

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÕES DE CUSTOS DE
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO**

Bruno Lopes Salazar

Orientador: Prof. Dr. Marcos von Sperling

**Belo Horizonte
2010**

Bruno Lopes Salazar

Desenvolvimento de Funções de Custos de Implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.

Área de concentração: Engenharia sanitária

Orientador: Prof. Dr. Marcos von Sperling

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2010

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e familiares por apontarem o caminho sempre me apoiando. A toda equipe da ESSE Engenharia que inegavelmente contribuiu para minha formação tanto como profissional, como pessoa. Ao meu estimado orientador, Professor Marcos von Sperling, que esteve comigo neste trabalho, e em muitos outros, me ajudando com seu infinito conhecimento, muito obrigado!

Se você conta com alguém que tem menos qualidades que você, isso levará à sua degeneração. Se você conta com alguém com qualidades iguais às suas, você permanece onde está. Somente quando conta com alguém cujas qualidades são superiores às suas é que você atinge uma condição sublime.

Dalai Lama

RESUMO

Este trabalho visa atender à necessidade de se estimar os custos de implantação das unidades que compõem os Sistemas de Esgotamento Sanitário de localidades brasileiras. Foram obtidos dados de 440 km de redes coletoras, 145 km de interceptores, 96 estações elevatórias e 32 estações de tratamento no Brasil, baseados em orçamentos de projeto e orçamentos de obras concluídas. Todos os custos foram convertidos para a data-base de abril de 2010 usando o Índice Nacional de Custo da Construção. Os valores sofrem influência de diversos fatores e particularidades em cada obra. Para minimizar a dispersão dos dados, foi feita uma separação destes fatores, ainda assim ficou clara a ampla variabilidade das características que influenciam nos custos de implantação de um Sistema de Esgotamento Sanitário. Entretanto, percebe-se que há um padrão que pode ser seguido na estimativa de custos para sistemas futuros de portes similares. Ao final, são apresentadas tabelas que sintetizam os resultados obtidos, com os custos unitários apresentados de uma forma prática e simplificada: R\$/m, R\$/kW, R\$/hab.

Palavras-chave: Esgoto, custos, implantação, unidades do Sistema de Esgotamento Sanitário.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kW	quilowatt
km.....	quilômetro
INCC-M	Índice Nacional de Custo da Construção do Mercado
FGV	Fundação Getúlio Vargas
m.....	Metro
hab	Habitante
R ²	Coefficiente de Determinação
Pop.....	População
Prof.....	Profundidade
Pot.....	Potência
ETEs	Estações de tratamento de esgoto
Reator UASB.....	Reator anaeróbico de manta de lodo e fluxo ascendente
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
TP	Tratamento preliminar
FBP	Filtro biológico percolador
DS.....	Decantador secundário
d.....	Dia
Q _{méd}	Vazão média de esgotos
H _{man}	Altura manométrica
mca	Metros de coluna d'água
UF.....	Unidade Federativa
OGU	Orçamento Geral da União
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
BNDES.....	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
SNSA.....	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
ABES.....	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Variação mensal do INCC-M, em percentagem.....	14
Figura 2 – Profundidade média de redes coletoras.	16
Figura 3 – Custos por metro para implantação de redes coletoras.....	16
Figura 4 – Percentual dos serviços sobre custo total para implantação de redes coletoras.	17
Figura 5 – Custos por metro para implantação de redes coletoras em termos da profundidade média dos coletores.....	18
Figura 6 – Custos por metro para implantação de redes coletoras TIPO 1 em função da profundidade média das mesmas. (Tipo 1: solo com até 10% de rochas e até 40% de ruas pavimentadas de alguma forma).	18
Figura 7 – Custos por metro para implantação de redes coletoras TIPO 2 em função da profundidade média das mesmas. (Tipo 2: solo com mais de 10% de rochas e mais de 40% de ruas pavimentadas de alguma forma).	18
Figura 8 – Custos para implantação de redes coletoras.	19
Figura 9 – População atendida nas localidades investigadas.....	19
Figura 10 – Custos <i>per capita</i> para implantação de redes coletoras.....	19
Figura 14 – Custos para implantação de redes coletoras.	20
Figura 15 – Profundidade média de interceptores.....	22
Figura 16 – Custos por metro para implantação de interceptores.....	22
Figura 17 – Percentual dos serviços sobre custo total para implantação de interceptores.....	22
Figura 18 – Custos por metro para implantação de interceptores em função da profundidade média das tubulações.	23
Figura 19 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.....	23
Figura 20 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros maiores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.....	23
Figura 21 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 2A - Solo seco com mais de 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.....	23
Figura 22 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 3A - Solo predominantemente seco (presença de água em até 40% dos casos) com até 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.	24
Figura 23 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPOS 1B, 2B, 3B, 4A e 4B – Tipo B (requerem travessias e contenções) em função da profundidade média das tubulações.....	24
Figura 24 – Custos para implantação de redes coletoras.	24
Figura 25 – População média atendida por interceptores.	25
Figura 26 – Custos <i>per capita</i> para implantação de interceptores.	25
Figura 27 – Custos <i>per capita</i> para implantação de interceptores em função da população atendida.....	25
Figura 28 – Custos <i>per capita</i> para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da população atendida.....	26

Figura 29 – Custos <i>per capita</i> para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros maiores que 300 mm em função da população atendida.....	26
Figura 32 – Custos <i>per capita</i> para implantação de interceptores TIPOS 1B, 2B, 3B, 4A e 4B – Tipo B (requerem travessias e contenções) em função da população atendida.	27
Figura 33 – Custos para implantação de redes coletoras.	28
Figura 34 – Custos por kW para implantação de estações elevatórias.	29
Figura 35 – Percentual dos serviços sobre custo total para implantação de estações elevatórias....	29
Figura 36 – Custos por kW para implantação de estações elevatórias com bombas centrífugas convencionais em função da potência total no ponto de operação (5 unidades).....	30
Figura 37 – Custos por kW para implantação de estações elevatórias com bombas centrífugas re-autoeskorvantes em função da potência total no ponto de operação (8 unidades).	30
Figura 38 – Custos por kW para implantação de estações elevatórias com bombas centrífugas submersíveis em função da potência total no ponto de operação (83 unidades).....	31
Figura 39 – Custos <i>per capita</i> de implantação de ETEs.	33
Figura 40 – Percentual dos serviços sobre custo total de implantação de ETEs.....	33
Figura 41 – Custos <i>per capita</i> de implantação de ETEs (TP+UASB+FBP+DS).	33
Figura 42 – Custos <i>per capita</i> de implantação de ETEs (outros tratamentos).	34
Figura 43 – Custos <i>per capita</i> das unidades do SES.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vazões médias e potências das elevatórias em função da população atendida.....	35
Tabela 2 – Custos totais e <i>per capita</i> de cada unidade do SES.....	35
Tabela 3 – Percentual dos custos de cada unidade do SES no custo total.	35
Tabela 4 – Gastos comprometidos com iniciativas de Saneamento Básico em 2008, por fonte de recursos.....	37
Tabela 5 – Carteira de investimentos total (MCidades) por modalidade e fonte de recursos.....	37
Tabela 6 – Funções de custos para implantação de redes coletoras (data-base abr/2010).....	38
Tabela 7 – Funções de custos para implantação de interceptores tipo 1A (data-base abr/2010).	39
Tabela 8 – Funções de custos para implantação de interceptores tipo 2A (data-base abr/2010).	39
Tabela 9 – Funções de custos para implantação de interceptores tipo 3A (data-base abr/2010).	40
Tabela 10 – Funções de custos para implantação de interceptores tipos 1B, 2B, 3B, 4A e 4B (data-base abr/2010).	40
Tabela 11 – Funções de custos para implantação de estações elevatórias (data-base abr/2010).	41
Tabela 12 – Funções de custos para implantação de ETEs (data-base abr/2010).....	41

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. OBJETIVO GERAL	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. REDE COLETORA.....	16
Custos de implantação por metro linear de rede implantada.....	16
Custos de implantação por habitante atendido.....	19
4.2. INTERCEPTOR	21
Custos de implantação por metro linear de interceptor implantado	21
Custos de implantação por habitante atendido.....	24
4.3. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA	28
4.4. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	31
4.5. CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO TÍPICO	34
4.6. SÍNTESE DOS CUSTOS E FUNÇÕES OBTIDAS	38
5. CONCLUSÕES	42
6. RECOMENDAÇÕES	43
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

As obras, unidades e equipamentos de infra-estrutura responsáveis pela coleta, transporte e tratamento das vazões de esgotos compõem o que se denomina como Sistema de Esgotamento Sanitário.

Os SES urbanos implantados no Brasil atendem a apenas 50,3% da população, sendo que desses, apenas 31,3% fazem o tratamento dos esgotos gerados (SNIS, 2004). Muitos desses sistemas cuidam única e exclusivamente do afastamento dos esgotos da região mais urbanizada, uma vez que não são dotados de sistemas seguros de tratamento. Devido à falta de recursos, sistemas unitários de esgotamento (sistemas combinados) vêm sendo implantados, aproveitando-se redes coletoras de sistemas de drenagem existentes para o lançamento de esgotos *in natura* nos corpos d'água. Na maioria das vezes, não se tem conhecimento técnico adequado sobre as consequências dessa utilização, gerando assim, grandes impactos nos corpos receptores.

As atividades antrópicas consomem água e boa parte dessa água retorna ao sistema em forma de águas residuárias ou simplesmente esgoto. Esses efluentes, se não tratados, não dispõem de condições de reutilização direta e devem ser coletados e transportados para locais afastados da comunidade, de modo mais rápido e seguro. De acordo com as circunstâncias, estas águas residuárias deverão passar por processos adequados de depuração antes de serem lançadas nos corpos receptores naturais. Este condicionamento é necessário para preservar o equilíbrio ecológico no ambiente atingido direta ou indiretamente pelo lançamento. Este serviço é executado pelo Sistema de Esgotamento Sanitário (MEDEIROS FILHO, 1997).

O presente trabalho visa atender à necessidade de se estimar os custos de implantação das unidades que compõem os SES das localidades brasileiras. Ainda que preliminares, essas estimativas se apresentam como uma forma bastante útil para o desenvolvimento de estudos iniciais, ou quando não se dispõe de um projeto completo.

As funções de custo foram elaboradas tendo por base orçamentos de SES projetados pela empresa ESSE Engenharia e Consultoria, em todo território nacional, com maiúscula participação daqueles desenvolvidos no Estado de Minas Gerais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é determinar faixas de custos unitários e, quando pertinente, por meio de análise da regressão, funções de custos unitários de implantação de unidades componentes de Sistemas de Esgotamento Sanitário.

2.2. Objetivos específicos

São três os objetivos específicos:

- ✓ Para análise dos orçamentos foi proposta uma avaliação separada das parcelas que os compõem, fornecimentos de materiais e serviços. Foi considerada de bastante valia a separação destes componentes visando a avaliação individual de cada um deles no custo global;
- ✓ Categorizar as unidades, através da discriminação das características mais relevantes quanto ao custo, minimizando assim as dispersões dos valores;
- ✓ Comparar os custos encontrados através das funções com os valores da literatura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O Sistema de Esgotamento Sanitário típico de uma localidade é composto por rede coletora, interceptor, estação elevatória e estação de tratamento. Para a elaboração das funções, os custos de implantação das unidades foram coletados e categorizados em suas particularidades. Através disso, consegue-se um melhor ajuste dos pontos às funções, pois os custos dentro de cada categoria referem-se a situações de implantação semelhantes. No total foram 440 km de redes coletoras em 20 sistemas, atendendo a uma faixa de 250 a 47500 habitantes; 145 km de interceptores em 22 sistemas, atendendo a uma faixa de 50 a 176.600 habitantes. As estações elevatórias, por sua vez, foram num total de 96 unidades distribuídas em 27 sistemas. Finalmente, foram 32 estações de tratamento, atendendo a uma faixa de 500 a 176.600 habitantes.

Os dados sobre os quais foram definidas as funções são provenientes dos orçamentos feitos pela firma ESSE Engenharia e Consultoria para projetos básicos e executivos em diversas localidades no Brasil. Optou-se pelo INCC – Índice Nacional de Custo da Construção (<http://www.esccgaspar.com.br/incc.htm>) para a conversão dos valores à mesma data-base, abril de 2010. Os valores originais referem-se aos custos completos de implantação, ou seja, já têm incorporados todos os custos de implantação das unidades, além do BDI médio de 30%. Vale a importante ressalva que as funções aqui propostas se baseiam em custos de implantação e não incluem os custos de operação ou manutenção.

A Figura 1 mostra a variação mensal do Índice Nacional de Custo da Construção, que foi utilizado para atualizar os valores de custo. Observa-se que a maioria dos valores situa-se entre 0,3 e 1,5% de aumento ao mês. Desta forma, apesar da estabilidade do real nos últimos anos, o aumento mensal é importante, gerando incrementos anuais bastante expressivos. Assim como os dados do trabalho, os dados da literatura também foram corrigidos para a mesma data-base – abril de 2010.

