

CONFERIDO  
PROC. N.º 017/2009  
RUB. 231 (15) - 1201  
PRPG 231 (15) - 1201

## ERRATA

Eu, Adélia Mara Massulo, ex-aluno do curso de Mestrado em Engenharia Civil, informo que deve-se considerar a seguinte errata nas páginas i, ii, iii e xi.

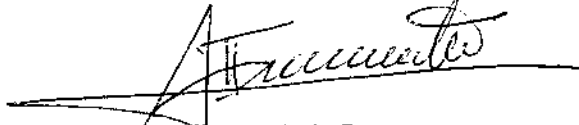
onde se lê: "Eficiência Energética em Estações Elevatórias de Esgotos: Estudo de Caso na Cidade de Uberlândia-MG"

Leia-se: "Eficiência Energética em Estações Elevatórias de Esgotos: Estudo de Caso em Uberlândia-MG"

Sem mais.



Adélia Mara Massulo



Prof. Dr. Alberto Luiz Francato  
Orientador

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

“EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESTAÇÕES  
ELEVATÓRIAS DE ESGOTOS: ESTUDO DE CASO NA  
CIDADE DE UBERLÂNDIA-MG”

Autora: Adélia Mara Massulo

Orientador: Prof. Dr. Alberto Luiz Francato

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.

Campinas

Agosto – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

M389e Massulo, Adélia Mara  
Eficiência energética em estações elevatórias de  
esgoto: estudo de caso na cidade de Uberlândia / Adélia  
Mara Massulo. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Alberto Luiz Francato.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo.

1. Pesquisa operacional. 2. Programação não-linear.  
3. Águas residuais. 4. Esgotos. I. Francato, Alberto  
Luiz. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade  
de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III.  
Título.

Título em Inglês: Energy efficiency in pumping stations sewage: a case study in  
the city of Uberlândia

Palavras-chave em Inglês: Operational research, Nonlinear programming,  
Sewage, Sewerage

Área de concentração: Planejamento Energético e Sistemas Elétricos

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Edson Aparecido Abdul Nour, José Rodolfo Scarati Martins

Data da defesa: 23-08-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS


“EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESTAÇÕES  
ELEVATÓRIAS DE ESGOTOS. ESTUDO DE CASO NA  
CIDADE DE UBERLÂNDIA-MG”

Mestranda: Adélia Mara Massulo

Dissertação de Mestrado aprovada pela banca examinadora constituída por:



Prof. Dr. Alberto Luiz Francato  
**Presidente e Orientador / Fec-Unicamp**



Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour  
**Fec-Unicamp**



Prof. Dr. José Rodolfo Scarati Martins  
**Poli - USP**

Campinas, 23 de agosto de 2011.



## **Dedicatória:**

À minha mãe, Maria Angélica, pelo amor e apoio incondicional;

À minha “nano” família, Delfina, Arnaldo e Raquel, que como a mão, tem dedos diferentes mas sempre unidos;

À minha finada avó, que me deu seu nome e muito mais;

Ào meu finado avô, Vergílio, que me mostrou o dom de perdoar;

E à minha finada tia Nair que sempre me ensinou a ver as cores do mundo.



## **Agradecimentos:**

Ao meu orientador, Alberto, pelo apoio e orientação nessa trajetória;

Ao “patrão”, Angelo Lorenzino, pelo companheirismo, pela paciência, pela lealdade e principalmente pelas “grandes idéias”;

Ao professor Paulo Barbosa, pela primeira matéria ministrada no curso de pós-graduação, matéria que me incentivou a continuar;

Aos meus amigos, Ailton e a Marcela, por me tolerarem durante tantos anos e estarem lado a lado todo o tempo;

A “Liga da Justiça”, por todas as loucuras ao longo desses anos e pela amizade quase que incondicional;

Aos meus colegas de pós-graduação, pela troca de experiências;

Aos funcionários da FEC de uma forma geral e principalmente a Paula, por nos socorrer sempre que precisamos;

Aos meus colegas professores da PUCC, que estão sempre dispostos a me ajudar;

Ao Abimael por toda a ajuda dada com esse trabalho e com todo o resto;

Aos meus alunos que de uma forma geral me ensinam mais do que eu ensino a eles;

Aos meus clientes que me proporcionam trabalhos incríveis e que tiveram muita paciência ao ver todos os seus projetos atrasados nessa reta final;

A todos os amigos da cidade de Uberlândia que me acolheram e me fizeram uma cidadã “Uberlandina” (trocadilho para quem vem de fora e se torna Uberlandense de coração);

Ao DMAE de Uberlândia, que me forneceu todos os dados para elaboração dessa dissertação, principalmente ao Leandro pela solicitude.





*“LEXIII: Actioni contrariam semper et  
aequalem esse reactionem: sive corporum  
duorum actiones in se mutuo semper esse  
aequales et in partes contrarias dirigi.”*  
Sir Isaac Newton, 1687



MASSULO, Adélia Mara, “*Eficiência Energética em Estações Elevatórias de Esgoto: Estudo de caso na cidade de Uberlândia*”. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011. Dissertação de Mestrado.

## RESUMO

A operação adequada de um sistema de coleta e afastamento de esgoto está diretamente relacionado a otimização do custo de operação do mesmo. Tendo em vista a utilização de equipamentos como: inversores de frequência e painéis de controle a distância para estações elevatórias de esgotos de grande porte e da inviabilidade financeira de instalar-se tais dispositivos em estações elevatórias de esgoto de pequeno e médio porte, a otimização surge como alternativa para buscar soluções eficientes e eficazes na operação do sistema. Na literatura relacionada ao assunto, verifica-se o desenvolvimento de diversos trabalhos com a aplicação e o desenvolvimento de rotinas computacionais de otimização específicas para o sistema de abastecimento de água. Contudo observa-se que ainda não existe o mesmo empenho para desenvolvimento de trabalhos voltados a eficiência operacional e energética em estações elevatórias de esgoto. Diante desse quadro, o presente trabalho tem como propósito aplicar uma rotina computacional de otimização que atenda as necessidades de estações elevatórias de esgoto. A metodologia utiliza a programação não linear, inteira e mista. O estudo de caso é feito com estações elevatórias de esgoto do município de Uberlândia-MG. Como resultado, foi obtida uma operação eficiente, que atende a todas as restrições impostas ao modelo, obtendo uma economia média de energia elétrica nas duas estações elevatórias de esgotos utilizadas para modelagem de vinte e dois por cento.

**Palavras-Chave:** Pesquisa Operacional, Estação Elevatória de Esgoto, Programação Não Linear, Programação Inteira e Mista, Esgoto.



MASSULO, Adélia Mara, "Energy Efficiency in Pumping Stations Sewage: A case Study in the city of Uberlândia.". Faculty of Civil Engineering, Architecture and Urbanism, University of Campinas, 2011. Master Dissertation

## ABSTRACT

Proper operation of a system of collection and removal of sewage is directly related to the optimization of its operation. Given the use of equipment such as AC drives and control panels the distance to sewage pumping stations and large financial viability of installing such devices to sewage pumping stations in small and medium optimization arises to seek alternative solutions in efficient and effective operation of the system. In the literature related to the subject, there is the development of several works in the implementation and development of computational optimization routines specific to the water supply system. However it is observed that there is still the same commitment to development work aimed at operational and energy efficiency in sewage pumping stations. Against this background, this paper aims to apply a computer optimization routine that meets the needs of sewage pumping stations. The methodology to nonlinear programming, integer and mixed. The case study is done with the sewage pumping stations Uberlândia-MG. As a result, we obtained an efficient operation that meets all the restrictions imposed on the model, achieving an average savings of electric energy in the two sewage pumping stations used for modeling of twenty-two percent.

**Keywords:** Optimization, Sewage Pumping Station, Nonlinear Programming, Integer Programming and Mixed, Sewage.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1 O PROCESSO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUAS INTER-RELAÇÕES. ....	15
FIGURA 4.2 ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO E CONSUMO DE ENERGIA. ....	35
FIGURA 4.3 EVOLUÇÃO MUNDIAL DO SUPRIMENTO DE ENERGIA PRIMÁRIA. ....	36
FIGURA 4.4 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PER CAPITA ANUAL EM ALGUNS PAÍSES DO MUNDO. ....	37
FIGURA 4.5 EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PER CAPITA NO BRASIL. ....	38
FIGURA 4.6 DIAGRAMA DE SANKEY .....	42
FIGURA 5.1 UNIVERSALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO NO BRASIL. ....	51
FIGURA 5.2 DIVISÃO DE DESPESAS NAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS - TODOS OS MUNICÍPIOS. ....	55
FIGURA 5.3 DIVISÃO DE DESPESAS NAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS - MUNICÍPIOS ATÉ 10.000HAB. ....	56
FIGURA 5.4 DIVISÃO DE DESPESAS NAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS - MUNICÍPIOS COM POPULAÇÃO ENTRE 10.001 E 50.000HAB. ....	57
FIGURA 5.5 DIVISÃO DE DESPESAS NAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS - MUNICÍPIOS COM POPULAÇÃO ENTRE 50.001 E 100.000HAB. ....	58
FIGURA 5.6 DIVISÃO DE DESPESAS NAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS - MUNICÍPIOS COM POPULAÇÃO ENTRE 100.001 E 250.000HAB. ....	59
FIGURA 5.7 DIVISÃO DE DESPESAS NAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS - MUNICÍPIOS COM POPULAÇÃO ENTRE 250.001 E 500.000HAB. ....	60
FIGURA 5.8 DIVISÃO DE DESPESAS NAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS - MUNICÍPIOS COM POPULAÇÃO ENTRE 500.001 E 1.000.000HAB. ....	61
FIGURA 5.9 DIVISÃO DE DESPESAS NAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO BRASILEIRAS - MUNICÍPIOS COM POPULAÇÃO ACIMA DE 1.000.001HAB. ....	62
FIGURA 5.10 DIVISÃO DE DESPESAS NAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO NO ESTADO DE MINAS GERAIS. ....	65
FIGURA 5.11 DIVISÃO DE DESPESAS NO DMAE - UBERLÂNDIA EM 2006. ....	66
FIGURA 5.12 DIVISÃO DE DESPESAS NO DMAE - UBERLÂNDIA EM 2008. ....	66
FIGURA 7.1 UBERLÂNDIA – 2010. ....	84
FIGURA 7.2 CURVA CARACTERÍSTICA DE VAZÃO AFLUENTE DE ESGOTO EM UBERLÂNDIA .....	85
FIGURA 7.3 IMAGEM DE SATELITE DA EEE JOANA D'ARC B01 18 .....	88
FIGURA 7.4 PARTE DO PROJETO DE ESGOTO DO LOTEAMENTO JOANA D'ARC – EEE01. ....	89
FIGURA 7.5 CURVA CARACTERÍSTICA DE VAZÃO AFLUENTE DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B 01 .....	91
FIGURA 7.6 CORTE ESQUEMÁTICO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B01 18. ....	92
FIGURA 7.7 FACHADA DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B01 18 .....	93
FIGURA 7.8 POÇO DE SUÇÃO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B01 18 .....	94
FIGURA 7.9 UNIDADES COMPLEMENTARES DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B01 18 .....	95
FIGURA 7.10 IMAGEM DE SATELITE DA EEE JOANA D'ARC B02 19 .....	96
FIGURA 7.11 PARTE DO PROJETO DE ESGOTO DO LOTEAMENTO JOANA D'ARC – EEE02. ....	97
FIGURA 7.12 CURVA CARACTERÍSTICA DE VAZÃO AFLUENTE DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B 02 19. ....	99
FIGURA 7.13 CORTE ESQUEMÁTICO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B02 19. ....	100
FIGURA 7.14 POÇO DE SUÇÃO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B02 19. ....	101
FIGURA 7.15 POÇO DE SUÇÃO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B02 19. ....	102
FIGURA 7.16 POÇO DE SUÇÃO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B02 19. ....	103



FIGURA 7.17 ACESSO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B02 19. ....	104
FIGURA 8.1 TELA IMPRESSA 1 DO MODELO - EEE JOANA D'ARC B 01 18 .....	106
FIGURA 8.2 TELA IMPRESSA 1 DO MODELO - EEE JOANA D'ARC B 02 19 .....	107
FIGURA 8.3 NÍVEIS OPERACIONAIS NA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B01 18 .....	110
FIGURA 8.4 NÍVEIS OPERACIONAIS NA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B02 19 .....	111

## LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 TABELA DE COMPILAÇÃO DE DADOS SOBRE DESPESAS DE UMA COMPANHIA DE SANEAMENTO. ....	63
TABELA 5.2 COMPARATIVO DE DESPESAS EM UBERLÂNDIA PARA OS ANOS BASE DE 2006 E 2008 .	67
TABELA 6.1 MODELO DE PARAMETRIZAÇÃO EM EXCEL DO PROBLEMA .....	76
TABELA 6.2 EXEMPLO DA ESTRUTURA EM EXCEL DO MODELO .....	77
TABELA 7.1 GASTOS EM ENERGIA ELÉTRICA NOS SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM UBERLÂNDIA. 2009 .....	86
TABELA 7.2 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTOS EM UBERLÂNDIA. 2009 .....	87
TABELA 7.3 PARÂMENTROS DE PROJETO - EEE JOANA D'ARC B 01 18 .....	90
TABELA 7.4 PARÂMENTROS DE PROJETO - EEE JOANA D'ARC B 02 19 .....	98
TABELA 8.1 MAPA DE ACIONAMENTO DE BOMBAS DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B01 18.....	108
TABELA 8.2 MAPA DE ACIONAMENTO DE BOMBAS DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B02 19.....	109
TABELA 8.3 ENERGIA REQUERIDA NO BOMBEAMENTO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B01 18 ....	112
TABELA 8.4 ENERGIA REQUERIDA NO BOMBEAMENTO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B02 19 ....	114
TABELA 8.5 CUSTOS EM REAIS DO BOMBEAMENTO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B01 18.....	115
TABELA 8.6 CUSTOS EM REAIS DO BOMBEAMENTO DA ELEVATÓRIA JOANA D'ARC B02 19.....	117



## LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.1 FASES DA POLÍTICA DO SETOR DE SANEAMENTO.....	9
QUADRO 3.2 COMPANHIAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO BÁSICO .....	10
QUADRO 4.1- COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	13
QUADRO 4.2 ELEMENTOS FREQUENTES EM UM SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	14
QUADRO 4.3 PARTES CONSTITUINTES DE UMA REDE COLETORA DE ESGOTOS. ....	21
QUADRO 4.4 TIPOS DE ELEVATÓRIAS DE ESGOTOS. ....	23
QUADRO 4.5 TEMPOS DE CICLO. ....	26
QUADRO 5.1 DESCRIÇÃO DOS INDICADORES DO SNIS .....	53



## LISTA DE SIGLAS

BNH - Banco Nacional da Habitação  
CESBs - Companhias Estaduais de Saneamento Básico  
CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais  
DMAE - Departamento Municipal de água e esgoto  
E.E.E. - Estação elevatória de Esgoto  
ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A  
FGTS- Fundo de Garantia por Tempo de Serviço  
GW - Giga Watt  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
MW - Mega Watt  
MWh - Mega Watt hora  
MCA - Metros de Coluna d'água  
MG - Minas Gerais  
PLANASA - Plano Nacional de Saneamento  
PMSS - Programa de Modernização do Setor Saneamento  
PNCDA - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água  
PNL - Programação Não Linear  
PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica  
PVC - Cloreto de Polivinila  
SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento  
SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental  
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro



## Sumário

1.	Introdução.....	1
2.	Objetivos.....	3
2.1	Objetivo Filosófico .....	3
2.2	Objetivo Específico.....	3
2.3	Organização do trabalho .....	3
3.	Saneamento básico .....	5
3.1	Cronologia e História.....	5
3.2	Cenário do setor de saneamento no Brasil.....	8
4.	Fundamentação teórica.....	13
4.1	Concepção do Saneamento básico .....	13
4.2	Sistema de esgotos sanitários.....	17
4.3	Estações elevatórias de esgotos. ....	22
4.4	Bombas .....	28
4.4.1	Turbo bombas.....	29
4.4.2	Grandezas características das turbo bombas .....	31
4.5	Energia.....	33
4.5.1	Consumo de energia .....	35
4.5.2	Energia elétrica.....	37
4.5.3	Tarifação do setor elétrico .....	39
4.5.4	Eficiência energética.....	42
4.6	Otimização (Pesquisa Operacional).....	44
4.6.1	Técnicas de otimização propostas para esse trabalho.....	48
5.	Revisão Bibliografica .....	51
5.1	Consumo de energia elétrica e o saneamento básico no Brasil. ....	51
5.2	Eficiência energética e o saneamento. ....	68
5.3	Pesquisa operacional (otimização) e o saneamento. ....	72
6.	Metodologia.....	75
6.1	Estrutura do Problema de Otimização .....	76
6.2	Equacionamento do Problema de Otimização .....	78
6.2.1	Vazão afluente a EEE.....	78
6.2.2	Vazão horária de entrada a EEE.....	78
6.2.3	Perda de carga.....	79
6.2.4	Balço hídrico no reservatório de sucção da EEE.....	79
6.2.5	Nível máximo e nível mínimo operacional do reservatório de sucção.....	80
6.2.6	Número de bombas hidráulicas em operação na EEE.....	80
6.2.7	Potência e Energia .....	81
6.2.8	Custo do Bombeamento de efluentes .....	81
6.2.9	Objetivo: Minimização do Custo de Energia Elétrica .....	82
7.	Estudo de Caso Uberlândia MG.....	83
7.1	Uberlândia e o sistema de esgotamento sanitário. ....	85
7.2	Estações elevatórias de esgotos em Uberlândia.....	87
7.3	EEE Joana D'arc B 01 18 .....	88
7.4	EEE Joana D'arc B 02 19 .....	96
8.	Resultados.....	105
9.	Conclusão .....	119



10.	Referências Bibliográficas.....	121
11.	Anexos.....	131
11.1	Anexo 1 - Ocupação atual no município de Uberlândia em grande formato.....	133
11.2	Anexo 2 - Projeto da estação Elevatória de Esgoto Joana D'arc B01 18.....	135
11.3	Anexo 3 - Projeto da estação Elevatória de Esgoto Joana D'arc B02 19.....	137
11.4	Anexo 4 - Projeto da rede coletora de esgoto que é atendida pelas estações elevatórias Joana D'arc B01 18 e Joana D'arc B02 19.....	139
11.5	Anexo 5 – Autorização do DMAE de Uberlândia para utilização dos dados em dissertação. ....	141

## 1. Introdução

O crescimento populacional verificado nas cidades brasileiras, principalmente na segunda metade do século XX, trouxe por consequência a expansão urbana. Assim, houve a necessidade da coleta e o afastamento de esgoto para dar condições, juntamente com o fornecimento de água, de saneamento a população. Em muitas cidades a primeira opção para o escoamento de esgotos é a gravidade, dessa forma evita-se consumir outra fonte de energia. O escoamento gravitacional só é possível quando a topografia é favorável, existindo um desnível natural do terreno, já que o aprofundamento da rede coletora é limitado pelos métodos construtivos. Com a necessidade de expansão das redes, acompanhar a topografia natural torna-se um problema de difícil solução para as companhias de saneamento em geral. Com esse problema em mãos, a utilização de estações elevatórias de esgotos deixou de fazer parte somente das estações de tratamento de esgoto e passou a estar presente nas redes coletoras, para vencer os desníveis geométricos verificados na topologia da rede.

A expansão urbana mencionada no texto, e, portanto dos sistemas de esgotamento sanitário, é também verificada na cidade de Uberlândia – MG, onde o número de estações elevatórias vem aumentando nas últimas décadas. Em 2010, Uberlândia apresentava um total de 23 estações elevatórias de esgoto. Segundo o Engenheiro Leandro César Delfino, gerente de tratamento de esgoto do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) - Uberlândia, quando a cidade atingir um milhão de habitantes esse número deverá ter dobrado (informação verbal), aumentando consideravelmente os problemas operacionais relativos a esses sistemas, bem como os custos associados com o consumo de energia elétrica.

Conforme os quatorze diagnósticos dos serviços de água e esgotos do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), o consumo de energia elétrica, nas empresas de saneamento básico, sempre teve parcela maior relacionado à captação, adução, tratamento e distribuição de água. Porém, a parcela de energia elétrica consumida referente a esgoto era pequena enquanto os esforços estavam dedicados aos estudos de técnicas eficientes para o tratamento de efluentes. Atualmente, as empresas de saneamento básico, juntamente com os centros de pesquisa, já detêm técnicas consagradas para o tratamento. Assim, o desafio é fazer com que os efluentes cheguem até as estações de tratamento e com isso, o consumo de energia

elétrica nesses processos, atingirão números tão expressivos quanto os verificados no setor de abastecimento de água. Com o custo total de bombeamento se tornando mais expressivo, os programas de eficiência energética para estações elevatórias de esgoto precisam ser alvo de pesquisa.

Uberlândia é um município de aproximadamente seiscentos mil habitantes e com características de grande cidade. (IBGE, 2010) Na intenção de minimizar os problemas relacionados ao bombeamento de esgoto o Departamento Municipal de Água e Esgoto, DMAE, instalou dispositivos de controle em algumas de suas elevatórias. Das vinte três elevatórias de esgoto em operação, quatro possuem “soft-starter”, que é um dispositivo eletrônico que controla a tensão sobre o motor através de um circuito de potência, permitindo assim controlar a corrente de partida, proporcionando uma "partida suave", de forma a não provocar quedas de tensão elétrica bruscas na rede de alimentação, como ocorre em partidas diretas, oito delas possuem chave de partida compensatória que reduz a corrente de arranque, evitando sobrecarregar a linha de alimentação, deixando, porém, o motor com conjugado suficiente para a partida. Essas medidas promovem um melhor desempenho do motor, diminui as manutenções e evitam repartições manuais.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo Filosófico**

O objetivo filosófico desse trabalho é melhorar a qualidade de vida da população Brasileira. Ao longo desse trabalho será visto que o Brasil possui um pequeno índice de universalização do serviço de coleta e transporte de esgotos. Será também visto que a energia elétrica é a grande vilã em termos de custo em uma companhia de saneamento. Como a proposta desse trabalho é reduzir o consumo de energia elétrica, essa redução acarretará em um menor gasto com as contas de energia, o que levará a uma maior disponibilidade de recursos para investimento na universalização melhorando a qualidade de vida da população.

### **2.2 Objetivo Específico**

O objetivo desse trabalho é proporcionar a redução do custo de energia elétrica por meio de um modelo matemático de otimização que permita uma operação mais eficiente no acionamento das bombas das estações elevatórias escolhidas, sem desprezar as restrições operacionais como: número de partidas das bombas, volume útil do poço de sucção, balanço hídrico, curva diária de geração de efluentes, custos horários de energia elétrica, etc.

### **2.3 Organização do trabalho**

O texto está organizado em capítulos. No primeiro capítulo fez-se a introdução ao assunto da dissertação. No segundo capítulo mostrou-se o objetivo e a organização do trabalho. No terceiro capítulo buscou-se obter um breve histórico do saneamento e um panorama sobre o cenário atual no Brasil. No capítulo quatro desenvolveu-se a fundamentação teórica abordando referências clássicas pertinentes ao tema. No capítulo cinco tem-se uma revisão bibliográfica em que são abordados estudos mais recentes correlatos ao tema. No capítulo seis descreve-se a metodologia empregada nesse trabalho, e o caso está descrito no capítulo sete. No capítulo oito têm-se os resultados obtidos. No capítulo nove as conclusões em relação aos resultados e por último no capítulo dez as referências bibliográficas utilizadas para esse trabalho.



### 3. Saneamento básico

#### 3.1 Cronologia e História

A água é indispensável à vida, dessa forma o homem sempre buscou ocupar áreas que disponham desse recurso. Desde a antiguidade o homem aprendeu que águas residuárias, e outros resíduos deveriam ser afastados. Antes da era cristã, existia o afastamento desses detritos por preocupações religiosas. Já na era Cristã observou-se a preocupação com as condições sanitárias das comunidades. Fernandes, (1997) descreve em seu livro intitulado “Esgotos Sanitários” a evolução do sistema ao longo do tempo.

4000 A.C. - Mesopotâmia: início de construções de sistemas de irrigação;

3750 A.C. - Índia: construção de galerias de esgotos pluviais em Nipur;

3750 A.C. - Babilônia: construção de galerias de esgotos pluviais;

3100 A.C. - Vários pontos do mundo: surgimento de manilhas cerâmicas;

2000 A.C. - Creta: empregado no Palácio de Minos, em Knossos, manilhas cerâmicas de ponta e bolsa com cerca de 0,70m de comprimento;

514 A.C. - Roma: construção de uma galeria com 740m de extensão e diâmetro equivalente de até 4,30m, de pedras arrumadas, denominada de Cloaca Máxima. A Cloaca Máxima é uma das mais antigas redes de esgotos do mundo. Construída com base na engenharia etrusca, com a finalidade de drenar as águas residuais e o lixo para o rio Tibre. O sistema original era um canal a céu aberto que seria progressivamente coberto devido às exigências do espaço do centro citadino. A Cloaca Máxima foi mantida em bom estado durante toda a idade imperial;

260 A.C. - Atenas: criação da bomba parafuso, por Arquimedes<sup>1</sup>;

1237 D.C. - Londres: surgimento da água encanada com o emprego de canos de chumbo;

1370 D.C. - Paris: construída a primeira galeria com cobertura abobadada;

1.400 D.C. - No Brasil, as comunidades indígenas já tinham preocupação com o saneamento. Armazenavam sua água em talhas barro e argila e em reservatórios de pedra. Com os dejetos a

---

<sup>1</sup> *Arquimedes* (287 - 212 AC) As conclusões de Arquimedes foram básicas para a evolução da mecânica grega e para o desenvolvimento de estudos do comportamento dos fluidos em geral. Hoje muito lembrado na hidráulica e na mecânica pela criação do *Parafuso de Arquimedes*.

preocupação era grande tendo em vista que existiam áreas delimitadas para as necessidades fisiológicas e disposição de detritos;

1680 D.C. - Londres: início do emprego de água para limpeza de privadas;

1808 D.C. – Chegada da corte portuguesa no Rio de Janeiro;

1810 D.C. – Abertura dos portos, o que gerou em menos de duas décadas a explosão demográfica. As instalações sanitárias ficavam nos fundos das casas e os dejetos eram recolhidos em barris até seu completo enchimento quando o mesmo era despejado por escravos na atual praça da república ou a beira-mar;

1830 D.C. – Início da série de epidemias fatais de febre amarela no Brasil, principalmente no Rio de Janeiro;

1851 D.C. - Organização dos serviços públicos no Brasil. As províncias poderiam entregar suas concessões a grupos estrangeiros;

1854 D.C. - Montevidéu: inauguração do sistema de esgotos sanitários da cidade, pioneiro na América do Sul;

1855 D.C. - Rio de Janeiro: contratação dos ingleses para criar sistemas de esgotamento para as cidades do Rio e São Paulo;

1857 D.C. - Rio de Janeiro: inauguração do sistema de esgotos (separador parcial) da cidade, tornando-se uma das primeiras cidades do mundo dotada de rede coletora de esgotos;

1873 D.C. - Recife: iniciada a construção da primeira rede coletora de esgotos sanitários desta capital;

1876 D.C. - São Paulo: inaugurado o primeiro sistema coletor de esgotos (separador parcial) da cidade;

1879 D.C. - Memphis, Estados Unidos da América: criação do Sistema Separador Absoluto por George Waring;

1889 D.C. - Irlanda: apresentada pelo próprio autor, a expressão de Manning<sup>2</sup>;

1892 D.C. - Campinas: execução da rede coletora desta cidade;

---

<sup>2</sup> A fórmula de Manning é uma expressão do denominado coeficiente de Chézy “C” utilizado na fórmula de Chézy para o cálculo da velocidade da água em canais abertos e tubulações.

1897 D.C. - Belo Horizonte: inauguração da cidade com água e esgotos projetados por Saturnino de Brito;<sup>3</sup>

1900 D.C. - São Paulo: Saturnino de Brito inventou o tanque fluxível;

1907 D.C. - São Paulo: Saturnino de Brito iniciou as obras de esgotos e drenagem da cidade de Santos;

1912 D.C. - Brasil: adoção do sistema separador absoluto;

1934 D.C. - Brasil: O Código de águas, estabelecido pelo Decreto Federal n.º 24.643, de 10 de julho de 1934, inaugura a era da legislação básica brasileira de águas;

1953 D.C. - Inglaterra: iniciada a fabricação de tubos de PVC.

De uma forma geral, em se tratando de dimensionamento, a evolução dos sistemas de coleta e transporte de esgoto acompanha a evolução da drenagem urbana, já que em muitos países os dois sistemas são considerados como um só.

Para Silveira, (2002) boa parte dos países ainda vive na transição entre o regime sanitarista-higienista que consiste em evacuar as águas contaminadas, o mais rapidamente possível, e para mais longe dos locais de sua produção e o regime ambiental que é muito mais difícil e caro de aplicar porque exige ações integradas sobre grandes áreas, com conhecimento técnico multidisciplinar.

---

<sup>3</sup> **Francisco Rodrigues Saturnino de Brito** (1864 a 1929). Foi o engenheiro sanitarista brasileiro, que realizou alguns dos mais importantes estudos de saneamento básico e urbanismo em várias cidades do país, sendo considerado o "pioneiro da Engenharia Sanitária e Ambiental no Brasil".



### 3.2 Cenário do setor de saneamento no Brasil

Entre o final do século XIX e o início do século XX as cidades eram pouco densas e demandavam pouco por serviços de infraestrutura. Dessa forma, todos esses serviços eram monopolizados por empresas estrangeiras. A partir do final da década de trinta o crescimento urbano iniciado na década de vinte exigia uma demanda maior nesses serviços. Viu-se então na década de 40 a retomada do controle pelo estado dos setores mais importantes de infra-estrutura (BETTINE, 2003)

Nas décadas de 50 e 60, o Brasil detinha o último lugar nos indicadores de saneamento básico na América Latina nascem então, as empresas de economia mista com a participação do banco interamericano de Desenvolvimento que corresponde ao período de arrancada desenvolvimentista do Brasil e maior abertura ao capital estrangeiro. Vale salientar que em 1964 houve o golpe militar e estabelece-se a ditadura no Brasil que trás a centralização das decisões em nível federal, a criação do BNH<sup>4</sup> - Banco Nacional da Habitação que passa a ser o gestor dos recursos do FGTS – Fundo de Garantia por Tempo de Serviço, principal fonte de recursos para o setor. (IPEA,2005)

Em 1965 o Brasil assina acordo com Estados Unidos, criando o Fundo Nacional de Financiamento para Abastecimento de Água; que no período de 1965/1967 atendeu apenas a 21 cidades em todo o país com obras de abastecimento de água.(PLANSAB, 2008).

Em 1971 o regime militar institui o PLANASA – Plano Nacional de Saneamento. Um dos principais objetivos do PLANASA era promover a auto-sustentação financeira do sistema e a eliminação do déficit no setor de saneamento básico. No quadro 3.1 podem ser distinguidas as diversas fases da trajetória política do setor de saneamento durante os anos que duraram o PLANASA.

---

<sup>4</sup> O Banco Nacional da Habitação (BNH) foi um banco público brasileiro criado em 1964, voltado ao financiamento e à produção de empreendimentos imobiliários. Não operava diretamente com o público e atuava por intermédio de bancos privados. Foi extinto em 1986, através do Decreto-Lei nº 2.291, de 21.11.1986, o qual o repassou à Caixa Econômica Federal.

**Quadro 3.1 Fases da Política do Setor de Saneamento**

<b>FASE</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>FATOS</b>
I	1968-1970	Criação do Sistema Financeiro do Saneamento (SFS);
II	1971-1983	Implantação e operação do PLANASA e CESBs, com forte expansão dos investimentos de 1975-1982;
III	1983-1986	Crise dos anos 80 - Retração dos investimentos;
IV	1987-1988	Retomada dos investimentos;
V	1989-1994	Nova crise do setor - extinção do PLANASA - extinção do Ministério do Interior Busca de um novo modelo para o setor.

Fonte: PANORAMA SETORIAL/GAZETA MERCANTIL (1998)

Muitos municípios não aderiram ao PLANASA, preferindo manter seus sistemas autônomos. Esta situação prejudicou a busca da economia de escala pretendida pelas Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs), que são empresas de economia mista com controle acionário de cada estado da federação. Estas empresas detêm, mediante concessão municipal, o monopólio da administração, operação, manutenção, construção e comercialização dos serviços de água e esgoto.

Ainda hoje cada estado da federação tem sua própria companhia estadual de saneamento conforme se pode verificar no quadro abaixo:

**Quadro 3.2 Companhias Estaduais de Saneamento Básico**

<b>Sigla</b>	<b>Empresa</b>	<b>Estado</b>
Copasa	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	Minas Gerais
Embasa	Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A	Bahia
Corsan	Companhia Riograndense de Saneamento	Rio Grande do Sul
Sanesul	Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul S.A.	Mato Grosso do Sul
Casan	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento	Santa Catarina
Cedae	Companhia Estadual de Águas e Esgotos	Rio de Janeiro
Sanacre	Companhia de Saneamento do Acre	Acre
Sanepar	Companhia de Saneamento do Paraná	Paraná
Agespisa	Águas e Esgotos do Piauí S.A.	Piauí
Caesb	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal	Distrito Federal
Cagepa	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba	Paraíba
Caesa	Companhia de Água e Esgoto do Amapá	Amapá
Sabesp	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo	São Paulo
Cagece	Companhia de Água e Esgoto do Ceará	Ceará
Sanemat	Companhia de Saneamento do Estado do Mato Grosso	Mato Grosso
Deso	Companhia Saneamento de Sergipe	Sergipe
Compesa	Companhia Pernambucana de Saneamento	Pernambuco
Saneago	Saneamento de Goiás S.A	Goiás
Cesan	Companhia Espírito Santense de Saneamento	Espírito Santo
Cosama	Companhia de Saneamento do Amazonas	Amazonas
Cosanpa	Companhia de Saneamento do Pará	Pará
Caema	Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão	Maranhão
Casal	Companhia de Saneamento de Alagoas	Alagoas
Caern	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte	Rio Grande do Norte
Caerd	Companhia de Águas e Esgotos do Estado de Rondônia	Rondônia
Caer	Companhia de Águas e Esgotos de Roraima	Roraima
Saneatins	Companhia de Saneamento do Tocantins	Tocantins

Fonte: SNIS (2008)

Para Marinho, (2006) na década de 1990 com o fortalecimento das concepções neoliberais houve estímulos à privatização de serviços sob forma de concessões que incluiu o aumento do interesse pelo setor do Saneamento. Alguns municípios no intuito de atrair investimento da iniciativa privada sucatearam suas autarquias levando a piora nos serviços em alguns casos.

Até o ano de 2000, não existia qualquer legislação que permitisse aos municípios e serviços municipais o acesso aos recursos, sendo eles financiamentos ou empréstimos. O então Presidente Fernando Henrique Cardoso em sua submissão ao Fundo Monetário internacional, induziu o governo federal a dificultar a contração de financiamentos por parte de empresas públicas, disponibilizando esses recursos financeiros para as empresas privadas.

Extinta a era Fernando Henrique Cardoso pode-se perceber uma nítida demonstração de que a realidade descrita está em transformação. Em relação aos gastos realizados pelo Governo Federal e pelos fundos financiadores, em 2007 foram comprometidos 10,2 bilhões de reais e desembolsados 3,5 bilhões de reais em saneamento básico com recursos públicos. Houve um crescimento de 278% dos valores comprometidos em 2007 em relação à média dos compromissos gastos apurados no período anterior (2003 a 2006), o que se justifica com o Programa de Aceleração do Crescimento, PAC. (MARINHO, 2006).

Essa realidade em transformação é corroborada pela Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Seus princípios fundamentais são:

I - universalização do acesso;

II - integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;

III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;

IV - disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;

V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;

VI - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;

VII - eficiência e sustentabilidade econômica;

VIII - utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;

IX - transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;

X - controle social;

XI - segurança, qualidade e regularidade;

XII - integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Diz-se realidade em transformação porque segundo reportagem de Antônio Goes do Jornal Folha de São Paulo publicada em julho de 2006 e baseada em um estudo da pesquisadora Lena Lavinias, da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), com colaboração de Marcelo Nicoll e Roberto Loureiro Filho. O investimento no Saneamento Básico caiu cerca de 40% no período de 2001 a 2004.

