE ADVERTÊNCIA	UN	8,09
2		MOVIMENTO DE TERRA		
2.1		ESCAVAÇÕES EM CAMPO ABERTO		
2.1.10	C1256	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM TERRA ATÉ 2M	M ³	15,16
2.1.11	C1257	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM TERRA, DE 2,01 A 4,00M	M ³	18,06
2.1.12	C1258	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM TERRA, DE 4,00 A 6,00M	M ³	20,96
2.1.13	C1259	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM TERRA, DE 6,00 A 8,00M	M ³	24,17
2.1.14	C1267	ESCAVAÇÃO MECAN. CAMPO ABERTO EM TERRA EXCETO ROCHA ATÉ 2M	M ³	1,73
2.1.15	C1268	ESCAVAÇÃO MECAN. CAMPO ABERTO EM TERRA EXCETO ROCHA ATÉ 4M	M ³	1,99
2.1.16	C1269	ESCAVAÇÃO MECAN. CAMPO ABERTO EM TERRA EXCETO ROCHA ATÉ 6M	M ³	2,44
2.1.17	C1270	ESCAVAÇÃO MECAN. CAMPO ABERTO EM TERRA EXCETO ROCHA ATÉ 8M	M ³	2,89
2.1.2	C1263	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM ROCHA C/EXPLOS.PERF.MAN. ATÉ 2M	M ³	112,89
2.1.3	C1260	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM ROCHA C/EXPLOS.PERF.MAN. - 2,01 A 4,00M	M ³	119,88
2.1.4	C1261	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM ROCHA C/EXPLOS.PERF.MAN. - 4,01 A 6,00M	M ³	126,86
2.1.5	C1262	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM ROCHA C/EXPLOS.PERF.MAN. - 6,01 A 8,00M	M ³	133,85

Fonte: SEINFRA (2009)

Tabela III.2: Itens, insumos e custos unitários– parte 2

ITEM (SEINFRA)	INSUMO (SEINFRA)	DESCRIÇÃO	UNID.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)
2.6		REATERRO E COMPACTAÇÃO		
2.6.15	C2921	REATERRO C/COMPACTAÇÃO MANUAL S/CONTROLE, MATERIAL DA VALA	M³	8,80
2.6.16	C2920	REATERRO C/COMPACTAÇÃO MECÂNICA, E CONTROLE, MATERIAL DA VALA	M³	8,67
2.3		CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA DE MATERIAL		
2.3.3	C0707	CARGA MANUAL DE TERRA EM CAMINHÃO BASCULANTE	M³	6,96
2.3.6	C0710	CARGA MECANIZADA DE TERRA EM CAMINHÃO BASCULANTE	M³	1,88
2.3.2	C0706	CARGA MANUAL DE ROCHA EM CAMINHÃO BASCULANTE	M³	8,71
2.3.5	C0709	CARGA MECANIZADA DE ROCHA EM CAMINHÃO BASCULANTE	M³	2,13
2.6		ATERRO E COMPACTAÇÃO		
2.6.2	C0328	ATERRO C/COMPACTAÇÃO MECÂNICA E CONTROLE, MAT. DE AQUISIÇÃO	M³	31,77
2.6.3	C0329	ATERRO C/COMPACTAÇÃO MECÂNICA E CONTROLE, MAT. PRODUZIDO (S/TRANSP.)	M³	11,52
2.6.4	C0330	ATERRO C/COMPACTAÇÃO MANUAL S/CONTROLE, MAT. C/AQUISIÇÃO	M³	31,90
2.6.5	C0331	ATERRO C/COMPACTAÇÃO MANUAL S/CONTROLE, MAT. PRODUZIDO (S/TRANSP.)	M³	11,64
2.3		CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA DE MATERIAL		
2.3.8	C2529	TRANSPORTE DE MATERIAL, EXCETO ROCHA EM CAMINHÃO ATÉ 0.5 KM	M³	2,45
2.3.9	C2531	TRANSPORTE DE MATERIAL, EXCETO ROCHA EM CAMINHÃO ATÉ 1KM	M³	2,72
2.3.10	C2533	TRANSPORTE DE MATERIAL, EXCETO ROCHA EM CAMINHÃO ATÉ 5 KM	M³	13,62
2.3.11	C2530	TRANSPORTE DE MATERIAL, EXCETO ROCHA EM CAMINHÃO ATÉ 10KM	M³	16,34
2.3.12	C2532	TRANSPORTE DE MATERIAL, EXCETO ROCHA EM CAMINHÃO ATÉ 20KM	M³	24,50

Fonte: SEINFRA (2009)