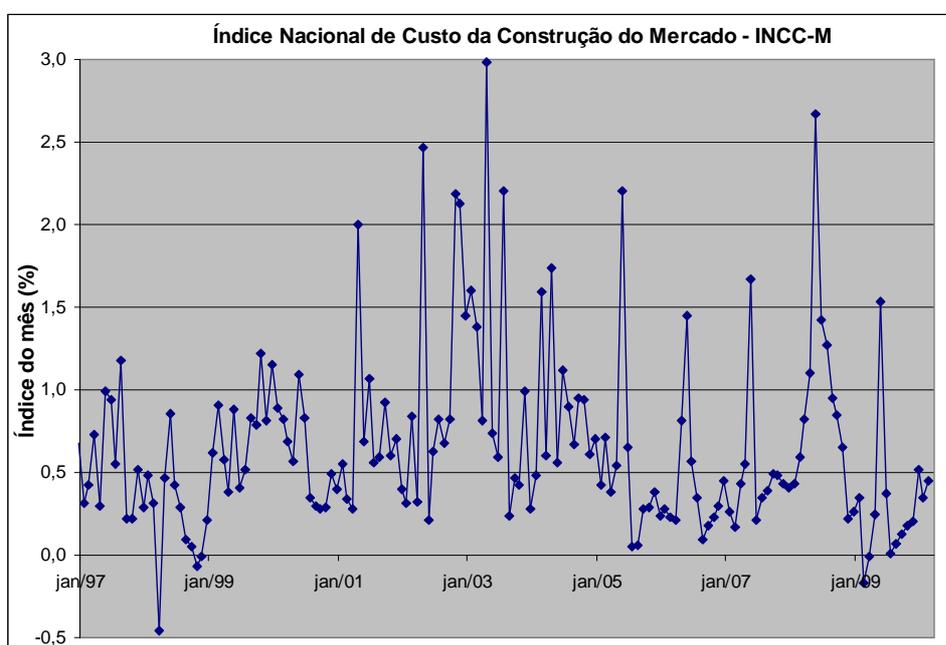


Figura 1 – Variação mensal do INCC-M, em percentagem

Fonte: Índice Nacional de Custo da Construção (Fundação Getúlio Vargas) – FGV (<http://www.esccgaspar.com.br/incc.htm>).

A metodologia de transformação dos dados em funções de custos baseia-se na análise da regressão. Os custos médios são expressos em custos unitários, ou seja, R\$/m, R\$/kW e R\$/hab. Os valores sofrem influência de diversos fatores, tais como, pavimentação, solo seco, solo com rochas, tipo de

material utilizado nas tubulações, tipo de bombas, tipo de tratamentos. Para minimizar a dispersão dos dados, é feita uma separação destes fatores. Desta forma, comparam-se os custos médios entre as categorias previamente estipuladas e geram-se curvas que aproximam os dados.

As planilhas de orçamento normalmente apresentam valores de implantação expressos em custos de fornecimentos e serviços. Isso propiciou a segregação dessas parcelas, dando um razoável conhecimento dos pesos de cada uma no valor total.

Outros aspectos metodológicos são apresentados conjuntamente com os resultados, de forma a tornar mais clara sua compreensão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Rede coletora

Para início da análise dos custos de implantação dos SES, é importante salientar as variabilidades e particularidades que cada localidade possui. Como o objetivo deste trabalho é a generalização, através de funções de custo, dos valores de implantação das unidades de esgotamento, se faz fundamental a utilização de algumas ferramentas de categorização. No caso das redes coletoras, serão apresentadas duas grandes categorias, custos de implantação por metro linear de rede implantada e custos por habitante atendido.

As redes coletoras são os primeiros instrumentos da infra-estrutura dos Sistemas de Esgotamento. A partir da análise do banco de dados de orçamentos dos projetos, ficaram claras as influências da profundidade dos coletores, da presença de rochas e do tipo de pavimentação nas ruas onde tais unidades foram implantadas. Para o caso das redes coletoras, as demais características como tipo de material e diâmetro não tiveram grande influência.

Custos de implantação por metro linear de rede implantada

As Figuras 2 e 3 demonstram que a maior parte das redes coletoras tem valores de profundidade média compreendidos entre 1,20 e 1,50 m e custos de implantação entre R\$90,00 e R\$120,00 por metro de rede. A Figura 4 retrata muito bem a influência dos custos de serviço no custo total de implantação. Para o caso das redes coletoras, esse percentual está, em sua maior parte, compreendido entre 75 e 80% dos custos totais. Portanto, os custos de fornecimento são significativamente inferiores aos custos de escavação e recomposição dos pavimentos.

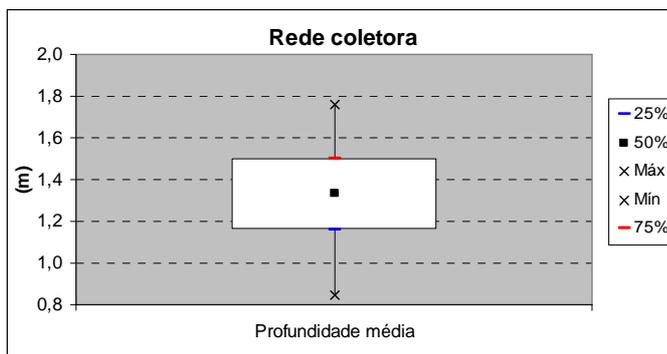


Figura 2 – Profundidade média de redes coletoras.

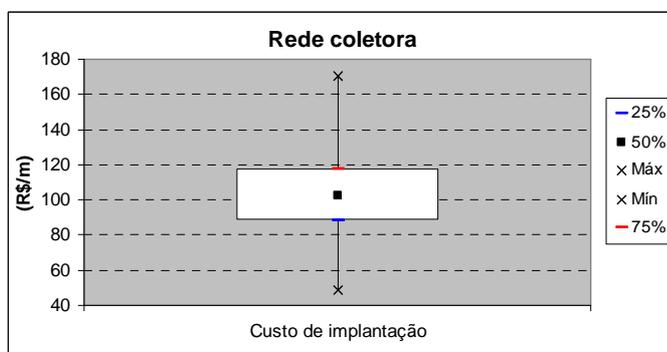


Figura 3 – Custos por metro para implantação de redes coletoras.

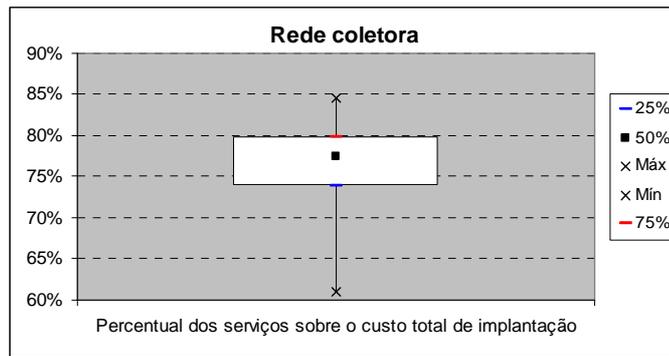


Figura 4 – Percentual dos serviços sobre custo total para implantação de redes coletoras.

A Figura 5 ilustra os valores de custo por metro de rede implantada ordenados pela profundidade média. Foi feita a tentativa de ajustar os dados por meio de uma análise de regressão. Neste caso, entretanto, em função da grande dispersão dos pontos, ficou evidente o baixo ajuste que esta função proporcionou. Quando o valor de R^2 é próximo a zero, equivale a dizer que a função de custo proposta acrescenta pouco, em termos de ajuste aos dados, comparada com uma mera função representada apenas pelo valor médio dos custos por metro de rede.

Houve casos, entretanto, onde as funções de custo não se adequaram aos pontos resultando em Coeficientes de Determinação (R^2) inferiores a 15% (limite arbitrário) ou, quando a tendência observada não foi a esperada. Para tais casos, optou-se pela apresentação dos valores máximos e mínimos dos parâmetros (profundidade das tubulações e população), além dos custos associados aos percentis 25% e 75%, pois a utilização das funções poderia levar a conclusões equivocadas.

Os dados foram então divididos em subcategorias para propiciarem curvas com melhores ajustes:

- ✓ Tipo 1 (7 SES): Solo com até 10% de rochas e até 40% de ruas pavimentadas de alguma forma;
- ✓ Tipo 2 (13 SES): Solo com mais de 10% de rochas e mais de 40% de ruas pavimentadas de alguma forma.

Apresentam-se nas Figuras 6 e 7 as curvas com os novos ajustes.

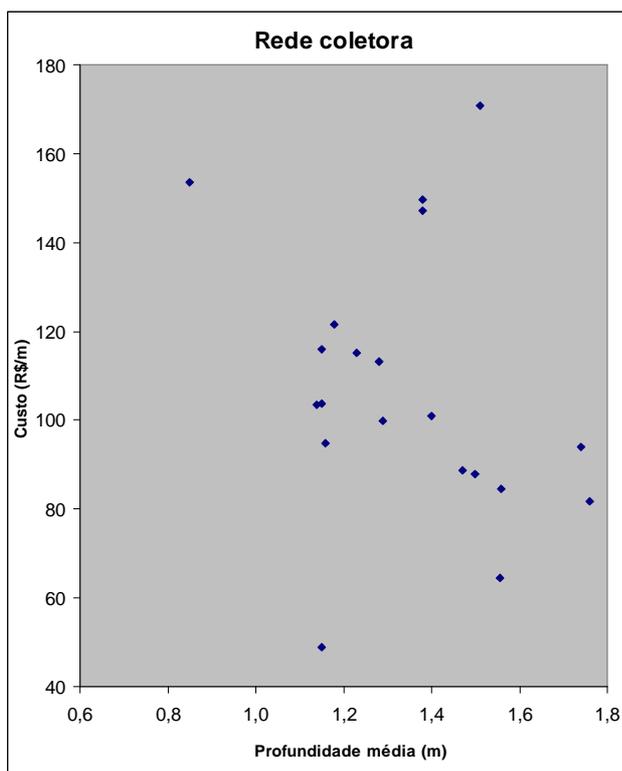


Figura 5 – Custos por metro para implantação de redes coletoras em termos da profundidade média dos coletores.

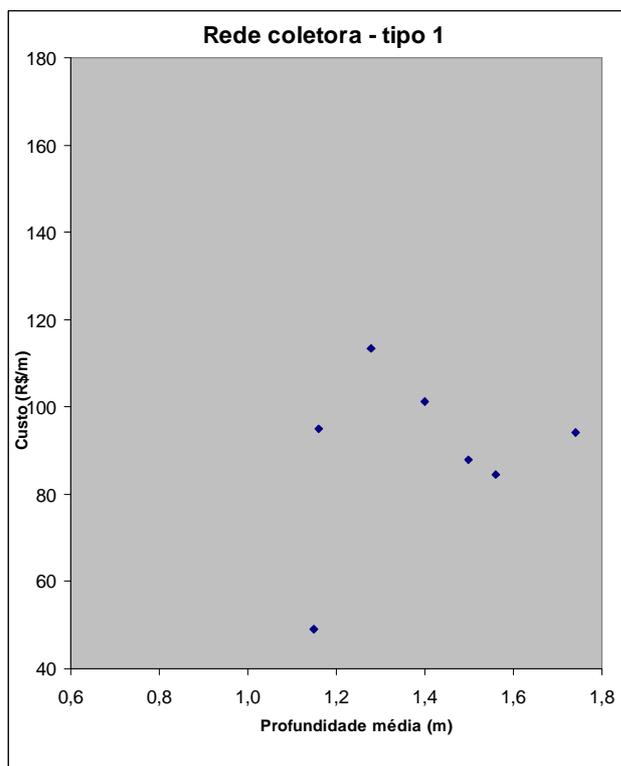


Figura 6 – Custos por metro para implantação de redes coletoras TIPO 1 em função da profundidade média das mesmas. (Tipo 1: solo com até 10% de rochas e até 40% de ruas pavimentadas de alguma forma).

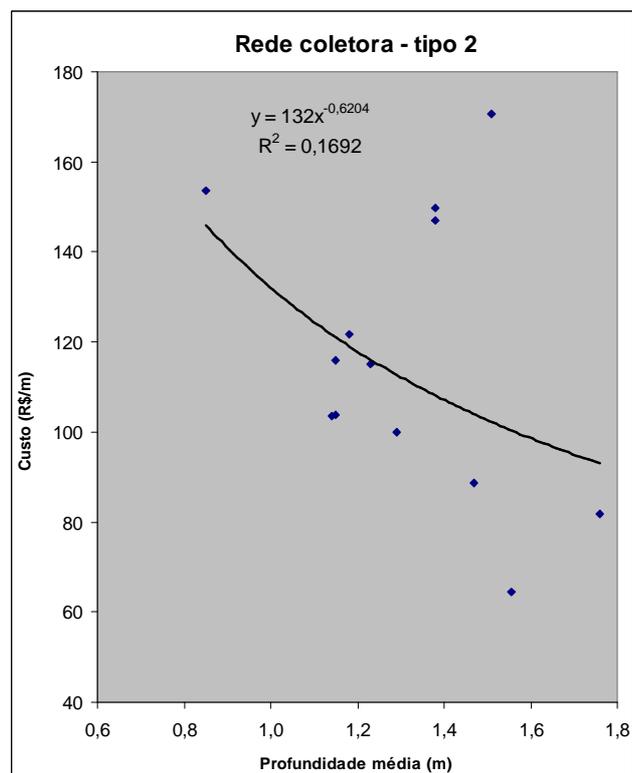


Figura 7 – Custos por metro para implantação de redes coletoras TIPO 2 em função da profundidade média das mesmas. (Tipo 2: solo com mais de 10% de rochas e mais de 40% de ruas pavimentadas de alguma forma).