A reportagem ainda faz menção ao índice de universalidade. Em 2004 somente cerca de 55% da população tinha acesso a rede coletora de esgoto ou fossa séptica.

Ainda no jornal Folha de São Paulo, mas em reportagem de Pedro Soares publicada no caderno cotidiano em abril de 2011, apenas 55,4% dos municípios Brasileiros estão conectados a algum tipo de coleta de esgoto.

Comparando as reportagens é perceptível que em geral, a implantação de obras de saneamento não acompanha o ritmo de crescimento das áreas urbanas.

## 4. Fundamentação teórica

### 4.1 Concepção do Saneamento básico

Saneamento significa higiene e limpeza (CAVINATTO, 1992). Dentre os serviços que compreendem o Saneamento básico tem-se o abastecimento de água, a drenagem urbana ou pluvial, a coleta e disposição de resíduos sólidos e a coleta, transporte e tratamento de esgoto.

Para Barros et al. (1995), o Sistema de Abastecimento de Água representa o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos.

Segundo Tsutiya (2006) um sistema de abastecimento de água é composto por unidades descritas no quadro 4.1.

#### Quadro 4.1- Componentes de um sistema de abastecimento de água

<b>Manancial:</b>	fonte de água (subterrânea ou do superfície).
<b>Captação:</b>	conjunto de equipamentos e instalações utilizado para a retirada de água do manancial.
<b>Adução:</b>	transporte da água bruta ou da água tratada.
<b>Tratamento:</b>	melhoria das características físicas e químicas da água, é realizado na Estação de Tratamento de Água.
<b>Reservação:</b>	armazenamento da água para atender as variações de consumo e manutenção de pressões na rede de distribuição.
<b>Rede de distribuição:</b>	condução da água para os pontos de consumo, por meio de tubulações instaladas nas vias públicas.
<b>Estações elevatórias ou de recalque:</b>	instalações de bombeamento destinadas a transportar a água a pontos mais distantes ou mais elevados, ou para aumentar a vazão de linhas adutoras.

Fonte: Tsutiya (2006)

Os sistemas de drenagem urbana são estruturas destinadas a coleta e afastamento de águas pluviais destinando-as aos cursos d'água mais próximos. São ainda, sistemas preventivos de inundações, principalmente nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos ou marginais de cursos naturais de água. (BOTELHO, 1985)

De acordo com Fernandes (2002) os sistemas de drenagem são classificados de acordo com suas dimensões, sendo assim denominados sistemas de micro drenagem, também chamados de sistemas iniciais de drenagem, e de macro drenagem. A micro drenagem inclui a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, fazendo ainda parte do sistema todos os componentes auxiliares como sarjetas, bocas de lobo, estruturas de dissipação, entre outros. A macro drenagem inclui, além da microdrenagem, as galerias de grande porte com diâmetros maiores que um metro e meio e os corpos receptores tais como canais e rios canalizados.

Para Tucci et al (1995) Um sistema de drenagem de águas pluviais é composto de uma série de unidades e dispositivos hidráulicos para os quais existe uma terminologia própria e cujos elementos mais frequentes são conceituados no quadro 4.2.

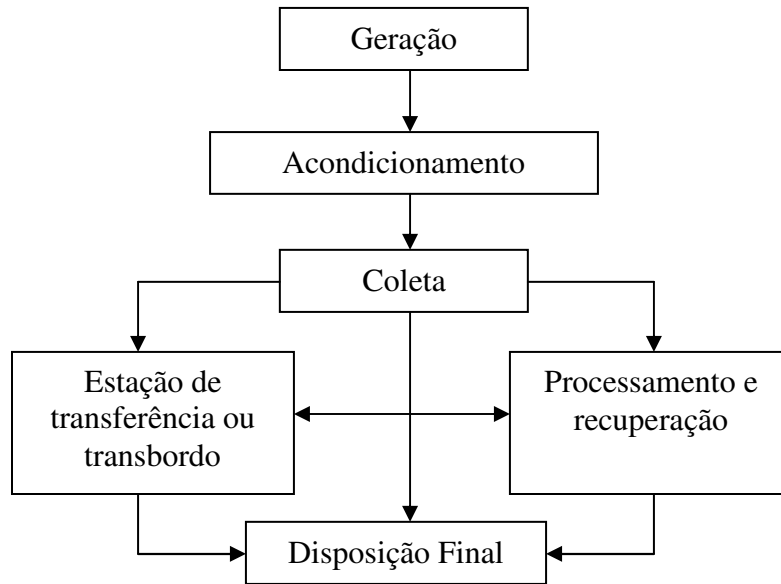
**Quadro 4.2 Elementos frequentes em um sistema de drenagem de águas pluviais.**

<b>Bacia de drenagem:</b>	Área de contribuição para a seção em estudo.
<b>Sarjeta:</b>	Canal longitudinal, em geral triangular, situado entre a guia e o leito carroçável, destinado a coletar e conduzir as águas de escoamento superficial até os pontos de coleta.
<b>Bocas de lobo:</b>	Estruturas hidráulicas para captação das águas superficiais transportadas pelas sarjetas e sarjetões
<b>Galerias:</b>	Conduitos destinados ao transporte das águas captadas nas bocas coletoras até os pontos de lançamento.
<b>Poços de visita:</b>	Câmaras visitáveis situadas em pontos previamente determinados, destinadas a permitir a inspeção e limpeza dos condutos subterrâneos.

Fonte: Tucci et al (1995)

Segundo Oliveira (1984), os resíduos sólidos são comumente chamados de lixo, sendo os mesmos resultantes das atividades humanas, assumindo a denominação de resíduo quando seu gerador não o considerar com valor para conservá-lo.

Tchobanoglous (1977) afirma que as atividades gerenciais ligadas aos resíduos sólidos podem ser agrupadas em seis elementos funcionais, conforme ilustra a Figura 4.1



**Figura 4.1 O processo da coleta de resíduos sólidos e suas inter-relações.**

Fonte: TCHOBANOGLIOUS(1977).

A primeira etapa do processo de remoção dos resíduos sólidos corresponde à atividade de acondicionamento do lixo. A coleta normalmente pode ser classificada em dois tipos de sistemas: sistema especial de coleta (resíduos contaminados) e sistema de coleta de resíduos não contaminados. Nesse último, a coleta pode ser realizada de maneira convencional (resíduos são encaminhados para o destino final) ou seletiva (resíduos recicláveis que são encaminhados para locais de tratamento e/ou recuperação). (CUNHA E CAIXETA FILHO,2002)

Segundo Mansur & Monteiro (2001), as estações de transferência ou transbordo são locais onde os caminhões coletores descarregam sua carga em veículos com carrocerias de maior capacidade para que, posteriormente, sejam enviadas até o destino final.



Um dos métodos de processamento dos resíduos sólidos urbanos é a incineração. Ainda como exemplo de método de recuperação dos resíduos, citam-se a reciclagem e a compostagem.(CUNHA E CAIXETA FILHO,2002)

Em se tratando das alternativas de disposição final do lixo, Consoni *et al.* (2000) afirmam que o aterro sanitário é o que reúne as maiores vantagens, considerando a redução dos impactos ocasionados pelo descarte dos resíduos sólidos urbanos. Outro método de disposição final dos resíduos é o aterro controlado.

O Esgoto sanitário é outro elemento fundamental d saneamento. Para que sejam esgotadas com rapidez e segurança as águas residuárias indesejáveis, faz-se necessário a construção de um conjunto estrutural que compreende canalizações coletoras funcionando por gravidade, unidades de tratamento e de recalque quando imprescindíveis, obras de transporte e de lançamento final, além de uma série de órgãos acessórios indispensáveis para que o sistema funcione e seja operado com eficiência. Esse conjunto de obras para coletar, transportar, tratar e dar o destino final adequado às vazões de esgotos, compõe o que se denomina de Sistema de Esgotos. (TSUTIYA,1999)

O conjunto de condutos e obras destinados a coletar e transportar as vazões para um determinado local de convergência dessas vazões é denominado de Rede Coletora de Esgotos. Portanto, por definição, a rede coletora é apenas uma componente do sistema de esgotamento. (AZEVEDO NETTO,1977)

## 4.2 Sistema de esgotos sanitários

No Brasil, os sistemas públicos de coleta esgotos são projetados considerando-se o sistema separador absoluto e tendo acesso a rede coletora os seguintes líquidos residuários:

- Esgoto doméstico;
- Águas de infiltração;
- Resíduos líquidos industriais.

O conjunto desses líquidos é denominado esgoto sanitário. (TSUTIYA,1999)

Para Azevedo Neto (1977) existem condicionantes essenciais para o dimensionamento de redes de água e esgoto.

A primeira delas é a quantidade média de água consumida diariamente por cada usuário do sistema, denominado de consumo per capita médio e representado pela letra “q”. Esse dado, na maioria das vezes, é um valor estimado em função dos aspectos regionais, desenvolvimento social e dos hábitos da população a ser beneficiada. De um modo geral, no Brasil adotam-se consumos per captas médios diários de consumo de água da ordem de 150 a 200 l/hab.dia.

A segunda condicionante é população de projeto que é a população total a que o sistema deverá atender. A população de projeto pode ser avaliada mediante a extrapolação de tendências de crescimento, definidas por dados estatísticos suficientes para constituir uma série histórica, pode-se aplicar modelos matemáticos que melhor se ajustem aos dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ou ainda utilizar métodos que considerem os índices de natalidade, mortalidade, crescimento vegetativo e correntes migratórias da região. Pode-se também aplicar à última população conhecida da comunidade em estudo, as tendências de crescimento verificadas em outras comunidades com características análogas (método comparativo). A previsão de população, para um determinado alcance de projeto, pode ser feita por diferentes métodos que, serão mais ou menos adequados em função das características da área em que se está trabalhando.

A terceira condicionante é o coeficiente de retorno. Nem toda a água fornecida pela rede de distribuição de água é transformada em vazão de esgoto, boa parte do consumo *per capita* é destinada a rega de jardins, lavagens de pisos externos e de automóveis, entre outros. Em

compensação, na rede coletora poderão chegar vazões procedentes de outras fontes de abastecimento como do consumo de água de chuva acumulada em cisternas e de poços particulares. Essas considerações implicam que, embora haja uma nítida correlação entre o consumo do sistema público de água e a contribuição de esgotos, alguns fatores poderão tornar esta correlação maior ou menor conforme a circunstância. De acordo com a frequência e intensidade da ocorrência desses fatores de desequilíbrio, a relação entre o volume de esgotos recolhido e o de água consumido pode oscilar entre 0,60 a 1,30. Esta fração é conhecida como relação esgoto/água ou coeficiente de retorno e é representada pela letra “C”.

A quarta condicionante é conhecida como volume de infiltração. O volume que é transportado pelas canalizações de esgoto não tem sua origem somente nos pontos onde houver consumo de água. Parte desse volume é resultante de infiltrações inevitáveis ao longo dos condutos, através de juntas mal executadas, fissuras ou rupturas nas tubulações. Este volume torna-se mais acentuado no período chuvoso, pois parte das estruturas poderá permanecer situada temporariamente submersa no lençol freático. Esse volume é expressado por  $V_i$ .

Com as quatro primeiras condicionantes é possível montar a equação de volume expressa por:

$$V = qxPx C + V_i \dots\dots\dots\text{Equação 4.1}$$

Onde;

V: Volume diário, em l/d;

q: Consumo per capita, em l/hab.dia

P: População em habitantes, em hab

C: Coeficiente de retorno, adimensional

$V_i$  : Volume de Infiltração, em l/d.

Segundo Azevedo Neto (1977), o volume consumido diariamente não é constante nem ao longo do ano e nem mesmo apresenta linearidade ao longo do dia. Para uma mesma cidade podem ocorrer variações de consumo anuais, mensais, diárias, horárias e instantâneas.

São variações anuais as que ocorrem no decorrer do ano devido ao aumento de população e aumento da cota *per capita*. Não existe coeficiente para ser aplicado em função dessa variação.

São variações mensais as que ocorrem ao longo dos meses. Esse fator está intimamente ligado ao clima e as estações climáticas. Não existe coeficiente para ser aplicado em função dessa variação.

São variações diárias as variações de consumo que ocorrem dia a dia. O coeficiente do dia de maior consumo, denominado  $K_1$ , deve ser obtido da relação entre o maior consumo diário, verificado no período de um ano e o consumo médio diário neste mesmo período, considerando-se sempre as mesmas ligações. Recomenda-se que sejam considerados, no mínimo, cinco anos consecutivos de observações, adotando-se a média dos coeficientes determinados.

São variações horárias as variações de consumo que ocorrem hora a hora. O coeficiente da hora de maior consumo,  $K_2$ , deve ser obtido da relação entre o maior consumo máximo horário no dia e o consumo médio horário neste mesmo dia, considerando-se sempre as mesmas ligações. Ou ainda  $K_3$ , coeficiente da hora de menor consumo, que deve ser obtido da relação entre o menor consumo máximo horário no dia e o consumo médio horário neste mesmo dia.

São variações instantâneas as variações que ocorrem devido a acidentes não previstos, tais como, incêndios, vazamentos, manutenção da rede, etc. Não podem ser transformadas em coeficientes.

Na falta dos valores obtidos através de medições, a NBR – 9649 - Projeto de Redes de Esgoto / 1986 recomenda o uso de:

- $K_1 = 1,2$ ;
- $K_2 = 1,5$ ;
- $K_3 = 0,5$ .

A aplicação do coeficiente da hora de menor consumo (K3) quando aplicação a formula da vazão garante no dimensionamento da hidráulica dos coletores lamina d'água mínima que tem como função o arraste de sólidos em qualquer hora do dia. O K3 foi substituído pelo critério de auto limpeza que garante a tensão trativa de 1 pascal em qualquer ponto ao longo da rede coletora.

Além das contribuições domésticas coletadas ao longo da rede e dos volumes de infiltração, determinadas edificações podem produzir contribuições de águas residuárias que não podem ser consideradas como ligações normais ao longo da rede, tendo em vista que, devido ao seu volume, alteram sensivelmente as condições de escoamento para jusante. São as chamadas contribuições concentradas, que podem ter origem em estações rodoviárias, grandes edificações residenciais e/ou comerciais, lavanderias públicas, centros comerciais, grandes hospitais, clubes com piscinas, entre outros, e, principalmente, de estabelecimentos industriais que usam água no processo de produção como, por exemplo, uma indústria de bebidas. Essa vazão é expressada por  $V_c$  e sua unidade é l/d. (AZEVEDO NETTO,1977)

$$V_t = q \times P \times C \times K_1 + V_i + V_c \dots\dots\dots \text{Equação 4.2}$$

Onde;

$V_t$ : Volume diário, em l/d;

$V_c$ : Contribuições concentradas, em l/d;

$K_1$ : Coeficiente obtido da relação entre o maior consumo diário e o consumo médio diário.

O volume total pode ser transformado em vazão desde que respeitadas as regras de conversão de unidades. As unidades mais usuais para coleta, transporte e tratamento de esgoto são l/s e m<sup>3</sup>/h.

O Coeficiente da hora de maior consumo (K2) e da hora de menor consumo (K3), hora são inseridos na equação de volume total e hora não, dependendo do resultado que se quer obter.

Para Tsutiya e Alem Sobrinho (1999) a Rede Coletora é o conjunto de condutos e órgãos acessórios destinados a coleta e remoção dos despejos gerados nas edificações, através dos coletores ou ramais prediais. Suas partes constituintes são:

**Quadro 4.3 Partes Constituintes de uma rede coletora de esgotos.**

<b>Bacia de drenagem:</b>	Área delimitada pelos coletores que contribuem para um determinado ponto de reunião das vazões finais coletadas nessa área.
<b>Ligação Predial:</b>	Trecho do coletor predial situado entre o limite do lote e o coletor público.
<b>Coletor de Esgoto:</b>	Tubulação subterrânea da rede coletora que recebe contribuição de esgotos em qualquer ponto ao longo de seu comprimento, também chamado coletor público.
<b>Coletor Tronco:</b>	Tubulação do sistema coletor que recebe apenas as contribuições de outros coletores.
<b>Emissário:</b>	Canalização que deve receber esgoto exclusivamente em sua extremidade de montante, pois se destina apenas ao transporte das vazões reunidas.
<b>Interceptor:</b>	Canalização que recolhe contribuições de uma série de coletores de modo a evitar que deságüem em uma área a proteger, por exemplo, um rio, etc.
<b>Poço de Visita (PV):</b>	Câmara visitável destinada a permitir a inspeção e trabalhos de manutenção preventiva ou corretiva nas canalizações.
<b>Sifão Invertido:</b>	Trecho de conduto rebaixado e sob pressão, com a finalidade de passar sob obstáculos que não podem ser transpassados em linha reta.

Fonte: Tsutiya e Alem Sobrinho (1999)

Ainda na rede coletora pode-se encontrar as estações elevatórias de esgotos, que é o objeto de estudo desse trabalho.

### 4.3 Estações elevatórias de esgotos.

Estação Elevatória de Esgotos (E.E.E.) é conjunto de equipamentos, em geral dentro de uma edificação subterrânea, destinado a promover o recalque das vazões dos esgotos coletados a montante. As estações elevatórias de esgoto (E.E.E.) têm como finalidade vencer desníveis em situações em que o mesmo não possa ser feito gravitacionalmente. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)

Geralmente as estações elevatórias de esgoto (E.E.E.) são posicionadas em função do traçado da rede que convertem para os pontos mais baixos de uma bacia, que geralmente são as proximidades de rios e córregos. Para escolha da localização de uma Estação Elevatória de Esgoto deve-se observar critérios como menor desnível geométrico entre a captação e o fim do recalque e menor extensão deste, Facilidade de obtenção do terreno, Proteção natural contra possíveis inundações, Possibilidades de ampliações futuras, facilidades de acesso, possibilidades de eventuais descargas de esgotos em galerias ou canais próximos quando de paralisações do sistema elevatório, distância das habitações e facilidade de obtenção de energia elétrica. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)

As (E.E.E.s) podem ser classificadas de várias maneiras, porém nenhuma delas é satisfatória, como citado por Metcalf e Eddy (1981). Esta classificação pode ser feita em função de sua capacidade ou de sua altura de recalque ou da extensão deste, segundo a fonte de energia, pelo tipo de construção, etc. A classificação mais usual entre os projetistas proposta por Azevedo Neto (1977) é quanto a vazão e altura manométrica.

Quanto as vazões de recalque:

- Pequena:  $Q_r \leq 50$  l/s,
- Média:  $50 < Q_r \leq 500$  l/s,
- Grande:  $Q_r > 500$  l/s;

Quanto a altura monométrica:

- Baixa:  $H < 10$  m.c.a,
- Média:  $10 < H < 20$  m.c.a.,
- Alta:  $H > 20$  m.c.a.

Define ainda quanto e extensão de sua tubulação, sendo tubulação curta, a tubulação de recalque com comprimento de até dez metros e tubulação longa, com extensão superior a dez metros. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)

A escolha do tipo de elevatória dependerá basicamente do número, tipo e tamanho de bombas a serem instaladas. No quadro 4.4 é possível visualizar a nomenclatura das estações Elevatórias em função do tipo de bomba utilizada.

**Quadro 4.4 Tipos de Elevatórias de esgotos.**

<b>BOMBA</b>	<b>TIPO DE ELEVATÓRIA</b>
Ejetor pneumático	Elevatória com ejeter pneumático.
Parafuso	Elevatória com bomba parafuso.
Centrifuga	Elevatória convencional.

Fonte: Tsutiya e Alem Sobrinho, (1999).

Para o presente estudo tem-se como objeto de interesse a Elevatória convencional que ainda pode ser dividida em elevatória de poço úmido com bomba afogada e elevatória de poço seco, cujo eixo da bomba pode ser instalado horizontalmente, verticalmente ou ter escorva. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)



As estações elevatórias de esgotos, além da bomba, possuem outros componentes para seu bom funcionamento.

Um dos componentes se presta a remoção de materiais grosseiros do esgoto afluente às elevatórias que deve ser realizada sempre, com o objetivo de proteger os conjuntos elevatórios. Para a remoção desse material podem ser usados cestos ou grades.

O cesto padrão é constituído de barras formando quadrículas. No entanto, essas quadrículas não são formadas num mesmo plano, mas através de dois sistemas de grades paralelas, uma na vertical e outra na horizontal, que são encaixadas no cesto independentemente uma da outra, esta formação facilita sobremaneira a limpeza do cesto. Tanto as laterais, como o fundo desta grade são totalmente vedados, sendo a única parte vazada a de topo para a tubulação afluente de esgoto. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)

As grades circulares ou grades de limpeza manual são utilizadas para profundidades de até 2,0 m. Para maiores profundidades, devem ser utilizadas as grades verticais de limpeza mecanizada. A NBR 12208(1992) recomenda grade de limpeza mecanizada quando a vazão afluente é igual ou superior a 250 l/s ou quando o volume de material a ser retido diariamente justificar este equipamento, levando-se em conta também as dificuldades de operação relativa à localização da elevatória e à profundidade do canal afluente. A grade deve ser precedida de uma grade grosseira à montante, e uma grade média à jusante. A grade grosseira poderá ser de limpeza manual, podendo ser colocada na posição vertical. A grade média poderá ser de limpeza manual nos casos em que a vazão for menor que 50 l/s.

Outro componente é a desarenação, já que areias e outros minerais pesados não ficam retidos nas grades ou cestos. A desarenação que dependendo da vazão de esgoto, normalmente é realizada através de caixas de areia por gravidade ou aerada, com limpeza manual ou mecanizada dependendo de cada caso. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)

Como a variação de vazões não é constante torna-se impossível um bombeamento contínuo, dessa forma se faz necessário um poço de acumulação. Esse poço é denominado poço úmido ou poço de sucção. É conveniente que essa câmara seja dividida em pelo menos dois compartimentos com entradas independentes, de modo a tornar a operação da unidade mais flexível, facilitando serviços de limpeza e reparos. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)

O poço úmido pode ser dimensionado considerando a utilização de bombas com rotação constante ou rotação variável. A utilização de bombas de velocidade variável requer um volume útil menor tendo em vista a acomodação do bombeamento às vazões de chegada. Para recalque à vazão constante o volume do poço úmido será de maiores proporções para evitar partidas muito frequentes de bombeamento. Apesar disto a segunda hipótese é mais corriqueira em função da simplificação na operação, principalmente em pequenas Estações Elevatórias de Esgotos. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO, 1999)

Entende-se por volume útil:

$$V_u = Q_a \times t \dots\dots\dots \text{Equação 4.3}$$

Onde:

$Q_a$  : Vazão média afluyente em m<sup>3</sup>/min;

$t$  : Tempo de ciclo em minutos;

$V_u$  : Volume útil do poço em m<sup>3</sup>;

Para determinação do tempo de ciclo existem diferentes critérios, sendo os mais usuais segundo Tsutiya e Alem Sobrinho, (1999), os apresentados no quadro abaixo:

**Quadro 4.5 Tempos de ciclo.**

<b>Autor ou entidade</b>	<b>Potência do motor</b>	<b>Tempo de ciclo</b>
SABESP	<300CV	10 min
	>300CV	Consultar fabricante
Flomatcher (1972)	Até 15HP	10 min
	20 a 50HP	15min
	60 a 200HP	30 min
	250 a 600HP	60 min
Metcalf & Eddy (1981)	Até 20HP	10 min
	20 a 100HP	15 min
	>250HP	20 a 30 min

Fonte: Tsutiya e Alem Sobrinho, (1999).

Determinado o volume útil, parte-se para a definição de sua forma geométrica, ou seja, altura, definida pelo nível da extravasão (em torno de 30 centímetros acima) ou do nível máximo de alarme (aproximadamente 15 centímetros acima), largura que é uma das características das bombas selecionadas e comprimento que deve ser suficiente para instalação adequada dos conjuntos elevatórios com as folgas necessárias para montagem e inspeção. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)

O sistema deve estar assegurado contra possíveis paradas no fornecimento de energia elétrica, para isso deve ser instalados dispositivos de emergência que pode ser um gerador a diesel de energia elétrica ou na impossibilidade de instalação do mesmo , utilizar o poço pulmão.

O poço pulmão é uma alternativa que pode ser utilizada em elevatórias de pequeno porte, pois para elevatórias de médio e grande porte, essa alternativa ocupa muito espaço e tem custo de construção elevado. O poço pulmão pode ser constituído de um ou mais poços (reservatórios) interligados (vasos comunicantes) ao poço de sucção, que recebe o esgoto da estação elevatória, numa situação emergencial em que a elevatória esteja fora de funcionamento. (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)

Uma edificação de uma EEE pode ser composta na sua forma mais simples, de apenas o poço úmido (bombas submersas) até uma série de compartimentos de acordo com sua necessidade tais como sanitário, depósitos, sala de comandos e, no caso de estações de grande porte, baterias de banheiros, vestiários, restaurantes, administração, oficinas, etc.

Dependendo das exigências para operação e manutenção, sua estrutura interna inclui equipamentos de movimentação e serviço (pontes rolantes, talhas, aberturas de piso, etc), acessos e escadas, ventilação, exaustores e detectores de gases, tubulações e conexões, drenagem de pisos, comportas, iluminação artificial e natural, calefação, painéis de controle, gerador de emergência e outros que se fizerem necessários.(TSUTIYA E ALEM SOBRINHO,1999)

#### 4.4 Bombas

Máquinas Hidráulicas são máquinas que trabalham fornecendo, retirando ou modificando a energia do líquido em escoamento.(MACINTYRE,1997)

As máquinas hidráulicas podem ser classificadas em:

- Máquinas operatrizes - introduz no líquido em escoamento a energia externa, ou seja, transformam energia mecânica fornecida por uma fonte (um motor elétrico, por exemplo) em energia hidráulica sob a forma de pressão e velocidade (exemplo: bombas hidráulicas);
- Máquinas motrizes - transformam energia do líquido e a transferem para o exterior, isto é, transformam energia hidráulica em outra forma de energia (exemplos: turbinas, motores hidráulicos, rodas d'água);
- Mistas - máquinas que modificam o estado da energia que o líquido possui (exemplos: os ejetores e carneiros hidráulicos).

Bombas são máquinas operatrizes hidráulicas que fornecem energia ao líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto a outro. Normalmente recebem energia mecânica e a transformam em energia de pressão e cinética ou em ambas. Podem ser volumétricas onde o órgão fornece energia ao fluido em forma de pressão. São as bombas de êmbolo ou pistão e as bombas diafragma. O intercâmbio de energia é estático e o movimento é alternativo. Mas também podem ser turbo bombas ou bombas hidrodinâmicas: o órgão (rotor) fornece energia ao fluido em forma de energia cinética. O rotor se move sempre com movimento rotativo. (MACINTYRE, 1997)

#### 4.4.1 Turbo bombas

A turbo bomba ou bomba hidrodinâmica é composta pelo rotor que é o órgão móvel que fornece energia ao fluido. É responsável pela formação de uma depressão no seu centro para aspirar o fluido e de uma sobrepressão na periferia para recalcar-lo pelo difusor, canal de seção crescente que recebe o fluido vindo do rotor e o encaminha à tubulação de recalque, possui seção crescente no sentido do escoamento com a finalidade de transformar a energia cinética em energia de pressão. (MACINTYRE,1997)

Para Macintyre (1997), as turbo bombas podem ser classificadas de diversas maneiras. A primeira delas é em função da trajetória do fluido dentro do rotor. Se forem radiais ou centrifugas o fluido entra no rotor na direção axial e sai na direção radial. Caracterizam-se pelo recalque de pequenas vazões em grandes alturas. A força predominante é a centrífuga. Se forem axiais o fluido entra no rotor na direção axial e sai também na direção axial. Caracterizam-se pelo recalque de grandes vazões em pequenas alturas. A força predominante é a de sustentação.

A segunda forma de classificação é quanto ao número de entradas para a aspiração e sucção. Bombas de sucção simples ou de entrada unilateral, a entrada do líquido se faz através de uma única boca de sucção. Bombas de dupla sucção, a entrada do líquido se faz por duas bocas de sucção, paralelamente ao eixo de rotação. Esta configuração equivale a dois rotores simples montados em paralelo. O rotor de dupla sucção apresenta a vantagem de proporcionar o equilíbrio dos empuxos axiais, o que acarreta uma melhoria no rendimento da bomba, eliminando a necessidade de rolamento de grandes dimensões para suporte axial sobre o eixo.

A terceira forma de classificação é quanto ao número de rotores dentro da carcaça. Bombas de simples estágio ou unicelular possui um único rotor dentro da carcaça. Teoricamente é possível projetar uma bomba com um único estágio para qualquer situação de altura manométrica e de vazão. As dimensões excessivas e o baixo rendimento fazem com que os fabricantes limitem a altura manométrica para 100 m. Bombas de múltiplo estágio possui dois ou mais rotores dentro da carcaça. É o resultado da associação de rotores em série dentro da carcaça. Essa associação permite a elevação do líquido a grandes alturas (> 100 m), sendo o rotor radial o indicado para esta associação.

A quarta forma de classificação é quanto ao tipo de rotor. O rotor aberto é usado para bombas de pequenas dimensões. Possui pequena resistência estrutural, baixo rendimento e dificulta o entupimento, podendo ser usado para bombeamento de líquidos sujos. O rotor semi-aberto ou semi-fechado: possui apenas um disco onde são afixadas as palhetas. O rotor fechado é comumente usado no bombeamento de líquidos limpos. Possui discos dianteiros com as palhetas fixas em ambos. Evita a recirculação da água, ou seja, o retorno da água à boca de sucção.

A quinta forma de classificação é quanto à posição do eixo da bomba em relação ao nível da água. A bomba pode ser de sucção positiva, quando o eixo da bomba situa-se acima do nível d'água do reservatório de sucção ou de sucção negativa (afogada), quando o eixo da bomba situa-se abaixo do nível d'água do reservatório de sucção.

Quando o esforço solicitado não pode ser atendido por um única tubo bomba, se faz necessário a associação de mais bombas. Essa associação pode ser em paralelo, onde as vazões se somam para a mesma altura manométrica. Esta associação é muito utilizada em abastecimento de água de cidades e em indústrias. Existe ainda a associação em série, onde as alturas manométricas se somam para uma mesma vazão. Nas bombas de múltiplos estágios os rotores estão associados em série numa mesma carcaça. (MACINTYRE,1997)

#### 4.4.2 Grandezas características das turbo bombas

Uma bomba destina-se a elevar um volume de fluido a uma determinada altura, em certo intervalo de tempo, consumindo energia para desenvolver este trabalho e para seu próprio movimento, implicando, pois, em um rendimento característico. Estas, então, são as chamadas grandezas características das bombas,(MACINTYRE,1997)

Altura manométrica representada pela letra H de uma bomba é a carga total de elevação que a bomba trabalha. É dada pela expressão:

$$H = h_s + h_{fs} + h_r + h_{fr} + \frac{v_r^2}{2g} \dots\dots\dots\text{Equação 4.4}$$

Onde:

H : Altura de elevação total em metros;

H<sub>s</sub> : Altura estática de sucção em metros;

H<sub>fs</sub> :Perda de carga na sucção em metros;

h<sub>r</sub> :Altura estática de recalque em metros;

h<sub>fr</sub> :Perda de carga na linha do recalque em metros;

$\frac{v_r^2}{2g}$  :Parcela de energia cinética no recalque (normalmente desprezível em virtude das

aproximações feitas no cálculo da potência dos conjuntos elevatórios).

Denomina-se de potência motriz (também chamada de potência do conjunto motor-bomba) a potência fornecida pelo motor para que a bomba eleve uma vazão Q a uma altura H. Nestes termos define-se P por:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} \dots\dots\dots\text{Equação 4.5}$$

Onde:

P :Potência em Kgm/s,

γ :Peso específico do líquido.



Q :Vazão em  $m^3/s$ ,

H :Altura manométrica em metros,

h :Rendimento total, adimensional.

Para utilização da equação 4.5 a mesma deve ter seu resultado expresso em CV (cavalo vapor), para isso deve-se dividir o resultado da equação 4.5 por 75.

A quantidade de energia elétrica a ser fornecida para que o conjunto motor-bomba execute o recalque, não é totalmente aproveitada para elevação do líquido, tendo em vista que não é possível a existência de máquinas que transformem energia sem perdas nesta transformação. Por isso na equação de potência motriz aparece o rendimento. Pode-se considerar rendimento representado pela letra grega  $\eta$  como a relação entre potência motriz e potencia útil. (MACINTYRE,1997)

O valor de  $\eta$  é obtido através das curvas características de bombas que é a representação gráfica em um eixo cartesiano da variação das grandezas características. Constituem-se numa relação entre a vazão recalçada com a altura manométrica, com a potência absorvida, com o rendimento e às vezes com a altura máxima de sucção. Pode-se dizer que as curvas características constituem-se no retrato de funcionamento das bombas nas mais diversas situações. Estas curvas são obtidas nas bancadas de ensaio dos fabricantes

Segundo Macintyre (1997), pode-se observar que em grandes bombas centrífugas o rendimento não passa de 85%. Nas pequenas, dependendo do tipo e da condição de operação, pode baixar a menos de 40%. Um valor razoável para estimativa é 60% em bombas pequenas e 75% em bombas médias.

## 4.5 Energia

Em geral, o conceito e uso da palavra energia se refere “ao potencial inato para executar trabalho ou realizar uma ação”. A palavra é usada em vários contextos diferentes. O uso científico tem um significado bem definido e preciso enquanto muitos outros não são tão específicos.

O termo energia também pode designar as reações de uma determinada condição de trabalho, por exemplo, o calor, trabalho mecânico ou luz. Estes que podem ser realizados por uma fonte inanimada ou por um organismo vivo. A etimologia da palavra tem origem no idioma grego, onde εργος (erfos) significa "trabalho".

Qualquer coisa que esteja a trabalhar, por exemplo, a mover outro objeto, a aquecê-lo ou a fazê-lo ser atravessado por uma corrente elétrica, está a "gastar" energia, uma vez que ocorre uma "transferência", pois nenhuma energia é perdida, e sim transformada ou transferida a outro corpo. Portanto, qualquer coisa que esteja pronta a trabalhar possui energia. Enquanto o trabalho é realizado, ocorre uma transferência de energia. (DUKE ENERGY,2002)

Os processos de transformação de energia são inúmeros, assim como são variadas as fontes e as formas de energia.

Propõe-se a estruturação da transformação de energia em 4 formas:

- Energia primária;
- Energia final;
- Energia útil;
- Energia produtiva.

A energia primária é a verdadeira fonte energética. Pode assumir a forma de energia renovável, energia fóssil, mineral ou ser resultado de resíduos (ex.: energia solar, petróleo, gás natural). Tomando por referência a energia final, a energia primária resulta da adição à energia final de todas as degradações de energia que estiveram associadas ao processo de transformação de energia primária em energia final.

Energia Final é a forma que a energia assume no momento em que se encontra disponível para consumidor final, obtida através da transformação dos recursos de energia primária. A energia final é a forma comercial da energia (ex.: gasolina, eletricidade, hidrogênio).

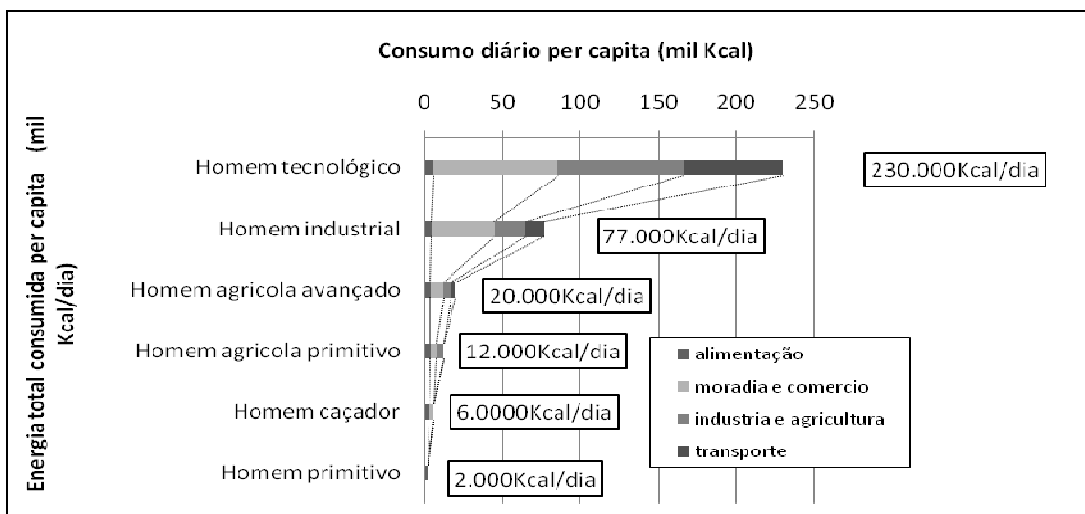
A energia útil está diretamente relacionada com a forma como o consumidor final “assimila” a energia. É resultante da transformação de energia final em serviços de energia (ex.: iluminação, aquecimento, transporte, comunicação).