Tabela III.3: Itens, insumos e custos unitários– parte 3

ITEM (SEINFRA)	INSUMO (SEINFRA)	DESCRIÇÃO	UNID.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)
23		TRANSPORTES PARA OBRAS RODOVIÁRIAS		
23.1		LOCAL		
23.1.1	C3143	TRANSPORTE LOCAL C/ DMT ATÉ 4,00 KM ($Y = 0,54 X + 0,56$)	T	-
23.1.2	C3144	TRANSPORTE LOCAL COM DMT ENTRE 4,01 Km E 30,00 Km ($Y = 0,38 X + 0,56$)	T	-
23.1.3	C4161	TRANSPORTE LOCAL C/ DMT SUPERIOR A 30,00 Km ($Y = 0,30 X + 0,56$)	T	-
3		SERVIÇOS AUXILIARES		
3.1		SERVIÇOS PREPARATÓRIOS		
3.1.5	C3319	NIVELAMENTO DE FUNDO DE VALAS	M ²	2,05
2.6.1	C0095	APILOAMENTO DE PISO OU FUNDO DE VALAS C/MAÇO DE 30 A 60 KG	M ²	8,80
3.3		ESCORAMENTO DE MADEIRA EM VALAS E CAVAS		
3.3.4	C2805	ESCORAMENTO DESCONTÍNUO COM PRANCHAS DE MADEIRA	M ²	11,47
3.3.1	C1272	ESCORAMENTO COMUM DE VALAS TIPO CONTÍNUO C/PRANCHAS PEROBA	M ²	35,94
3.4.1	C2799	ESCORAMENTO CONTÍNUO DE VALAS C/PRANCHAS METÁLICAS DE 2.00M	M ²	15,04
3.4.3	C2801	ESCORAMENTO CONTÍNUO DE VALAS C/PRANCHAS METÁLICAS DE 4.00M	M ²	23,73
3.4.4	C2802	ESCORAMENTO CONTÍNUO DE VALAS C/PRANCHAS METÁLICAS DE 6.00M	M ²	30,26
4		OBRAS DE DRENAGEM		
3.3		ESCORAMENTO DE MADEIRA EM VALAS E CAVAS		
4.2.3	C2923	REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO EM VALAS	M	20,85
4.2.2	C2922	REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO EM ÁREAS (POÇOS DE VISITA)	PTxDI A	21,33

Fonte: SEINFRA (2009)

Tabela III.4: Itens, insumos e custos unitários– parte 4

ITEM (SEINFRA)	INSUMO (SEINFRA)	DESCRIÇÃO	UNID.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)
16.11		POÇOS E CAIXAS		
16.11.52	C2907	POÇO DE VISITA, C/ANÉIS DE CONCRETO, PROF. ATÉ 1.00m, D= 600mm	UN	257,99
16.11.53	C2908	POÇO DE VISITA, C/ANÉIS DE CONCRETO, PROF. ATÉ 1.50m, D=1000mm	UN	721,95
16.11.54	C2909	POÇO DE VISITA, C/ANÉIS DE CONCRETO, PROF. ATÉ 1.50m, D=1200mm	UN	903,00
16.11.3	C0013	ACRÉSCIMO DE CÂMARA EM PV C/ANÉIS DE CONCRETO D=1200mm	M	343,49
16.11.4	C0232	ASSENTAMENTO DE TUBO DE QUEDA	M	98,34
16.11.49	C2816	EXECUÇÃO COMPLETA DE TIL (LAJE DE FUNDO EM CONCRETO ARMADO)	UN	140,49
4.6.19	C2310	TAMPÃO DE FERRO FUNDIDO P/ POÇO DE VISITA DE DIAM=1 M	UN	412,60
16.3		TUBOS E CONEXÕES DE PVC		
16.3.24	C0281	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JE DN 100mm	M	1,21
16.3.26	C0283	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JE DN 150mm	M	1,76
16.3.27	C0284	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JE DN 200mm	M	2,30
16.3.28	C0285	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JE DN 250mm	M	2,97
16.3.29	C0286	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JE DN 300mm	M	3,63
16.3.30	C0287	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JE DN 350mm	M	4,04
16.3.31	C0288	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JE DN 400mm	M	4,58
3.7		LASTROS		
3.7.3	C2862	LASTRO DE BRITA	M ³	60,95
6.7		CONCRETOS	M ³	
6.7.14	C0836	CONCRETO NÃO ESTRUTURAL PREPARO MANUAL	M ³	200,68
6.7.28	C0842	CONCRETO P/VIBR., FCK 20 MPa COM AGREGADO ADQUIRIDO	M ³	229,51
6.7.46	C1604	LANÇAMENTO E APLICAÇÃO DE CONCRETO S/ ELEVAÇÃO	M ³	47,07
6.7.2	C0028	ADENSAMENTO/REGULARIZAÇÃO SUP.CONCRETO RÉGUA DUPLA L=3 A 6m	M ²	1,86
6.5.21	C1405	FORMA PLANA CHAPA COMPENSADA RESINADA, ESP.= 12mm UTIL. 3 X	M ²	50,78
6.6.17	C0216	ARMADURA CA-50A MÉDIA D= 6,3 A 10,0mm	Kg	5,61
6.7.4	C0034	ADIÇÃO DE IMPERMEABILIZANTE PARA CONCRETO ESTRUTURAL	M ³	36,35

Fonte: SEINFRA (2009)