A Figura 8 a seguir sintetiza em um único gráfico Box-plot as duas categorias para ajudar a visualização dos custos de implantação.

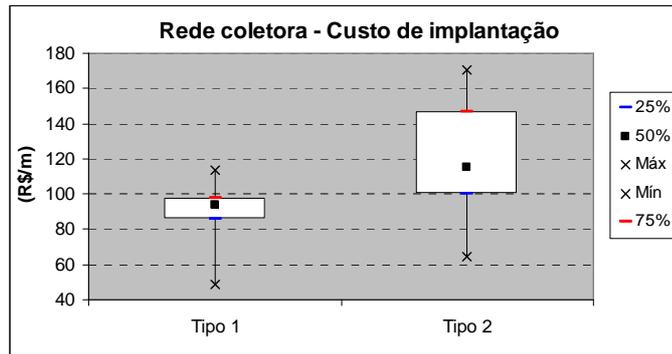


Figura 8 – Custos para implantação de redes coletoras.

Custos de implantação por habitante atendido

As Figuras 9 e 10 demonstram que a maior parte das redes coletoras investigadas nos projetos atende a uma população entre 2.000 e 5.000 habitantes e que há uma razoável variabilidade nos custos *per capita* de implantação, com valores compreendidos entre R\$250,00 e R\$640,00 por habitante atendido.

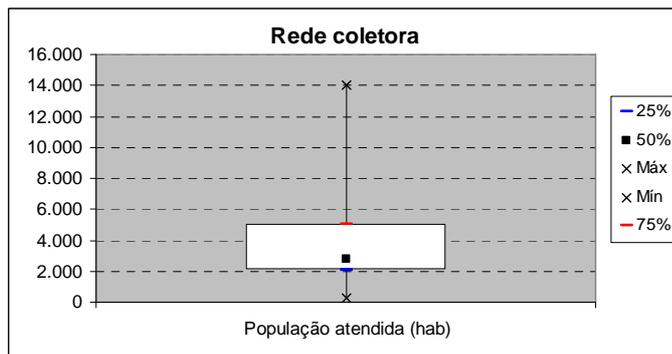


Figura 9 – População atendida nas localidades investigadas.

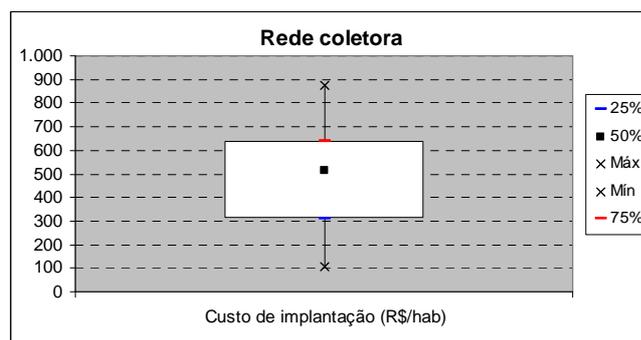


Figura 10 – Custos *per capita* para implantação de redes coletoras.

A Figura 11 ilustra os valores de custo por habitante atendido ordenados pela população atendida. Os dados foram ajustados por meio de uma análise de regressão que melhor se adequava a esses pontos. Neste caso, a curva de melhor ajuste foi uma função multiplicativa (Custo por habitante = $a \cdot \text{Pop}^b$).

Assim como no item anterior, os dados foram então categorizados em subcategorias para propiciarem curvas com melhores ajustes:

- ✓ Tipo 1: Solo com até 10% de rochas e até 40% de ruas pavimentadas de alguma forma;
- ✓ Tipo 2: Solo com mais de 10% de rochas e mais de 40% de ruas pavimentadas de alguma forma.

Apresentam-se nas Figuras 12 e 13 as curvas com os novos ajustes.

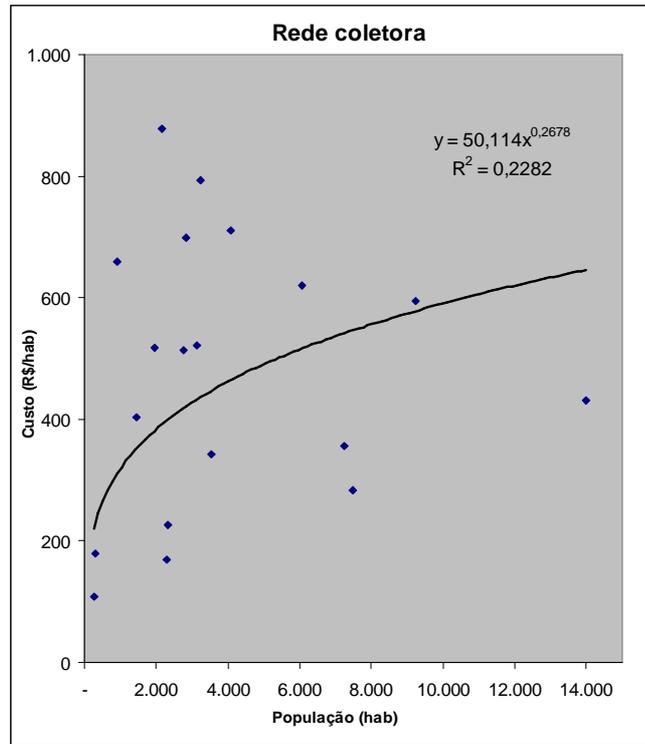


Figura 11 – Custos *per capita* para implantação de redes coletoras em função da população atendida.

A Figura 14 a seguir sintetiza em um único gráfico Box-plot as duas categorias para ajudar a visualização dos custos de implantação.

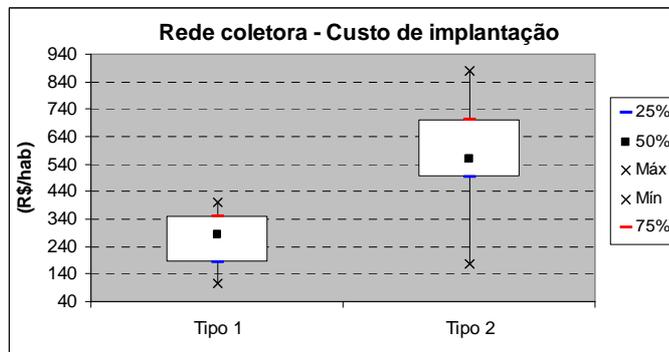


Figura 14 – Custos para implantação de redes coletoras.

4.2. Interceptor

Assim como as redes coletoras, os interceptores são tubulações; mas que costumam ser implantados nos fundos de vale. Ficam nas proximidades dos corpos d'água e têm por objetivo a interceptação e encaminhamento dos esgotos até as estações elevatórias e/ou estações de tratamento de esgotos. Usualmente são locados em regiões inundáveis, quando não dentro do próprio corpo d'água. Geralmente são tubulações mais profundas e com diâmetros maiores, pois podem receber grandes contribuições das sub-bacias.

Seguindo a metodologia das redes coletoras, serão apresentadas duas grandes categorias, custos de implantação por metro linear de interceptor implantado e custos por habitante atendido. Ao se desenvolverem as curvas nessas categorias, se fez necessária a criação de outras subcategorias visando à melhoria da qualidade das análises. Os interceptores possuem muito mais particularidades do que as redes coletoras. Além das características geológicas como presença de rochas e, nível d'água, existem as contenções, travessias de bueiros, rodovias, córregos, rios. Os diâmetros de maior bitola passam a ter um peso adicional e precisam ser considerados nos custos de implantação.

A princípio seriam quatro tipos:

- ✓ Tipo 1 (29 SES): Solo seco com até 10% de rochas;
- ✓ Tipo 2 (7 SES): Solo seco com mais de 10% de rochas;
- ✓ Tipo 3 (9 SES): Solo predominantemente seco (presença de água em até 40% dos casos) com até 10% de rochas;
- ✓ Tipo 4 (4 SES): Solo predominantemente seco (presença de água em até 40% dos casos) com mais de 10% de rochas.

Entretanto, em função dos elevados custos de implantação das travessias e contenções, foi necessária a criação dos subtipos **A** e **B**, sendo o primeiro para designar interceptor **sem** condições especiais como travessias e **B** para interceptores que carecem desses artifícios para suas implantações.

Custos de implantação por metro linear de interceptor implantado

As Figuras 15 e 16 mostram que a maior parte dos interceptores pesquisados tem valores de profundidade média entre 1,30 e 1,80 m e custos de implantação entre R\$130,00 e R\$360,00 por metro de interceptor. A Figura 17 retrata muito bem a influência dos custos de serviço no custo total de implantação. Para o caso dos interceptores, este percentual está, em sua maior parte, compreendido entre 70 e 85% dos custos totais. Portanto, os custos de material são substancialmente inferiores aos custos de escavação, travessias, contenção e recomposição dos pavimentos.

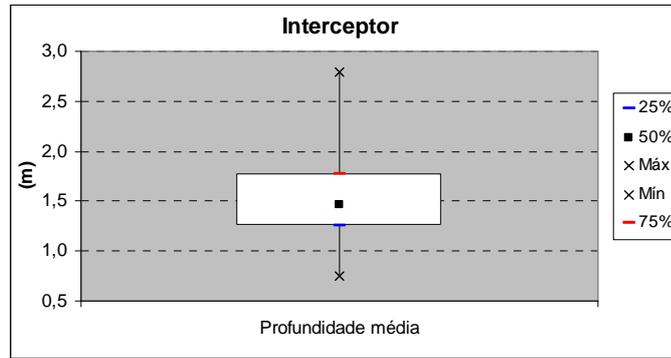


Figura 15 – Profundidade média de interceptores.

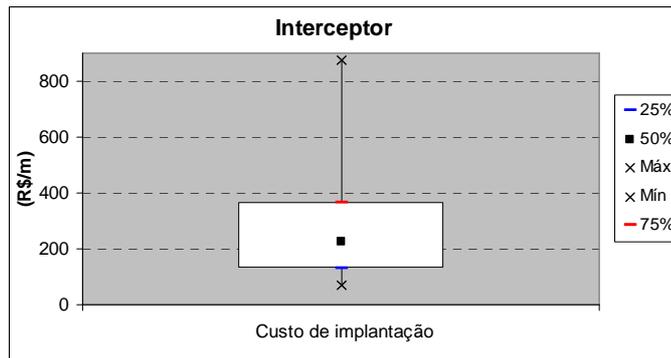


Figura 16 – Custos por metro para implantação de interceptores.

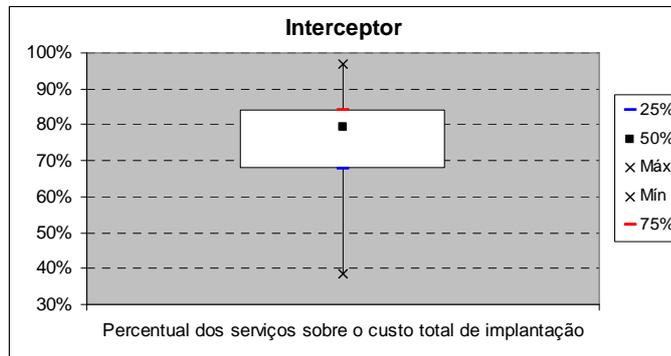


Figura 17 – Percentual dos serviços sobre custo total para implantação de interceptores.

A Figura 18 ilustra os valores de custo por metro de interceptor implantado ordenados pela profundidade média. Os dados foram ajustados por meio de uma análise de regressão que melhor se adequava a esses pontos. Neste caso, a curva de melhor ajuste foi uma função multiplicativa (Custo por metro = $a \cdot \text{Prof}^b$). Entretanto, em função da grande dispersão dos pontos, ficou evidente o baixo ajuste que esta função proporcionou.

Os dados foram então categorizados em subcategorias e subtipos para propiciarem curvas com melhores ajustes.

Apresentam-se nas Figuras 19 a 23 as curvas com os novos ajustes. A Figura 23 retrata uma situação mais abrangente que as demais – não houve dados suficientes para a geração de curvas individuais para as subcategorias 1B, 2B, 3B, 4A e 4B, razão pela qual esses pontos foram agrupados em um só gráfico.