A forma de energia produtiva corresponde á energia útil que é efetivamente utilizada pelo consumidor final, isto é, o conceito de energia produtiva reporta à eficácia da utilização da energia.(BOUSTEAD & HANCOCK, 1979)

#### 4.5.1 Consumo de energia

Segundo matéria do jornal O Globo em dois de fevereiro de 2010, o consumo de energia elétrica no Brasil bateu recorde neste dia, com uma média da ordem de 68 gigawatts (GW) ou 68 mil megawatts (MW), no horário de pico. A informação foi dada pela diretora de Gás e Energia da Petrobras, Maria das Graças Foster, ao destacar que, no dia anterior, já tinha sido registrado outro pico de consumo de 67,7 GW médios, cerca de 26,4% acima da média de consumo de todo o ano de 2009, que foi de 53,3 gigawatts. Segundo Maria das Graças, o forte aumento do consumo se deve às altas temperaturas no Sudeste e ao aumento da atividade industrial.

O consumo de energia é um dos principais indicadores do nível econômico e poder aquisitivo de uma sociedade. Quanto mais a sociedade se desenvolve, mais energia ela utiliza para suas atividades diárias, seja direta ou indiretamente. Segundo COOK, (1996), na evolução do consumo de energia, o homem tecnológico consome aproximadamente três vezes mais energia que o homem industrial, aproximadamente onze vezes mais que o homem agrícola avançado e aproximadamente cento e quinze vezes mais energia que o homem pré-histórico.



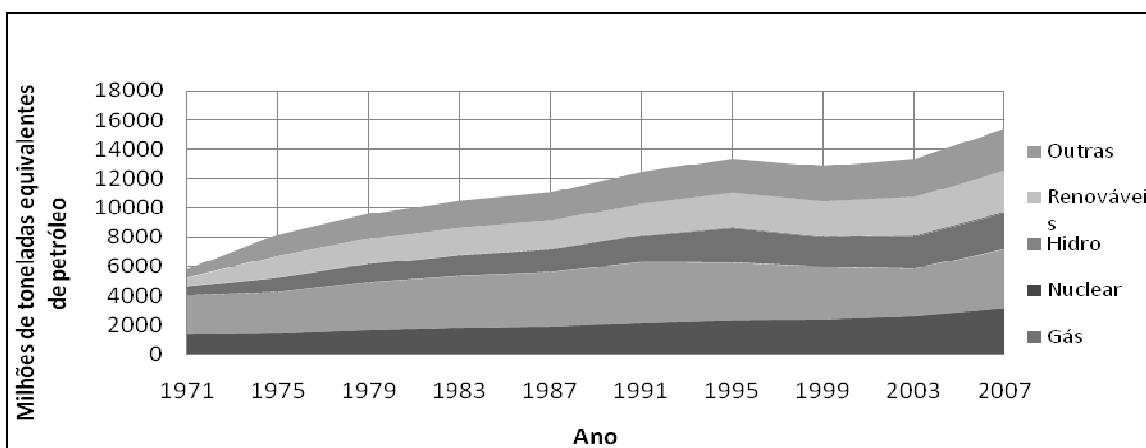
**Figura 4.2 Estágios de desenvolvimento e consumo de energia.**

Fonte: - COOK, E., Man, energy and society, Freeman and CO., São Francisco, 1976.

Na Figura 4.2 é possível verificar essa evolução, onde, entende-se que o homem primitivo viveu a aproximadamente um milhão de anos atrás, o homem caçador viveu há aproximadamente cem mil anos atrás, o homem primitivo agricultor data aproximadamente de cinco mil anos antes de cristo, o homem agricultor avançado data aproximadamente de mil e quatrocentos anos antes

de cristo, o homem industrial entende-se em meados de mil oitocentos e cinquenta e o homem tecnológico na década de setenta.

A International Energy Agency, criada em Novembro de 1974, e considerada como uma das mais seguras fontes de dados estatísticos sobre energia em seu relatório anual de energia corrobora o crescimento de consumo de energia no mundo em milhões de toneladas de petróleo conforme Figura 4.3.



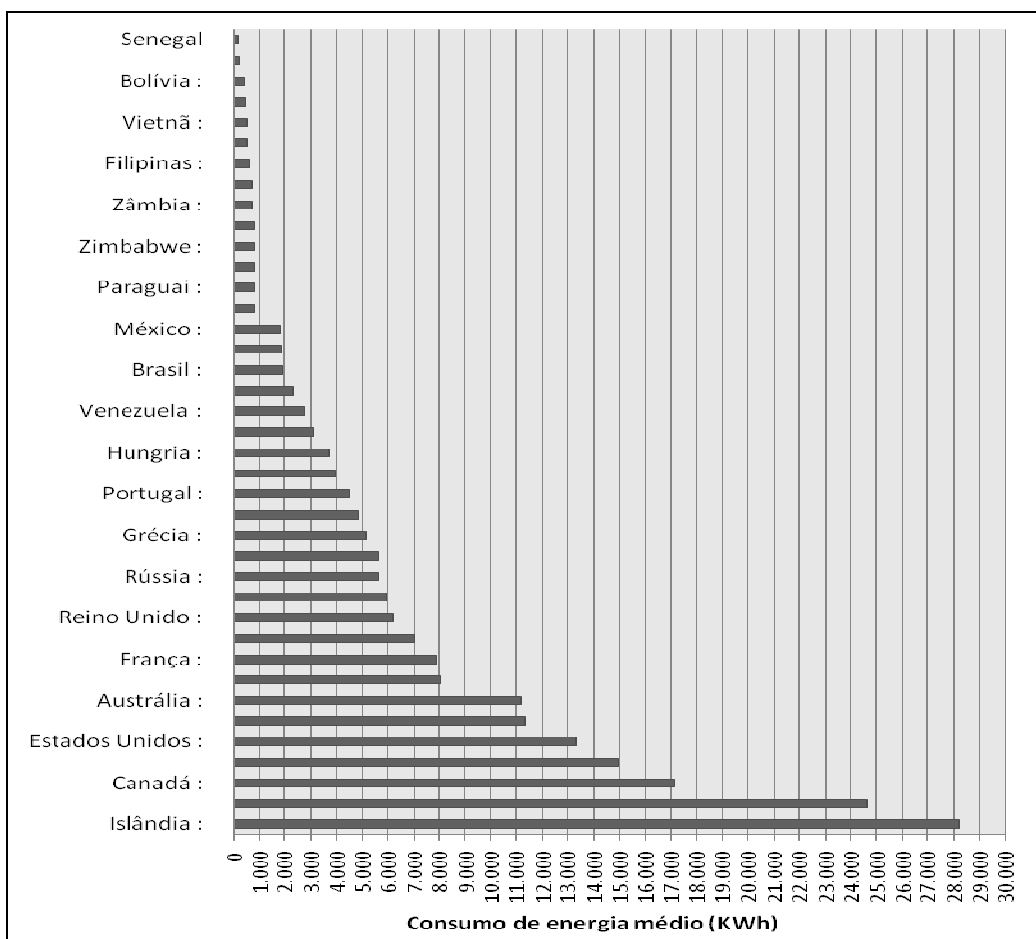
**Figura 4.3 Evolução mundial do suprimento de energia primária.**

Fonte: - Key World Energy Statistic, International Energy Agency, 2009

#### 4.5.2 Energia elétrica

Energia elétrica é uma forma de energia baseada na geração de diferença de potencial elétrico entre dois pontos, que permitem estabelecer uma corrente elétrica entre ambos. Mediante a transformação adequada é possível obter que tal energia mostre-se em outras formas finais de uso direto, como: em forma de luz, movimento ou calor, segundo os elementos da conservação da energia. A geração de energia elétrica pode ser feita mediante diferentes tecnologias. As principais aproveitam um movimento rotatório para gerar corrente alternada em um alternador. O movimento rotatório pode provir de uma fonte de energia mecânica direta, como a corrente de uma queda d'água ou o vento, ou de um ciclo termodinâmico. (DUKE ENERGY,2002)

A sociedade desenvolvida geralmente é extremamente dependente de energia elétrica. Isso se reflete no consumo *per capita*, conforme Figura 4.4:

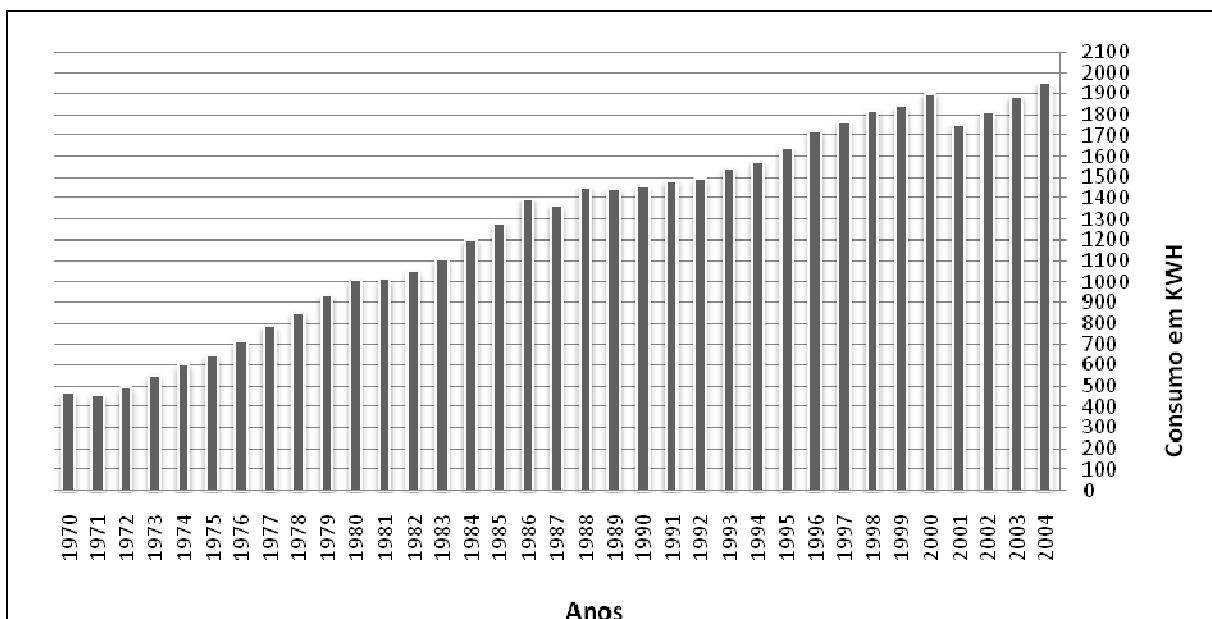


**Figura 4.4 Consumo de energia elétrica per capita anual em alguns países do mundo.**

Fonte: - Nation Master

Na análise do gráfico acima percebe-se que países de clima mais frio como Canadá e Islândia dependem da energia elétrica inclusive para aquecimento, daí o grande consumo.

No Brasil, o consumo de energia elétrica também está relacionado com o desenvolvimento do país, embora o consumo *per capita* esteja aquém das grandes potências mundiais houve um aumento no consumo ao longo dos anos. Na Figura 4.5 pode-se observar essa evolução



**Figura 4.5 Evolução do consumo de energia elétrica per capita no Brasil.**

Fonte: - Nation Master

Esse consumo quando multiplicado pela população acaba resultando no consumo total do Brasil, nos respectivos anos. No entanto esse valor representa o consumo direto ( consumo residencial) e indireto através da atividade industrial, comercial e serviços, não oferecendo a real idéia de consumo da população no âmbito residencial, ou seja se a industria consumir muita energia o consumo *per capita* residencial pode ser pequeno demonstrando um pequeno índice de desenvolvimento humano.

### 4.5.3 Tarifação do setor elétrico

Por muitos anos, o preço da energia elétrica foi um fator inibidor da adoção de medidas de eficiência. Sucessivos governos reduziram as tarifas de energia elétrica como parte de políticas para baixar a inflação a curto prazo. Mais esse processo foi intermitente, ora buscava-se o realismo tarifário e ora existiam adoção de medidas anti-inflacionárias. Essas oscilações criavam problemas de planejamento tanto para os fornecedores de energia quanto para os consumidores. (INEE, 2001)

Segundo Moreira (2006), a estabilização dessa política de preços só foi possível com o início da reforma do setor energético em 1993. Um dos primeiros passos foi a descentralização da fixação e do controle de tarifas. De 1974 a 1993, havia uma tabela única para todo o país, nas diferentes categorias de consumo. Desde 1993, as tarifas passaram a ser diferenciadas ao nível das concessionárias.

Conforme a resolução 456 (2000) da (ANEEL) Agência Nacional de Energia Elétrica, a tarifação acompanha a diferenciação em função do uso, dos horários de utilização e das estações do ano.

Os preços de energia elétrica dependem da tensão de fornecimento que se classificam em dois grupos: A - alta tensão e B - baixa tensão.

O grupo A subdivide-se em subgrupo, da seguinte forma:

- A1 - tensão maior ou igual a 230 Kv;
- A2 - tensão de 88 a 138 Kv;
- A3 - tensão de 69 Kv;
- A3a - tensão de 30 a 44 Kv
- A4 - Tensão de 2,3 a 25 Kv
- AS - baixa tensão de distribuição subterrânea.

O sistema tarifário em alta tensão envolve duas parcelas: demanda e consumo. Demanda é máximo valor de potência utilizada, registrado por aparelho integrador durante qualquer intervalo de 15 minutos, ao longo de um mês, é medida em KW. Consumo é a energia ativa gasta durante



um mês ou seja é o produto de potência pelo tempo de utilização. Em alta tensão a tarifa pode ser:

Convencional, em que o valor da conta mensal ou faturamento é expressado por:

$$F = C.T_c + D .T_d \dots\dots\dots\text{Equação 4.6}$$

Onde;

C:Consumo em KWh;

T<sub>c</sub> :Preço do consumo em R\$/KWh;

D :Demanda em KW;

T<sub>d</sub> :Preço da demanda em R\$/KW;

F :Faturamento em R\$.

Tarifa horo-sazonal verde, que considera o período de ponta, em que o sistema elétrico é mais solicitado (3 horas/dia, geralmente, das 17:30 até 20:30 horas), desconsiderando os sábados, domingos e feriados. A definição das três horas depende da localidade e da concessionária de distribuição de energia elétrica. Nesse caso o faturamento se define por:

$$F = C_f.T_{cf} + C_p.T_{cp} + D .T_d \dots\dots\dots\text{Equação 4.7}$$

Onde;

C<sub>f</sub> :Consumo em períodos fora da ponta em KWh;

T<sub>cf</sub> :Preço do consumo em períodos fora da ponta em R\$/KWh;

C<sub>p</sub> :Consumo medido no horário de ponta em KWh;

T<sub>cp</sub> :Preço do consumo medido no horário de ponta em R\$/KWh.

Além disso, os preços unitários do consumo, tanto na ponta como fora dela são um pouco mais elevados nos meses que compõem o período de estiagem (maio a novembro), denominado período seco. O período restante (dezembro e abril do ano seguinte) é chamado de período úmido, com preços geralmente menores.

Tarifa horo-sazonal azul, que é calculada analogamente à verde, porém a parcela de demanda também é desdobrada em ponta e fora de ponta. Assim o faturamento define-se por:

$$F = C_f.T_{cf} + C_p.T_{cp} + D_p.T_{dp} + D_f.T_{df} \dots\dots\dots\text{Equação 4.8}$$

Onde;

D<sub>f</sub>:Demanda fora de ponta em KW;

T<sub>df</sub>:Preço da demanda fora de ponta em R\$/KWh.

D<sub>p</sub>:Demanda de ponta em KW;

T<sub>dp</sub>:Preço da demanda de ponta em R\$/KWh.

O grupo B - baixa tensão, subdivide-se em subgrupo, da seguinte forma:

- ✓B1 residencial e residencial baixa renda
- ✓B2 rural, cooperativa de eletrificação rural e serviço público de irrigação
- ✓B3 - demais classes
- ✓B4 - iluminação pública

Para o caso de baixa tensão a tarifa resulta simplesmente do produto do consumo mensal de energia, expresso em Kwh pelo preço unitário do mesmo.

Observa-se que no caso das empresas de saneamento básico embora uma determinada unidade consumidora não tenha condições de alimentação a níveis de tensões mais elevados, dependendo das tarifas de energia elétrica em alguns casos torna-se viável a instalação de transformadores e aí a conexão poderá ser feita a níveis de tensão mais elevados e depois transformados a níveis de tensão compatíveis com os dos pontos de utilização.

#### 4.5.4 Eficiência energética.

Para o INEE (2001) o uso da energia nas sociedades geralmente passa por uma série de etapas de transformação desde o estágio em que ela é encontrada na natureza (a energia primária) até os serviços energéticos que interessam, como a luz, movimento ou calor. Melhorar a eficiência significa reduzir o consumo de energia primária necessário para produzir um determinado serviço de energia. A redução pode acontecer em qualquer etapa da cadeia das transformações

Tal afirmação é facilmente compreendida ao observar o diagrama de Sankey<sup>5</sup>. É possível entender que eficiente energeticamente é reduzir ao máximo as perdas na conversão de energia.

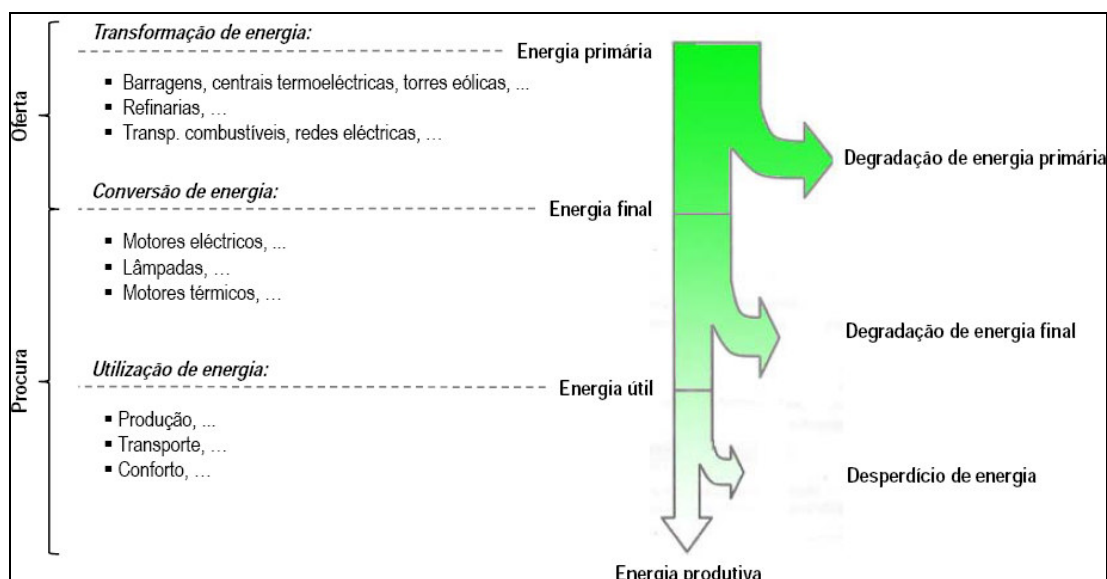


Figura 4.6 Diagrama de Sankey

Fonte: Francato, (2009)

A indústria por seu alto consumo de energia elétrica foi a primeira a pesquisar e adotar práticas de eficiência energética, um exemplo clássico é a cogeração<sup>6</sup> que é a produção de

<sup>5</sup> O diagrama de Sankey recebeu esse nome após o engenheiro e capitão irlandês Matthew Henry Phineas Riall Sankey ter sido o primeiro a usar este tipo de diagrama em 1898 em uma publicação sobre a eficiência energética de uma máquina a vapor.

<sup>6</sup> A cogeração é a produção de energia mecânica e/ou elétrica associada à produção de calor para algum processo. Sistemas deste tipo têm o benefício de maior eficiência em comparação com a geração da eletricidade e do calor separadamente. Explora-se o fato de que a qualidade (a temperatura) da energia térmica rejeitada pelo motor térmico (que aciona o gerador) é adequada para muitos processos térmicos nas indústrias, nos serviços e nas instalações prediais.

energia mecânica e/ou elétrica associada à produção de calor e/ou frio usado(s) na indústria ou em instalações prediais no comércio ou setor de serviços. (INEE, 2001)

O uso eficiente de energia elétrica constitui um paradigma para implementação das ações que otimizam o seu uso, seja por redução de consumo ou por deslocamento de cargas para fora do horário de ponta no consumo do sistema elétrico. Sempre sem comprometer o desempenho dos sistemas ou diminuir o nível de conforto proporcionado aos usuários (JAMES et al, 2002).

No entanto , a eficiência energética ainda tem como principal vantagem o fato de ser mais barato economizar do que produzir. Ainda que o investimento em tecnologia eficiente requererá também maiores gastos de capital e que sistemas e equipamentos eficientes são, geralmente, mais caros que as tecnologias utilizadas na produção, a economia é um retorno certo. Em geral, o custo de conservar 1kWh é, mais barato que produzi-lo que envolve todo o custo marginal da produção de energia nova. (GELLER, 1991).

## 4.6 Otimização (Pesquisa Operacional)

Executar qualquer tarefa de forma ótima, faz parte da rotina da humanidade, Desde seu surgimento o homem tenta minimizar esforços e maximizar os retornos em qualquer que seja a atividade desenvolvida. Existem registros desses esforços nos trabalhos de Euclides<sup>7</sup>, que no seu terceiro livro procura encontrar a maior e menor distancia de um ponto de uma circunferência. (LOESCHE,1999)

No século XVII com a entrada da humanidade na revolução industrial surge o cálculo diferencial e integral por necessidade imperativa do uso pleno de recursos na fabricação de produtos. A industria, mesmo em início de desenvolvimento, já se preocupava com maximização dos lucros e minimização dos custos. Os matemáticos Newton<sup>8</sup>, Leibniz<sup>9</sup>, Lagrange<sup>10</sup> e Bernoulli<sup>11</sup> contribuíram muito nesse sentido. (LOESCHE,1999)

Em 1759, Quesnay<sup>12</sup> publicou o trabalho “Tableau Economique”, que foi a primeira tentativa de se modelar a economia.

Em 1874, Walras<sup>13</sup> publicou “O sistema de equilíbrio Geral”, onde busca interpretar a economia de forma geral.

---

<sup>7</sup> **Euclides de Alexandria** (360 a.C. - 295 a.C.), foi um professor, matemático platônico e escritor possivelmente grego, muitas vezes referido como o "Pai da Geometria".

<sup>8</sup> **Sir Isaac Newton** (1643 -1727), foi um cientista inglês, mais reconhecido como físico e matemático, embora tenha sido também astrônomo, alquimista, filósofo natural e teólogo. Sua obra, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, é considerada uma das mais influentes em História da ciência. Publicada em 1687, esta obra descreve a lei da gravitação universal e as três leis de Newton, que fundamentaram a mecânica clássica.

<sup>9</sup> **Gottfried Wilhelm von Leibniz** (1646 - 1716), foi um filósofo, cientista, matemático, diplomata e bibliotecário alemão. A ele é atribuída a criação do termo "função" (1694), que usou para descrever uma quantidade relacionada a uma curva, como, por exemplo, a inclinação ou um ponto qualquer situado nela. É creditado a Leibniz e a Newton o desenvolvimento do cálculo moderno, em particular o desenvolvimento da Integral e da Regra do Produto.

<sup>10</sup> **Joseph Louis Lagrange** (1736 - 1813), foi um matemático francês, pois apesar de ter nascido na Itália, naturalizou-se francês. Um dos seus mais conhecidos trabalhos é o que se intitula “multiplicadores de Lagrange” que é um método para encontrar extremos de uma função de uma ou mais variáveis suaves a uma ou mais restrições.

<sup>11</sup> **Jakob Bernoulli** (1654 - 1705), foi o primeiro matemático a desenvolver o cálculo infinitesimal para além do que fora feito por Newton e Leibniz, aplicando-o a novos problemas.

<sup>12</sup> **François Quesnay** (1694 - 1774), economista francês.

<sup>13</sup> **Marie-Ésprit-Léon Walras** (1834 - 1910), economista e matemático francês.

Em 1939, Kantorovich<sup>14</sup> apresenta o trabalho “Métodos Matemáticos de Organização e Planejamento de Produção”, modelado na forma de um problema de programação linear, mais sem solução apresentada.

A pesquisa operacional tornou-se um ramo científico independente durante a Segunda Guerra Mundial, quando um grupo de cientistas foi convocado na Inglaterra para estudar problemas de estratégia e de tática associados com a defesa do país. O objetivo era decidir sobre a utilização mais eficaz de recursos militares limitados. (LOESCHE,1999)

Motivados pelos resultados positivos conseguidos pela equipe de pesquisa operacional inglesa, os Estados Unidos iniciaram atividades semelhantes.

Apesar de ser creditada à Inglaterra a origem da Pesquisa Operacional, sua propagação deve-se principalmente à equipe de cientistas liderada por George B. Dantzig<sup>15</sup>, dos Estados Unidos, convocada durante a Segunda Guerra Mundial. Ao resultado deste esforço de pesquisa, concluído em 1947, deu-se o nome de Método SIMPLEX. Com o fim da Segunda Guerra Mundial, a utilização de técnicas de pesquisa operacional atraiu o interesse de diversas outras áreas. (LOESCHE,1999)

Conhecendo suas origens pode-se concluir que um estudo de Otimização consiste, basicamente, em modelar um sistema real existente. Esse modelo tem como finalidade analisar o comportamento desse sistema e o objetivo é levá-lo a se comportar de forma ótima antes mesmo de sua implantação. (LOESCHE,1999)

Para se construir um modelo é necessário definir seus principais elementos:

- Variáveis de decisão: são as incógnitas a serem determinadas pela solução do modelo.
- Parâmetros: são valores fixos no problema;
- Restrições: são as limitações físicas do sistema, o modelo deve incluir restrições que limitam as variáveis de decisão a seus valores possíveis (ou viáveis);

---

<sup>14</sup> **Leonid Vitaliyevich Kantorovich** (1912 - 1986), matemático e economista russo.

<sup>15</sup> **George Bernard Dantzig** (1914 - 2005) foi um matemático estadunidense, que introduziu o algoritmo simplex e é considerado "pai da programação linear".

- Função objetivo: é uma função matemática que define a qualidade da solução em função das variáveis de decisão.

Existem várias técnicas de modelagem, sendo as apresentadas a seguir as mais clássicas:

- Programação linear - Utilizada para analisar modelos onde as restrições e a função objetivo mantém relações lineares entre parâmetros e variáveis;
- Programação inteira mista - Permite que os modelos possuam variáveis inteiras ou binárias, geralmente aplicadas a situações decisivas pontuais;
- Programação dinâmica é utilizada em modelos onde o problema completo pode ser decomposto em subproblemas menores;
- Programação estocástica - É aplicada a uma classe especial de modelos onde os parâmetros são descritos por funções de probabilidade;
- Programação não-linear - É utilizada em modelos contendo funções não-lineares.

Existem também vários modelos de otimização ou algoritmos de otimização, o mais conhecido é o Método SIMPLEX utilizado na segunda guerra mundial como citado.

O Método SIMPLEX é constituído de uma base matricial com vetorização de variáveis, ele evita a exploração exaustiva de soluções básicas assumindo os princípios de só pesquisar soluções básicas possíveis, melhorar o valor da função objetivo a cada passo, utilizar regras de parada que testem a solução ótima.

Segundo Bazaraa et al (1990), houve a necessidade de desenvolver o Método SIMPLEX revisado adaptável as implementações computacionais porque o Método SIMPLEX original, desenvolvido por George B. Dantzig em 1947 para resolver problemas lineares, não é um instrumento computacional eficiente, pois calcula e armazena muitos números que não são necessários à iteração.

Com o avanço computacional foi possível desenvolver algoritmos mais robustos que processam sistemas mais complexos com maior número de variáveis. Tem-se como exemplo rotinas de otimização como: MINOS, CONOPT, CPLEX, SNOPT, etc.

Para facilitar a utilização de diversos módulos de otimização para um dado problema tem-se disponível pacotes de otimização como o GAMS (*General Algebraic Modeling System*).

Uma ferramenta prática e popular para problemas de porte pequeno a médio tem-se o Solver da Frontline System disponibilizado no Microsoft Excel.

O Solver é uma ferramenta do Excel<sup>16</sup> da Microsoft<sup>17</sup> que permite fazer vários tipos de simulações na sua planilha, sendo utilizado principalmente para análise de sensibilidade com mais de uma variável e com restrições de parâmetros.

Para esse trabalho foi utilizado o Solver da Microsoft Excel. Como o Solver que já vem incluso no Excel atende a um número restrito de variáveis, optou-se por instalar o Solver da *Frontline System*, com mais capacidade quanto ao número de variáveis inteiras.

A plataforma escolhida foi a *Risk Solver Platform* que modela análise de risco, simulação e otimização no Excel. Juntamente a essa plataforma foi adicionado um *plug* ao chamado *Solver Engine* que confere uma maior velocidade em modelos que utilizem programação inteira.

---

<sup>16</sup> O **Excel**, nome completo **Microsoft Office Excel**, programa de planilha eletrônica de cálculo escrito.

<sup>17</sup> **Microsoft Corporation**, empresa multinacional de tecnologia informática dos Estados Unidos da América, que desenvolve e fabrica licenças e suporta uma ampla gama de produtos *software* para dispositivos de computador.



#### **4.6.1 Técnicas de otimização propostas para esse trabalho.**

##### **4.6.1.1 Programação Não Linear sujeita a um conjunto de restrições.**

A programação não linear (PNL) objetiva otimizar funções, maximizando ou minimizando resultados. O que a difere da programação linear é o fato de existir funções não lineares em qualquer parte do modelo, seja na função objetivo, nos parâmetros ou até mesmo nas restrições de igualdade e desigualdade.

Para programação linear a solução estará sempre nos vértices da figura formada pelas retas da função-objetivo e as retas das restrições. Os problemas de natureza não linear, por sua vez, podem ter soluções ótimas no interior das zonas de factibilidade. (WINSTON, 2001).

Para Schmidt (2005), devido às dificuldades próprias dos problemas não lineares, a PNL é uma área relativamente menos desenvolvida que a área de Programação Linear. Conseqüentemente, na PNL há relativamente menos opções ou então opções menos robustas de algoritmos destinados à solução de problemas. De uma forma geral, a grande dificuldade dos problemas de minimização na PNL reside na existência de mínimos ou máximos locais, o que dificulta consideravelmente a determinação do mínimo ou máximo global desejado.

Um algoritmo que atende a alguns problema não lineares é o algoritmo Generalized Reduced Gradient (GRG), utilizado pelo Solver. Segundo Corrar (2004) o método de resolução empregado consiste em tentar achar uma solução possível inicial para o problema, após isso tentar melhorar o resultado inicial, explorando a direção que produz sua melhoria mais significativa. Quando terminar a exploração dessa direção (ao alcançar os limites da área de soluções possíveis ou obter melhorias insignificantes no resultado), tentar aprimorar a solução explorando outras direções; e continuar esse processo até que o resultado obtido não possa ser significativamente melhorado. Na versão 2010 do Microsoft Excel. Existe a opção do usuário definir o número de soluções iniciais para o processo de solução. Sabe-se que quanto maior este número, maior será o tempo de solução do problema, contudo a esperança de se ter um ótimo global será maior.

##### **4.6.1.2 Programação inteira e mista.**

Os problemas de programação inteira e mista são, a princípio, estudados da mesma forma que um problema de programação linear. O que caracteriza é a presença de ao menos uma restrição de integridade. Entende-se por restrição de integridade imposta a uma variável a

exigência feita quanto aos possíveis valores que podem ser assumidos por essa variável. Por exemplo, a quantidade de carros produzidos só podem ser variáveis inteiras.

No caso do problema estudado nesta dissertação o fato de ligar ou não uma bomba hidráulica constitui-se numa decisão binária.

Se todas as variáveis forem inteiras leva-se a um problema inteiro, se algumas variáveis forem inteiras e outras não, se leva a um problema misto.

Como modelos de programação inteira e mista possuem resolução mais difícil que modelos ordinários, pode-se pensar em adotar a solução arredondada provida pelo Método SIMPLEX como solução do problema inteiro. Esse procedimento provê soluções aceitáveis, porém são soluções não ótimas, principalmente em problemas de grande porte. Em problemas de pequeno porte, essas soluções além de não ótimas, podem representar soluções inviáveis. (Floudas, 1995)

Para a solução desses problemas, utiliza-se um método de busca em árvore, ou algoritmo de retrocesso, conhecido como Branch-And-Bound. Esse algoritmo de busca em árvore trabalha na idéia da ramificação (ou partição) do conjunto de soluções viáveis em subconjuntos sem interseções. (Floudas, 1995)

Sua execução baseia-se na idéia de que para cada variável inteira seja possível que limites inferiores e superiores sejam fornecidos de forma a conter, neste intervalo, os valores ótimos das variáveis. Dessa forma, um valor inteiro  $B$  que se encontre no intervalo dos limites inferior e superior ( $L_{infj} \leq B \leq L_{supj}-1$ ) e uma solução ótima ( $x_j$ ) satisfará a condição  $x_j \geq B + 1$  ou a condição  $x_j \leq B$ . (Floudas, 1995).

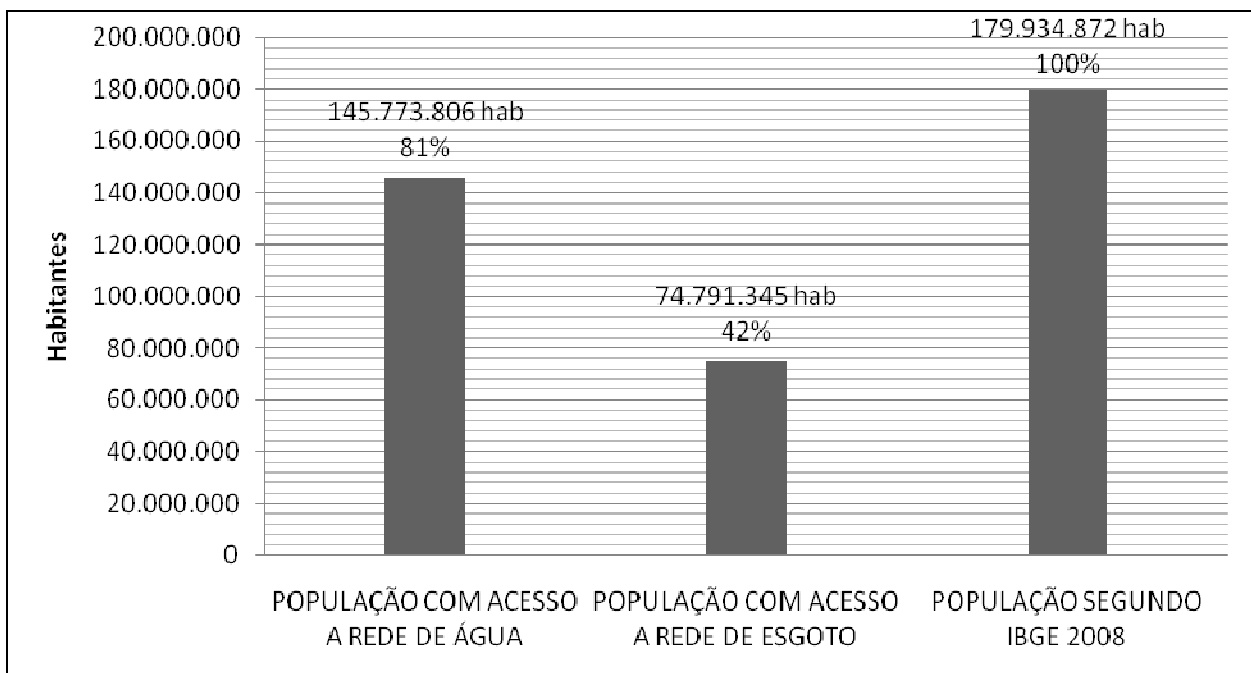


## 5. Revisão Bibliográfica

### 5.1 Consumo de energia elétrica e o saneamento básico no Brasil.

O saneamento é uma atividade que consome uma quantidade considerável de energia elétrica. Segundo James (2002) existem estimativas de que o Saneamento consuma cerca de 7% do consumo total da energia global.

O Brasil acompanha essa tendência, no entanto não existe universalidade nos acessos aos serviços. Na figura abaixo é possível observar que apenas 42% da população Brasileira tem acesso a rede coletora de esgoto.



**Figura 5.1 Universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil.**

Fonte: SNIS, (2008).

Com esse índice de universalização o Brasil atingiu em 2008 um consumo de 9.004.000 MWh de energia para o setor de saneamento, sendo 8.377.000 MWh em abastecimento de água e 627.000MWh em coleta, transporte e tratamento de esgoto. Uma média de 66KWh por habitante atendido. Pode-se estimar por meio desses indicadores que com a universalização desses serviços o consumo chegaria a 10.400.000 MWh de energia, dobrando o consumo nos sistemas de esgoto.

Em geral uma concessionária de água e esgoto tem grandes despesas com energia elétrica, em algumas situações é a maior despesa da concessionária.

Esses dados são corroborados pelo SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. O SNIS é o maior banco de dados do setor de saneamento brasileiro, administrado desde a sua criação no âmbito do Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS) vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. O Sistema é composto por dois componentes: um, relativo aos serviços de água e esgotos; outro, relativo aos serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos. Os dados retratam as condições da prestação dos serviços sob os aspectos institucional, administrativo, econômico-financeiro, técnico-operacional e da qualidade.

Para analisar o consumo energético das companhias de Saneamento Brasileiras foi utilizado a décima quarta edição anual consecutiva do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos do SNIS, tendo como ano base 2008. O documento em geral é publicado em duas partes: a primeira contempla o texto analítico, denominada Parte 1 - Visão Geral da Prestação de Serviços; e a segunda apresenta as informações e indicadores dispostos nas tabelas extraídas do banco de dados do Sistema, denominada Parte 2 - Tabelas das Informações e Indicadores. Através da parte 2 pôde-se obter dados como o exposto a seguir. Até o presente momento só esta disponibilizado pelo SNIS os indicadores tabelados.

Para um melhor entendimento da composição dos gráficos de cenários de consumo de energia elétrica que será apresentado a seguir, faz-se necessário o detalhamento desses indicadores. Esse detalhamento está disponível no quadro 5.1.

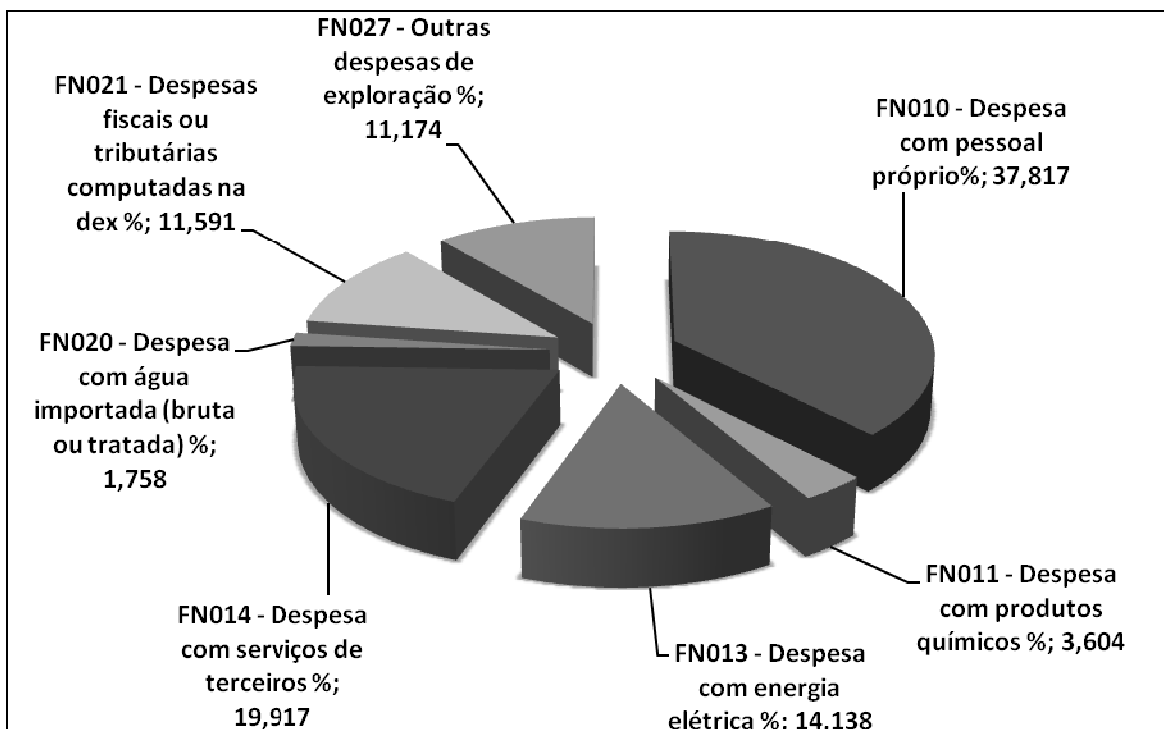
### Quadro 5.1 Descrição dos Indicadores do SNIS

INDICADOR	DESCRIÇÃO
<b>AG001</b> - População total atendida com abastecimento de água [habitante]	Valor da soma das populações urbana e rural atendidas com abastecimento de água pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência. Corresponde à população que é efetivamente servida com os serviços, ou seja, está associada à quantidade de economias residenciais ativas de água. No SNIS é adotado o valor estimado pelo próprio prestador de serviços.
<b>AG028</b> - Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água [1.000 kWh/ano]	Quantidade anual de energia elétrica consumida nos sistemas de abastecimento de água, incluindo todas as unidades que compõem os sistemas, desde as operacionais até as administrativas.
<b>ES001</b> - População total atendida com esgotamento sanitário [habitante]	Valor da soma das populações urbana e rural atendidas com esgotamento sanitário pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência. Corresponde à população que é efetivamente servida com os serviços, ou seja, está associada à quantidade de economias residenciais ativas de esgoto. No SNIS é adotado o valor estimado pelo próprio prestador de serviços.
<b>ES028</b> - Consumo total de energia elétrica nos sistemas de esgotos [1000 kWh/ano]	Quantidade anual de energia elétrica consumida nos sistemas de esgotamento sanitário, incluindo todas as unidades que compõem os sistemas, desde as operacionais até as administrativas.
<b>FN010</b> - Despesa com pessoal próprio [R\$/ano]	Valor anual das despesas realizadas com empregados (inclusive diretores, mandatários, entre outros), correspondendo à soma de ordenados e salários, gratificações, encargos sociais (exceto PIS/PASEP e COFINS), pagamento a inativos e demais benefícios concedidos, tais como auxílio-alimentação, vale-transporte, planos de saúde e previdência privada.
<b>FN011</b> - Despesa com produtos químicos [R\$/ano]	Valor anual das despesas realizadas com a aquisição de produtos químicos destinados aos sistemas de tratamento de água e de esgoto.
<b>FN013</b> - Despesa com energia elétrica [R\$/ano]	Valor anual das despesas realizadas com energia elétrica (força e luz) nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, incluindo todas as unidades do prestador de serviços, desde as operacionais até as administrativas.

<b>FN014</b> - Despesa com serviços de terceiros [R\$/ano]	Valor anual das despesas realizadas com serviços executados por terceiros.
<b>FN015</b> - Despesas de exploração (dex) [R\$/ano]	Valor anual das despesas realizadas para a exploração dos serviços, compreendendo Despesas com Pessoal, Produtos Químicos, Energia Elétrica, Serviços de Terceiros, Água Importada, Despesas Fiscais ou Tributárias computadas na DEX, além de Outras Despesas de Exploração.
<b>FN020</b> - Despesa com água importada (bruta ou tratada) [R\$/ano]	Valor anual das despesas realizadas com a importação de água bruta ou tratada no atacado.
<b>FN021</b> - Despesas fiscais ou tributárias computadas na dex [R\$/ano]	Valor anual das despesas realizadas com impostos, taxas e contribuições, cujos custos pertencem ao conjunto das despesas de exploração, tais como PIS/PASEP, COFINS, CPMF, IPVA, IPTU, ISS, contribuições sindicais e taxas de serviços públicos.
<b>FN027</b> - Outras despesas de exploração [R\$/ano]	Valor anual realizado como parte das Despesas de Exploração que não são computadas nas categorias de Despesas com Pessoal, Produtos Químicos, Energia Elétrica, Serviços de Terceiros, Água Importada e Despesas Fiscais e Tributárias Computadas na DEX. Portanto, corresponde ao valor das Despesas de Exploração deduzido do valor dessas despesas. É preciso estar atento para que a informação não resulte em um valor negativo. Na coleta de dados do SNIS esta informação não é solicitada, pois o próprio SNIS realiza a operação de cálculo da mesma.
<b>GE012</b> - População total do município, segundo o IBGE [habitante]	Valor da soma das populações urbana e rural de um município. Inclui tanto a população servida quanto a que não é servida com os serviços. É adotada no SNIS a estimativa realizada anualmente pelo IBGE.

Fonte: SNIS, (2008).

Para ampliar a comparação em termos de despesas, foram suprimidas do tratamento numéricos cidades que não possuem acesso a rede coletora de esgoto, consumo de energia elétrica em esgoto, consumo de energia elétrica em água e as que não apresentaram despesas com energia elétrica, mesmo apresentando consumo. Apenas 960 municípios que atendem as condições de contorno. Com os índices foi possível elaborar um gráfico que discretiza as despesas de uma companhia de saneamento em geral no Brasil.



**Figura 5.2 Divisão de despesas nas companhias de saneamento Brasileiras - todos os municípios.**

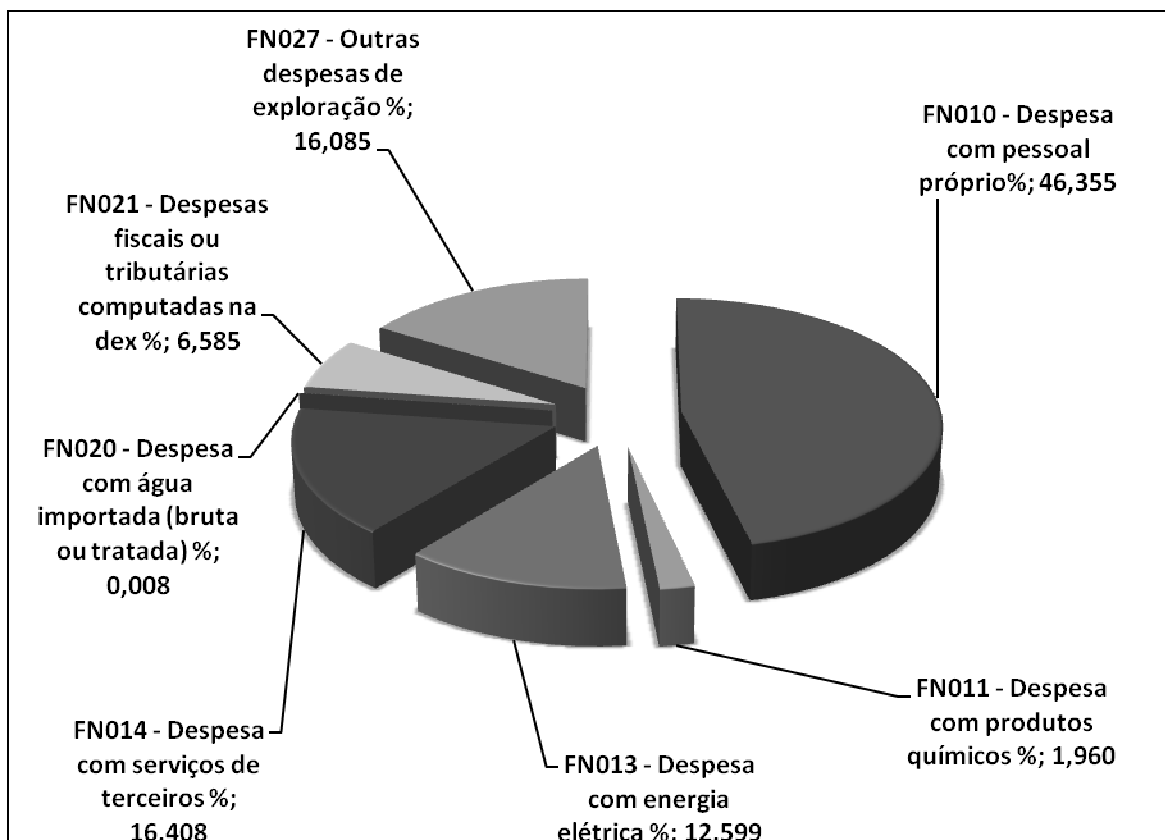
Fonte: SNIS, (2008).

Na Figura 5.2 pode-se observar que a terceira maior despesa de uma companhia de saneamento é a energia elétrica ficando abaixo somente de pessoal próprio e despesas com terceiro. Ainda no intuito de exemplificar melhor as despesas com energia elétrica esses municípios foram divididos em 7 categorias.

Em todas as categorias foram feitas médias de todos os gastos e em todas foram feitos comparativos das ordens de grandezas desses gastos totalizando 100%.



A primeira categoria abrange municípios com populações até 10.000 habitantes.

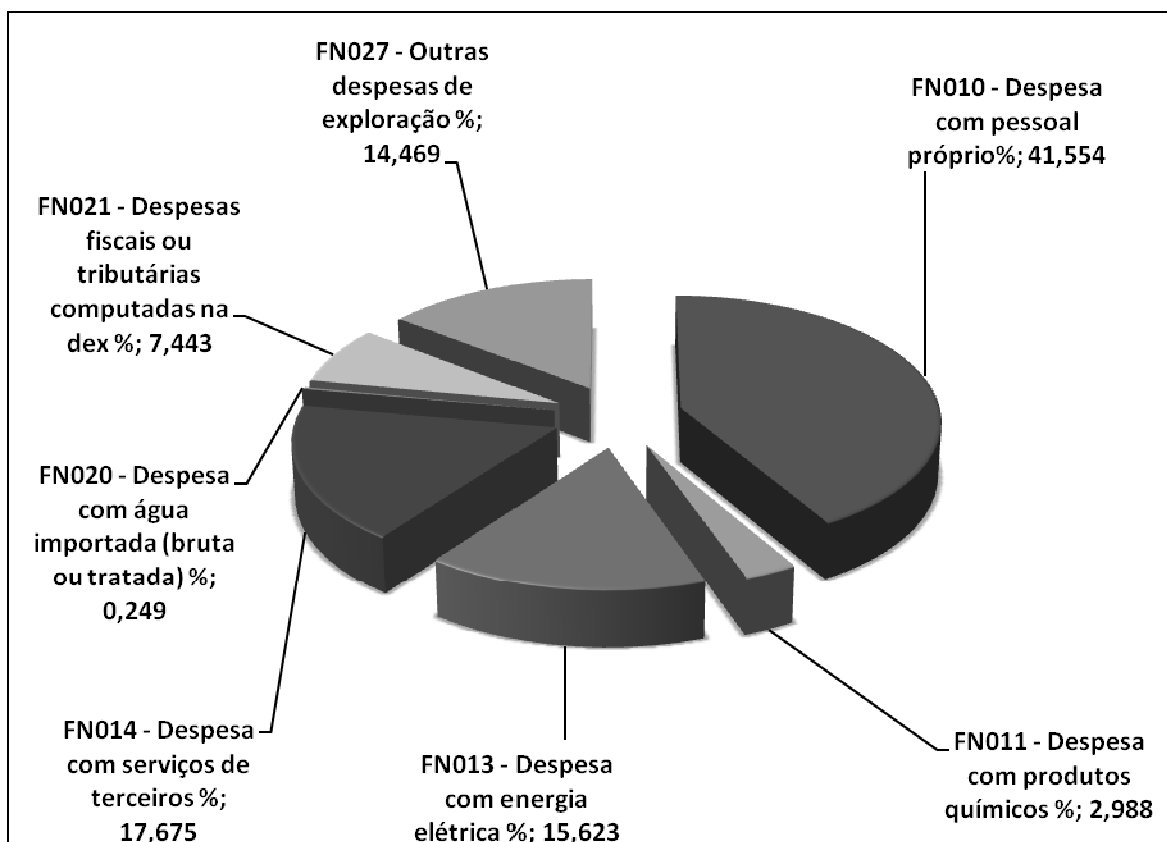


**Figura 5.3** Divisão de despesas nas companhias de saneamento Brasileiras - municípios até 10.000hab.

Fonte: SNIS, (2008).

Nos municípios com populações até 10.000 habitantes, é possível observar que a despesas com energia elétrica das concessionárias tem uma média de 12,599%, sendo a quarta maior despesa diferindo da média Brasileira.

A segunda categoria abrange municípios com populações entre 10.001 e 50.000 habitantes.

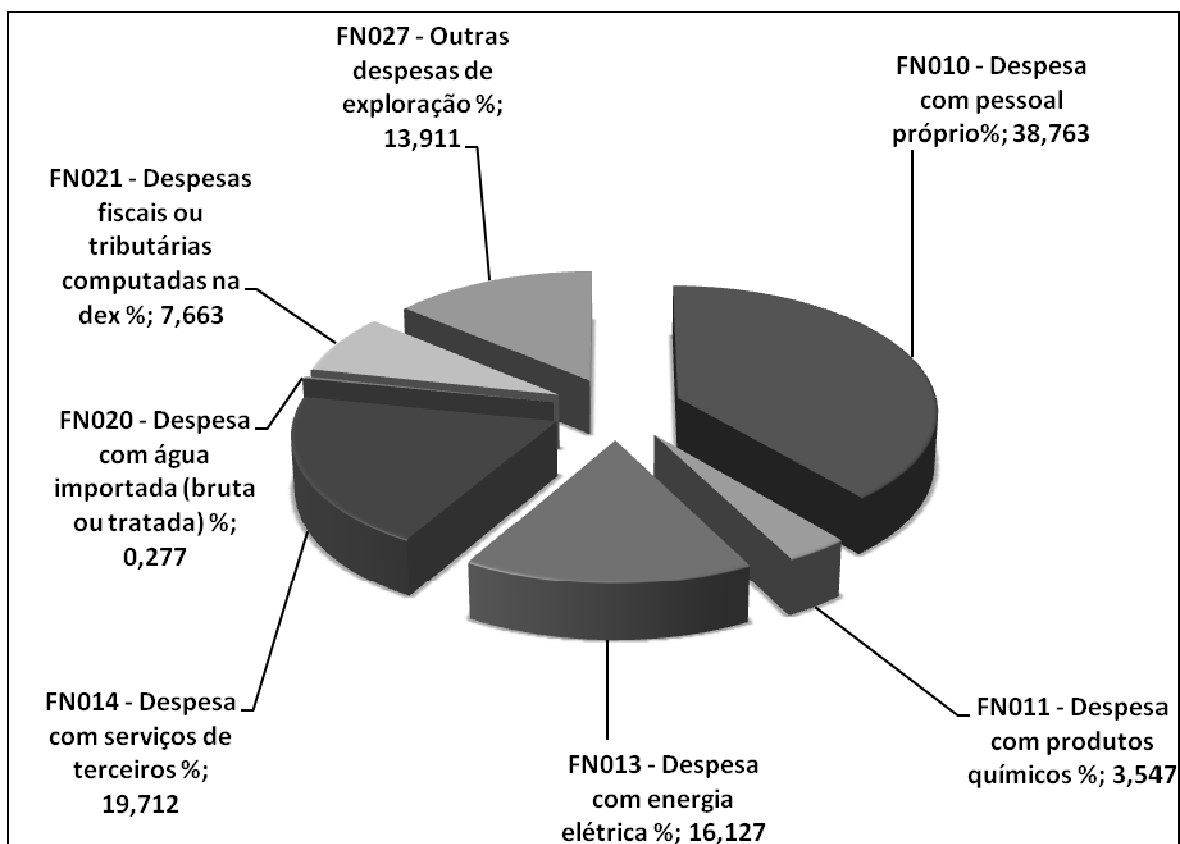


**Figura 5.4 Divisão de despesas nas companhias de saneamento Brasileiras - municípios com população entre 10.001 e 50.000hab.**

Fonte: SNIS, (2008).

Nos municípios com populações entre 10.001 e 50.000 habitantes, é possível observar que a despesas com energia elétrica das concessionárias tem uma média de 15,623%, sendo a terceira maior despesa se igualando a média Brasileira.

A terceira categoria abrange municípios com populações entre 50.001 e 100.000 habitantes.

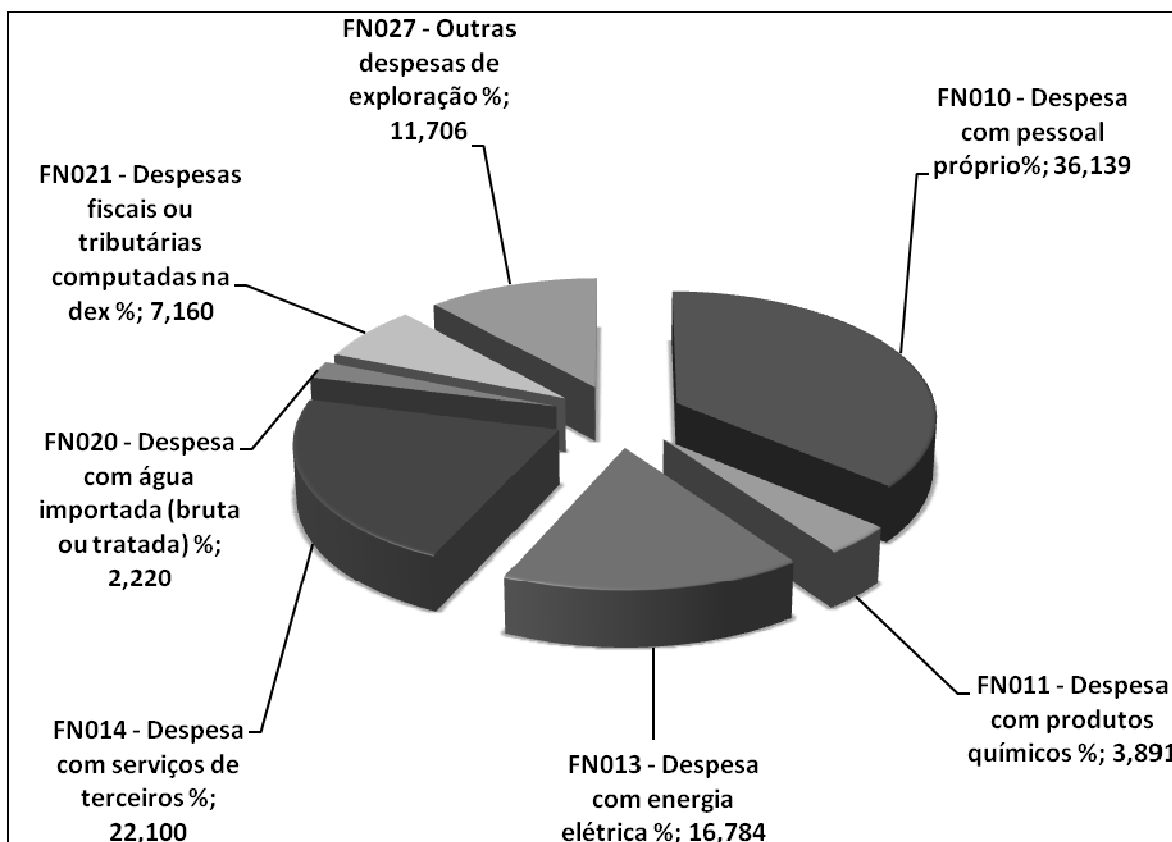


**Figura 5.5 Divisão de despesas nas companhias de saneamento Brasileiras - municípios com população entre 50.001 e 100.000hab.**

Fonte: SNIS, (2008).

Nos municípios com populações entre 50.001 e 100.000 habitantes, é possível observar que a despesas com energia elétrica das concessionárias tem uma média de 16,127%, sendo a terceira maior despesa se igualando a média Brasileira.

A quarta categoria abrange municípios com populações entre 100.001 e 250.000 habitantes.

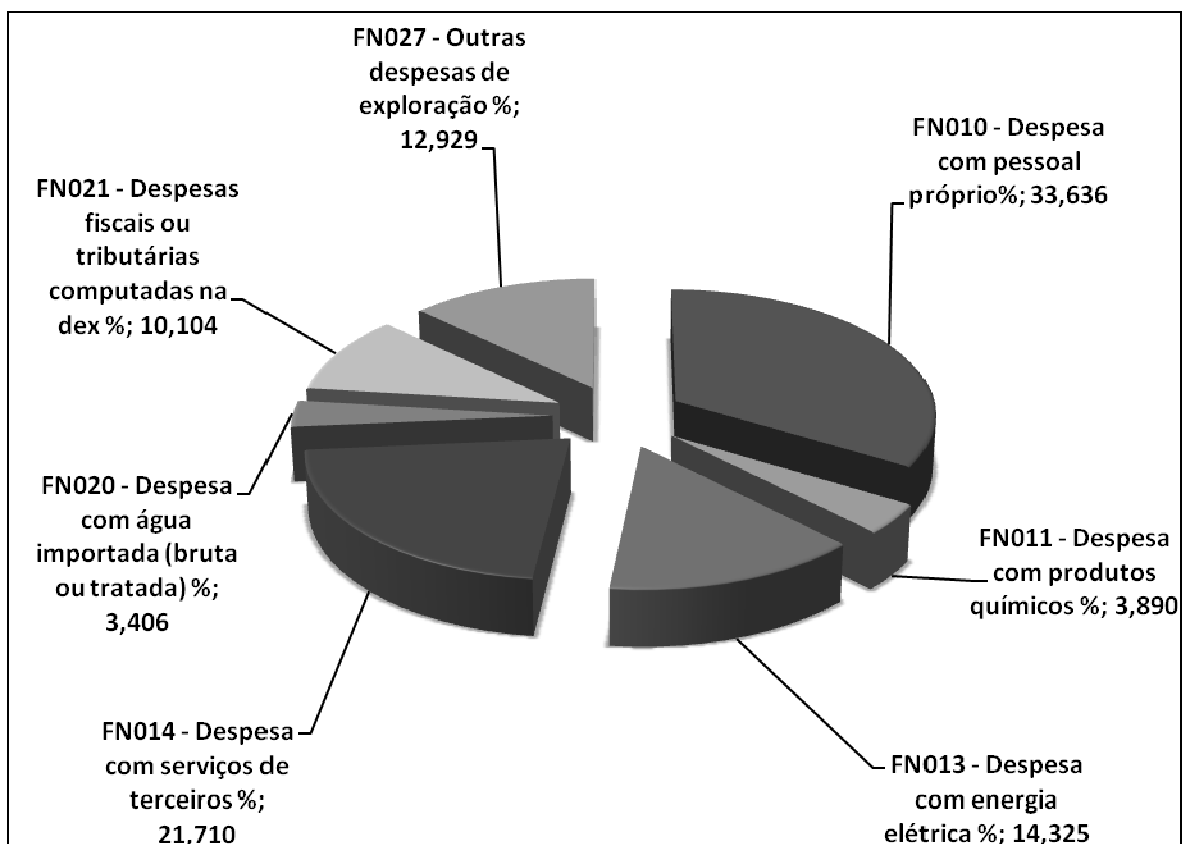


**Figura 5.6 Divisão de despesas nas companhias de saneamento Brasileiras - municípios com população entre 100.001 e 250.000hab.**

Fonte: SNIS, (2008).

Nos municípios com populações entre 100.001 e 250.000 habitantes, é possível observar que a despesas com energia elétrica das concessionárias tem uma média de 16,784%, sendo a terceira maior despesa se igualando a média Brasileira.

A quinta categoria abrange municípios com populações entre 250.001 e 500.000 habitantes.

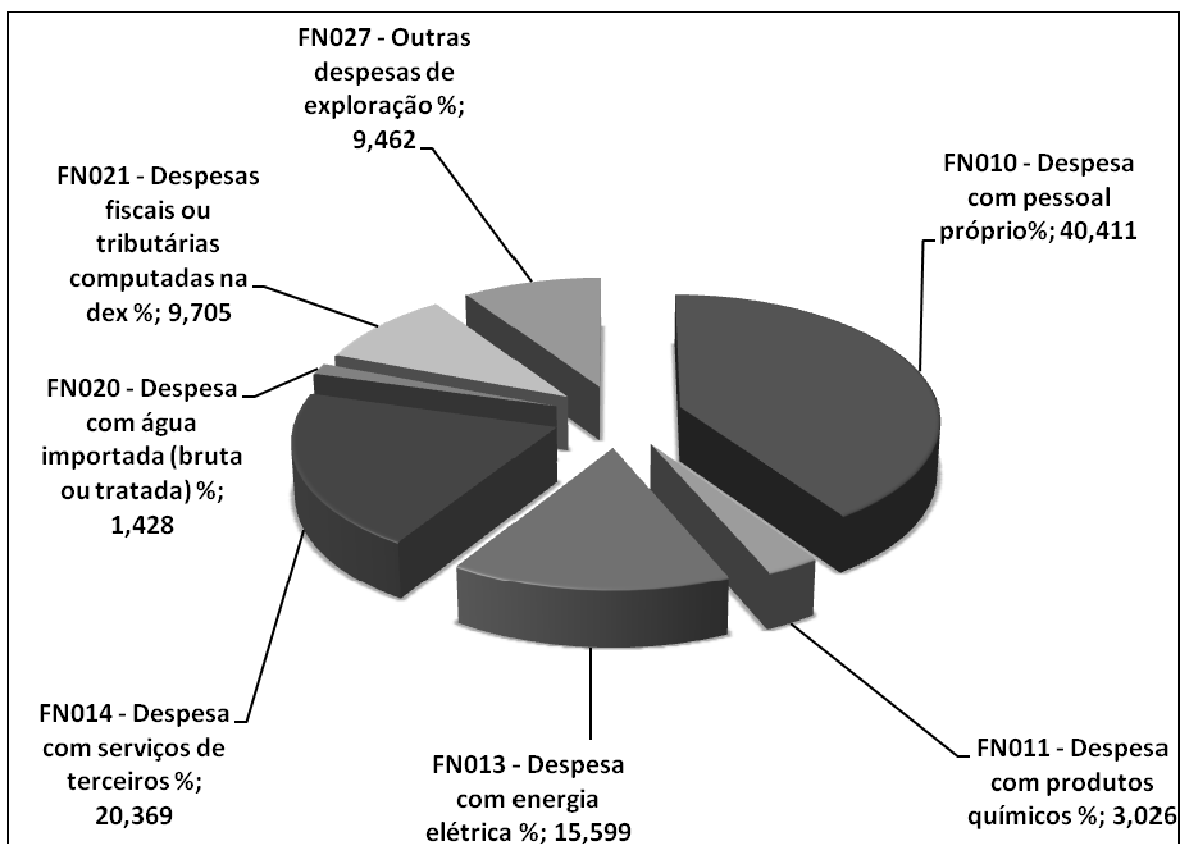


**Figura 5.7** Divisão de despesas nas companhias de saneamento Brasileiras - municípios com população entre 250.001 e 500.000hab.

Fonte: SNIS, (2008).

Nos municípios com populações entre 250.001 e 500.000 habitantes, é possível observar que a despesas com energia elétrica das concessionárias tem uma média de 14,325%, sendo a terceira maior despesa se igualando a média Brasileira.

A sexta categoria abrange municípios com populações entre 500.001 e 1.000.000 habitantes.

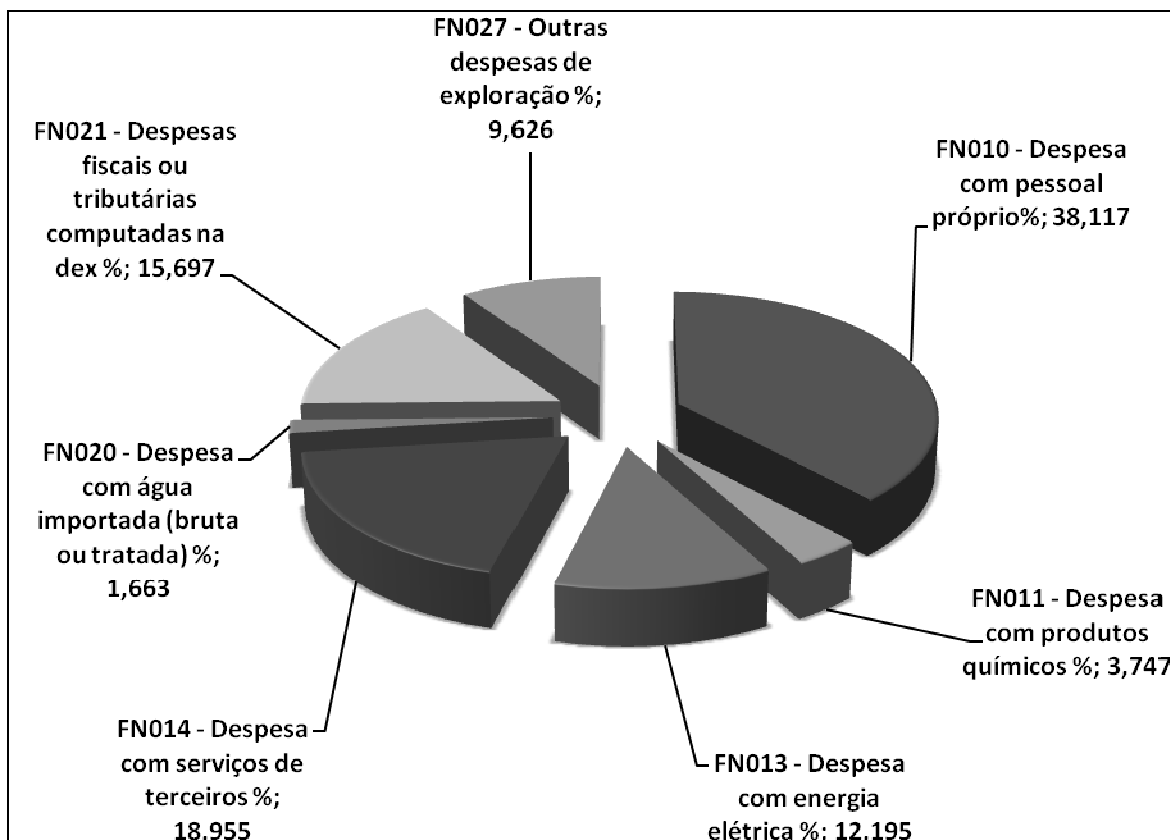


**Figura 5.8 Divisão de despesas nas companhias de saneamento Brasileiras - municípios com população entre 500.001 e 1.000.000hab.**

Fonte: SNIS, (2008).

Nos municípios com populações entre 500.001 e 1.000.000 habitantes, é possível observar que a despesas com energia elétrica das concessionárias tem uma média de 15,599%, sendo a terceira maior despesa se igualando a média Brasileira.

A sétima categoria abrange municípios com populações acima de 1.000.001 habitantes.



**Figura 5.9** Divisão de despesas nas companhias de saneamento Brasileiras - municípios com população acima de 1.000.001hab.

Fonte: SNIS, (2008).

Nos municípios com populações acima de 1.000.001 habitantes, é possível observar que a despesas com energia elétrica das concessionárias tem uma média de 12,195%, sendo a quarta maior despesa diferindo da média Brasileira.

Dentre todos os gráfico e na tabela abaixo que compila todos esse dados é possível observar que a relação entre consumo de energia e número de habitantes é linear.

**Tabela 5.1 Tabela de compilação de dados sobre despesas de uma companhia de saneamento.**

Municípios	FN010 - Despesa com pessoal próprio%	FN011 - Despesa com produtos químicos %	FN013 - Despesa com energia elétrica %	FN014 - Despesa com serviços de terceiros %	FN020 - Despesa com água importada (bruta ou tratada) %	FN021 - Despesas fiscais ou tributárias computadas na dex %	FN027 - Outras despesas de exploração %
Todos os Municípios	37,82	3,60	14,14	19,92	1,76	11,59	11,17
Municípios até 10.000 hab	46,36	1,96	12,60	16,41	0,01	6,58	16,09
Municípios entre 10.001 e 50.000hab	41,55	2,99	15,62	17,68	0,25	7,44	14,47
Municípios entre 50.001 e 100.000hab	38,76	3,55	16,13	19,71	0,28	7,66	13,91
Municípios entre 100.001 e 250.000hab	36,14	3,89	16,78	22,10	2,22	7,16	11,71
Municípios entre 250.001 e 500.000hab	33,64	3,89	14,33	21,71	3,41	10,10	12,93
Municípios entre 500.001 e 1.000.000hab	40,41	3,03	15,60	20,37	1,43	9,70	9,46
Municípios acima de 1.000.001hab	38,12	3,75	12,20	18,95	1,66	15,70	9,63

Fonte: SNIS, (2008).