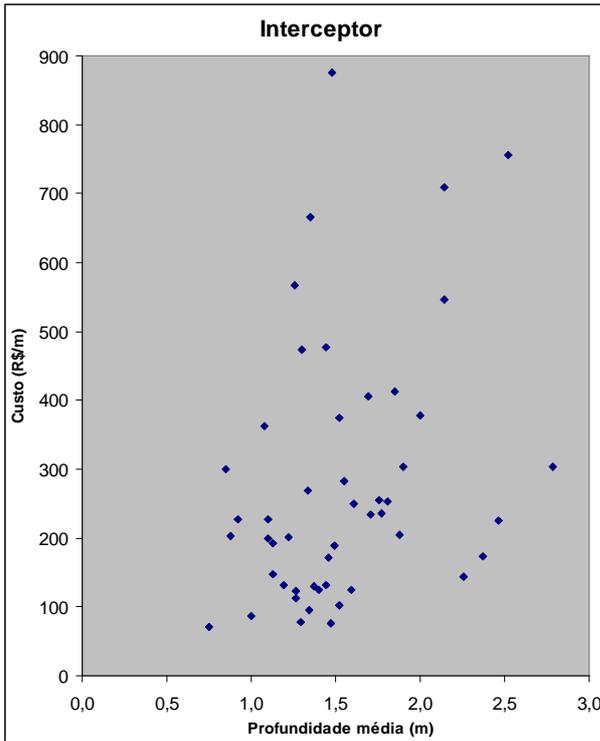


Figura 18 – Custos por metro para implantação de interceptores em função da profundidade média das tubulações.

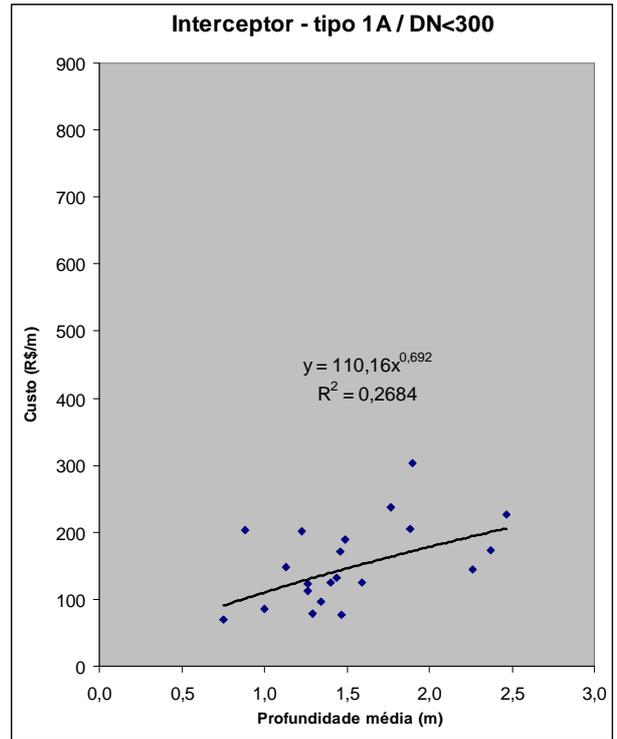


Figura 19 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.

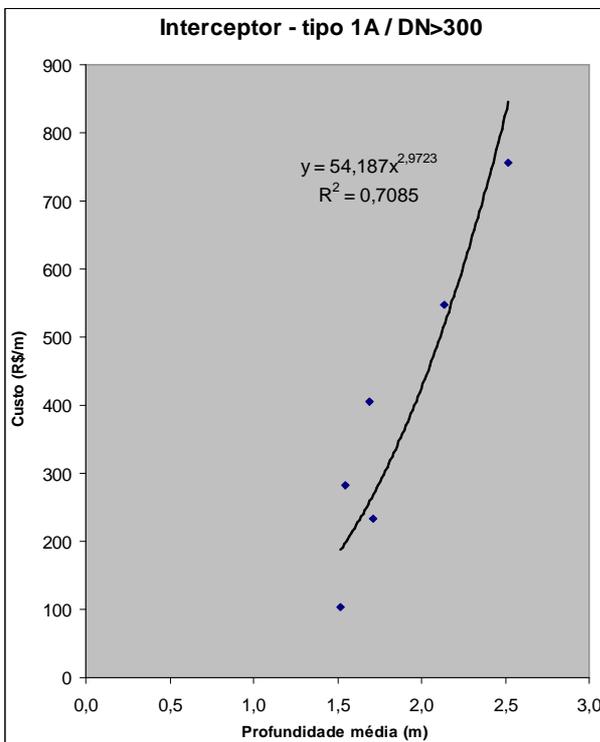


Figura 20 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros maiores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.

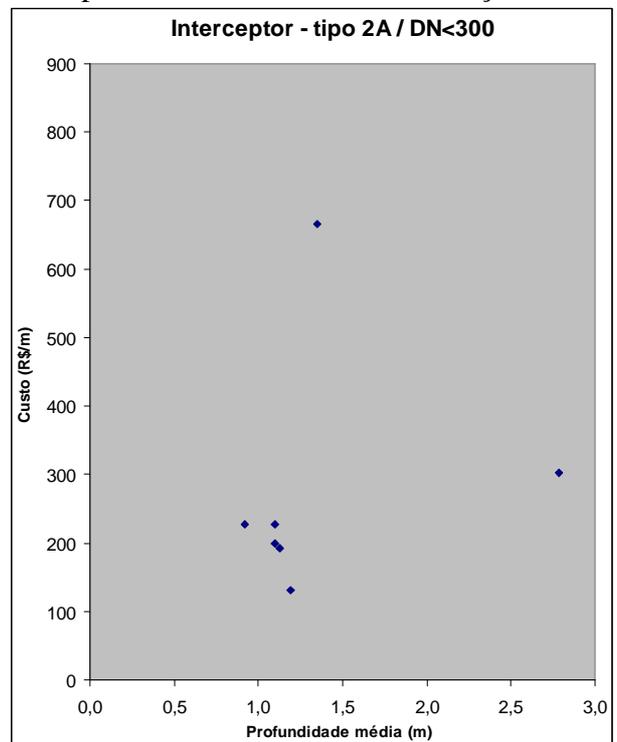


Figura 21 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 2A - Solo seco com mais de 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.

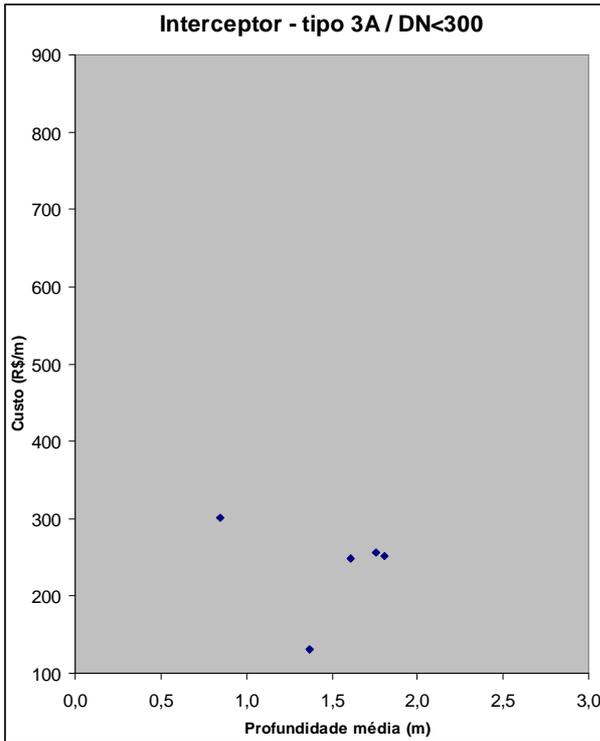


Figura 22 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 3A - Solo predominantemente seco (presença de água em até 40% dos casos) com até 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.

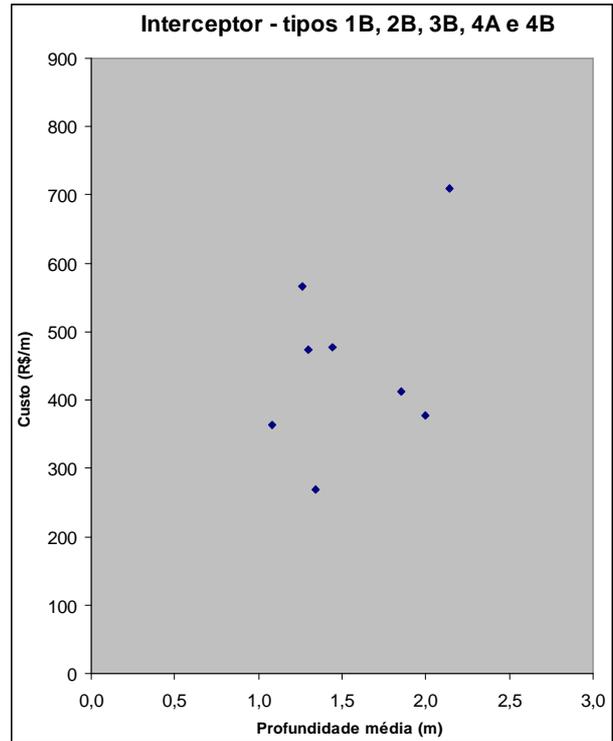


Figura 23 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPOS 1B, 2B, 3B, 4A e 4B – Tipo B (requerem travessias e contenções) em função da profundidade média das tubulações.

A Figura 24 a seguir sintetiza em um único gráfico Box-plot as cinco categorias para ajudar a visualização dos custos de implantação.

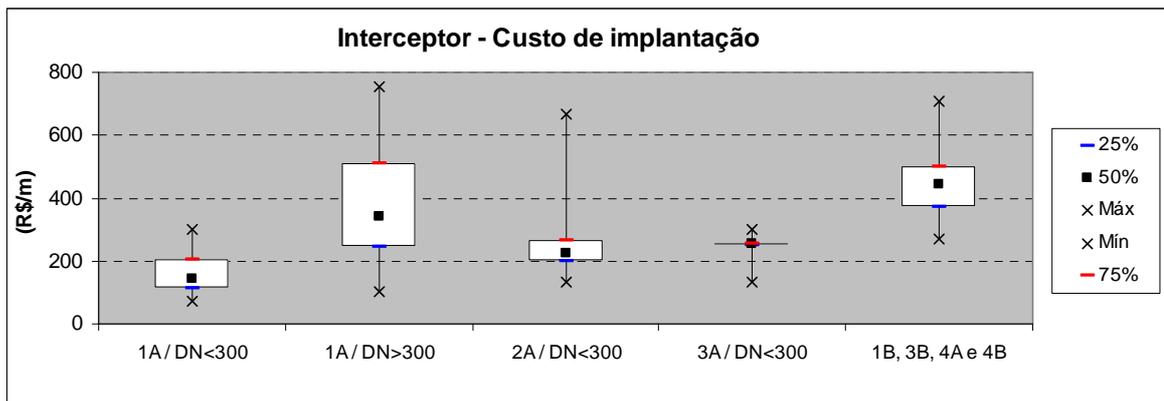


Figura 24 – Custos para implantação de redes coletoras.

Custos de implantação por habitante atendido

As Figuras 25 e 26 mostram que a maior parte dos interceptores analisados atende a uma população entre 2.000 e 12.000 habitantes e que os valores de implantação estão compreendidos entre R\$60,00 e R\$140,00 por habitante atendido.

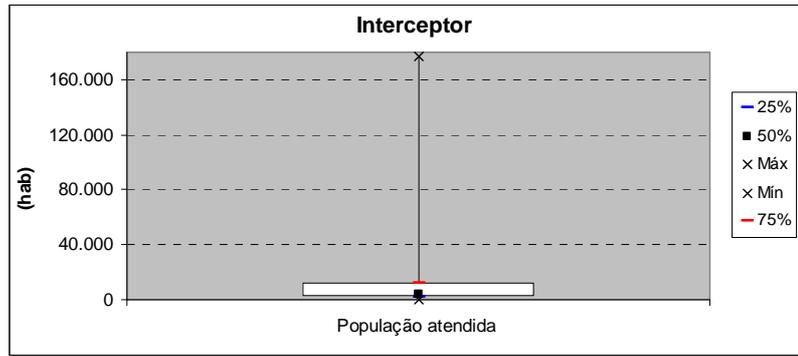


Figura 25 – População média atendida por interceptores.

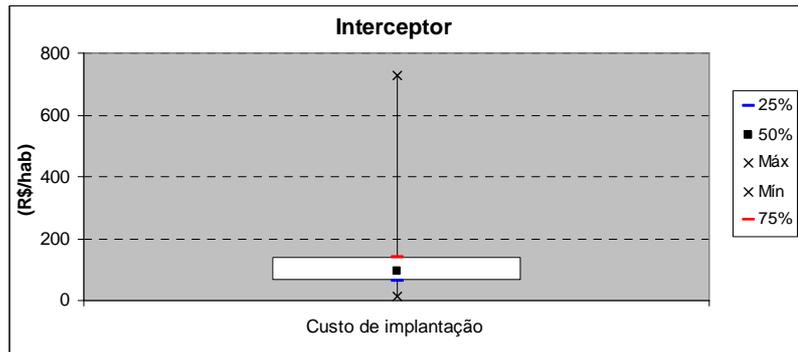


Figura 26 – Custos *per capita* para implantação de interceptores.

A Figura 27 ilustra os valores de custo por habitante atendido ordenados pela profundidade média. Os dados foram ajustados por meio de uma análise de regressão que melhor se adequava a esses pontos. Neste caso, a curva de melhor ajuste foi a multiplicativa (Custo por habitante = $a \cdot \text{Pop}^b$).