Nos municípios com população de até 250.000 habitantes essa despesa é crescente, nos municípios com população entre 250.001 e 500.000 habitantes existe um decréscimo nessa despesa e depois um novo pico nos municípios com população até 1.000.000 de habitantes. Nos



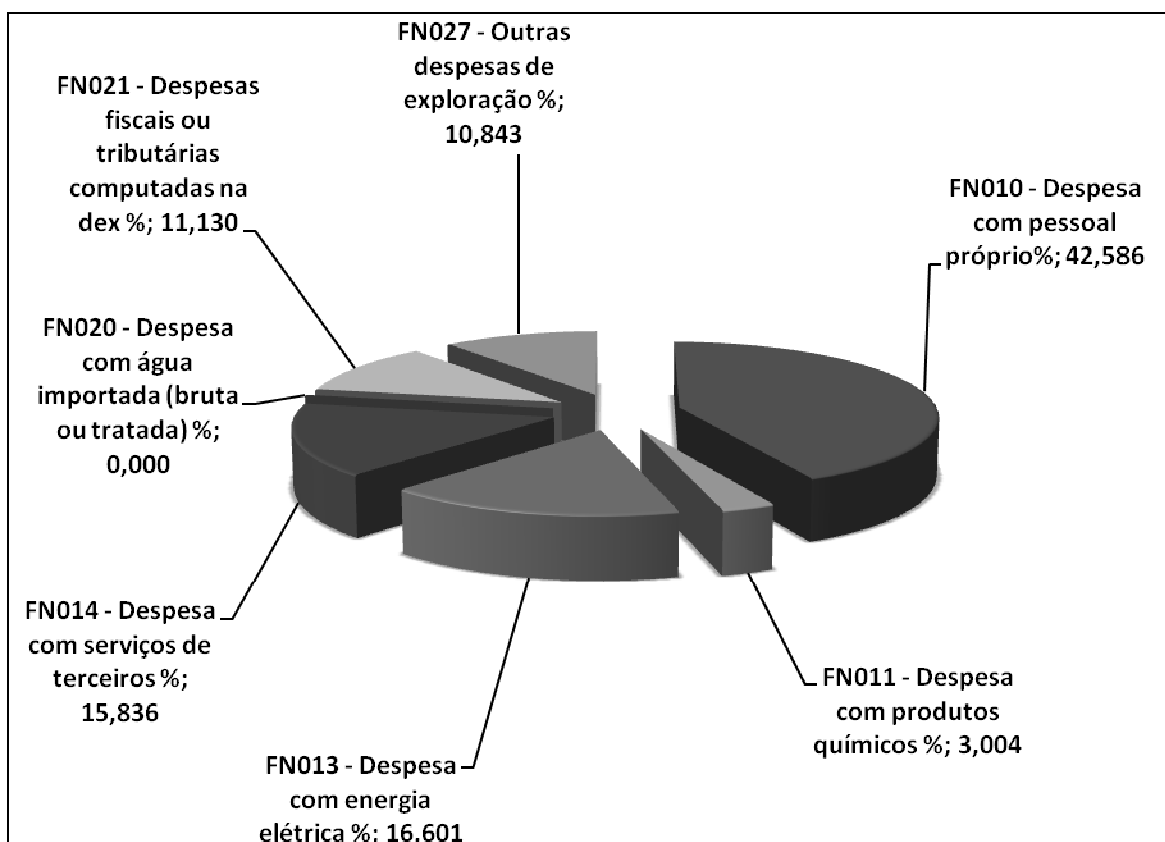
municípios acima de 1.000.001 de habitantes há novamente um decréscimo dessa despesa como. Pode-se concluir que existem outros fatores além da densidade demográfica nessa despesa.

Há uma perda significativa de energia nos sistemas de distribuição de água e esgotamento sanitário. Gomes (2005) considera que esses desperdícios de energia elétrica são decorrentes de fatores como:

- Formas contratuais indevidas;
- Procedimentos operacionais inadequados;
- Vazamentos nos reservatórios, redes de distribuição e ramais prediais;
- Mal dimensionamento dos sistemas;
- Equipamentos elétricos antigos e ultrapassados;
- Tecnologias mal utilizadas;
- Erros de concepção dos projetos;
- Manutenções precárias.

Na intenção de justificar o presente trabalho, foi dado o mesmo tratamento ao estado de Minas Gerais e ao Município de Uberlândia para uma comparação nas despesas de suas companhias de Saneamento.

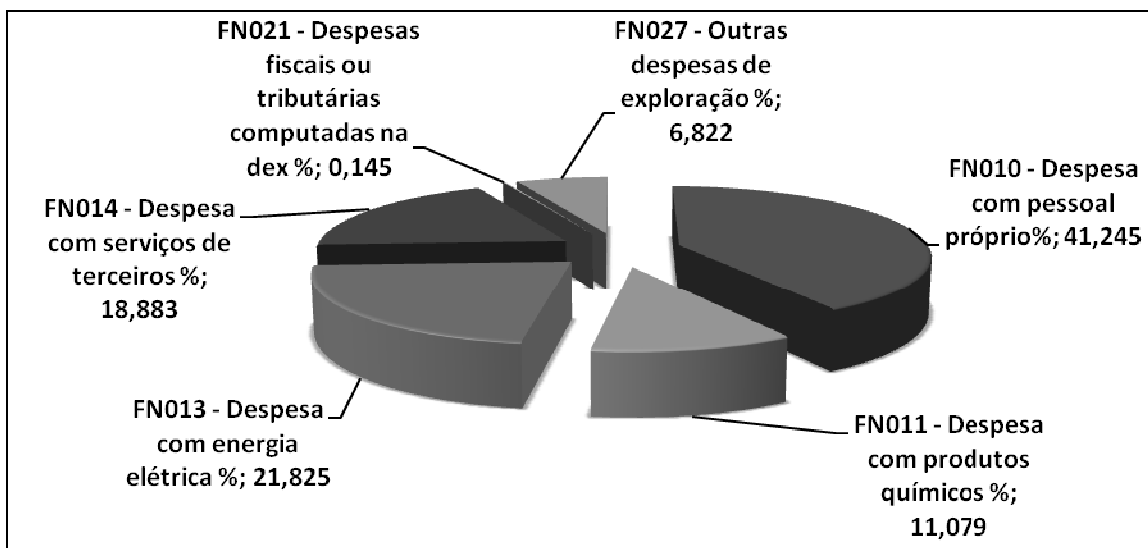
Nos municípios que atendem as condições de contorno e estão inseridos no estado de Minas Gerais. Na Figura 5.10, pode-se observar que a despesa com energia elétrica representa 16,601% da despesa total, acima da média geral.



**Figura 5.10** Divisão de despesas nas companhias de saneamento no estado de Minas Gerais.

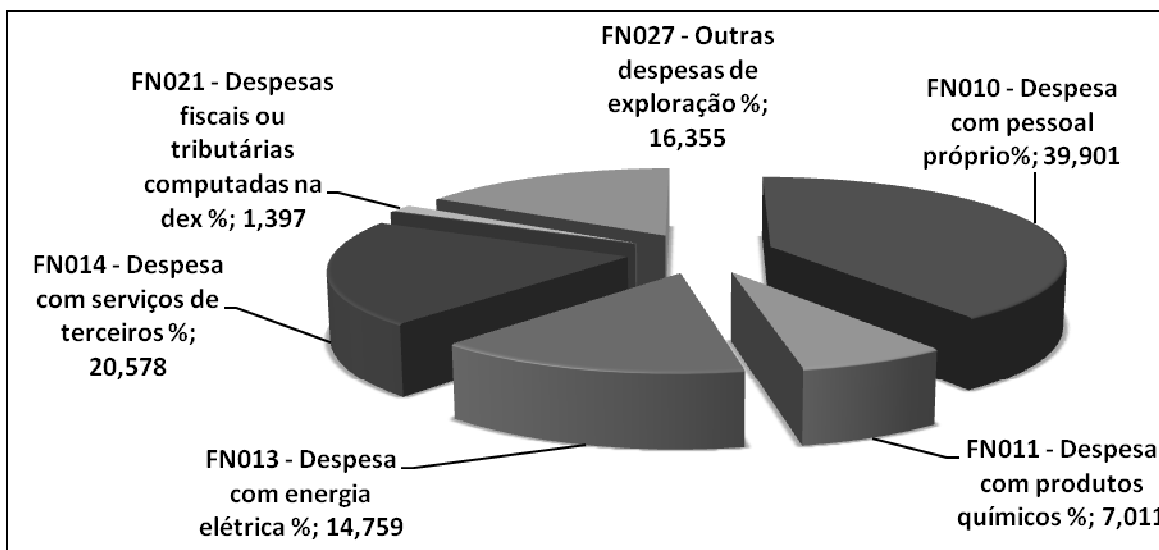
Fonte: SNIS, (2008).

Em Uberlândia – MG. A despesa com energia elétrica não difere do estado de Minas Gerais. No entanto, para fins de comparação foram selecionadas duas edições do relatório do SNIS. A décima segunda com ano base de 2006 e a décima quarta com ano base de 2008.



**Figura 5.11** Divisão de despesas no DMAE - Uberlândia em 2006.

Fonte: SNIS, (2006).



**Figura 5.12** Divisão de despesas no DMAE - Uberlândia em 2008.

Fonte: SNIS, (2008).

Para justificar melhor a comparação, é necessário apresentar a tabela de custo para os dois anos.

**Tabela 5.2 Comparativo de despesas em Uberlândia para os anos base de 2006 e 2008**

DESPESAS	ANOS	
	2006	2008
FN010 - Despesa com pessoal próprio [R\$/ano]	R\$ 14.287.949,39	R\$ 19.889.777,51
FN011 - Despesa com produtos químicos [R\$/ano]	R\$ 3.837.844,29	R\$ 3.494.571,86
FN013 - Despesa com energia elétrica [R\$/ano]	R\$ 7.560.691,07	R\$ 7.356.871,03
FN014 - Despesa com serviços de terceiros [R\$/ano]	R\$ 6.541.543,77	R\$ 10.257.447,63
FN020 - Despesa com água importada (bruta ou tratada) [R\$/ano]	R\$ 0,00	R\$ 0,00
FN027 - Outras despesas de exploração [R\$/ano]	R\$ 2.363.253,80	R\$ 8.152.599,22
FN021 - Despesas fiscais ou tributárias computadas na dex [R\$/ano]	R\$ 50.362,46	R\$ 696.325,40
FN015 - Despesas de exploração (dex) [R\$/ano]	R\$ 34.641.644,78	R\$ 49.847.592,65
GE012 - População total do município, segundo o ibge [habitante]	600.368,00	622.441,00

Fonte: SNIS, (2006, 2008).

Comparando a Tabela 5.2 com a Figura 5.11 e a Figura 5.12 pode-se afirmar que a despesa com energia elétrica foi praticamente a mesma. O fato de em 2006 a energia elétrica ser a segunda maior despesa e em 2008 ser a terceira maior despesa se deu em função da maior contratação de serviços terceirizados como por exemplo o cadastro, digitalização e georeferenciamento das redes de água, esgoto e drenagem.

## 5.2 Eficiência energética e o saneamento.

Analisando os custos de energia, conclui-se que esses custos, em uma sociedade desenvolvida, podem consumir grande parte dos recursos de um município, recursos que seriam valiosos em outros usos. Seria possível aplicá-los na educação, saúde, transportes ou qualquer outra função municipal importante para população.

O consumo de energia, no saneamento em todo o mundo, poderia ser reduzido em pelo menos em 25%, através de ações que apresentassem eficiência sem diminuição do desempenho (JAMES et al, 2002).

No saneamento adotar práticas de eficiência energética, as vezes verifica-se uma barreira física, financeira e cultural. Física porque é necessário um perfeito entendimento do sistema, ações como cadastro de redes, setorizações, levantamento de equipamentos e potências, caracterização dos desníveis geométricos, entre outros. Financeiro, porque qualquer medida física tem um custo. Mas a principal barreira é a cultural, principalmente em concessões municipais de pequeno porte, onde existe a cultura da celebre frase: “Time que está ganhando não se mexe”. A companhia perde muita água, mas a população está abastecida, o esgoto é recalcado sem nenhum cuidado, mas está sendo afastado. Gasta-se muita energia, mas recebe-se subsídio municipal, além do desconto de 15% regulamentado pela ANEEL. Dessa forma, práticas de eficiência energética são mal vistas e o investimento nessas práticas considerados desnecessários. Um forte impulsionador da busca pela eficiência energética será a restrição para obtenção de financiamentos.

O Brasil terá que se esforçar para mitigar essa cultura, haja visto que a tendência da demanda de energia elétrica no saneamento é aumentar conforme os serviços de água e esgotamento sanitário se universalizam em função expansão urbana. Gomes (2005) analisa que essa expansão é vista com preocupação pelo setor energético, uma vez que o custo da energia elétrica em bombeamentos tem crescido consideravelmente.

A fim de mitigar mais rapidamente essas barreiras culturais a ELETROBRÁS, por intermédio do PROCEL, desenvolveu o PROCEL SANEAR – Programa de Eficiência Energética no Saneamento Ambiental, que atua de forma conjunta com o Programa Nacional de Combate ao

Desperdício de Água – PNCDA e o Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS; ambos coordenados pela SNSA, vinculada ao Ministério das Cidades.

Os principais objetivos do PROCEL SANEAR são:

- Promover ações que visem ao uso eficiente de energia elétrica e água em sistemas de saneamento ambiental, incluindo os consumidores, segundo uma visão integrada de utilização desses recursos;
- Incentivar o uso eficiente dos recursos hídricos, como estratégia de prevenção à escassez de água destinada à geração hidroelétrica;
- Contribuir para a universalização dos serviços de saneamento ambiental, com menores custos para a sociedade e benefícios adicionais nas áreas de saúde e de meio ambiente.

As principais metas do PROCEL SANEAR são:

- Incremento do fluxo de recursos financeiros para implementação de projetos de eficiência energética na área de saneamento ambiental;
- Melhoria dos indicadores de desempenho associados à energia elétrica e ao processamento de água dos prestadores de serviços de saneamento;
- Maior conscientização dos consumidores no que se refere ao uso adequado de energia elétrica e água e à informação de novas tecnologias e seus benefícios.

Segundo o PROCEL, os resultados obtidos com a execução das ações previstas em quatro projetos foram comprovados, e estão sendo amplamente divulgados como casos de sucesso.

Segundo Duarte (2008) parece ser fácil avaliar os efeitos da mudança de operação e das medidas de manutenção adotadas, comparando às despesas com energia elétrica antes e depois da sua implementação.

De uma forma geral, James et al (2002), Gomes (2005) e Tsutiya (1997) dividem as medidas de eficiência energética em ações administrativas e em ações operacionais. Sendo as ações administrativas as primeiras a serem tomadas, haja visto que não envolvem custos, e em uma segunda etapa entra as ações operacionais que envolvem custos.

De uma forma mais exemplificada, Tsutiya (1997) classifica e discretiza as ações administrativas e as ações operacionais.

#### Redução de Custo sem Investimento

São medidas que independem de investimento em novas instalações ou equipamentos e que são eficientes e de fácil obtenção através de contato com as concessionárias de energia. São elas:

- Classificação - Verificação da classe em que se enquadra a instalação, pois as instalações classificadas como de água, esgoto e saneamento, gozam do desconto de 15% na tarifa;
- Regularização da Demanda Contratada - Consiste na adequação das demandas contratada e registrada, a fim de se evitar pagamento de uma demanda não utilizada, ou ainda, no caso de tarifação horo-sazonal, da demanda de ultrapassagem;
- Alteração da Estrutura Tarifária - O conhecimento detalhado das características do sistema tarifário constitui, de imediato, umas das mais importantes alternativas a ser estudada, visando a redução nos custos de energia elétrica, pois é necessário verificar se a forma de cobrança da energia elétrica de uma determinada instalação é a mais adequada;
- Desativação - Trata-se do corte de ligação, uma vez que não esteja sendo utilizada, ou permaneça desativada por período superior a seis meses. Apesar de não haver consumo de energia ativa, paga-se o consumo mínimo em baixa tensão e, no caso de alta tensão, a demanda contratada;
- Erro de Leitura - É detectado a partir da conferência dos dados da conta de energia elétrica com os dados de campo das instalações. São erros comuns nas leituras de demanda, energia ativa, energia reativa e data de leitura. Em qualquer destes casos o erro poderá representar prejuízos irrecuperáveis.

## Redução do Custo com Investimento

- Depende de recursos investidos em equipamentos e instalações, após a realização de pequenos estudos. Como se trata de investimentos não muito elevados, são também bastante utilizados para a redução de custos. São elas:
- Correção do Fator de Potência – O fator de potência não influencia diretamente na medição, mas quanto mais baixo for o fator de potência maior será o consumo de energia reativa pelo motor, prejudicando o setor elétrico e tendo a necessidade de pagar o consumo de reativos;
- Melhoria do Fator de Carga - Dentre os vários índices que podem ser utilizados como indicativos da racionalidade do uso da energia elétrica, destaca-se o fator de carga que, no caso de elevatórias, serve para verificar o nível de utilização dos conjuntos motor-bomba. O fator de carga é a relação entre a potência média solicitada pela instalação e a demanda de potência máxima ocorrida em um determinado período de tempo. Muito solicitado para instalações do grupo A.

Redução do custo pela diminuição do consumo de energia elétrica.

O custo do consumo de energia elétrica é o produto da energia consumida em KWh pela tarifa do KWh. Para diminuir os custos de energia é necessário reduzir a altura manométrica ou o volume de líquido bombeado ou aumentar a eficiência dos conjuntos motor-bomba.

Redução do custo pela alteração do sistema operacional das estações elevatórias.

Normalmente, as bombas de recalque são projetadas com capacidade para atender a demanda máxima diária. Nestes casos, o bombeamento é contínuo durante 24 horas/dia ou com um pequeno tempo de ciclo. Esse método operacional tem sido tradicionalmente utilizado no Brasil. No entanto, devido ao aumento do custo de energia tem sido estudadas propostas de modificações no sistema de bombeamento.

No próximo sub-capítulo pode-se observar técnicas que ajudam na escolha da política operacional das estações elevatórias de um modo geral.



### 5.3 Pesquisa operacional (otimização) e o saneamento.

Segundo Castro et al (2010), os avanços tecnológicos na área computacional permitiram o desenvolvimento de técnicas de otimização. Com isso, têm surgido inúmeros trabalhos visando à redução do custo energético de operação de sistema de abastecimento de água. Entretanto, a maioria dos modelos desenvolvidos foi aplicada a casos específicos.

De uma forma geral, em função de toda a energia consumida no bombeamento sendo a maior parcela no bombeamento de água, tem-se uma gama de trabalhos a serem citados.

Desde (JOWITT; GERMANOPOULOS, 1992) que utilizou a programação linear para estabelecer uma política ótima para o bombeamento em redes de abastecimento de água.

Francato, (2002) utilizou a programação multi objetivo em um modelo de programação linear iterativa para operar a alça leste da região metropolitana de São Paulo.

Pode-se citar ainda (STERLING, 1994) que utilizou a programação dinâmica para obter custos melhores no bombeamento de água.

No que tange os boosters para incremento de pressão, é possível citar o trabalho de Righetto (2002), que apresentou uma metodologia baseada nos algoritmos genéticos, que são algoritmos evolutivos que usam técnicas baseadas na biologia evolutiva como hereditariedade, mutação seleção natural, para encontrar regras operacionais otimizadas.

No entanto, em relação ao esgoto o emprego de técnicas de otimização ainda é muito pequeno frente a demanda, tanto de energia elétrica quanto de dimensionamento dos sistemas.

Gameiro (2003), propôs um problema de otimização de projetos de esgotamento sanitário por gravidade através de um algoritmo genético. Sua base foi um traçado qualquer de rede e uma demanda específica nas junções. O modelo deveria buscar uma combinação de pares de diâmetros e declividades de tubos que resultasse num custo mínimo, e que atendesse restrições como:

- A continuidade da vazão deve ser mantida em todos os nós e junções da rede;
- Limitação de lâmina máxima deve ser satisfeita;
- Limitação de diâmetro mínimo da rede;

- Vazão mínima;
- Declividade mínima e máxima;
- Velocidade mínima e máxima;
- Tensão média de cisalhamento.

Como resultado obteve reduções no custo da ordem de 5.8% a 6.8%. Contudo o trabalho abordou um problema de projeto e não de operação.

Oliveira (2004), concluiu que é possível o uso de técnicas de tomada de decisão, como a árvore de decisão e análise de sensibilidade, para auxiliar a escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário. O modelo desenvolvido em sua pesquisa mostrou-se eficaz em identificar as alternativas com menor custo total, a partir do tempo de vida útil estimado para a estação de tratamento. Nos estudos para diferentes populações, o modelo indicou alternativas distintas, para primeira e segunda melhor opção, indicando não haver tendência em determinadas respostas.

Francato (2011) apresentou um estudo de eficiência energética para o planejamento da operação de estações elevatórias de esgoto (EEE). Foi formulado um modelo de otimização através da técnica de programação linear inteira mista onde se procurou agendar o acionamento e desligamento de bombas hidráulicas com o objetivo de minimizar o custo total com energia elétrica. Com os resultados obtidos verificou-se que há possibilidade de redução no consumo de energia elétrica na fase operacional. O trabalho de pesquisa evidenciou a potencialidade de aplicação de otimização a sistemas e estações elevatórias de esgoto, permitindo a representação detalhada das equações e condicionantes operacionais, contribuindo para a promoção de redução de custos e da eficiência energética no setor de saneamento.



## 6. Metodologia

O problema do planejamento de acionamento da bomba da Estação Elevatória de Esgoto pode ser equacionado segundo as equações básicas da hidráulica de condutos forçados. A flexibilidade na solução do problema reside em acionar ou não uma bomba em um determinado intervalo de tempo.

Para a modelagem desenvolvida foram necessárias algumas simplificações:

Os intervalos de tempo foram discretizados de 10 em 10 minutos. Utilizou-se 10 minutos com intervalo de tempo mínimo na discretização do horizonte pois valores menores que este podem levar a um número exagerado de partidas da bomba, o que acarreta em desgastes e aumento na necessidade de manutenção. Esse intervalo foi considerado como um instante fixo sem variações ao longo desses 10 minutos

O ponto de funcionamento da bomba foi fixado no valor de dimensionamento para cada elevatória desconsiderando as alterações de vazões de bombeamento ao longo do dia.

As vazões afluentes nas elevatórias descritas no Gráfico 6.1 foram consideradas como imediatas, não considerando a defasagem de tempo que ocorre entre o consumo de água e o retorno do esgoto, tendo em vista que o gráfico se baseia no perfil de consumo de água.

Foi utilizada a fórmula de Hazen Willians para cálculo de perda de carga, por possuir o coeficiente de atrito explícito.

O modelo respeita as condicionantes como: capacidade de vazão na bomba, volumes máximos e mínimos no poço de sucção, etc.

Destaca-se como ponto interessante da modelagem a diferenciação da tarifa nos horários de ponta e fora de ponta, bem como a consideração da variação de efluente.

## 6.1 Estrutura do Problema de Otimização

Diante do objetivo do trabalho que é oferecer uma política ótima para o bombeamento de esgoto resultando em um custo menor de energia elétrica foi elaborada uma planilha excel onde cada um dos parâmetros foram dispostos em linhas conforme modelo abaixo:

**Tabela 6.1 Modelo de parametrização em excel do problema**

COTA DE FUNDO DA ELEVATÓRIA
COTA DE TAMPA DA ELEVATÓRIA
COTA DE DESAGUE
NÍVEL MINIMO OPERACIONAL
NÍVEL MÁXIMO OPERACIONAL
NÍVEL INICIAL
VOLUME TOTAL AFLUENTE
DIAMETRO DO RECALQUE
RENDIMENTO
PREÇO DA ENERGIA
VAZÃO MÁXIMA DA BOMBA
VAZÃO MÉDIA
AREA DO POÇO
NÚMERO MÁXIMO DE BOMBAS
NÚMERO MÍNIMO DE BOMBAS
COMPRIMENTO EQUIVALENTE
COMPRIMENTO TOTAL
COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIANS

Esses parâmetros com exceção do preço da energia, do coeficiente de Hazen Willians e do nível inicial, foram extraídos da Tabela 7.3, da Tabela 7.4 e dos projetos disponíveis nos anexos.

O preço de energia foi obtido junto ao Dmae de Uberlândia e o mesmo já foi descrito no capítulo 6 para cada elevatória.

O nível inicial foi arbitrado de forma que o modelo partisse de um poço de sucção cheio.

O coeficiente de Hazen Willians foi obtido através de bibliografia consolidada. Segundo Porto, (2004) o valor adotado deve ser 130.

Ainda para elaboração do modelo todo o equacionamento foi disposto em colunas de forma que a cada linha o valor obtido seja variável representando cada instante e cada coluna seja a variável ou resultado desejado. As variáveis de decisão são as da coluna N DE BOMBAS, que representa o ligar e desligar da bomba no bloco de 10 minutos. Salienta-se que as variáveis de decisão possuem a restrição de sempre trabalhar com números inteiros.

**Tabela 6.2 Exemplo da estrutura em excel do modelo**

INSTANTE	HORA	CUSTO DE EE ELETRICA	ENERGIA REQUERIDA	POTENCIA	N DE BOMBAS	RENDIMENTO	NÍVEL INICIAL	NÍVEL FINAL	Q BOMBEADA	HMB	Q ENTRADA	COEFICIENTE K	COMPRIMENTO TOTAL	PERDA DE CARGA
----------	------	----------------------	-------------------	----------	-------------	------------	---------------	-------------	------------	-----	-----------	---------------	-------------------	----------------

A Tabela 6.2 é uma reprodução do modelo utilizado cada coluna com exceção da coluna N DE BOMBAS foi preenchida com o equacionamento proposto para o problema Esse equacionamento será descrito no sub capítulo a seguir.

## 6.2 Equacionamento do Problema de Otimização

A seguir descrevem-se as equações matemáticas que definem o problema de bombeamento de efluentes em uma EEE, tais equações permitem a modelagem dentro do modelo de otimização, traduzindo tais informações na forma de restrições.

### 6.2.1 Vazão afluyente a EEE

A vazão horária média entrada de efluentes na EEE neste modelo é um parâmetro de projeto, no entanto quando não existe esse parâmetro é possível obtê-la por meio da divisão do volume diário total de esgoto bombeado à EEE pelo número de horas de um dia (24h).

$$\bar{Q}_E = \frac{V_{ED}}{24} \dots\dots\dots\text{Equação 6.1}$$

Onde:

$\bar{Q}_E$  :Vazão média horária de efluente bombeado (m<sup>3</sup>/h);

$V_{ED}$  :Volume de esgoto diário bombeado (m<sup>3</sup>).

### 6.2.2 Vazão horária de entrada a EEE

Para atender à variação descrita na figura 5.4 é necessário estabelecer uma vazão média multiplicada por um fator adimensional (Kt) específico para cada hora.

$$Q_{E,t} = K_t \times \bar{Q}_E \dots\dots\dots\text{Equação 6.2}$$

Onde:

$Q_{E,t}$  :Vazão de efluente no intervalo t (m<sup>3</sup>/h);

$K_t$  :Coeficiente da curva neutra para o intervalo t;

### 6.2.3 Perda de carga

A perda de carga proposta para esse modelo é a de Hazen Willians e segundo Porto, (2004) é uma das fórmulas empíricas mais utilizadas na prática engenharia sanitária.

$$J = 10,65x \frac{Q_{E,t}^{1,85}}{C^{1,85} x D^{4,87}} \dots\dots\dots \text{Equação 6.3}$$

Onde:

J: Perda de carga obtida em m;

C: Coeficiente de Hazen Willians adimensional.

### 6.2.4 Balanço hídrico no reservatório de sucção da EEE

O balanço hídrico na EEE deve ser mantido em todos os intervalos e a diferença entre as vazões de entrada e saída na EEE, multiplicado pelo intervalo de tempo t deve ser numericamente igual a variação de nível no reservatório de sucção multiplicado pela área da base do reservatório de sucção. Tal situação considerando um reservatório de seção transversal constante. Observa-se que usualmente as bombas utilizadas na EEEs são iguais.

$$Q_{E,t} - Q_{B,t} \times N_{B,t} = (N_{F,t} - N_{I,t}) \times \left( \frac{A}{t} \right) \dots\dots\dots \text{Equação 6.4}$$

Onde:

$Q_{B,t}$ : Vazão do ponto de funcionamento de uma bomba hidráulica no intervalo t da EEE (m<sup>3</sup>/h);

$N_{B,t}$ : Número de bombas em operação no intervalo t (unid.);

$N_{F,t}$ : Nível d'água (efluentes) no reservatório de sucção ao final do intervalo t (m);

$N_{I,t}$ : Nível d'água (efluentes) no reservatório de sucção no início do intervalo t (m);

A: Área da seção transversal do poço de sucção (m<sup>2</sup>).

t: duração do intervalo de tempo em horas (1/6h)



Observa-se que caso a vazão de uma bomba seja suficiente para esvaziar o poço de sucção dentro do intervalo de tempo  $t$  e a vazão de entrada de efluentes seja pequena no mesmo intervalo de tempo  $t$ , a solução do problema pode ser ineficaz. Neste caso o desligamento da bomba seria dado em tempo inferior a 1/6h por meio de uma chave de bóia.

### 6.2.5 Nível máximo e nível mínimo operacional do reservatório de sucção

Os níveis máximos e mínimos são condições construtivas do poço de sucção que interferem no modelo na forma de restrições. Tais condições é que garantem a factibilidade operacional da política fornecida pelo modelo de otimização.

Em situações de busca pela eficiência energética as vezes é preciso intervir nos níveis operacionais do poço de sucção, seja reduzindo a cota de posicionamento da válvula de pé e crivo ou mesmo elevando as laterais do poço de sucção, permitindo um maior volume de acumulação.

$$N_{MÍN} \leq N_{F,t} \leq N_{MÁX} \dots\dots\dots\text{Equação 6.5}$$

Onde:

$N_{MÍN}$  :Nível mínimo operacional no reservatório de sucção (m);

$N_{MÁX}$  :Nível máximo operacional no reservatório de sucção (m).

### 6.2.6 Número de bombas hidráulicas em operação na EEE

O número de bombas em operação fica entre 0 que é o desligamento total do sistema e o número de bombas instaladas. Caso o sistema passe por estudos de rearranjos no sistema de bombeamento, tal restrição é adequada pelos parâmetros que estabelecem os números máximo e mínimo de bombas hidráulicas.

$$N_{B,MÍN} \leq N_{B,t} \leq N_{B,MÁX} \dots\dots\dots\text{Equação 6.6}$$

Onde:

$N_{B,t}$  :Número de bombas em operação no intervalo  $t$ ;

$N_{B,MÍN}$  :Número mínimo de bombas em funcionamento;

$N_{B.MÁX}$ : Número máximo de bombas em funcionamento.

### 6.2.7 Potência e Energia

Determina-se a potência no conjunto moto-bomba em função da altura manométrica e vazão. Foi utilizada a equação 3.5 da fundamentação teórica, considerando variáveis diferentes para cada instante. Esta potência multiplicada pelo número de conjuntos moto-bomba e pelo tempo resulta no valor da energia necessária para tal operação.

$$E_t = P_t \times N_{B,t} \times t \dots\dots\dots \text{Equação 6.7}$$

Onde:

$P_t$ : Potência requerida para o intervalo t (KW);

$N_{B,t}$ : Número de bombas operando no intervalo;

$E_t$ : Energia requerida no intervalo t (KWh).

### 6.2.8 Custo do Bombeamento de efluentes

O custo com energia a cada intervalo de tempo é obtido multiplicando-se o valor da energia pelo custo da energia no intervalo de tempo correspondente. Desta forma pode-se trabalhar com custos diferenciados atendendo a variação de tarifas e conduzindo o modelo a bombear fora do horário de ponta.

$$C_{E,t} = P_{E,t} \times E_t \dots\dots\dots \text{Equação 6.8}$$

Onde:

$C_{E,t}$ : Custo com energia elétrica no intervalo t (R\$);

$P_{E,t}$ : Preço da energia elétrica no intervalo t (R\$/KWh).

### 6.2.9 Objetivo: Minimização do Custo de Energia Elétrica

O objetivo deste modelo é de manter o bombeamento necessário nas estações elevatórias de esgoto minimizando o custo. Essa então, é a função objetivo e pode ser definida por:

$$Z = \text{MIN}$$

$$CE = \sum_{t=1}^{144} C_{E,t} \dots\dots\dots \text{Equação 6.9}$$

Onde:

$CE$ :Custo total ao longo do dia com energia elétrica (R\$).

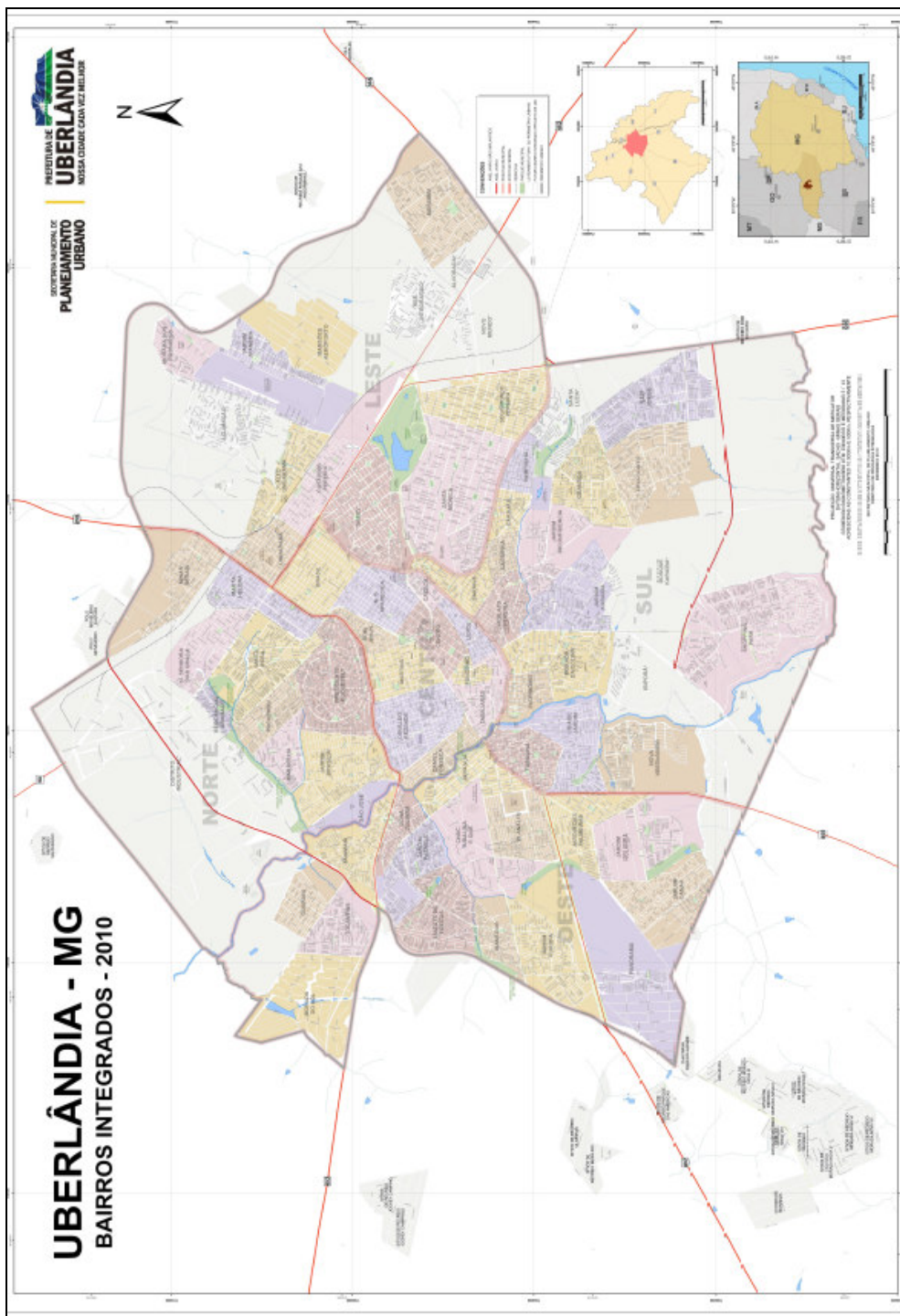
## **7. Estudo de Caso Uberlândia MG**

O processo de formação do município de Uberlândia não difere muito dos demais processos referentes a ocupação e colonização no Brasil. No sítio da Prefeitura Municipal de Uberlândia é possível resgatar um pouco da história desse município.