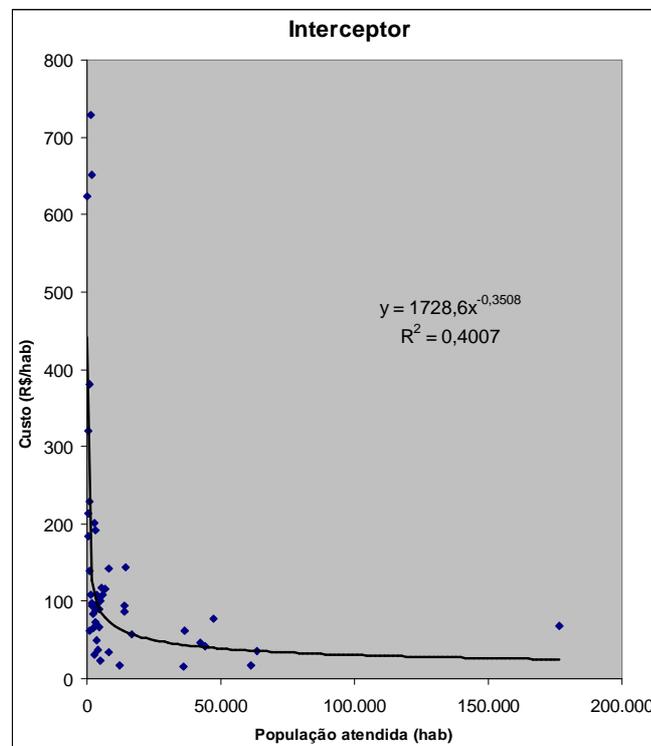


Figura 27 – Custos *per capita* para implantação de interceptores em função da população atendida.

Assim como no item anterior, os dados foram então categorizados em subcategorias e subtipos para propiciarem curvas com melhores ajustes:

Apresentam-se nas Figuras 28 a 32 as curvas com os novos ajustes. Tal como comentado para a Figura 23, a Figura 32 retrata uma situação mais abrangente que as demais – não houve dados suficientes para a geração de curvas individuais para as subcategorias 1B, 2B, 3B, 4A e 4B. Razão pela qual esses pontos foram agrupados em um só gráfico. Ainda assim, houve uma razoável aproximação dos valores conforme se pode ver pelo Coeficiente de Determinação ($R^2 = 0,55$).

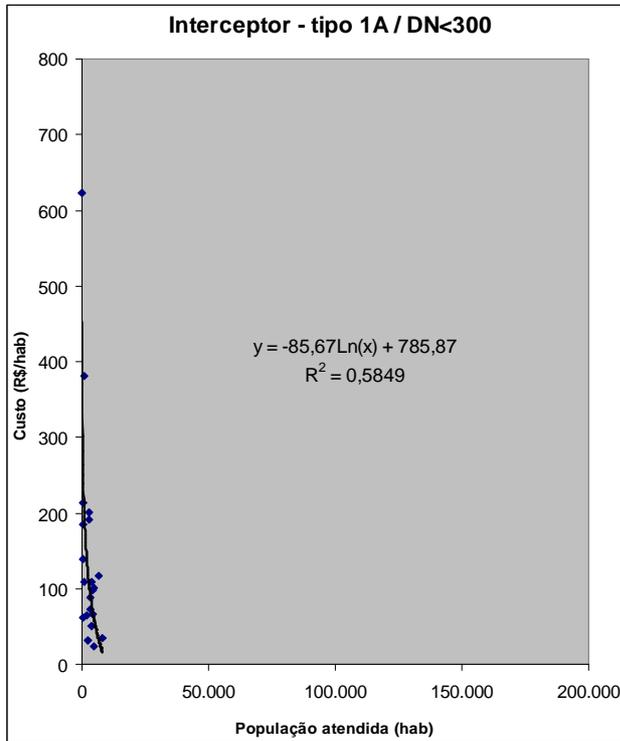


Figura 28 – Custos *per capita* para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da população atendida.

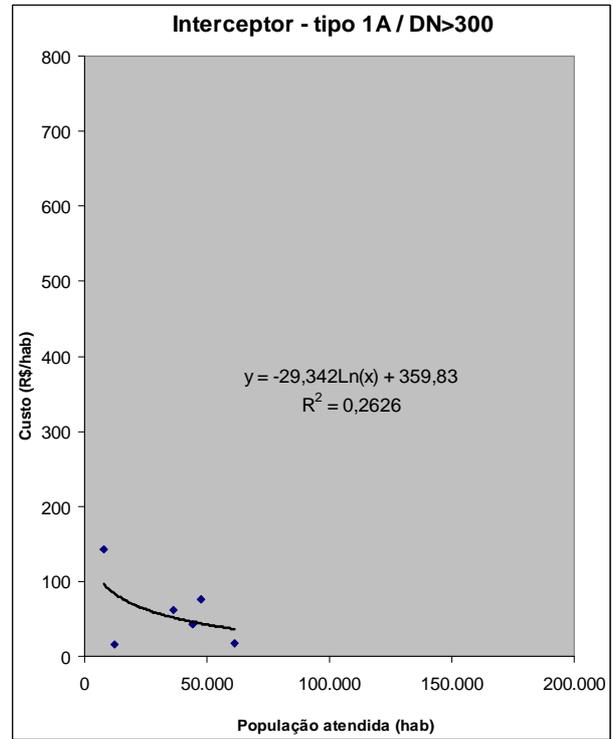


Figura 29 – Custos *per capita* para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros maiores que 300 mm em função da população atendida.

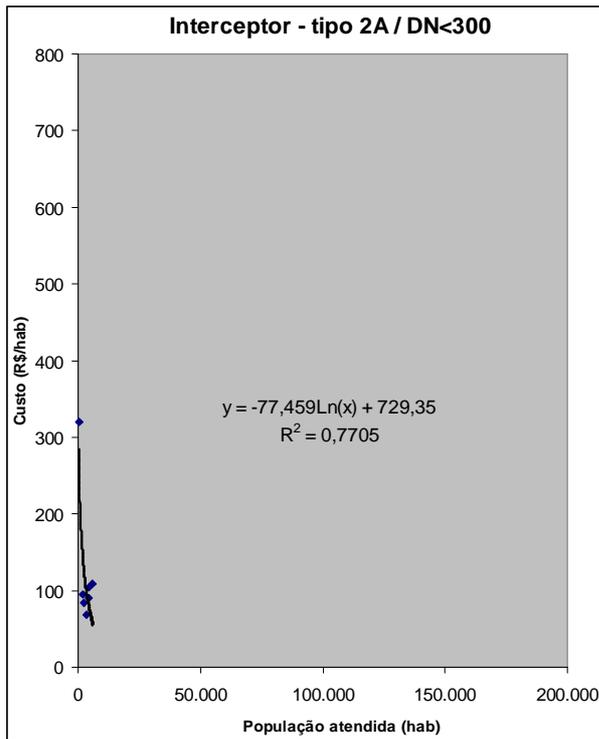


Figura 30 – Custos *per capita* para implantação de interceptores TIPO 2A - Solo seco com mais de 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da população atendida.

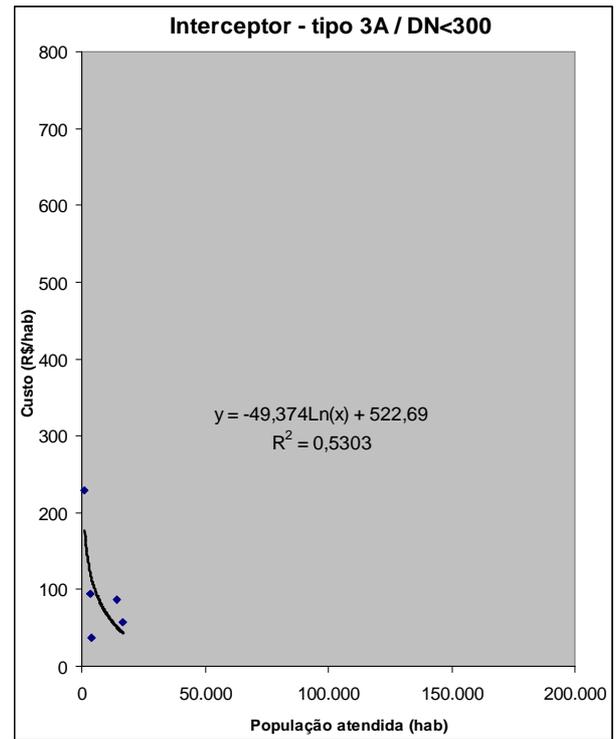


Figura 31 – Custos *per capita* para implantação de interceptores TIPO 3A - Solo predominantemente seco (presença de água em até 40% dos casos) com até 10% de rochas, com diâmetros maiores que 300 mm em função da população atendida.

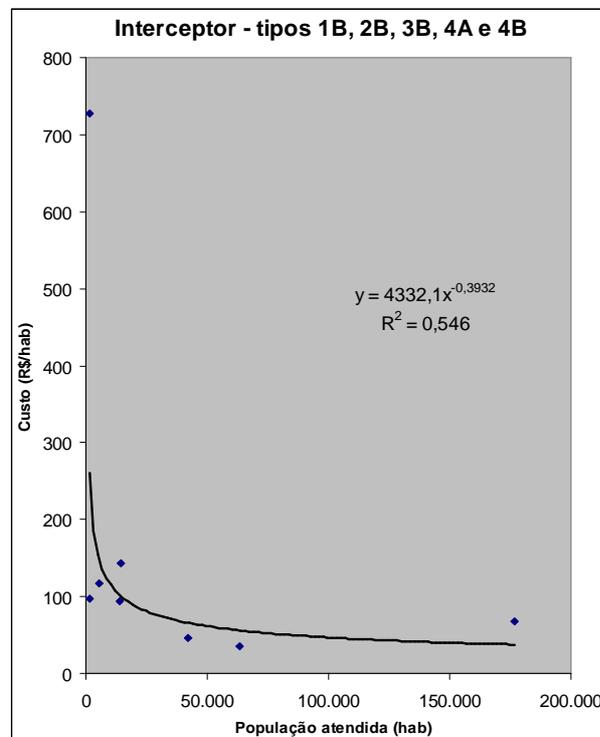


Figura 32 – Custos *per capita* para implantação de interceptores TIPOS 1B, 2B, 3B, 4A e 4B – Tipo B (requerem travessias e contenções) em função da população atendida.

A Figura 33 a seguir sintetiza em um único gráfico Box-plot as cinco categorias para ajudar a visualização dos custos de implantação.

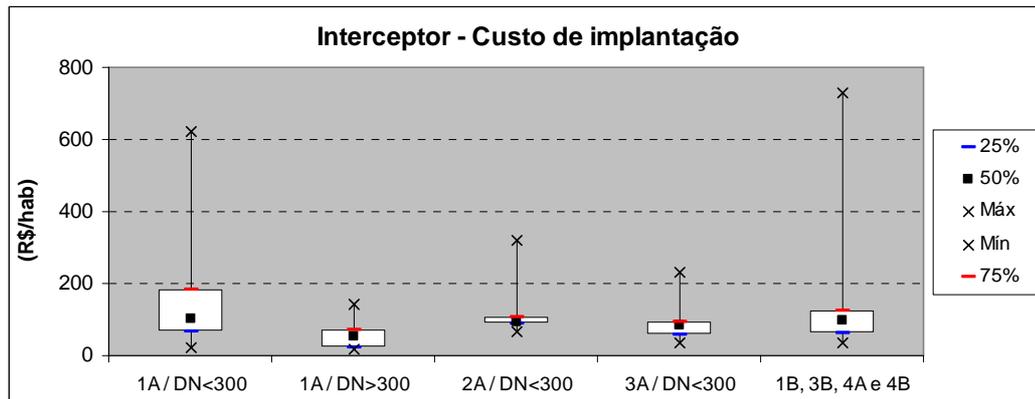


Figura 33 – Custos para implantação de redes coletoras.

4.3. Estação elevatória

As estações elevatórias, ou simplesmente elevatórias, são unidades responsáveis pela transferência dos esgotos a partir de um ponto para outro de cota normalmente mais elevada. Todas as vezes que por algum motivo não seja possível, sob o ponto de vista técnico e econômico, o escoamento dos esgotos pela ação da gravidade, é necessário o uso de elevatórias que transmitem ao líquido energia suficiente para garantir tal escoamento (Alem e Tsutiya, 1999).

As elevatórias são classificadas de acordo com os tipos de bombas que as compõem. As bombas utilizadas podem ser: ejetor pneumático, parafuso e centrífuga. Normalmente, para Sistemas de Esgotamento, as bombas utilizadas são centrífugas. Dentre as centrífugas, as mais usadas são as centrífugas convencionais, submersíveis e re-autoescorvantes. Os esgotos são então bombeados através das linhas de recalque, tubulações pressurizadas, até seu destino.