A cidade de Uberlândia se formou em terras desmembradas da família de João Pereira da Rocha no início do século XIX. Por volta de 1835, chegaram os irmãos Luiz, Francisco, Antônio e Felisberto Carrejo que compraram de João Pereira da Rocha, as terras para formar as respectivas propriedades: Olhos D'Água, Lage, Marimbondo e Tenda; ainda hoje elas permanecem na zona rural do município. Uberlândia é uma cidade que como muitas, nasceu no entorno de uma capela. Como símbolo de uma comunidade que se pretendia organizada e civilizada, os moradores pediram ao Bispado a permissão para a construção de uma Capela Curada, a ser dedicada à Nossa Senhora do Carmo. Desta forma, construída em adobe e barro nas suas formas mais simples em termos arquitetônicos, ela foi idealizada em 1846.

Segundo o IBGE, o município de Uberlândia possui uma população de 622.441 habitantes, sendo o terceiro mais populoso do estado de Minas Gerais e, além de ser o quarto maior município do interior do País atrás somente de Campinas, São José do campos e Ribeirão Preto. Possui uma área de 4.115Km<sup>2</sup> e seu bioma é composto por cerrado e mata atlântica.

Na Figura 7.1 pode-se observar a atual ocupação do município de Uberlândia, apresenta-se no anexo 1 a planta em escala maior apropriada para leitura.



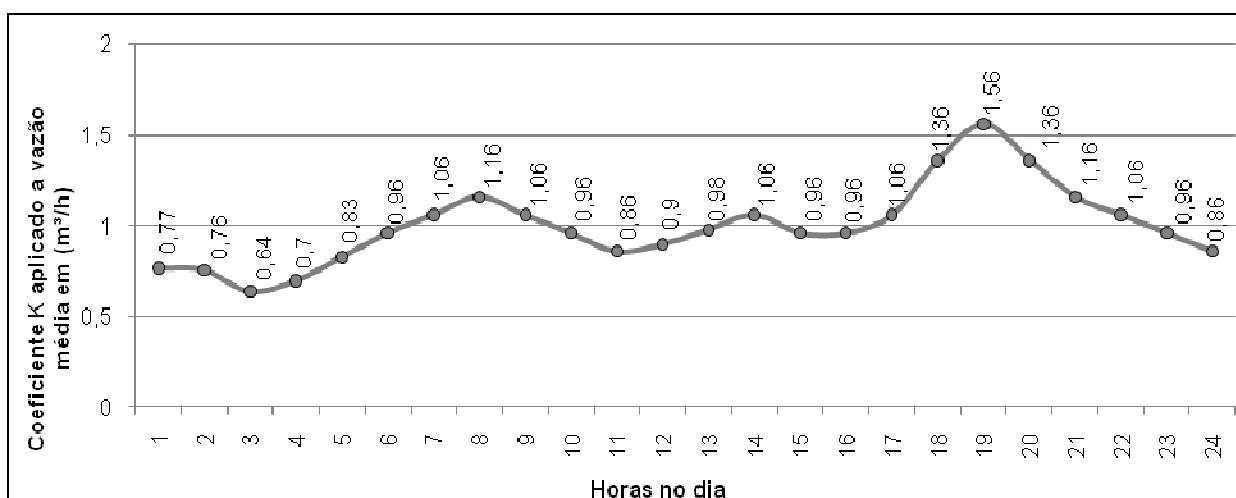
**Figura 7.1 Uberlândia – 2010**

Fonte: PMU, (2011).

## 7.1 Uberlândia e o sistema de esgotamento sanitário.

Uberlândia possui 595.106 habitantes atendidos pelo sistema de esgotamento sanitário, atingindo uma extensão de 2.407Km de rede com 145.770 ligações ao longo dessa rede. Possui ainda um volume coletado e tratado de 29.624.560m<sup>3</sup> anuais.(SNIS,2008)

Em Uberlândia como todo município possui uma distribuição horária do volume de esgoto não linear, existem picos de consumo de água e conseqüentemente de afastamento de esgoto em todo o município. Junto ao DMAE foi possível obter a curva de consumo de água e fazer uma adaptação para geração de esgoto conforme apresentado na figura abaixo.



**Figura 7.2** Curva característica de vazão afluyente de esgoto em Uberlândia

Fonte: DMAE, (2010).

A curva característica acima foi obtida através de dados fornecidos pelo Dmae de Uberlândia. Esses dados correspondem as vazões médias horárias na ETA sucupira e fazem alusão a curva de consumo de água. Os coeficientes foram obtidos pela divisão da vazão da hora pela vazão média horária. Não foi considerado qualquer retardo na coleta de esgoto a curva é uma relação direta entre água e esgoto.

Em termos de instalações que consomem energia elétrica Uberlândia conta com três estações de tratamento de esgoto e vinte e três estações elevatórias de esgoto. O consumo e os custos de energia elétrica estão descritos na tabela abaixo:

**Tabela 7.1 Gastos em Energia Elétrica nos sistemas de esgotamento sanitário em Uberlândia. 2009**

Mês	ELEVATÓRIAS		ETES		Total	
	Kwh	Valor	Kwh	Valor	Kwh	Valor
Janeiro	79.881	R\$ 32.187,74	215.568	R\$ 71.400,54	327.637	R\$ 103.588,28
Fevereiro	83.938	R\$ 33.653,90	263.276	R\$ 83.573,25	380.868	R\$ 117.227,15
Março	78.644	R\$ 31.442,07	270.377	R\$ 83.242,91	380.463	R\$ 114.684,98
Abril	58.573	R\$ 23.459,99	413.841	R\$ 141.135,82	495.874	R\$ 164.595,81
Maio	77.793	R\$ 32.278,61	306.059	R\$ 124.201,86	416.131	R\$ 156.480,47
Junho	62.865	R\$ 25.970,48	324.308	R\$ 119.043,47	413.143	R\$ 145.013,95
Julho	63.994	R\$ 26.552,77	255.900	R\$ 97.282,82	346.447	R\$ 123.835,59
Agosto	67.512	R\$ 27.779,96	329.000	R\$ 117.187,15	424.292	R\$ 144.967,11
Setembro	62.008	R\$ 25.608,46	217.536	R\$ 82.775,94	305.152	R\$ 108.384,40
Outubro	65.389	R\$ 26.982,96	235.493	R\$ 83.577,58	327.865	R\$ 110.560,54
Novembro	73.108	R\$ 30.356,20	331.251	R\$ 115.113,50	434.715	R\$ 145.469,70
Dezembro	69.081	R\$ 28.772,21	331.729	R\$ 116.039,38	429.582	R\$ 144.811,59
Total	842.786	R\$ 345.045,35	3.494.338	R\$ 1.234.574,22	4.682.169	R\$ 1.579.619,57
Média	70.232	R\$ 28.999,71	291.195	R\$ 102.881,19	390.427	R\$ 131.880,89

Fonte: DMAE, (2010).

Percebe-se que as estações elevatórias de esgotos contribuem para uma parcela pequena para o consumo de energia elétrica, no entanto com o crescimento do município essa parcela pode crescer substancialmente. De acordo com a tabela as elevatórias representam 21,84% do total com energia elétrica.

Como o objeto de estudo é o consumo de energia elétrica na estação elevatória de esgoto, o próximo item detalhará as elevatórias de esgotos presentes em Uberlândia.

## 7.2 Estações elevatórias de esgotos em Uberlândia

Como já dito em Uberlândia existem 23 estações elevatórias de esgotos. São elas:

**Tabela 7.2 Estações elevatórias de esgotos em Uberlândia. 2009**

ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTOS EM UBERLÂNDIA				
DADOS GERAIS			ENERGIA	
UNIDADE	Endereço	Potência (KW)	Consumo médio mensal KWh	Custo médio mensal R\$
EEE Minas Gerais 001	Rua Betim Paes Leme, 903	13,4	2.771	1130,035
EEE Umuarama 002	Rua Manoel Bandeira 10	14,9	2.335	950,55
EEE Ipanema 003	Av Aeronauta , 143	3,7	407	171,23
EEE Alvorada 004	Av. Edgard Oliveira Castro, 3075	11	1.766	920,95
EEE Seringueiras 005	Rua Planalto Meridional, 11	30	9.351	3805,11
EEE Cidade Jardim 006	Rua das Papoulas, 453	12	237	1311,76
EEE Cidade Jardim 007	Rua Das Magnólias, 10	7,5	2038	830,15
EEE Tubalina 008	Rua Coronel Tobias Nogueira, 56	40,8	6653	2703,96
EEE Canaã 009	Rua Menfins, 3000	45	13190	5362,88
EEE Morumbi 010 B-01	Rua Arapuã, 10	7,5	1587	650,81
EEE Morumbi 011 B-02	Rua Taperas, 329	7,5	1073	440,99
EEE Morumbi 012 B-03	Rua do Benzedor, 26	7,5	2789	1137,61
EEE Morumbi 013 B-04	Rua Videira, 815	11,2	5715	2315,26
EEE Morumbi 014 B-05	Av. José Maria Ribeiro, 158	30	7715	3138,42
EEE Dona Zulmira 015	Rua do Chumbo, 330	5,5	2006	871,28
EEE Jaraguá 016	Rua Raimundo G. Cunha, 150	7,5	1631	708,62
EEE Taiamam 017	Av. Izete Domingos, 1120	12,5	2236	949,4
EEE Joana D'arc B-01 018	Rua da Harmonia, 10	3,7	1140	471,05
EEE Joana D'arc B-02 019	AV. João Costa Azevedo,730	7,5	1828	747,36
EEE Jardim Sucupira 020	Rua das Guarirobas, 260	5,5	520	217,02
EEE Jardim das Palmeiras 021	Av. Olimpio Freitas,2558	3,7	105	56,53
EEE Jardim Célia 022	Rua das Camélias, 5	7,5	538	222,04
EEE Zaire Rezende 023	Rua São Sebastião, 1250	3,7	32	86,61

Fonte: DMAE, (2010).

Dentre as 23 elevatórias foram escolhidas duas para otimização,EEE Joana D'arc B 01 18 e EEE Joana D'arc B 02 19. A escolha se deu pela maior disponibilidade de dados junto ao DMAE de Uberlândia.



### 7.3 EEE Joana D'arc B 01 18

Situada a rua da Harmonia, 10 no bairro Joana D'arc, como é possível observar na Figura 7.3 que representa uma imagem de satélite atual.

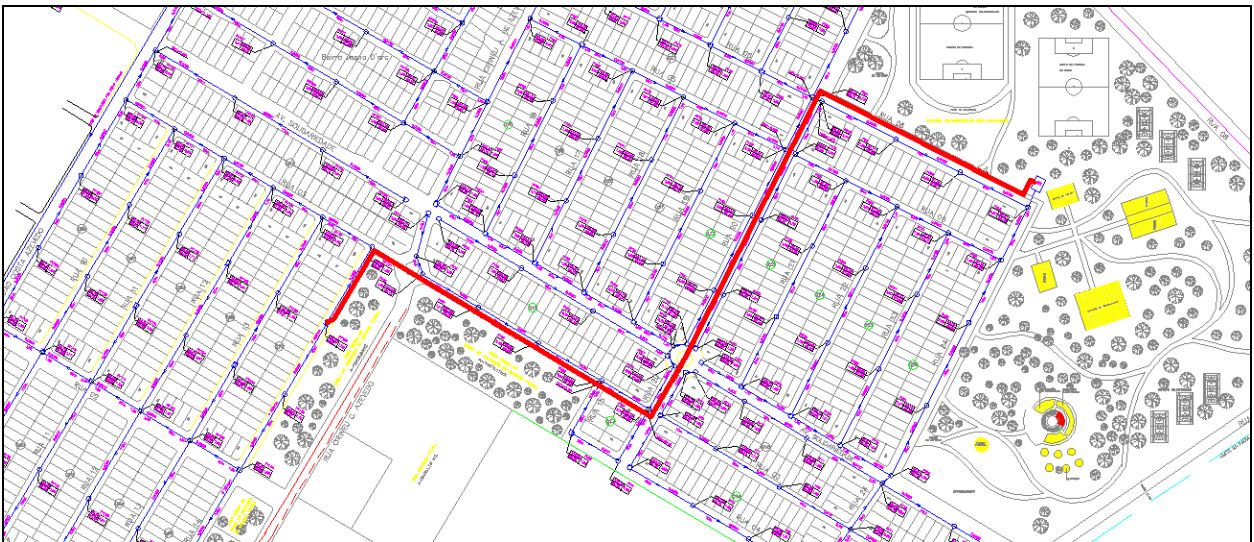


**Figura 7.3 Imagem de satélite da EEE Joana D'arc B01 18**

Fonte: Google Earth, sem fins cartográficos, (2011).

Essa elevatória atende a uma população de 3405 habitantes e é o destino final de 5.864 metros de rede coletora. Atende aos bairros Joana D'arc e São Francisco.(DMAE, 2009)

Na Figura 7.4 é possível visualizar parte do projeto de rede coletora de esgoto dos bairros atendidos. O projeto completo está disponível no anexo 4.



**Figura 7.4 Parte do projeto de esgoto do Loteamento Joana D'arc – EEE01.**

Fonte: DMAE, (2010).

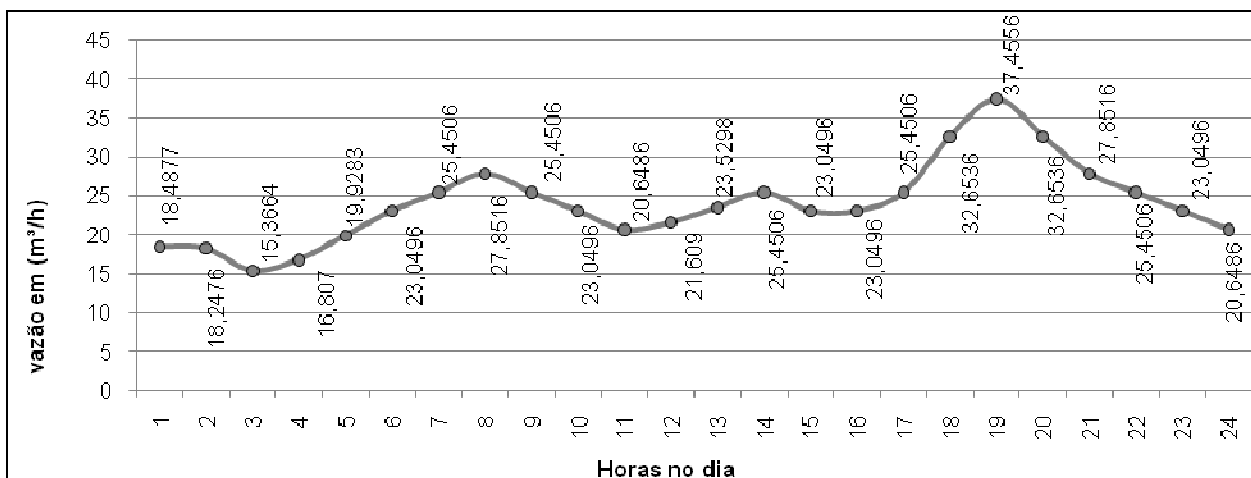
Na Tabela 7.3 está disponível todos os parâmetros de projeto utilizados para dimensionamento, bem como as características físicas finais da EEE Joana D'arc B 01 18.

**Tabela 7.3 Parâmetros de Projeto - EEE Joana D'arc B 01 18**

<b>EEE Joana D'arc B 01 18 - parâmetros de projeto</b>	
<b>Linha de recalque</b>	
Diamêtro (mm)	150
Perda de carga em (m/m)	0,0029
Comprimento (m)	1106
perda de carga distribuida (m)	3,21
perda de carga localizada (m)	0,89
perda de carga total (m)	4,1
<b>Vazões</b>	
Vazão mínima (m <sup>3</sup> /h)	15,48
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	24,01
Vazão máxima (m <sup>3</sup> /h)	37,61
<b>Poço de sucção</b>	
Forma	Retangular
Largura (m)	2
Comprimento (m)	3
Altura (m)	3,8
Altura útil (m)	0,5
Volume útil (m <sup>3</sup> )	3
Nível de água mínimo (m)	0,4
Nível de água máximo (m)	0,9
<b>Conjunto Moto Bomba</b>	
nível mínimo do poço de sucção (m)	93,3
nível máximo do poço de sucção (m)	93,8
Cota do ponto de lançamento (m)	99,17
Desnível geométrico (m)	5,87
Tipo	Afogada
Marca	KSB
Modelo	KRT K40-250
Rotor (mm)	210
Vazão de ponto da bomba (m <sup>3</sup> /h)	26,78
Altura manométrica (mca)	19
Potência HP	3
Rendimento %	54
Nº de conjuntos	2 - 1R

Fonte: DMAE, (2010).

Sua vazão afluyente foi definida pelos coeficientes apresentados na Figura 7.2 multiplicada pela vazão média obtida na Tabela 7.3. Segue abaixo a curva característica de vazão afluyente da estação elevatória Joana D'arc B 01 18.

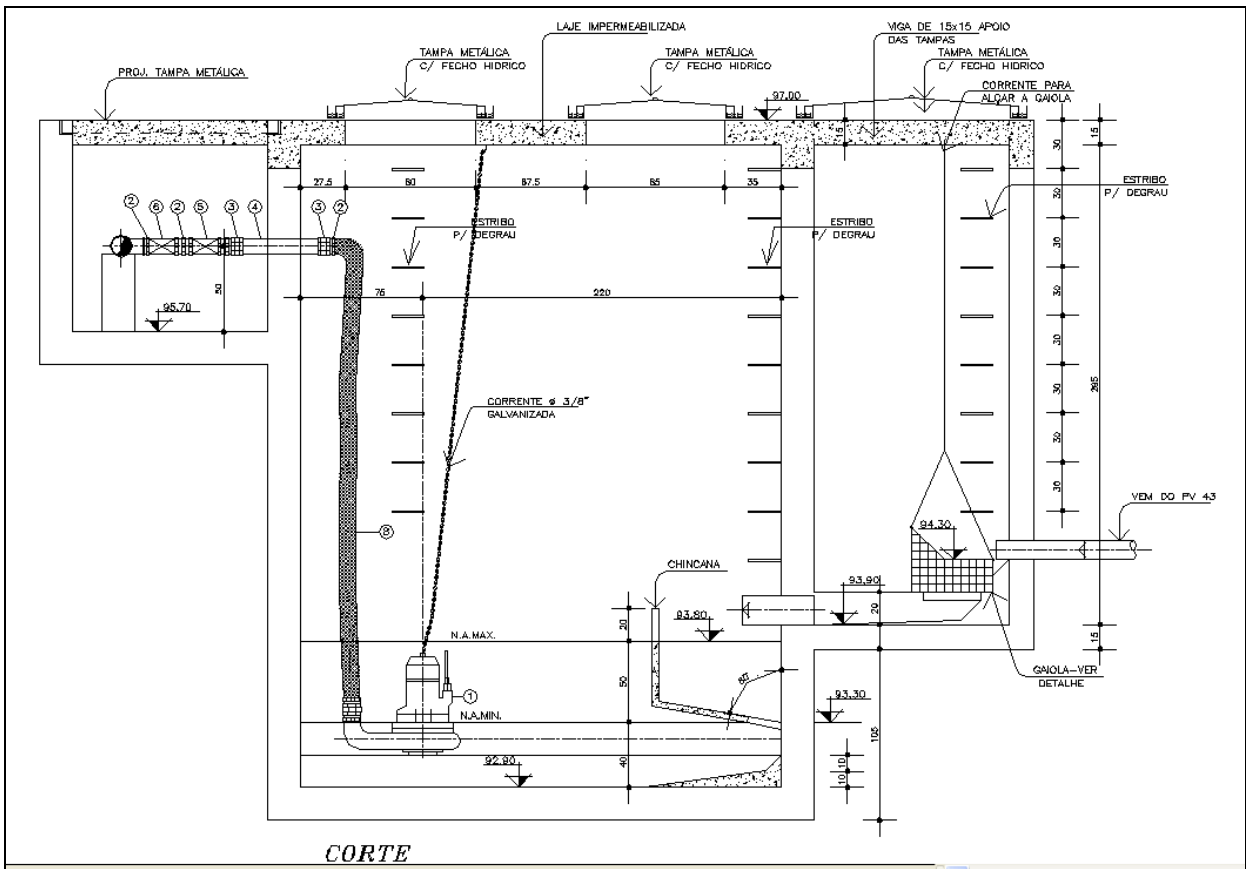


**Figura 7.5** Curva característica de vazão afluyente da estação elevatória Joana D'arc B 01

Fonte: DMAE, (2010).

O fornecimento de energia é feito pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), Esse fornecimento é classificado como B3- outras classes, cujo o custo se dá pelo produto do KWh consumido pelo custo unitário de KWh. Em 2009 esse custo unitário para o município de Uberlândia foi de R\$0,48671865.

Na Figura 7.6 apresenta-se um corte esquemático da elevatória em estudo. O projeto completo está disponível no anexo 2.



**Figura 7.6** Corte esquemático da Elevatória Joana D'arc B01 18

Fonte: DMAE, (2010).

Na Figura 7.7 apresenta-se a fachada e entrada da EEE Joana D'arc B01 18.



**Figura 7.7 Fachada da Elevatória Joana D'arc B01 18**

Fonte: DMAE, (2007).

Na Figura 7.8 apresenta-se o poço úmido e a saída do recalque da EEE Joana D'arc B01 18.



**Figura 7.8 Poço de sucção da Elevatória Joana D'arc B01 18**

Fonte: DMAE, (2007).

Na Figura 7.9 apresenta-se as unidades complementares como casa de máquinas, banheiros e unidade administrativa da EEE Joana D'arc B01 18.



**Figura 7.9 Unidades complementares da elevatória Joana D'arc B01 18**

Fonte: DMAE, (2007).



#### 7.4 EEE Joana D'arc B 02 19

Situada a AV. João Costa Azevedo,730, no bairro Joana D'arc, como é possível observar na Figura 7.10 que representa uma imagem de satélite atual.

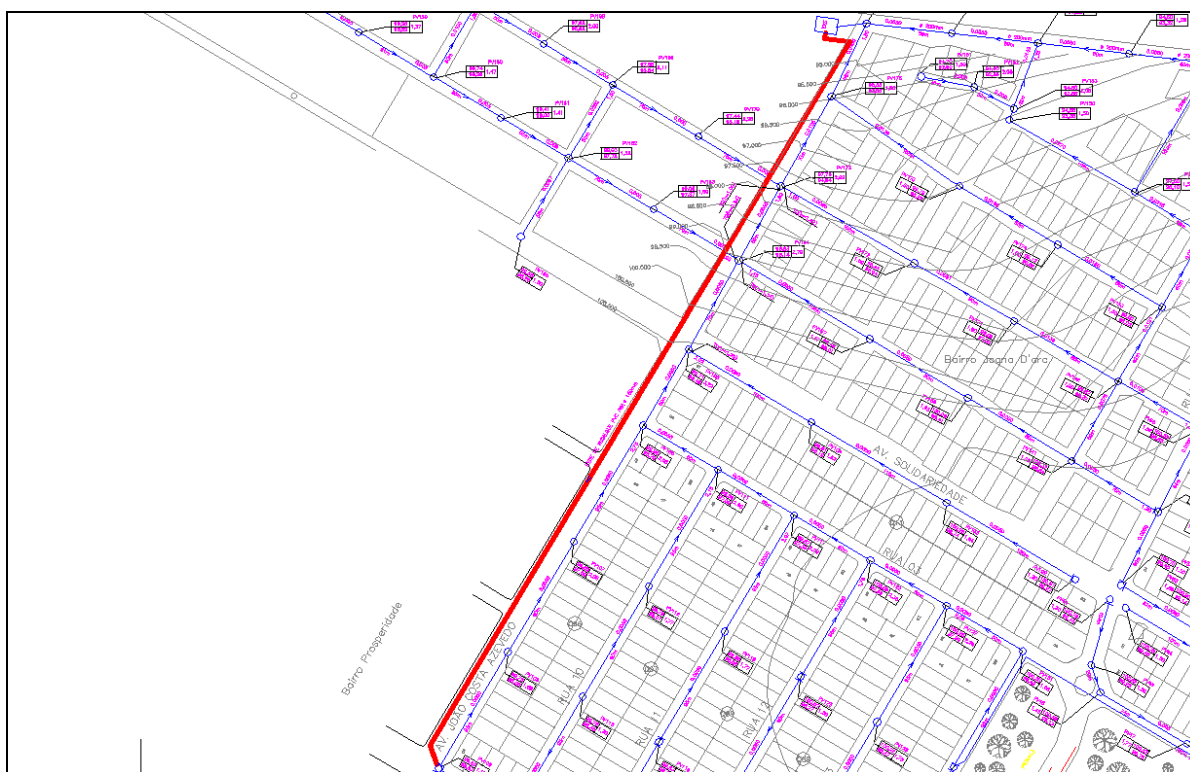


**Figura 7.10 Imagem de satélite da EEE Joana D'arc B02 19**

Fonte: Google Earth, sem fins cartográficos, (2011).

Essa elevatória atende a uma população de 4.465 habitantes e é o destino final de 7.087 metros de rede coletora. Atende as aos bairros Joana D'arc e São Francisco.(DMAE, 2009)

Na Figura 7.11 é possível visualizar parte do projeto de rede coletora de esgoto dos bairros atendidos. O projeto completo está disponível no anexo 4.



**Figura 7.11 Parte do projeto de esgoto do Loteamento Joana D'arc – EEE02.**

Fonte: DMAE, (2010).

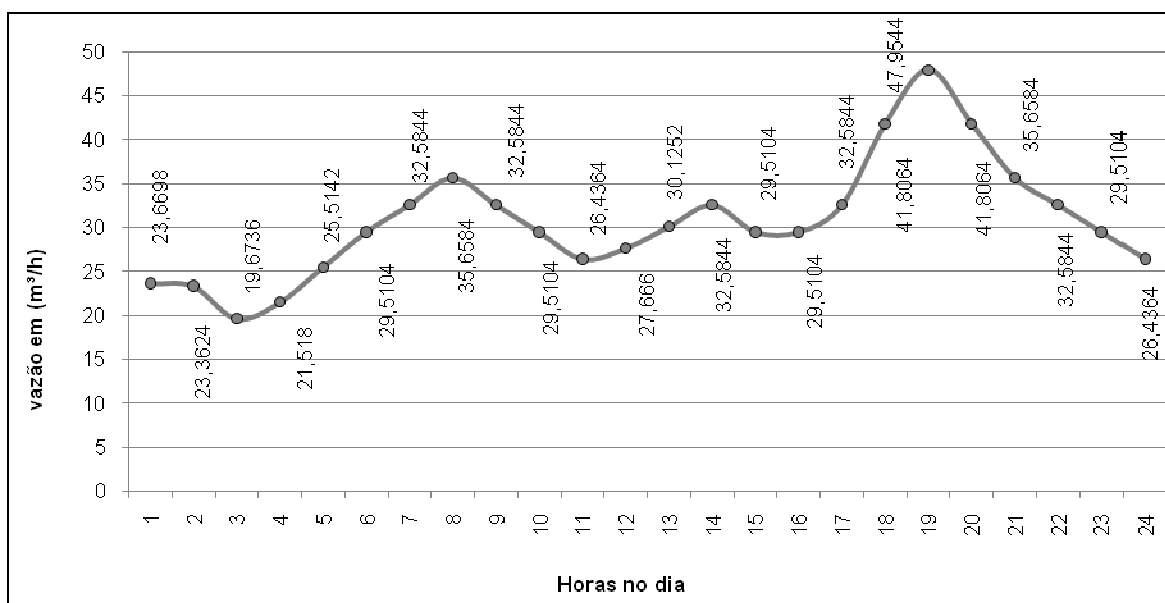
A EEE Joana D'arc B 01 19 possui os seguintes parâmetros de projeto:

**Tabela 7.4 Parâmetros de Projeto - EEE Joana D'arc B 02 19**

<b>EEE Joana D'arc B 02 19 - parâmetros de projeto</b>	
<b>Linha de recalque</b>	
Diamêtro (mm)	150
Perda de carga em (m/m)	0,0047
Comprimento (m)	620
perda de carga distribuida (m)	2,91
perda de carga localizada (m)	1,47
perda de carga total (m)	4,38
<b>Vazões</b>	
Vazão mínima (m <sup>3</sup> /h)	19,58
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	30,74
Vazão máxima (m <sup>3</sup> /h)	48,6
<b>Poço de sucção</b>	
Forma	Retangular
Largura (m)	2,5
Comprimento (m)	4
Altura (m)	4,81
Altura útil (m)	0,5
Volume útil (m <sup>3</sup> )	5
Nível de água mínimo (m)	0,4
Nível de água máximo (m)	0,9
<b>Conjunto Moto Bomba</b>	
nível mínimo do poço de sucção (m)	89,7
nível máximo do poço de sucção (m)	90,6
Cota do ponto de lançamento (m)	98,76
Desnível geométrico (m)	9,06
Tipo	Afogada
Marca	KSB
Modelo	KRT K40-250
Rotor (mm)	210
Vazão de ponto da bomba (m <sup>3</sup> /h)	48,6
Altura manométrica (mca)	19
Potência HP	3
Rendimento %	56
Nº de conjuntos	2 - 1R

Fonte: DMAE, (2010).

Sua vazão afluente foi definida pelos coeficientes apresentados na Figura 7.2 multiplicada pela vazão média obtida na Tabela 7.4. Segue abaixo a curva característica de vazão afluente da estação elevatória Joana D'arc B 02 19.

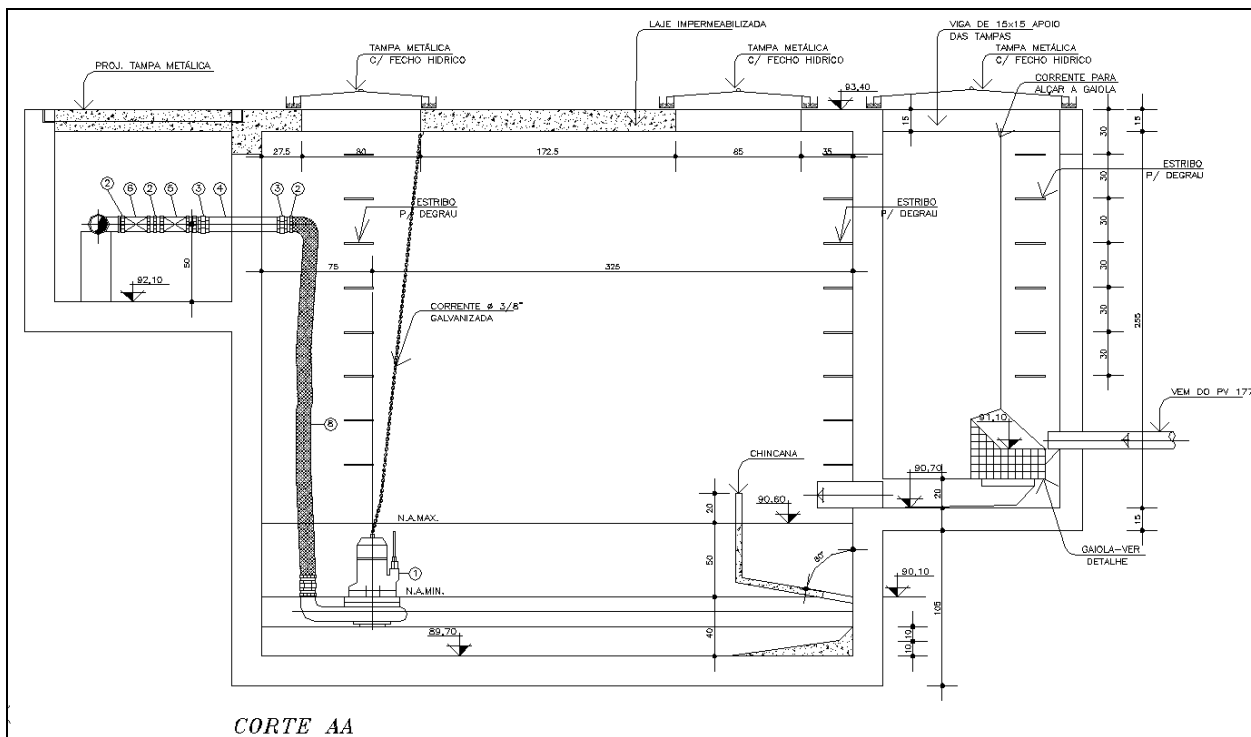


**Figura 7.12** Curva característica de vazão afluente da estação elevatória Joana D'arc B 02 19.

Fonte: DMAE, (2010).

O fornecimento de energia é feito pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), Esse fornecimento é classificado como B3- outras classes, cujo o custo se dá pelo produto do KWh consumido pelo custo unitário de KWh. Em 2009 esse custo unitário para o município de Uberlândia foi de R\$0,48671865.

Na Figura 7.13 apresenta-se um corte esquemático da elevatória em estudo. O projeto completo está disponível no anexo 3.



**Figura 7.13 Corte esquemático da Elevatória Joana D'arc B02 19**

Fonte: DMAE, (2010).

Na Figura 7.14 apresenta-se o poço úmido e recalque da EEE Joana D'arc B02 19.



**Figura 7.14 Poço de sucção da Elevatória Joana D'arc B02 19.**

Fonte: DMAE, (2010).

Na Figura 7.15 apresenta-se o fundo da câmara de entrada do poço úmido da EEE Joana D'arc B02 19.



**Figura 7.15 Poço de sucção da Elevatória Joana D'arc B02 19.**

Fonte: DMAE, (2010).

Na Figura 7.16 apresenta-se o fundo do poço úmido da EEE Joana D'arc B02 19.



**Figura 7.16 Poço de sucção da Elevatória Joana D'arc B02 19.**

Fonte: DMAE, (2010).



Na Figura 7.17 apresenta-se a fachada e as unidades complementares como casa de máquinas, banheiros e unidade administrativa da EEE Joana D'arc B01 18.



**Figura 7.17 Acesso da Elevatória Joana D'arc B02 19.**

Fonte: DMAE, (2010).

## 8. Resultados

Conforme as técnicas de otimização descritas no capítulo 4 e equacionamento descrito no capítulo 5 foi elaborado um modelo em que fosse permitido uma operação ótima nas elevatórias em estudo. Utilizou-se a planilha Microsoft Excel devido à facilidade de modelagem e flexibilidade no trabalho com os dados de entrada e manipulação dos resultados.

Durante o desenvolvimento do modelo de otimização percebeu-se que a bomba funcionava constantemente, em função da vazão afluyente e do poço de sucção.

Diante dessa condição física, na tentativa de manter a programação inteira, o modelo apresentou-se infactível, pois no intervalo de tempo de 10 minutos se a bomba ficasse ligada o poço se esvaziaria antes de 10 minutos. Na situação de campo a chave de bóia desliga e religa a bomba em intervalo menor que 10 minutos. Uma opção para contornar tal problema seria discretizar o modelo com intervalo de tempo  $t$  igual a 5 minutos, contudo isso levaria a um número exagerado de desligamentos e acionamentos das bombas.