Os custos de implantação incluem as obras civis, que variam de acordo com o tipo de bomba selecionada, equipamentos, barriletes de interligação e linha de recalque. Além disso, as elevatórias podem operar com mais de uma bomba funcionando em paralelo ou em série. Desta forma, há inúmeras possibilidades de combinação destes elementos. Ao se fazer um projeto de uma estação elevatória, o ponto de partida é o conhecimento da combinação entre a vazão de recalque e a altura manométrica. O cruzamento desses dados chama-se ponto de operação. Não seria nada prático gerar curvas de custo para os incontáveis pontos de operação. O artifício que se utilizou para essa situação inadequada foi a conversão do ponto de operação na potência total dos motores em funcionamento. Desta forma, as diversas variáveis como desnível geométrico, perdas de carga e vazão se simplificam em um único fator que retrata muito bem a implantação da elevatória.

A Figura 34 demonstra que a maior parte das elevatórias pesquisadas tem custos de implantação variando entre R\$20.000,00 e R\$70.000,00 por kW instalado. A Figura 35 indica a influência dos custos de serviço no custo total de implantação. Para o caso das elevatórias, este percentual está, em sua maior parte, compreendido entre 40 e 60% dos custos totais. Portanto, percebe-se que, ao contrário das unidades anteriores do Sistema de Esgotamento, as elevatórias possuem equipamentos com os custos relativos bastante elevados.



Figura 34 – Custos por kW para implantação de estações elevatórias.

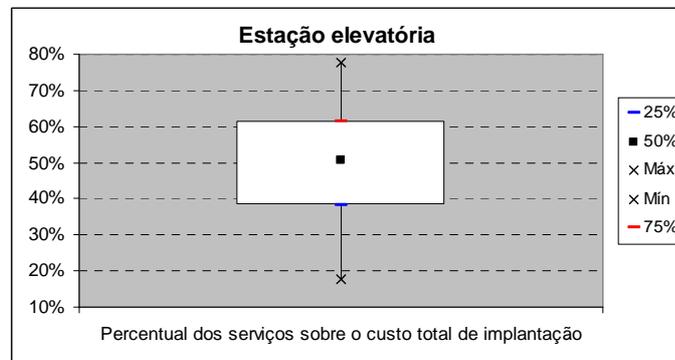


Figura 35 – Percentual dos serviços sobre custo total para implantação de estações elevatórias.

Os dados foram então categorizados pelos tipos de bombas supracitados: centrífugas convencionais, re-autoeskorvantes e submersíveis.

As Figuras 36 a 38 ilustram os valores de custo por kW das estações elevatórias implantadas ordenados pela potência total em kW no ponto de operação. Os dados foram ajustados por meio de análises de regressão que melhor se adequavam a esses pontos. Nestes casos, as curvas que melhor se ajustaram foram funções multiplicativas ($\text{Custo por kW} = a \cdot \text{Pot}^b$). As funções obtiveram ajustes razoáveis, chegando a mais de 85% de ajuste aos dados nas elevatórias que operam com bombas centrífugas convencionais.

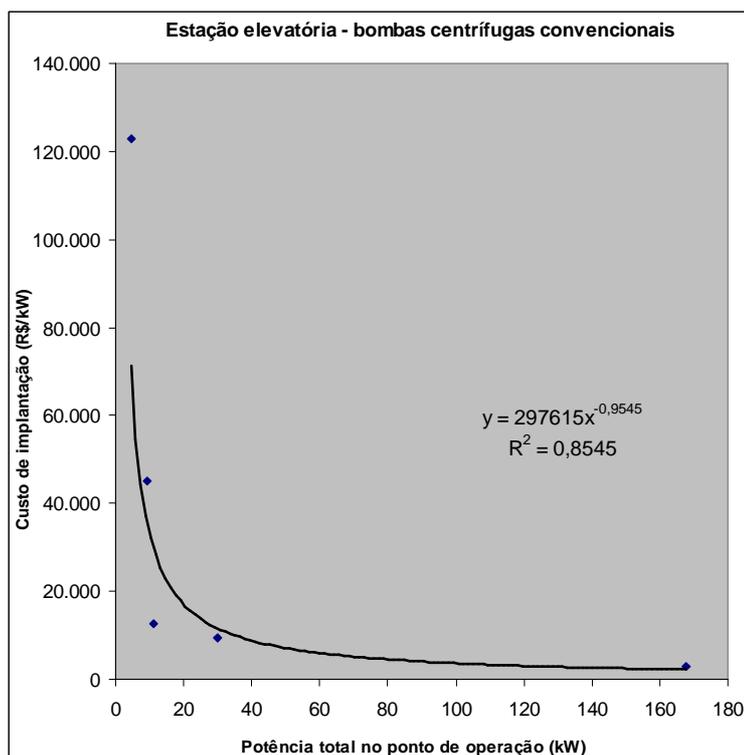


Figura 36 – Custos por kW para implantação de estações elevatórias com bombas centrífugas convencionais em função da potência total no ponto de operação (5 unidades).

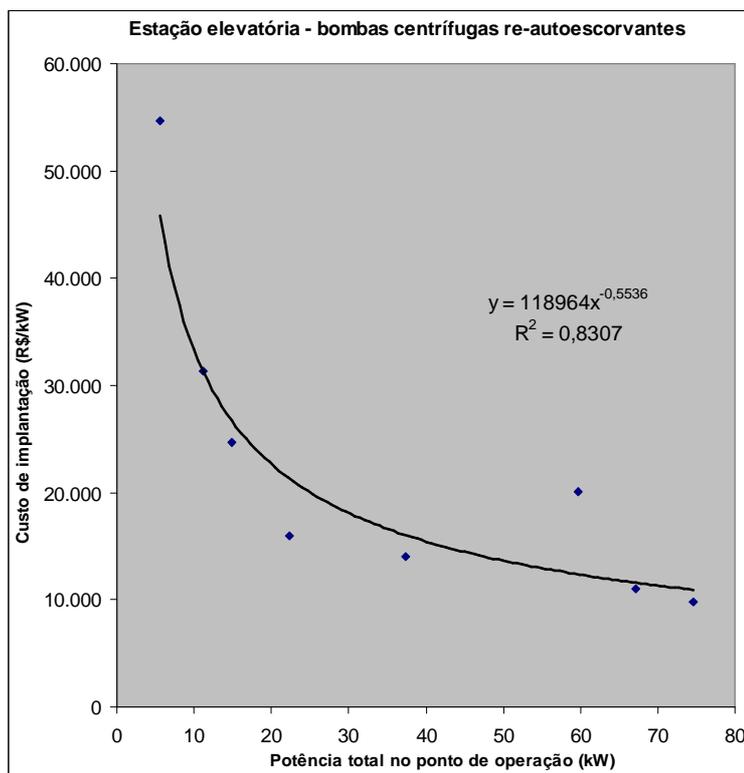


Figura 37 – Custos por kW para implantação de estações elevatórias com bombas centrífugas re-autoeskorvantes em função da potência total no ponto de operação (8 unidades).

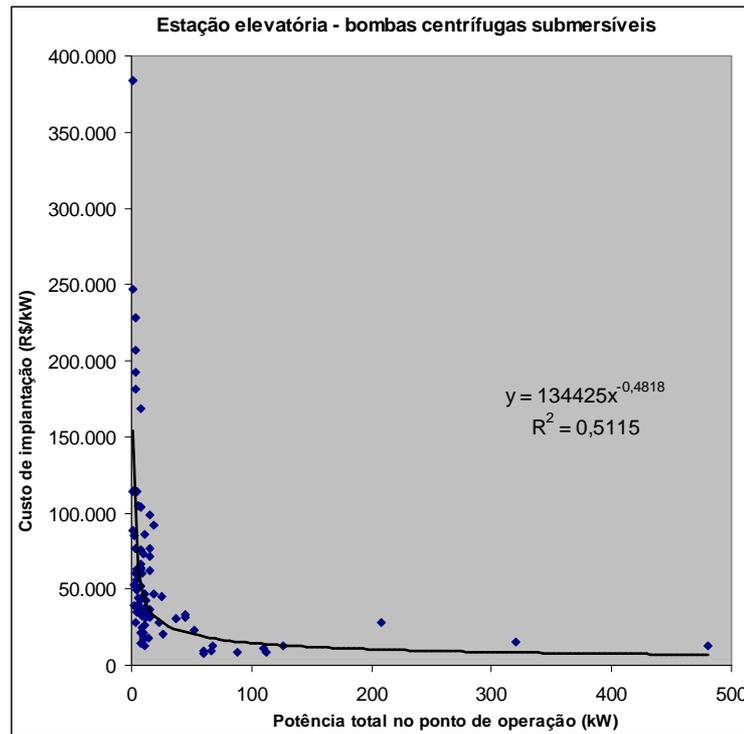


Figura 38 – Custos por kW para implantação de estações elevatórias com bombas centrífugas submersíveis em função da potência total no ponto de operação (83 unidades).

4.4. Estação de tratamento de esgoto

As estações de tratamento de esgoto, ETEs, são as últimas unidades dos Sistemas de Esgotamento Sanitário. Elas são responsáveis pela remoção dos sólidos grosseiros, da matéria orgânica e, em algumas delas, dos organismos patogênicos presentes no esgoto. Existem diversas opções de *layout* que variam de acordo com a disponibilidade de área, recursos e do nível de tratamento que se almeja.

Nos anos mais recentes, com a evolução e melhorias na tecnologia anaeróbia de tratamento, vem sendo projetado um número cada vez maior de plantas que contam com reatores UASB. Essa tecnologia, de funcionamento muito simples, não requer o fornecimento de energia elétrica para sua operação, tem requisitos mínimos de área por habitante, além de produzir relativamente uma pequena quantidade de lodo já digerido e estabilizado. No entanto, a qualidade do efluente do reator UASB é insuficiente para o lançamento na maior parte dos corpos receptores – com pequena capacidade de diluição.

Para complementar a eficiência no tratamento, é necessária uma etapa adicional que prioriza a ação de organismos aeróbios. Os filtros biológicos percoladores mantêm a linha da simplicidade operacional que o reator UASB iniciou e geram um efluente com excelente qualidade. O lodo aeróbio resultante do processo deve ser removido nos decantadores secundários e retornar ao reator UASB para adensamento e estabilização.

Estações de tratamento que funcionam com o fluxograma composto por reator UASB seguido de filtro biológico percolador (FBP) e decantador secundário (DS) têm uma larga aplicabilidade e atendem plenamente aos requisitos de remoção de DBO quando projetadas e operadas adequadamente.

Há uma enorme variabilidade nas condições de implantação, o que dificulta a criação de curvas de funções de custo para a implantação de ETEs. Além das particularidades locais como solo, clima, localização, custo de materiais e mão-de-obra, existem as diversas opções de tratamento hoje disponíveis.

Para este trabalho criaram-se duas categorias para as tipologias das ETEs:

- ✓ TP + UASB + FBP + DS (20 unidades): Estações que, além do tratamento preliminar (TP), possuem o fluxograma típico mencionado no início deste item;
- ✓ Outros tratamentos (12 unidades): Como não houve dados suficientes para a geração das demais curvas, optou-se pela generalização em um único gráfico.

Dentre os outros tratamentos, encontram-se ETEs constituídas somente por TP e reatores UASB, ou associações de reatores UASB seguidos por lagoas de polimento, lodos ativados ou filtros anaeróbios.

A impressão restritiva que se forma ao analisar um cenário tão abrangente como a implantação de ETEs no Brasil de forma tão simplista, atenua-se pelo fato de que é crescente o número de projetos e obras de estações com o fluxograma típico de UASB+FBP+DS. Essa associação de processos funciona muito bem nas condições climáticas do Brasil e tem larga faixa de aplicação. Atualmente já existem grandes estações desse tipo, como a ETE-Onça em Belo Horizonte, que atende a uma população de projeto de aproximadamente 1.000.000 habitantes. Há inúmeros projetos de estações de pequeno e médio porte que progressivamente estão sendo implantadas.

A Figura 39 demonstra que a maior parte das ETEs investigadas tem custos de implantação variando entre R\$150,00 e R\$250,00 por habitante atendido. É muito comum expressar a população de atendimento das ETEs em termos de equivalente populacional. Ao contrário de considerar apenas a população da bacia, o equivalente populacional adiciona a essa população a carga orgânica poluidora das indústrias inseridas nessa bacia. Comumente uma pessoa gera o equivalente a 0,054 kgDBO/hab.d. A conversão da poluição industrial em população equivalente é feita através do conhecimento do valor da carga orgânica dos efluentes industriais expresso em kgDBO/d. Os efluentes industriais costumam ser de pequena monta em termos de vazão, entretanto, dependendo da tipologia industrial, produzem uma carga orgânica equivalente à de uma cidade. No caso das ETEs investigadas, o peso médio do componente industrial foi da ordem de 10% da população contribuinte da bacia.

A Figura 40 indica a influência dos custos de serviço no custo total de implantação. Para o caso das ETEs, este percentual está, em sua maior parte, compreendido entre 65 e 75% dos custos totais.