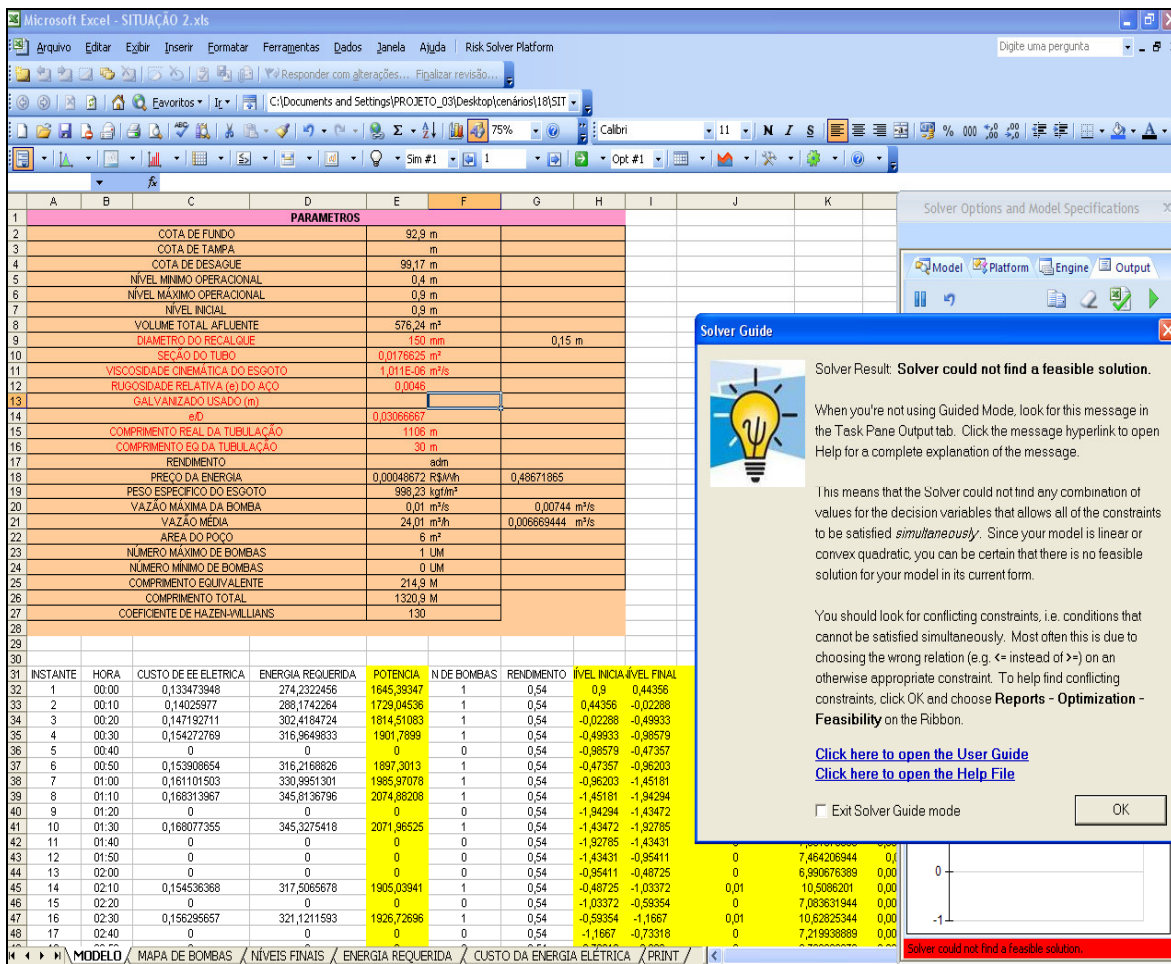
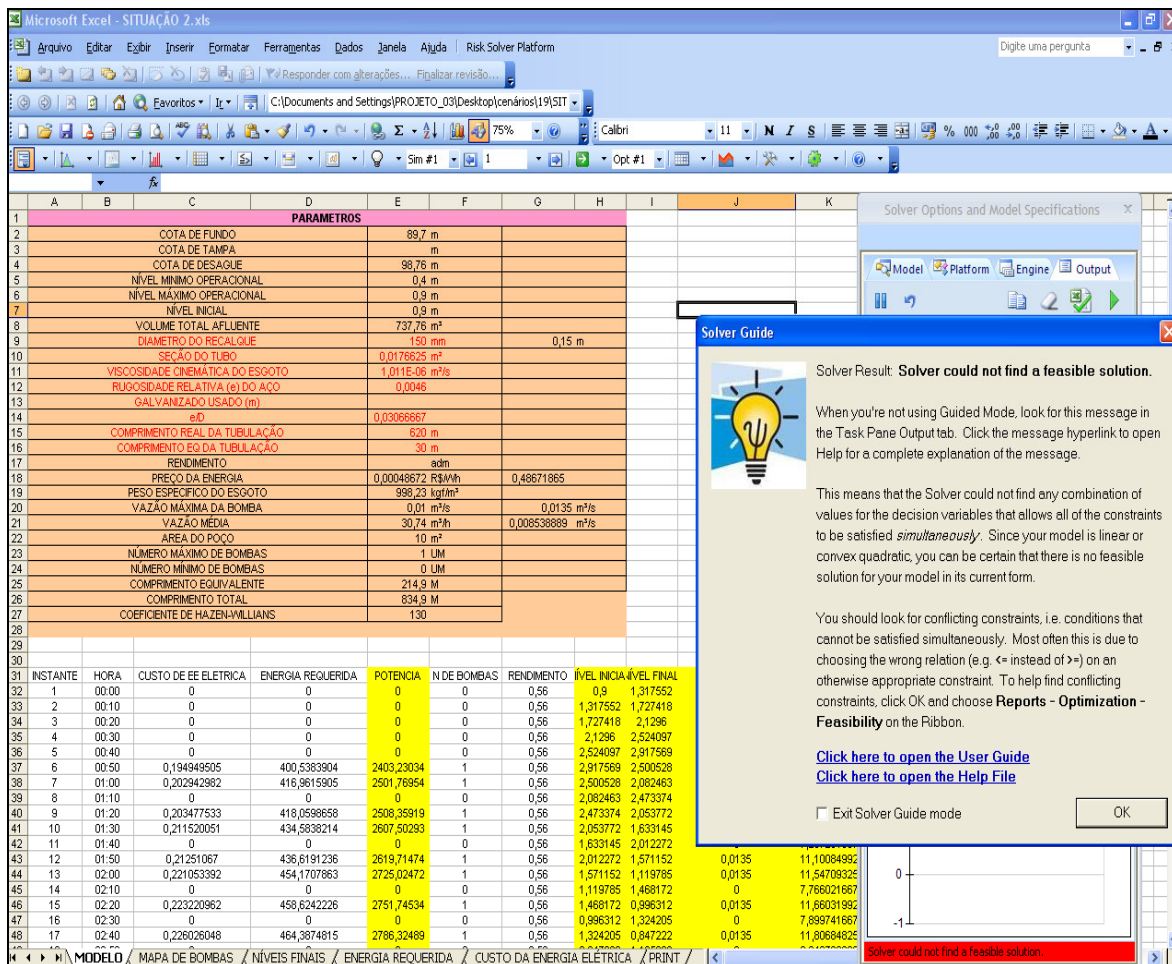


Figura 8.1 Tela impressa 1 do modelo - EEE Joana D'arc B 01 18



**Figura 8.2 Tela impressa 1 do modelo - EEE Joana D'arc B 02 19**

Na Figura 8.1 e na Figura 8.2 apresenta-se a tela principal do modelo de otimização para os casos estudados. Destacam-se a direita na cor laranja os parametros do processamento. A partir da linha 31 são informados a cada linha (10 em 10 minutos) a organização geral do modelo. A cada linha garante-se o balanço hídrico, faz-se a continuidade para os instantes posteriores, calcula-se a energia necessária ao bombeamento no intervalo e com o valor de custo da energia no respectivo tempo, calcula-se o custo com a energia elétrica.

Destacam-se ainda na Figura 8.1 e na Figura 8.2 que o solver não conseguiu obter uma solução factível para problema e isto deve-se ao fato das condições estabelecidas pelos parametros não permitirem factibilidade para a solução do problema.

Na Tabela 8.1 e na Tabela 8.2 apresentadas a seguir as células das tabelas com o número 1 indicam que a bomba está ligada e com o número 0 indicam que a bomba está desligada. Assim para o horizonte de planejamento de 24 horas ou seja 144 intervalos, a bomba da elevatória Joana D'arc B01 18 ficou ligada em 96 intervalos representando 66,7% do tempo. Já a elevatória Joana D'arc B02 19 ficou ligada em 84,7% do horizonte.

**Tabela 8.1 Mapa de acionamento de bombas da Elevatória Joana D'arc B01 18**

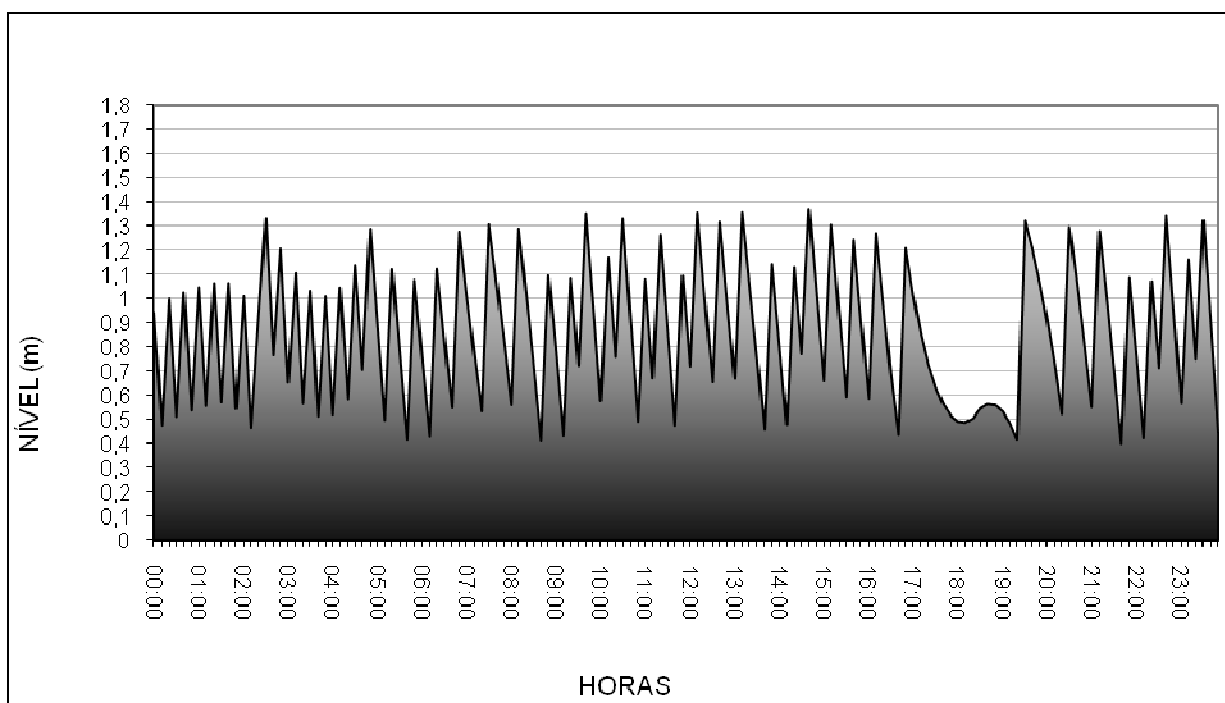
HORA DO DIA	00min a 10 min	10min a 20 min	20min a 30 min	30min a 40 min	40min a 50 min	50min a 00 min
00:00 - 01:00	1	1	0	1	0	1
01:00 - 02:00	0	1	0	1	0	1
02:00 - 03:00	0	1	0	0	1	0
03:00 - 04:00	1	0	1	0	1	0
04:00 - 05:00	1	0	1	0	1	0
05:00 - 06:00	1	1	0	1	1	0
06:00 - 07:00	1	1	0	1	1	0
07:00 - 08:00	1	1	1	0	1	1
08:00 - 09:00	1	0	1	1	1	0
09:00 - 10:00	1	1	0	1	0	1
10:00 - 11:00	1	0	1	0	1	1
11:00 - 12:00	0	1	0	1	1	0
12:00 - 13:00	1	0	1	0	0	1
13:00 - 14:00	1	0	1	1	1	0
14:00 - 15:00	1	1	0	1	0	1
15:00 - 16:00	1	0	1	1	0	1
16:00 - 17:00	1	0	1	1	1	0
17:00 - 18:00	1	1	1	1	1	1
18:00 - 19:00	1	1	1	1	1	1
19:00 - 20:00	1	1	1	0	1	1
20:00 - 21:00	1	1	1	0	1	1
21:00 - 22:00	1	0	1	1	1	0
22:00 - 23:00	1	1	0	1	0	1
23:00 - 00:00	1	0	1	0	1	1

**Tabela 8.2 Mapa de acionamento de bombas da Elevatória Joana D'arc B02 19**

HORA DO DIA	00min a 10 min	10min a 20 min	20min a 30 min	30min a 40 min	40min a 50 min	50min a 00 min
00:00 - 01:00	1	1	1	1	1	1
01:00 - 02:00	1	1	1	1	1	1
02:00 - 03:00	1	0	0	1	0	1
03:00 - 04:00	1	1	0	1	0	1
04:00 - 05:00	1	0	1	1	0	1
05:00 - 06:00	1	1	1	0	1	0
06:00 - 07:00	1	1	1	1	1	0
07:00 - 08:00	1	1	1	1	1	1
08:00 - 09:00	1	1	0	1	1	1
09:00 - 10:00	1	0	1	0	1	1
10:00 - 11:00	0	1	1	1	0	1
11:00 - 12:00	1	1	0	1	1	1
12:00 - 13:00	1	0	1	0	1	1
13:00 - 14:00	1	1	1	1	1	1
14:00 - 15:00	1	1	1	1	1	1
15:00 - 16:00	1	1	1	1	1	1
16:00 - 17:00	1	1	1	1	1	1
17:00 - 18:00	1	1	1	1	1	1
18:00 - 19:00	1	1	1	1	1	1
19:00 - 20:00	1	1	1	1	1	1
20:00 - 21:00	1	1	1	1	1	1
21:00 - 22:00	1	1	1	1	1	1
22:00 - 23:00	1	1	1	1	1	1
23:00 - 00:00	1	0	1	0	0	0

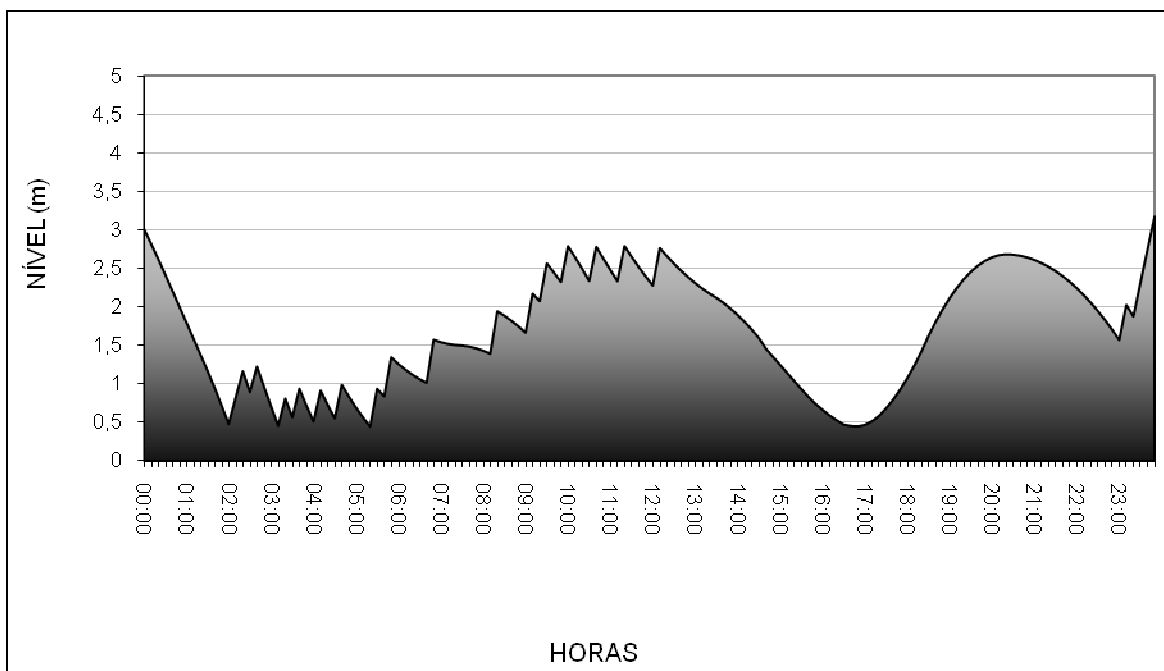
No mapa de acionamento da elevatória Joana D'arc B01 18 na Tabela 8.1 é possível observar um maior número de paradas, o que reflete o desligamento da bomba e o enchimento do reservatório. No mapa de acionamento da elevatória Joana D'arc B02 19 na Tabela 8.2, esse número é visivelmente menor, caracterizando um bombeamento mais constante. Isto pode ter seu motivo devido o ponto de funcionamento da Elevatória Joana D'arc B02 19 estar mais próximo da vazão média da entrada de efluentes e também a amplitude da vazão de entrada de efluentes não ser tão díspare em relação a média.

O segundo resultado está relacionado aos níveis obtidos nos reservatórios em função da política operacional estabelecida pelo modelo. É possível observar esses níveis da elevatória Joana D'arc B01 18 na Figura 8.3 e da elevatória Joana D'arc B02 19 na Figura 8.4.



**Figura 8.3 Níveis operacionais na Elevatória Joana D'arc B01 18**

Como o reservatório está com seu volume útil adequado para garantir factibilidade ao modelo, quando comparado a capacidade de esvaziamento a cada intervalo de acionamento de bomba, cada vez que se aciona a bomba o esvaziamento é rápido, bem como, o enchimento é rápido se a bomba ficar desligada. Com isso, verifica-se uma constante alternância de níveis diretamente associada ao acionamento da bomba. No período compreendido entre 17:00hs e 19:00hs notou-se uma manutenção mais baixa do nível. Como a energia é mais cara próximo a este intervalo, imagina-se que o nível deveria ficar mais próximo do máximo, contudo a vazão de entrada de efluentes neste período também é grande como pode-se observar na Figura 8.3.



**Figura 8.4 Níveis operacionais na Elevatória Joana D'arc B02 19**

A mesma alternância de níveis citada para Elevatória Joana Darc B01 18, acontece nas primeiras horas da Elevatória Joana Darc B02 19, horas essas em que a vazão afluyente, em função da curva característica de consumo, é menor. Ainda na Figura 8.4 é possível observar que nas horas de picos de consumo os níveis do reservatório acompanha a curva característica de consumo descrita na Figura 7.12.

O volume do poço de sucção da Elevatória Joana Darc B02 19 tem dimensões maiores e assim consegue ter uma variação de nível menos abrupta que a outra elevatória analisada.



O terceiro resultado analisado é a da energia requerida para o instante. A Tabela 8.3 representa a energia requerida para elevatória Joana D'arc B01 18 e a Tabela 8.4 representa a energia requerida para elevatória Joana D'arc B02 19.

**Tabela 8.3 Energia requerida no bombeamento da elevatória Joana D'arc B01 18**

HORA DO DIA	00min a 10 min	10min a 20 min	20min a 30 min	30min a 40 min	40min a 50 min	50min a 00 min
00:00 - 01:00	259,1	273,1	0,0	271,6	0,0	270,9
01:00 - 02:00	0,0	270,3	0,0	269,8	0,0	270,2
02:00 - 03:00	0,0	272,2	0,0	0,0	262,8	0,0
03:00 - 04:00	266,4	0,0	269,2	0,0	271,1	0,0
04:00 - 05:00	271,4	0,0	269,9	0,0	266,6	0,0
05:00 - 06:00	261,7	273,6	0,0	266,0	276,7	0,0
06:00 - 07:00	267,0	276,8	0,0	265,0	273,6	0,0
07:00 - 08:00	259,8	267,5	274,8	0,0	258,6	266,0
08:00 - 09:00	273,6	0,0	259,8	268,5	277,5	0,0
09:00 - 10:00	266,3	276,4	0,0	267,2	0,0	259,4
10:00 - 11:00	271,1	0,0	265,3	0,0	260,6	273,3
11:00 - 12:00	0,0	268,1	0,0	262,3	274,2	0,0
12:00 - 13:00	267,1	0,0	258,9	0,0	0,0	259,7
13:00 - 14:00	269,5	0,0	258,0	267,0	276,0	0,0
14:00 - 15:00	264,9	274,9	0,0	265,8	0,0	258,4
15:00 - 16:00	269,2	0,0	260,5	271,2	0,0	262,0
16:00 - 17:00	272,0	0,0	260,6	269,6	277,7	0,0
17:00 - 18:00	260,9	266,2	270,5	273,9	276,3	278,1
18:00 - 19:00	279,3	279,7	279,5	278,6	277,7	277,5
19:00 - 20:00	278,0	279,1	280,9	0,0	256,3	260,1
20:00 - 21:00	264,6	269,8	275,6	0,0	258,9	266,2
21:00 - 22:00	273,9	0,0	260,1	268,8	277,8	0,0
22:00 - 23:00	266,6	276,7	0,0	267,5	0,0	259,7
23:00 - 00:00	271,4	0,0	265,6	0,0	261,2	274,5

Para elevatória Joana D'arc B01 18 cenário 1o mapa de energia requerida tem seguinte legenda.

DE 250 A 260WATTS		DE 250 A 260WATTS		ACIMA DE 280WATTS	
-------------------	--	-------------------	--	-------------------	--

Observa-se que o valor da energia necessária a cada intervalo não é constante, pois em função dos níveis dos reservatórios a altura manométrica é variável e com isso a potência acompanha tal variação.

A elevatória Joana D'arc B02 19 tem as mesmas considerações em relação a energia requerida que a elevatória Joana D'arc B01 18.

**Tabela 8.4 Energia requerida no bombeamento da elevatória Joana D'arc B02 19**

HORA DO DIA	00min a 10 min	10min a 20 min	20min a 30 min	30min a 40 min	40min a 50 min	50min a 00 min
00:00 - 01:00	246,2	251,9	257,7	263,8	270,0	276,3
01:00 - 02:00	282,6	288,9	295,2	301,5	308,1	314,9
02:00 - 03:00	322,0	0,0	0,0	309,0	0,0	307,0
03:00 - 04:00	314,9	322,6	0,0	319,3	0,0	315,1
04:00 - 05:00	321,6	0,0	315,3	320,8	0,0	312,5
05:00 - 06:00	317,0	321,1	324,9	0,0	313,3	0,0
06:00 - 07:00	300,8	303,2	305,3	307,2	308,7	0,0
07:00 - 08:00	293,0	293,8	294,4	294,7	295,0	295,6
08:00 - 09:00	296,4	297,5	0,0	282,3	284,1	286,2
09:00 - 10:00	288,6	0,0	276,0	0,0	264,4	268,0
10:00 - 11:00	0,0	258,0	262,4	267,1	0,0	258,4
11:00 - 12:00	262,9	267,4	0,0	257,9	262,0	265,8
12:00 - 13:00	269,5	0,0	258,1	0,0	264,1	266,7
13:00 - 14:00	269,1	271,4	273,4	275,2	277,1	279,2
14:00 - 15:00	281,6	284,2	287,1	290,2	293,9	297,6
15:00 - 16:00	300,8	304,0	307,1	310,3	313,4	316,3
16:00 - 17:00	318,9	321,1	323,2	325,0	326,1	326,5
17:00 - 18:00	326,3	325,3	323,5	321,0	317,8	314,1
18:00 - 19:00	309,9	305,2	299,9	294,2	288,4	283,2
19:00 - 20:00	278,4	274,2	270,5	267,3	264,7	262,5
20:00 - 21:00	260,9	259,8	259,2	259,1	259,4	260,0
21:00 - 22:00	260,8	261,8	263,2	264,8	266,6	268,7
22:00 - 23:00	271,1	273,7	276,6	279,7	283,1	286,8
23:00 - 00:00	290,7	0,0	281,2	0,0	0,0	0,0

Para elevatória Joana D'arc B02 19 o mapa de energia requerida tem seguinte legenda.

DE 240 A 270WATTS		DE 270 A 300WATTS		ACIMA DE 300WATTS	
-------------------	--	-------------------	--	-------------------	--

O quarto resultado é em função da energia requerida. Ele representa o custo em reais do bombeamento no instante. A Tabela 8.5 representa o custo em reais do bombeamento para elevatória Joana D'arc B01 18 e a Tabela 8.6 representa o custo em reais do bombeamento para elevatória Joana D'arc B02 19.

**Tabela 8.5 Custos em reais do bombeamento da elevatória Joana D'arc B01 18**

HORA DO DIA	00min a 10 min	10min a 20 min	20min a 30 min	30min a 40 min	40min a 50 min	50min a 00 min
00:00 - 01:00	R\$ 0,126	R\$ 0,133	R\$ 0,000	R\$ 0,132	R\$ 0,000	R\$ 0,132
01:00 - 02:00	R\$ 0,000	R\$ 0,132	R\$ 0,000	R\$ 0,131	R\$ 0,000	R\$ 0,132
02:00 - 03:00	R\$ 0,000	R\$ 0,132	R\$ 0,000	R\$ 0,000	R\$ 0,128	R\$ 0,000
03:00 - 04:00	R\$ 0,130	R\$ 0,000	R\$ 0,131	R\$ 0,000	R\$ 0,132	R\$ 0,000
04:00 - 05:00	R\$ 0,132	R\$ 0,000	R\$ 0,131	R\$ 0,000	R\$ 0,130	R\$ 0,000
05:00 - 06:00	R\$ 0,127	R\$ 0,133	R\$ 0,000	R\$ 0,129	R\$ 0,135	R\$ 0,000
06:00 - 07:00	R\$ 0,130	R\$ 0,135	R\$ 0,000	R\$ 0,129	R\$ 0,133	R\$ 0,000
07:00 - 08:00	R\$ 0,126	R\$ 0,130	R\$ 0,134	R\$ 0,000	R\$ 0,126	R\$ 0,129
08:00 - 09:00	R\$ 0,133	R\$ 0,000	R\$ 0,126	R\$ 0,131	R\$ 0,135	R\$ 0,000
09:00 - 10:00	R\$ 0,130	R\$ 0,135	R\$ 0,000	R\$ 0,130	R\$ 0,000	R\$ 0,126
10:00 - 11:00	R\$ 0,132	R\$ 0,000	R\$ 0,129	R\$ 0,000	R\$ 0,127	R\$ 0,133
11:00 - 12:00	R\$ 0,000	R\$ 0,130	R\$ 0,000	R\$ 0,128	R\$ 0,133	R\$ 0,000
12:00 - 13:00	R\$ 0,130	R\$ 0,000	R\$ 0,126	R\$ 0,000	R\$ 0,000	R\$ 0,126
13:00 - 14:00	R\$ 0,131	R\$ 0,000	R\$ 0,126	R\$ 0,130	R\$ 0,134	R\$ 0,000
14:00 - 15:00	R\$ 0,129	R\$ 0,134	R\$ 0,000	R\$ 0,129	R\$ 0,000	R\$ 0,126
15:00 - 16:00	R\$ 0,131	R\$ 0,000	R\$ 0,127	R\$ 0,132	R\$ 0,000	R\$ 0,128
16:00 - 17:00	R\$ 0,132	R\$ 0,000	R\$ 0,127	R\$ 0,131	R\$ 0,135	R\$ 0,000
17:00 - 18:00	R\$ 0,127	R\$ 0,130	R\$ 0,132	R\$ 0,133	R\$ 0,134	R\$ 0,135
18:00 - 19:00	R\$ 0,136	R\$ 0,136	R\$ 0,136	R\$ 0,136	R\$ 0,135	R\$ 0,135
19:00 - 20:00	R\$ 0,135	R\$ 0,136	R\$ 0,137	R\$ 0,000	R\$ 0,125	R\$ 0,127
20:00 - 21:00	R\$ 0,129	R\$ 0,131	R\$ 0,134	R\$ 0,000	R\$ 0,126	R\$ 0,130
21:00 - 22:00	R\$ 0,133	R\$ 0,000	R\$ 0,127	R\$ 0,131	R\$ 0,135	R\$ 0,000
22:00 - 23:00	R\$ 0,130	R\$ 0,135	R\$ 0,000	R\$ 0,130	R\$ 0,000	R\$ 0,126
23:00 - 00:00	R\$ 0,132	R\$ 0,000	R\$ 0,129	R\$ 0,000	R\$ 0,127	R\$ 0,134

Para elevatória Joana D'arc B01 18 o mapa de custos em reais tem seguinte legenda.

ENTRE R\$0,12 E R\$0,13		ENTRE R\$0,13 E R\$0,14		ACIMA DE R\$0,14	
-------------------------	--	-------------------------	--	------------------	--

Analisando a Tabela 8.5, tem-se como resultado que o custo diário de um bombeamento otimizado é de R\$12,69.

Observa-se que o custo com bombeamento de um determinado intervalo poderá ser maior que um outro dado intervalo mesmo que seja requerida uma potência menor. Isto ocorre pois a tarifação de energia é cobrada em função do horário de consumo.

Em um mês de 31 dias, esse custo seria de R\$393,64.

**Tabela 8.6 Custos em reais do bombeamento da elevatória Joana D'arc B02 19**

HORA DO DIA	00min a 10 min	10min a 20 min	20min a 30 min	30min a 40 min	40min a 50 min	50min a 00 min
00:00 - 01:00	R\$ 0,120	R\$ 0,123	R\$ 0,125	R\$ 0,128	R\$ 0,131	R\$ 0,134
01:00 - 02:00	R\$ 0,138	R\$ 0,141	R\$ 0,144	R\$ 0,147	R\$ 0,150	R\$ 0,153
02:00 - 03:00	R\$ 0,157	R\$ 0,000	R\$ 0,000	R\$ 0,150	R\$ 0,000	R\$ 0,149
03:00 - 04:00	R\$ 0,153	R\$ 0,157	R\$ 0,000	R\$ 0,155	R\$ 0,000	R\$ 0,153
04:00 - 05:00	R\$ 0,157	R\$ 0,000	R\$ 0,153	R\$ 0,156	R\$ 0,000	R\$ 0,152
05:00 - 06:00	R\$ 0,154	R\$ 0,156	R\$ 0,158	R\$ 0,000	R\$ 0,152	R\$ 0,000
06:00 - 07:00	R\$ 0,146	R\$ 0,148	R\$ 0,149	R\$ 0,149	R\$ 0,150	R\$ 0,000
07:00 - 08:00	R\$ 0,143	R\$ 0,143	R\$ 0,143	R\$ 0,143	R\$ 0,144	R\$ 0,144
08:00 - 09:00	R\$ 0,144	R\$ 0,145	R\$ 0,000	R\$ 0,137	R\$ 0,138	R\$ 0,139
09:00 - 10:00	R\$ 0,140	R\$ 0,000	R\$ 0,134	R\$ 0,000	R\$ 0,129	R\$ 0,130
10:00 - 11:00	R\$ 0,000	R\$ 0,126	R\$ 0,128	R\$ 0,130	R\$ 0,000	R\$ 0,126
11:00 - 12:00	R\$ 0,128	R\$ 0,130	R\$ 0,000	R\$ 0,126	R\$ 0,128	R\$ 0,129
12:00 - 13:00	R\$ 0,131	R\$ 0,000	R\$ 0,126	R\$ 0,000	R\$ 0,129	R\$ 0,130
13:00 - 14:00	R\$ 0,131	R\$ 0,132	R\$ 0,133	R\$ 0,134	R\$ 0,135	R\$ 0,136
14:00 - 15:00	R\$ 0,137	R\$ 0,138	R\$ 0,140	R\$ 0,141	R\$ 0,143	R\$ 0,145
15:00 - 16:00	R\$ 0,146	R\$ 0,148	R\$ 0,149	R\$ 0,151	R\$ 0,153	R\$ 0,154
16:00 - 17:00	R\$ 0,155	R\$ 0,156	R\$ 0,157	R\$ 0,158	R\$ 0,159	R\$ 0,159
17:00 - 18:00	R\$ 0,159	R\$ 0,158	R\$ 0,157	R\$ 0,156	R\$ 0,155	R\$ 0,153
18:00 - 19:00	R\$ 0,151	R\$ 0,149	R\$ 0,146	R\$ 0,143	R\$ 0,140	R\$ 0,138
19:00 - 20:00	R\$ 0,136	R\$ 0,133	R\$ 0,132	R\$ 0,130	R\$ 0,129	R\$ 0,128
20:00 - 21:00	R\$ 0,127	R\$ 0,126	R\$ 0,126	R\$ 0,126	R\$ 0,126	R\$ 0,127
21:00 - 22:00	R\$ 0,127	R\$ 0,127	R\$ 0,128	R\$ 0,129	R\$ 0,130	R\$ 0,131
22:00 - 23:00	R\$ 0,132	R\$ 0,133	R\$ 0,135	R\$ 0,136	R\$ 0,138	R\$ 0,140
23:00 - 00:00	R\$ 0,141	R\$ 0,000	R\$ 0,137	R\$ 0,000	R\$ 0,000	R\$ 0,000

Para elevatória Joana D'arc B02 19 o mapa de custos em reais tem seguinte legenda.

ENTRE R\$0,12 E R\$0,13		ENTRE R\$0,13 E R\$0,15		ACIMA DE R\$0,15	
-------------------------	--	-------------------------	--	------------------	--

Analisando a Tabela 8.6, tem-se como resultado que o custo diário de um bombeamento otimizado é de R\$17,28.

Em um mês de 31 dias , esse custo seria de R\$535,88.

Após verificar a Tabela 8.5 e a Tabela 8.6 lembra-se que o objetivo da metodologia aplicada é minimizar o custo total operacional e não o consumo de energia . Isto significa que mesmo que o bombeamento seja menos eficiente quanto ao consumo de energia em um dado intervalo, se o preço da energia for menor, o modelo de otimização irá buscar tal alternativa, pois o modelo busca uma minimização de custo.

Caso a tarifa aplicada ao modelo fosse única para as 24 horas do dia o valor da energia nem precisaria ser utilizado e bastaria nesse caso minimizar o consumo total de energia.

## 9. Conclusão

Neste trabalho, pôde-se verificar o resultado da implantação de formulações matemáticas que trouxeram tanto para redução do consumo de energia elétrica quanto à determinação de regras operacionais ótimas para acionamento de conjunto motor-bomba.

A programação não linear inteira mista, mesmo usando métodos que diminuam o uso de memória física, requer um grande esforço computacional mesmo para um pequeno número de variáveis. Com a possibilidade de processamento em computadores de maior porte e algoritmos de busca de soluções inteligentes esta técnica torna-se viável nos problemas do cotidiano.

Em problemas como os tratados neste problema, mesmo de ordem reduzida a um conjunto motor-bomba para cada estação elevatória numa análise horária, verificou-se que o processo de busca de solução tornou-se lento devido ao fato das variáveis de decisão estarem submetidas a restrição de integridade. No caso o tempo de processamento em um computador do tipo Pentium com memória ram de 2 megabites foi de 12 horas.

Os resultados obtidos foram a favor da segurança tendo em vista as simplificações como instante fixos sem variações, ponto fixo de funcionamento de bomba, vazão afluyente sem considerar a defasagem de tempo e a utilização da formula de Hazen Williams para otenção de perda de carga.

Pode-se observar que na estação elevatória Joana D'arc B01 18, houve um decréscimo no custo de energia de aproximadamente 16%.

A média de despesa estava em torno R\$471,55 e com a operação otimizada esse custo caiu para R\$393,64.

Na estação elevatória Joana D'arc B02 19, houve um decréscimo no custo de energia de aproximadamente 28%.

A média de despesa estava em torno R\$747,36 e com a operação otimizada esse custo cai para R\$567,49.

Embora a amostra de elevatórias seja pequena é possível perceber que quanto maior a vazão, maior a redução no custo do bombeamento.



Com este trabalho conclui-se que a adoção de técnicas de otimização nos sistemas elevatórios de esgotos é um campo bastante fértil para pesquisa e certamente com grande potencial de economia.

A média nos dois casos foi de 22% de economia Na tabela 6.1 verifica-se que Uberlândia tem um gasto com energia anual na elevatórias da ordem de R\$345.045,35, extrapolando uma economia de 22%, isto traria uma redução anual igual a aproximadamente R\$75.900,00

Este potencial valor de economia em um ano certamente cobriria custos para equipar uma sala de planejamento da operação de estações elevatórias contendo computadores com capacidade apropriada, softwares de otimização e o pagamento de profissional responsável.

Como sequência deste trabalho um estudo interessante seria a minimização das simplificações como: a substituição da fórmula de Hazen Williams pela formula Universal para perdas de carga; medir as vazões afluentes na estação elevatória conferindo uma maior precisão a curva de vazões afluente.