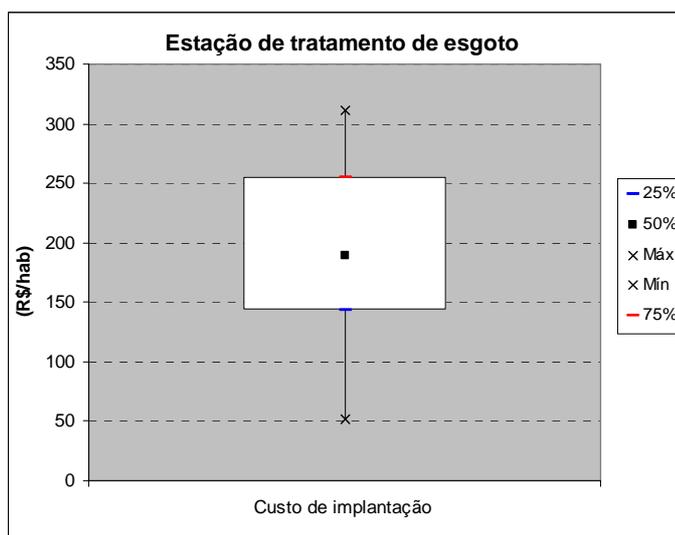


Figura 39 – Custos *per capita* de implantação de ETES.

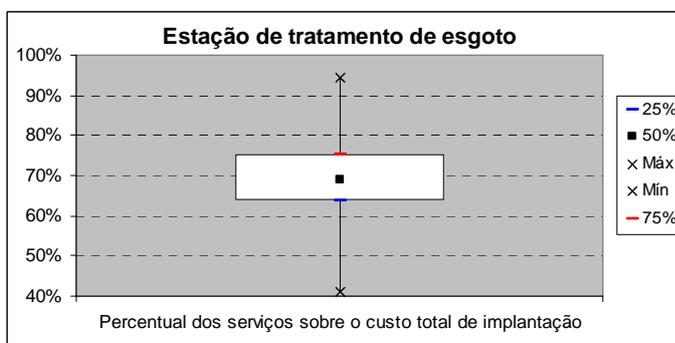


Figura 40 – Percentual dos serviços sobre custo total de implantação de ETES.

As Figuras 41 e 42 ilustram os valores de custo por habitante atendido ordenados pelo equivalente populacional da bacia. Os dados foram ajustados por meio de análises de regressão que melhor se adequavam a esses pontos. Nestes casos, a curva de melhor ajuste foi a logarítmica.

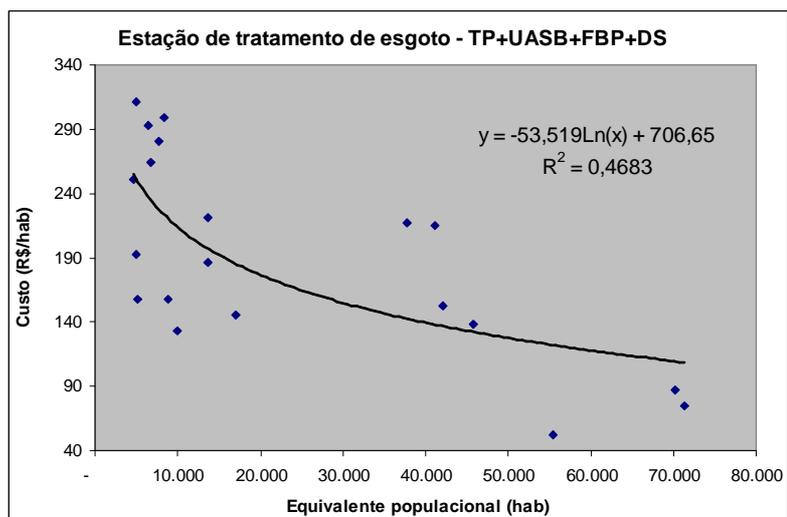


Figura 41 – Custos *per capita* de implantação de ETES (TP+UASB+FBP+DS).

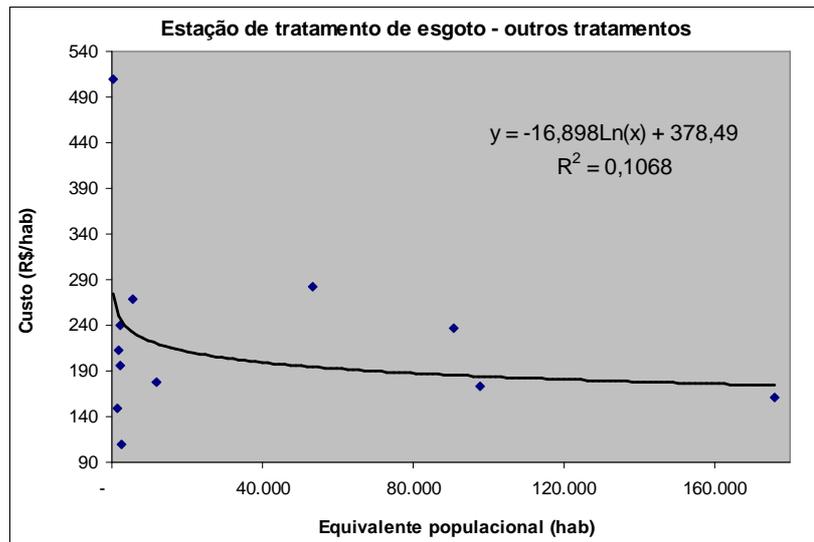


Figura 42 – Custos *per capita* de implantação de ETEs (outros tratamentos).

4.5. Custo de implantação de um Sistema de Esgotamento Sanitário típico

Atualmente, a maioria dos grandes e médios municípios brasileiros já conta com uma infra-estrutura básica de esgotamento sanitário. Essa condição, apesar de parecer adequada, não dá verdadeira magnitude da carência brasileira para o problema. Como já mencionado no início deste trabalho, apenas 50,3% da população urbana brasileira conta com alguma das etapas do sistema, sendo que boa parte não possui tratamento adequado.

É razoável assumir que os pequenos municípios, com população até 15.000 habitantes, representam uma grande parcela das localidades que devam ser contempladas por novos projetos de Sistemas de Esgotamento.

Tendo por base as curvas, estimam-se os custos do SES de uma cidade típica de 15.000 habitantes ($Q_{\text{méd}} = 22$ l/s). Para esta cidade fictícia, que não conta com nenhuma das etapas do sistema, além das redes coletoras e interceptores, existem uma elevatória submersível e uma estação de tratamento tipo TP+UASB+FBP+DS.

Os valores para essas unidades estão listados abaixo:

- ✓ Rede coletora – (Figura 11): R\$658,00/hab → R\$9.870.000,00;
- ✓ Interceptor – (Figura 27): R\$59,00/hab → R\$885.000,00;
- ✓ Estação elevatória de 5 kW ($H_{\text{man}} = 15$ mca) – (Figura 38):
R\$61.904,00/kW → R\$309.520,00 – R\$21,00/hab;
- ✓ Estação de tratamento – (Figura 41): R\$192,00/hab → R\$2.880.000,00;
- ✓ Custo total do SES: R\$ 13.944.520,00;
- ✓ Valor total *per capita*: R\$930,00/hab.

Para facilitar a visualização das diferenças dos custos de acordo com a população atendida, seguem as tabelas.

População (hab)	Vazão média total (l/s)	Potência da elevatória (kW)
2.500	4	1
5.000	7	2
7.500	11	2
10.000	15	3
12.500	18	4
15.000	22	5

Tabela 1 – Vazões médias e potências das elevatórias em função da população atendida.

População (hab)	2.500	5.000	7.500	10.000	12.500	15.000
Custo da Rede coletora	R\$ 1.017.500,00	R\$ 2.450.000,00	R\$ 4.102.500,00	R\$ 5.900.000,00	R\$ 7.837.500,00	R\$ 9.870.000,00
Custo da rede coletora (R\$/hab)	R\$ 407,00	R\$ 490,00	R\$ 547,00	R\$ 590,00	R\$ 627,00	R\$ 658,00
Custo do interceptor	R\$ 277.500,00	R\$ 435.000,00	R\$ 570.000,00	R\$ 680.000,00	R\$ 787.500,00	R\$ 885.000,00
Custo do interceptor (R\$/hab)	R\$ 111,00	R\$ 87,00	R\$ 76,00	R\$ 68,00	R\$ 63,00	R\$ 59,00
Custo da elevatória	R\$ 134.425,00	R\$ 192.520,00	R\$ 192.520,00	R\$ 237.534,00	R\$ 275.720,00	R\$ 309.520,00
Custo da elevatória (R\$/hab)	R\$ 54,00	R\$ 39,00	R\$ 26,00	R\$ 24,00	R\$ 22,00	R\$ 21,00
Custo da ETE	R\$ 720.000,00	R\$ 1.255.000,00	R\$ 1.717.500,00	R\$ 2.140.000,00	R\$ 2.525.000,00	R\$ 2.880.000,00
Custo da ETE (R\$/hab)	R\$ 288,00	R\$ 251,00	R\$ 229,00	R\$ 214,00	R\$ 202,00	R\$ 192,00
Custo TOTAL SES	R\$ 2.149.425,00	R\$ 4.332.520,00	R\$ 6.582.520,00	R\$ 8.957.534,00	R\$ 11.425.720,00	R\$ 13.944.520,00
Custo total SES (R\$/hab)	R\$ 860,00	R\$ 867,00	R\$ 878,00	R\$ 896,00	R\$ 914,00	R\$ 930,00

Tabela 2 – Custos totais e *per capita* de cada unidade do SES.

População (hab)	2.500	5.000	7.500	10.000	12.500	15.000
Percentual do custo total empregados na rede coletora	47%	57%	62%	66%	69%	71%
Percentual do custo total empregados no interceptor	13%	10%	9%	8%	7%	6%
Percentual do custo total empregados na elevatória	6%	4%	3%	3%	2%	2%
Percentual do custo total empregados na ETE	33%	29%	26%	24%	22%	21%

Tabela 3 – Percentual dos custos de cada unidade do SES no custo total.

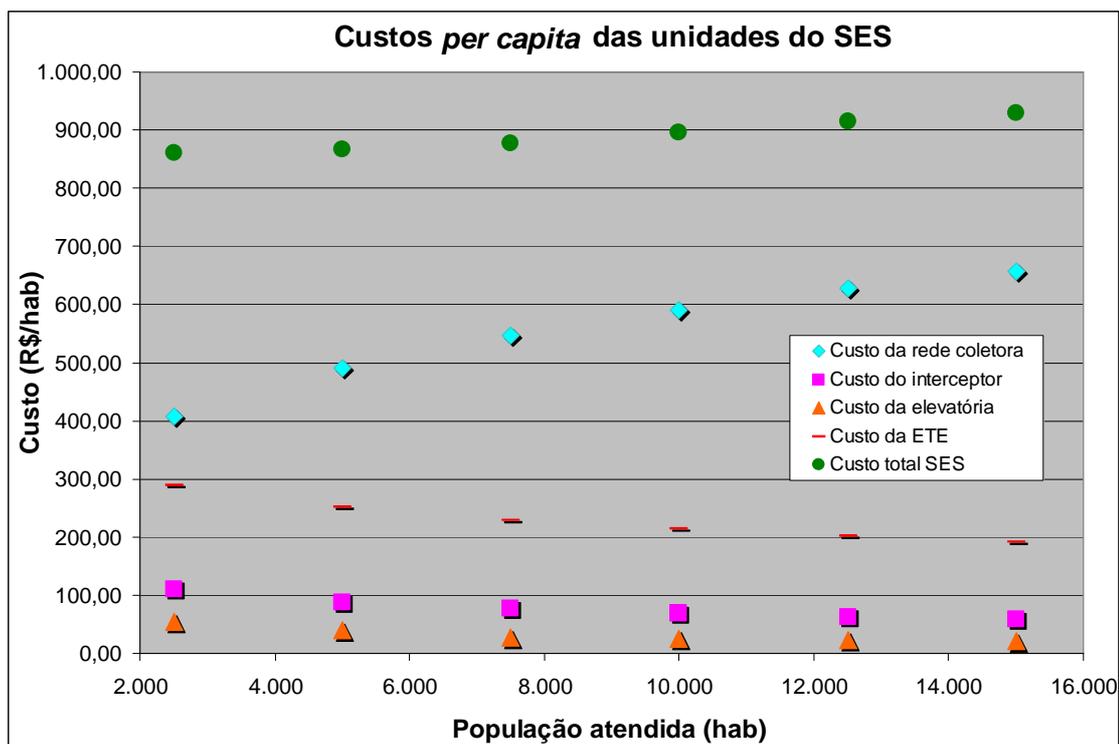


Figura 43 – Custos *per capita* das unidades do SES.

Os custos apresentados acima se referem a um sistema hipotético, não representando a realidade local conforme descrito anteriormente. Os custos relativos a interferências, acessórios especiais ou acréscimo de comprimento ou profundidade de rede, não serão levados em conta quantitativamente, mas obrigatoriamente serão considerados ao menos qualitativamente. Em caso de se conhecerem as características particulares das localidades com um pouco mais de detalhes, ou se há necessidade desses acessórios, sugere-se a adoção das curvas que considerem tais intervenções.

Para efeito comparativo, foram obtidos, junto aos *sites* do Governo Federal (MCidades, 2008), os custos de investimento na área de saneamento do Brasil. As tabelas abaixo mostram tais valores e a quantidade de famílias beneficiadas.

UF	RECURSOS FEDERAIS COMPROMETIDOS									
	OGU		FINANCIAMENTOS				TOTAL			
	TOTAL (R\$)	%	FGTS (R\$)	BNDES (R\$)	TOTAL (R\$)	%	TOTAL (R\$)	%	Famílias Benefc	Empregos gerados
BRASIL	5.971.220.660	100	3.707.983.160,73	2.517.373.025,05	6.225.356.186,26	100	12.196.576.846,26	100	4.674.075	646.315

Tabela 4 – Gastos comprometidos com iniciativas de Saneamento Básico em 2008, por fonte de recursos.

Fonte: Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA.

MODALIDADES	INVESTIMENTOS POR FONTE*							
	Investimentos Totais*		Operações Totais		Contratos de Empréstimo (FIN)		Contratos de Repasse (OGU)	
	R\$ 1,00	%	Nº	%	R\$ 1,00	Nº	R\$ 1,00	Nº
Esgotamento sanitário	10.821.566.327	31,4	824	7,2	7.177.117.432	588	3.644.448.895	236

* Inclui a contrapartida de Estados e Municípios beneficiados

Tabela 5 – Carteira de investimentos total (MCidades) por modalidade e fonte de recursos.

Fonte: Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA.

Para se comparar os custos obtidos através das curvas com os apresentados na literatura citada, os valores devem ser corrigidos para a mesma data-base (abril/2010). Caso se use o mesmo indicador (INCC), ter-se-á um acréscimo corretivo de 15%.

Segundo o censo demográfico de 2000 (<http://www.sidra.ibge.gov.br/>), a quantidade média de pessoas por família no Brasil é 3,39. O valor dos investimentos *per capita* já corrigido é igual a R\$785,00/hab. Este valor é bastante condizente com o valor encontrado pelas curvas. A diferença pode ser atribuída a diversos fatores, mas o mais relevante é que na cidade fictícia foi feita a implantação de um sistema completo e esse não é o caso na maioria dos municípios brasileiros.

Segundo os valores de custos de implantação de ETEs (von Sperling, 2007), os custos para implantação de uma ETE composta por UASB+FBP em uma cidade em Minas Gerais de 15.000 habitantes é igual a R\$661,00/hab – $R^2=0,039$. Da mesma forma que no estudo anterior, os valores devem ser corrigidos para a mesma data-base (abril/2010). Neste caso, o acréscimo corretivo é igual a 26%. O valor *per capita* corrigido é igual a R\$832,00/hab.

Comparando-se os valores de implantação de ETEs obtido no presente trabalho (R\$192,00/hab), e obtido segundo o artigo supracitado (R\$832,00/hab), fica clara a ampla variabilidade dos custos encontrados. Ressalta-se a dificuldade de se ter valores específicos, dada a diversidade de fatores que influenciam nos custos de implantação dos SES. Vale ainda a menção de que são funções com valores R^2 bastante diferentes e isso causa uma distorção ainda maior nos valores de custos.

4.6. Síntese dos custos e funções obtidas

As Tabelas 6 a 12 sintetizam os principais resultados do trabalho. As funções de custo obtidas são facilmente corrigidas para outras datas-base, bastando a correção adicional a partir das futuras correções através do INCC. Para os casos onde as funções não se ajustaram bem, ou quando não houve dados suficientes para a elaboração das mesmas, o campo indicativo da função foi deixado propositalmente em branco.

Rede coletora			
Tipo 1- Com até 10% de rocha / Com até 40% pavimentado			
R\$/m		R\$/hab	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo=a.Pop ^b	Coefficiente de Determinação (R ²)
-	-	19,949.pop^{0,3271}	0,3819
Profundidade mínima (m)	1,15	População mínima atendida (hab)	254
Profundidade máxima (m)	1,74	População máxima atendida (hab)	7.231
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	86,14	Custo associado ao percentil 25% (R\$/hab)	183,43
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	98,00	Custo associado ao percentil 75% (R\$/hab)	352,67

Tipo 2- Com mais de 10% de rocha / Com mais de 40% pavimentado			
R\$/m		R\$/hab	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo=a.Pop ^b	Coefficiente de Determinação (R ²)
132.prof^{-0,6204}	0,1692	-	-
Profundidade mínima (m)	0,85	População mínima atendida (hab)	296
Profundidade máxima (m)	1,76	População máxima atendida (hab)	13.998
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	99,92	Custo associado ao percentil 25% (R\$/hab)	514,59
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	147,05	Custo associado ao percentil 75% (R\$/hab)	699,35

Tabela 6 – Funções de custos para implantação de redes coletoras (data-base abr/2010).

Interceptor			
Tipo 1A: Solo seco com até 10% de rochas / SEM condições especiais como travessias e contenções			
Diâmetros MENORES que 300mm			
R\$/m		R\$/hab	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo=a.Ln(Pop)+b	Coefficiente de Determinação (R ²)
110,16.prof^{0,692}	0,2684	-85,67.Ln(pop) + 785,87	0,5849
Profundidade mínima (m)	0,75	População mínima atendida (hab)	49
Profundidade máxima (m)	2,46	População máxima atendida (hab)	7.955
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	112,07	Custo associado ao percentil 25% (R\$/hab)	65,57
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	201,33	Custo associado ao percentil 75% (R\$/hab)	184,34
Diâmetros MAIORES que 300mm			
R\$/m		R\$/hab	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo=a.Ln(Pop)+b	Coefficiente de Determinação (R ²)
54,187.prof^{2,9723}	0,7085	-29,342Ln(pop) + 359,83	0,2626
Profundidade mínima (m)	1,52	População mínima atendida (hab)	7.976
Profundidade máxima (m)	2,52	População máxima atendida (hab)	61.125
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	245,57	Custo associado ao percentil 25% (R\$/hab)	23,51
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	511,62	Custo associado ao percentil 75% (R\$/hab)	73,09

Tabela 7 – Funções de custos para implantação de interceptores tipo 1A (data-base abr/2010).

Interceptor			
Tipo 2A: Solo seco com mais de 10% de rochas / SEM condições especiais como travessias e contenções			
Diâmetros MENORES que 300mm			
R\$/m		R\$/hab	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo=a.Ln(Pop)+b	Coefficiente de Determinação (R ²)
-	-	-77,459Ln(pop) + 729,35	0,7705
Profundidade mínima (m)	0,92	População mínima atendida (hab)	316
Profundidade máxima (m)	2,78	População máxima atendida (hab)	6.067
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	196,38	Custo associado ao percentil 25% (R\$/hab)	86,76
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	265,58	Custo associado ao percentil 75% (R\$/hab)	105,99
Diâmetros MAIORES que 300mm			
R\$/m		R\$/hab	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo=a.Ln(Pop)+b	Coefficiente de Determinação (R ²)
-	-	-	-

Tabela 8 – Funções de custos para implantação de interceptores tipo 2A (data-base abr/2010).

Interceptor			
Tipo 3A: Predominantemente seco (presença de água em até 40% dos casos) / Com até 10% de rocha / SEM condições especiais como travessias e contenções			
Diâmetros MENORES que 300mm			
R\$/m		R\$/hab	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo= $a \cdot \ln(\text{Prof}) + b$	Coefficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo= $a \cdot \ln(\text{Pop}) + b$	Coefficiente de Determinação (R ²)
-	-	-49,374.Ln(pop) + 522,69	0,5303
Profundidade mínima (m)	0,85	População mínima atendida (hab)	1.125
Profundidade máxima (m)	1,81	População máxima atendida (hab)	16.516
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	249,25	Custo associado ao percentil 25% (R\$/hab)	57,52
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	255,74	Custo associado ao percentil 75% (R\$/hab)	94,52
Diâmetros MAIORES que 300mm			
R\$/m		R\$/hab	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo= $a \cdot \ln(\text{Prof}) + b$	Coefficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo= $a \cdot \text{Pop}^2 + b \cdot \text{Pop} + c$	Coefficiente de Determinação (R ²)
-	-	-	-

Tabela 9 – Funções de custos para implantação de interceptores tipo 3A (data-base abr/2010).

Interceptor			
Interceptor - tipos 1B, 2B, 3B, 4A e 4B (B - COM condições especiais como travessias e contenções)			
R\$/m		R\$/hab	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo= $a \cdot \ln(\text{Prof}) + b$	Coefficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo= $a \cdot \text{Pop}^b$	Coefficiente de Determinação (R ²)
-	-	4332,1.pop^{-0,3932}	0,546
Profundidade mínima (m)	1,08	População mínima atendida (hab)	1.277
Profundidade máxima (m)	2,14	População máxima atendida (hab)	176.637
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	374,25	Custo associado ao percentil 25% (R\$/hab)	62,79
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	499,37	Custo associado ao percentil 75% (R\$/hab)	124,03

Tabela 10 – Funções de custos para implantação de interceptores tipos 1B, 2B, 3B, 4A e 4B (data-base abr/2010).

Estação elevatória			
Bomba centrífuga convencional		Bomba centrífuga re-autoescurvantes	
Função de custo (R\$/kW) em função da potência total no ponto de operação (kW) Custo=a.Pot ^b	Coeficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/kW) em função da potência total no ponto de operação (kW) Custo=a.Pot ^b	Coeficiente de Determinação (R ²)
297615.pot ^{-0,9545}	0,8545	118964.pot ^{-0,5536}	0,8307

Bomba centrífuga submersíveis	
Função de custo (R\$/kW) em função da potência total no ponto de operação (kW) Custo=a.Pot ^b	Coeficiente de Determinação (R ²)
134425.pot ^{-0,4818}	0,5115

Tabela 11 – Funções de custos para implantação de estações elevatórias (data-base abr/2010).

Estação de tratamento			
TP+UASB+FBP+DS		Outros tratamentos	
Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo=a.Ln(Pop)+b	Coeficiente de Determinação (R ²)	Função de custo (R\$/hab) em função da população (hab) Custo=a.Ln(Pop)+b	Coeficiente de Determinação (R ²)
-53,519.Ln(pop) + 706,65	0,4683	-16,898.Ln(pop) + 378,49	0,1068

Tabela 12 – Funções de custos para implantação de ETEs (data-base abr/2010).

5. CONCLUSÕES

Através desse estudo ficou clara a ampla variabilidade dos fatores que influenciam nos custos de implantação de um Sistema de Esgotamento Sanitário. Entretanto, percebe-se ao analisar as curvas criadas, que há evidentemente um padrão que pode ser seguido na estimativa de custos para sistemas futuros de portes similares. Era essa a proposta inicial.

Os custos de serviços também devem ser realçados, ficou claro o peso dessa parcela no custo total de implantação. A exceção das estações elevatórias, essas unidades são dotadas de equipamentos e barriletes de tubulações com preços de fornecimento elevados, isso fez com que houvesse um equilíbrio percentual dos custos de fornecimento de equipamentos e de serviços.

Os custos das redes coletoras também se sobressaíram em relação às outras unidades do SES. Mesmo em localidades de pequeno porte (2.500 habitantes), as redes coletoras representam praticamente 50% dos custos totais de implantação do SES. Não houve, contudo ganho de escala para as populações maiores. Tal ocorrência se deve ao fato de que as redes coletoras são instrumentos locais e o aumento da população implica quase sempre no aumento da mancha urbana em regiões menos densas. Tal aumento implica na necessidade de um incremento da cobertura através de novas redes coletoras.

6. RECOMENDAÇÕES

A principal recomendação para a melhoria deste trabalho é a inclusão de pontos adicionais às curvas de custos. A base de dados utilizada, apesar de ter conduzido a Coeficientes de Determinação razoavelmente aceitáveis em vários casos, poderia ser maior.

A categorização foi adequada para a melhoria da qualidade das funções, entretanto restringiu a utilização dessas curvas em localidades nas quais muitas vezes não se têm as informações necessárias para a adoção de uma ou outra função. Recomenda-se a tentativa da criação de um critério menos restrito sem que haja significativas reduções dos Coeficientes de Determinação.

Dentro do tempo disponível para a execução deste trabalho, encontraram-se poucos estudos de avaliação de custos para implantação de SES. A comparação com dados confiáveis da literatura foi feita, porém seria de enorme valia uma complementação para avaliar com mais propriedade as funções de custo aqui propostas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE – Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 03/04/2010.

IBGE – Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>. Acesso em: 03/04/2010.

INCC/FGV – Disponível em:

< <http://www.esccgaspar.com.br/incc.htm> >. Acesso em: 20/03/2010.

MEDEIROS FILHO, C.F. *Esgotos Sanitários*, Editora da UFPB, 1997, 430p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (MCidades). *Relatório de aplicações de 2008. Gasto Público em Saneamento Básico*. p.54, 86. 2008.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). *Visão Geral da Prestação dos Serviços de Água e Esgotos*. p.79. 2004.

TSUTIYA, M.T., ALEM SOBRINHO, P., *Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária e Ambiental - USP. 1a ed. 1999.

VON SPERLING, M. *Desenvolvimento de Funções de Custo de Implantação de Estações de Tratamento de Esgotos* In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte. Resumo dos Trabalhos Técnicos... ABES, 2007.p. 126-127)

VON SPERLING, M.. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 3a ed. 2005.