Também se tornaria interessante a modelagem de estações elevatórias com número maior de bombas, sendo que uma delas operasse com inversor de frequência e com isso o conjunto ter a possibilidade de operar em inúmeros pontos de funcionamento.

## 10. Referências Bibliográficas.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. **Resolução nº456, de 29 de novembro de 2000.**

Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000456.pdf>>. Acesso em 30 de abril de 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649:** Projeto de Redes de Esgoto. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12208:** Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

AZEVEDO NETO, José Martiniano. **Sistemas de Esgotos Sanitários.** 2. Ed. São Paulo: CETESB, 1977.

BARROS, R. T. V. et al. **Saneamento.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios – volume 2).

BAZZARAA, M.S et al. **Sherali, Linear Programming and Network Flows.** John Wiley & Sons, Inc. , 1990.

BETTINE, Sueli do Carmo. **Instrumento de regulação dos serviços de saneamento básico: Um enfoque multiobjetivo.** 2003. 1 vol. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BOTELHO, Manoel Henrique. **Águas de chuva - Engenharia das Águas de Chuva nas Cidades**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1985.

BOUSTEAD, I & HANCOCK, G.F. "**Handbook of Industrial Energy Analysis**", John Wiley & Sons Canada Limited, New York, 1979

CAVINATTO, V. M. **Saneamento básico**: fonte de saúde e bem-estar. São Paulo: Ed. Moderna, 1992.

CONSONI, A. J.; SILVA, I. C.; GIMENEZ FILHO, A. **Disposição final do lixo**. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT/Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE, 2000. cap. 5, p. 251-291.

COOK, E. **Man, energy and society**. Freeman and CO., São Francisco, 1976.

CORRAR, Luiz J; THEÓFILO, Carlos R et. AL. **Pesquisa Operacional para Decisão em Contabilidade e Administração**. São Paulo. Atlas, 2004.

COSTA, Luis Henrique Magalhães; CASTRO, Marco Aurélio Holanda de; RAMOS, Helena. **Utilização de um algoritmo genético híbrido para operação ótima de sistemas de abastecimento de água**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, June 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522010000200011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522010000200011&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em 03/04/10

C.S. Adjimana, I.P. Androulakisa and C.A. Floudas. **Nonlinear and mixed-integer optimization**. Oxford University Press, New York, 1995.

CUNHA, Valeriana; CAIXETA FILHO, José Vicente. **Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não linear de programação por metas.** Revista Gestão e produção v.9, n.2, p.143-161, ago. 2002.

DUARTE et al. **Avaliação do desempenho energético em sistemas abastecimento.** In: VIII SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO, 2008.

DUKE ENERGY TRADING BRASIL. **Dicionário Prático de Energia Elétrica.** São Paulo: 2:D Comunicação e design S/C Ltda. 2002

FERNANDES, Carlos. **Esgotos Sanitários.** João Pessoa, Ed. Univ./UFPB, 1997, 435p. Reimpressão Jan/2000

FERNANDES, C. **"Microdrenagem - Um Estudo Inicial"**. Campina Grande, DEC/CCT/UFCG, 2002.

FLOUDAS; Christodoulos A. C. A. **Nonlinear and mixed-integer optimization.** Fundamentals e applications. Oxford University Press, New York, 1995.

FRANCATO, Alberto Luiz. **Otimização multiobjetivo para a operação de sistemas urbanos de abastecimento de água.** Tese (Doutorado em Engenharia). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

FRANCATO, Alberto Luiz, Campinas 2009. **IC 716 – Planejamento Energético na Engenharia Civil Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp.** Departamento de Recursos Hídricos Energéticos e Ambientais. Notas de Aula.

FRANCATO, Alberto L. et al. **A Eficiência Energética na Operação Ótima de Estações Elevatórias de Esgoto**. Revista DAE, ed. 185, p. 29-34, 2011.

GAMEIRO, L.F.S. (2003). **Dimensionamento otimizado de redes de esgotos sanitários com a utilização de algoritmos genéticos**. Campo Grande, 2003. 55 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

GAZETA MERCANTIL. **Análise Setorial: saneamento básico**. Vol. I a IV. São Paulo: Gazeta Mercantil, 1998.

GELLER, H. S., 1991, **O Uso Eficiente da Eletricidade: uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro, INEE.

GOES, ANTÔNIO. **Piora saneamento para os mais pobres**. Jornal Folha de São Paulo, caderno poder. Disponível em : <<http://www1.folha.uol.com.br/foha/brasil/ult96u80220.shtml>>

Acessado em 01/07/11

GOMES, H. P. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento: Análise Econômica de Projetos**. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> Acessado em: 01/07/11

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **A Eficiência Energética e o Novo Modelo do Setor Energético**, 2001

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA / SECRETARIA DE POLÍTICA URBANA. **Série Modernização do Setor de Saneamento**. (oito volumes), Ministério do Planejamento e orçamento, Brasília, DF, 1995.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics**. 2009

JAMES, K. et al. **Água e energia: aproveitando as oportunidades de eficientização de água e energia não exploradas nos sistemas municipais**. Alliance to Save Energy, 2002.

JOWITT, P.W. GERMANOPOULOS, G. **Optimal pump scheduling in water-supply networks**. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, v. 110, n. 1, p. 17-35, 1992.

LOESCHE, C. **Pesquisa Operacional: Fundamentos e modelos**. Blumenau, Editora da FURB, 1999.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S/A. 2 ed., 1997.

MANSUR, G. L.; MONTEIRO, J. H. R. P. **O que é preciso saber sobre limpeza urbana**. Rio de Janeiro: Centro de Estudos e Pesquisas Urbanas do Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha>>. Acesso em: 08 de março 2011.

MARINHO, Maria do Socorro Japiassú. **Regulação dos serviços de Saneamento no Brasil (Água e Esgoto)**. 2006. 1 vol. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

**METACALF & EDDY, INC – Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater.** New York, McGraw-Hill, 1981

**NATIONAL MASTER.** Energy Statistics. Electric power consumption

[http://www.nationmaster.com/graph/ene\\_ele\\_con\\_percap-energy-electricity-consumption-per-capita&date=2005](http://www.nationmaster.com/graph/ene_ele_con_percap-energy-electricity-consumption-per-capita&date=2005). Acesso em 09/04/2010

OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário.** São Paulo, 2004. 293 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2004

OLIVEIRA, W. E . **Recuperação de Recursos dos Resíduos Sólidos.** Revista DAE. São Paulo: SABESP, n.160,1984.

ORDONES, RAMONA. **Consumo de energia elétrica no país bate recorde histórico. Jornal O globo, caderno de economia.** Disponível em:

< <http://oglobo.globo.com/economia/mat/2010/02/02/consumo-de-energia-eletrica-no-pais-bate-recorde-historico-915769583.asp>>. Acessado em 03/04/10

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. **Plano de ação 2007/2007 PROCEL/SANEAR.** Disponível em: <<http://www.eletronbras.gov.br/ELB/procel/main.asp?TeamID={647EFA6D-9562-46E3-8AA3-AC4058A8206F}>> Acessado em 25/04/2010.

PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. **Subsídios para o Projeto Estratégico de Elaboração do PLANSAB - PARTE 2.** Brasília, DF, 2008

PORTO, Rodrigo Melo. **Hidráulica Básica**. 4ed. São Paulo. EDUSP, 2004.

PRESIDÊNCIA DA REPLÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. AL DE ENERGIA ELÉTRICA. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Lei nº11.445, de 5 de janeiro de 2007**.

Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em 13 de setembro de 2011.

RIGHETTO, A. M. **Calibração de Modelo Hidráulico de Rede de Distribuição de Água**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 6, N03, p.33-44, 2001.

SCHMIT, Hernán Prieto. **Reconfiguração de Redes de Distribuição através de programação não linear inteira mista**. Tese de Livre Docência Universidade de São Paulo, 2005

SILVEIRA, André Luis Lopes. **Drenagem Urbana: Aspectos de Gestão**. 2002. Apostila do curso de gestores regionais de recursos hídricos. IPH/UFRGS, Fundo Setorial de Recursos Hídricos/CNPq, Porto Alegre, 70p.

Disponível em:

<<http://www.iph.ufrgs.br/grad/disciplinas/dhh/iph01014/APOSTILADRENAGEMGESTORES2002.pdf>>

Acesso em 13 de setembro de 2011.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **12º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. 2006.



SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **14º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. 2008.

STERLING, M.J.H.; COULBECK, B. **A dynamic programming solution to the optimization of pumping costs**. ICE Proceedings, London, v. 59, n. 2, p. 813-818, 1975.

SOARES, Pedro. **Brasil ainda sofre com falta de saneamento básico, aponta IBGE**. Jornal Folha de São Paulo, caderno cotidiano. Disponível em :

< <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/908789-brasil-ainda-sofre-com-falta-de-saneamento-basico-aponta-ibge.shtml>>. Acessado em 01/07/11

TCHOBANOGLIOUS, G. **Solid wastes: engineering principles and management**. Issues. Tokyo: McGraw-Hill, 1977.

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de água e esgoto**. ABES. São Paulo, 1997

TSUTIYA, M. T.. ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo, 1999.

TSUTIYA, M. T.. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. ABES. São Paulo, 2005.

TSUTIYA, M. T.. **Abastecimento de água**. 3º Ed. São Paulo, Departamento da Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TUCCI, C. E. M., et al. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre. Ed Universitária da UFRGS, 1995.

WINSTON, Wayne; ALBRIGHT, S. Christian. **Practical Management Science**. 2ed, Duxbury Thomson Learning, 2001.



## **11. Anexos**

Nos anexos estão disponíveis a atual ocupação do município de Uberlândia em grande formato, os projetos das estações elevatórias de esgoto, o projeto da rede coletora de esgoto que é atendida pelas estações elevatórias Joana D'arc B01 18 e Joana D'arc B02 19 e a autorização do DMAE para utilização dos dados.

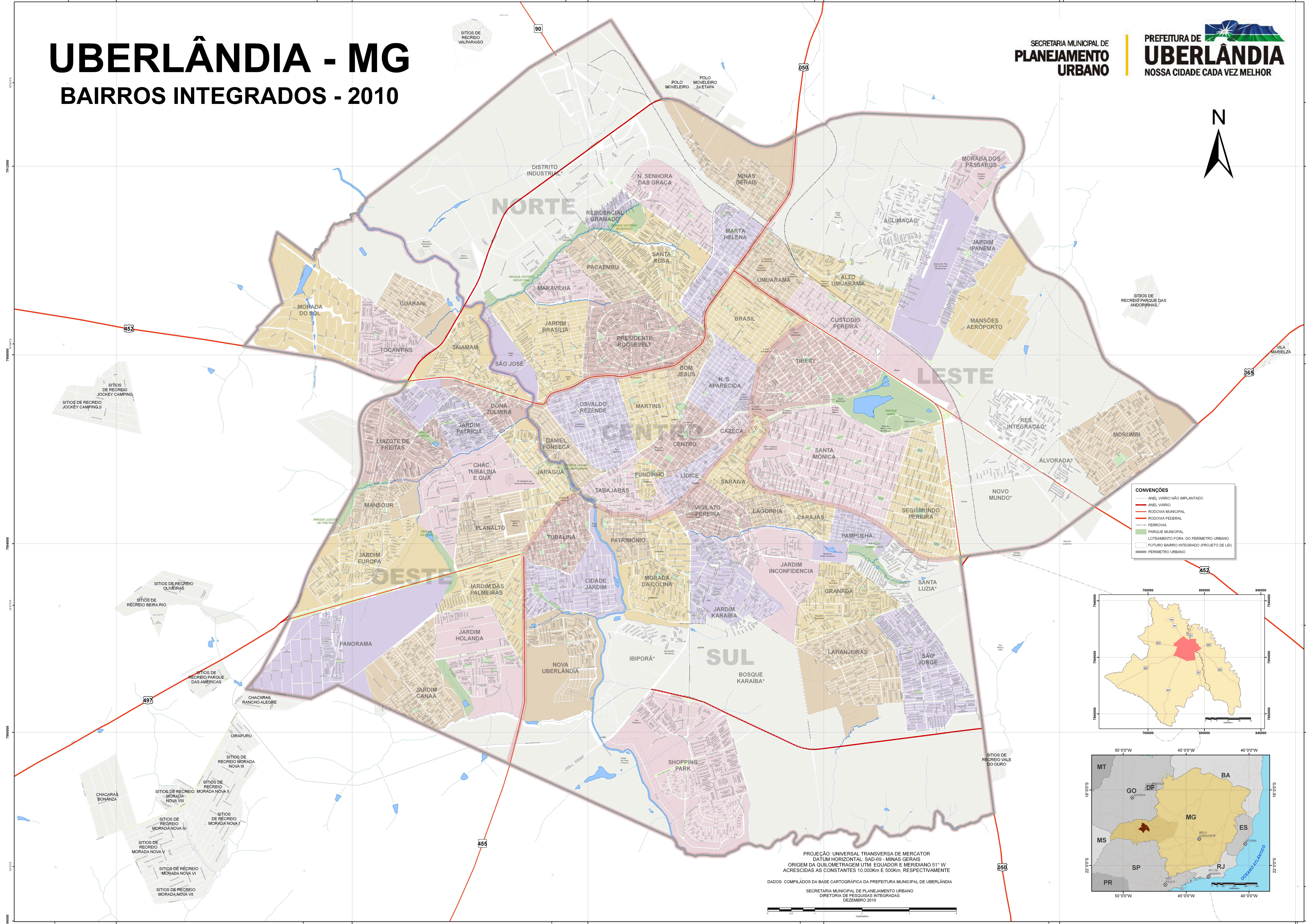
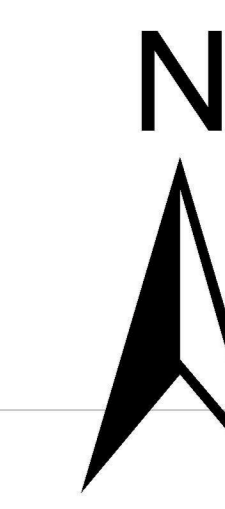


## **11.1 Anexo 1 - Ocupação atual no município de Uberlândia em grande formato**



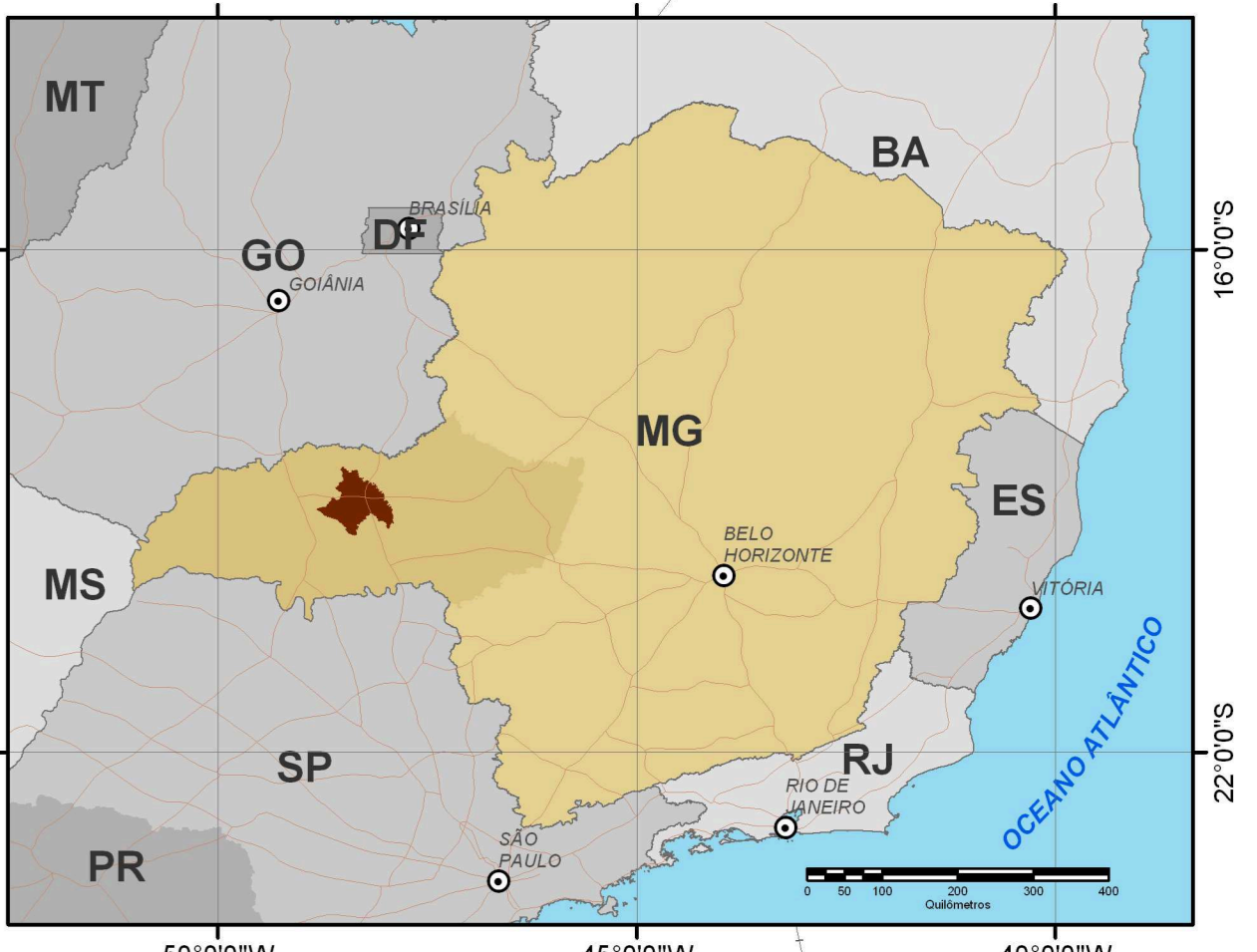
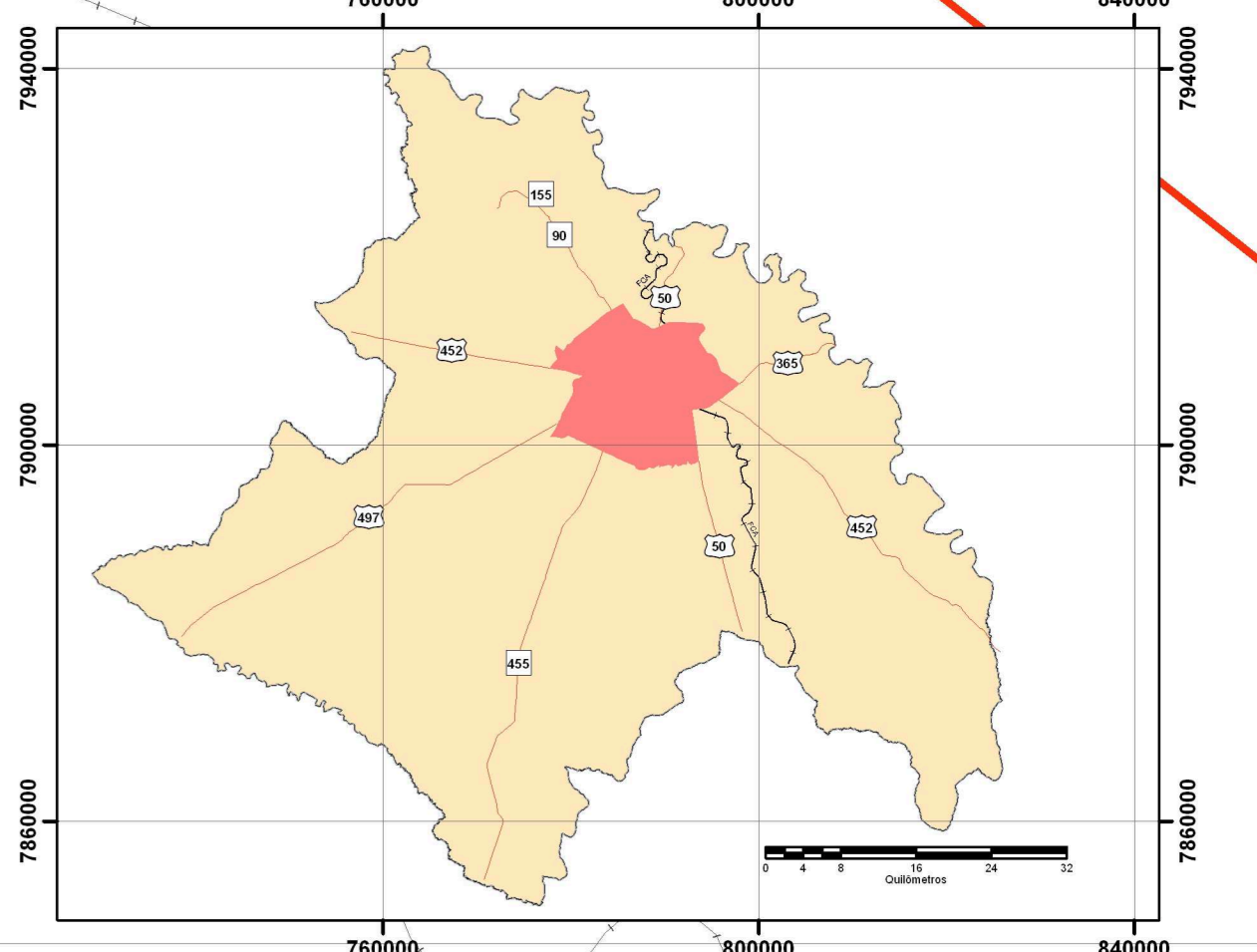
# UBERLÂNDIA - MG

## BAIRROS INTEGRADOS - 2010

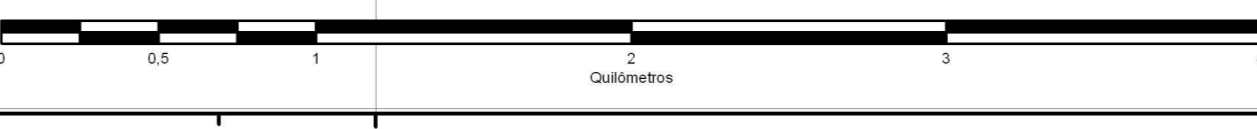


**CONVENÇÕES**

- ANEL VIÁRIO NÃO IMPLANTADO
- ANEL VIÁRIO
- RODOVIA MUNICIPAL
- RODOVIA FEDERAL
- FERROVIA
- PARQUE MUNICIPAL
- LOTEAMENTO FORA DO PERÍMETRO URBANO
- FUTURO BAIRRO INTEGRADO (PROJETO DE LEI)
- PERÍMETRO URBANO



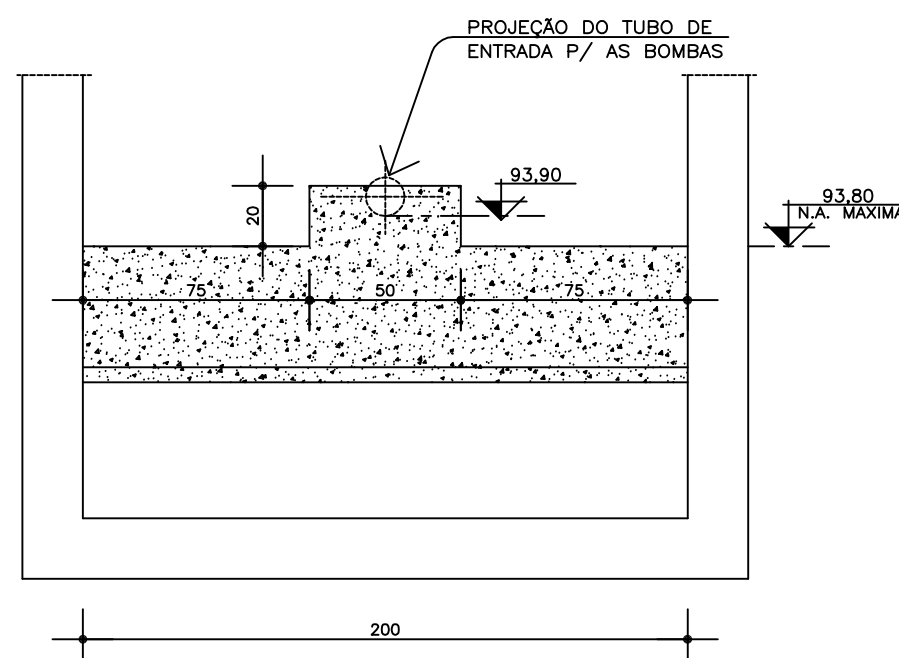
PROJEÇÃO: UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM HORIZONTAL: SAD-69 - MINAS GERAIS  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM: EQUADOR E MERIDIANO 51° W  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000Km E 500Km, RESPECTIVAMENTE  
 DADOS: COMPILADOS DA BASE CARTOGRÁFICA DA PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA  
 SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO  
 DIRETORIA DE PESQUISAS INTEGRADAS  
 DEZEMBRO 2010



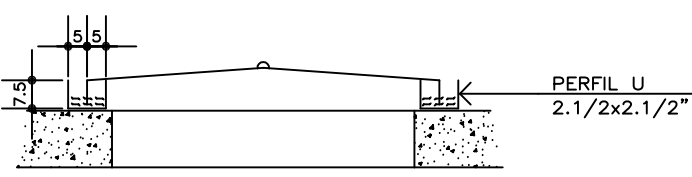


## **11.2 Anexo 2 - Projeto da estação Elevatória de Esgoto Joana D'arc B01 18**

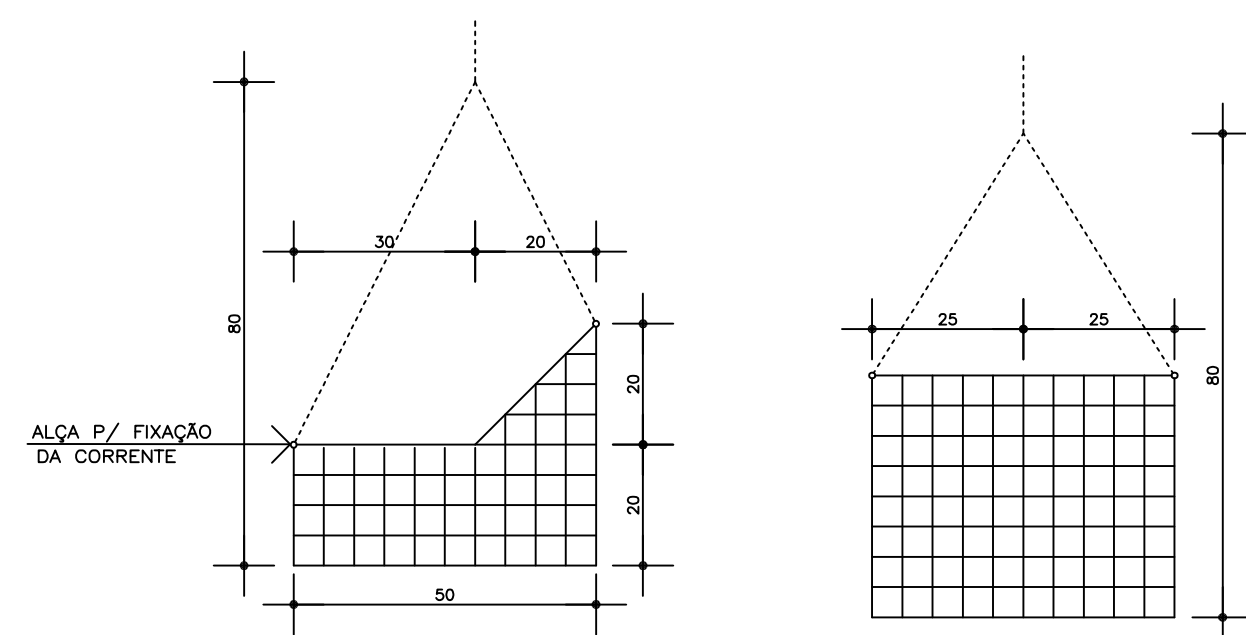
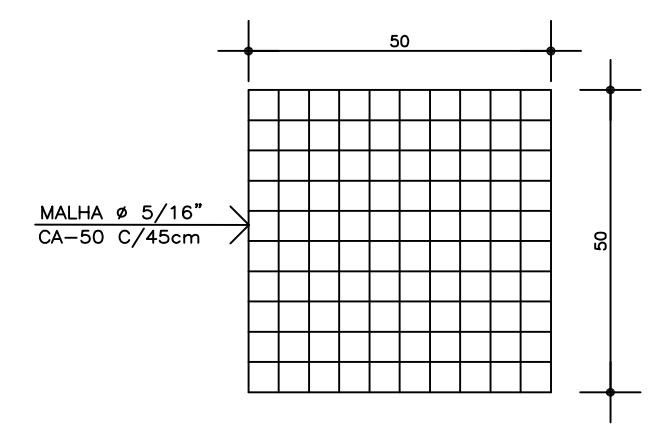




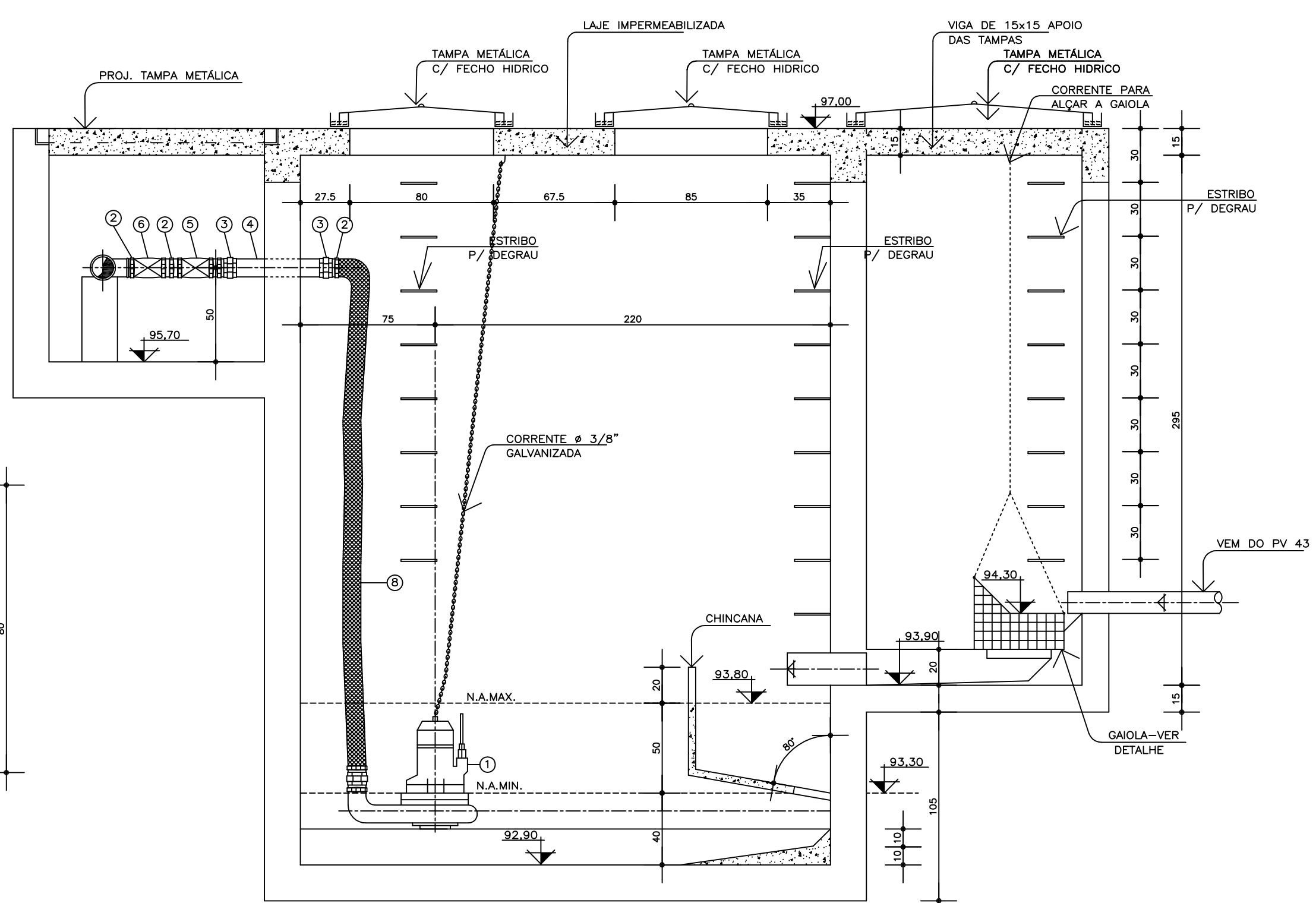
DET. DA CHICANA  
ESCALA 1/25



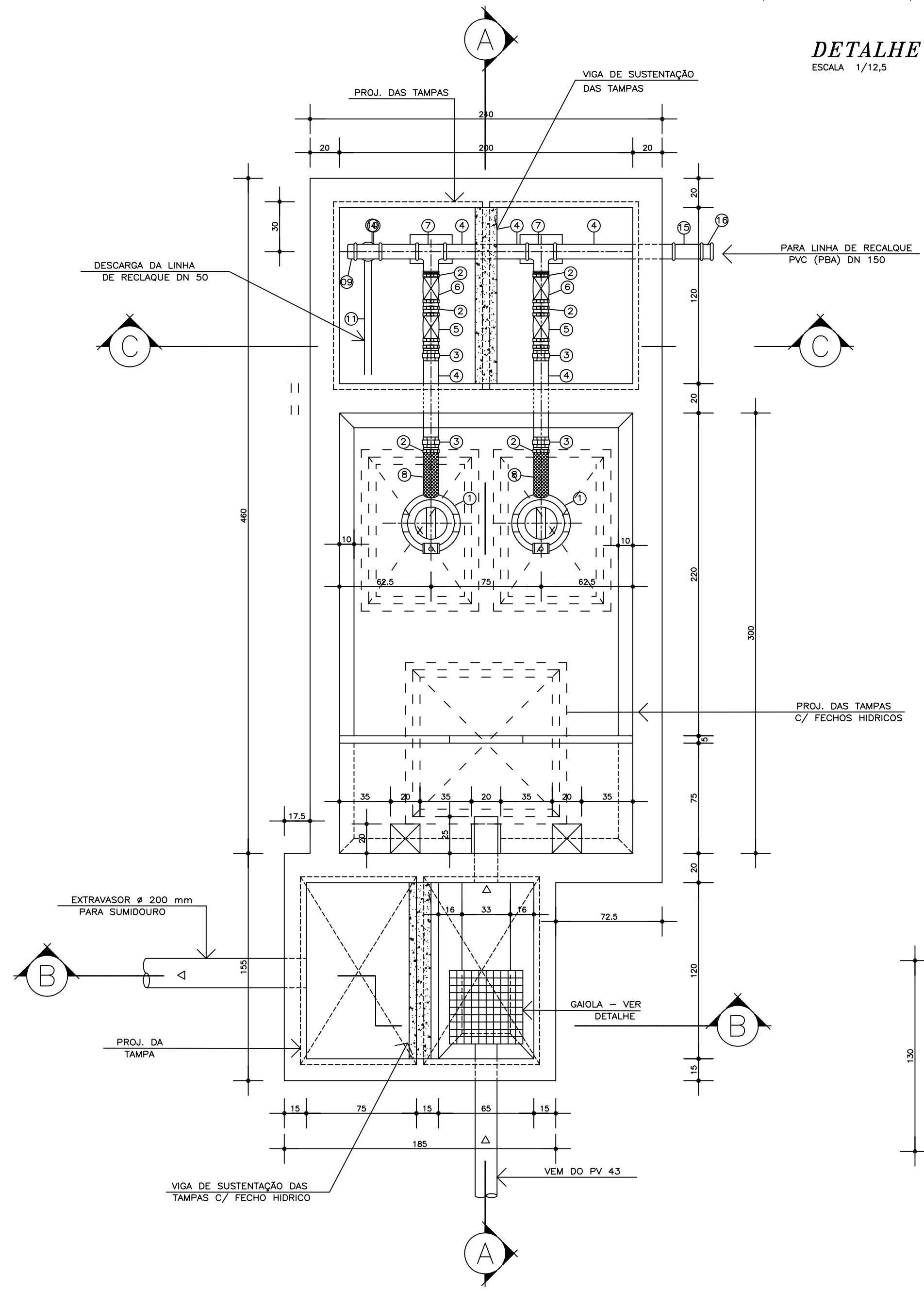
DET. P/ EXECUÇÃO DAS TAMPAS NA EEE  
ESCALA 1/20



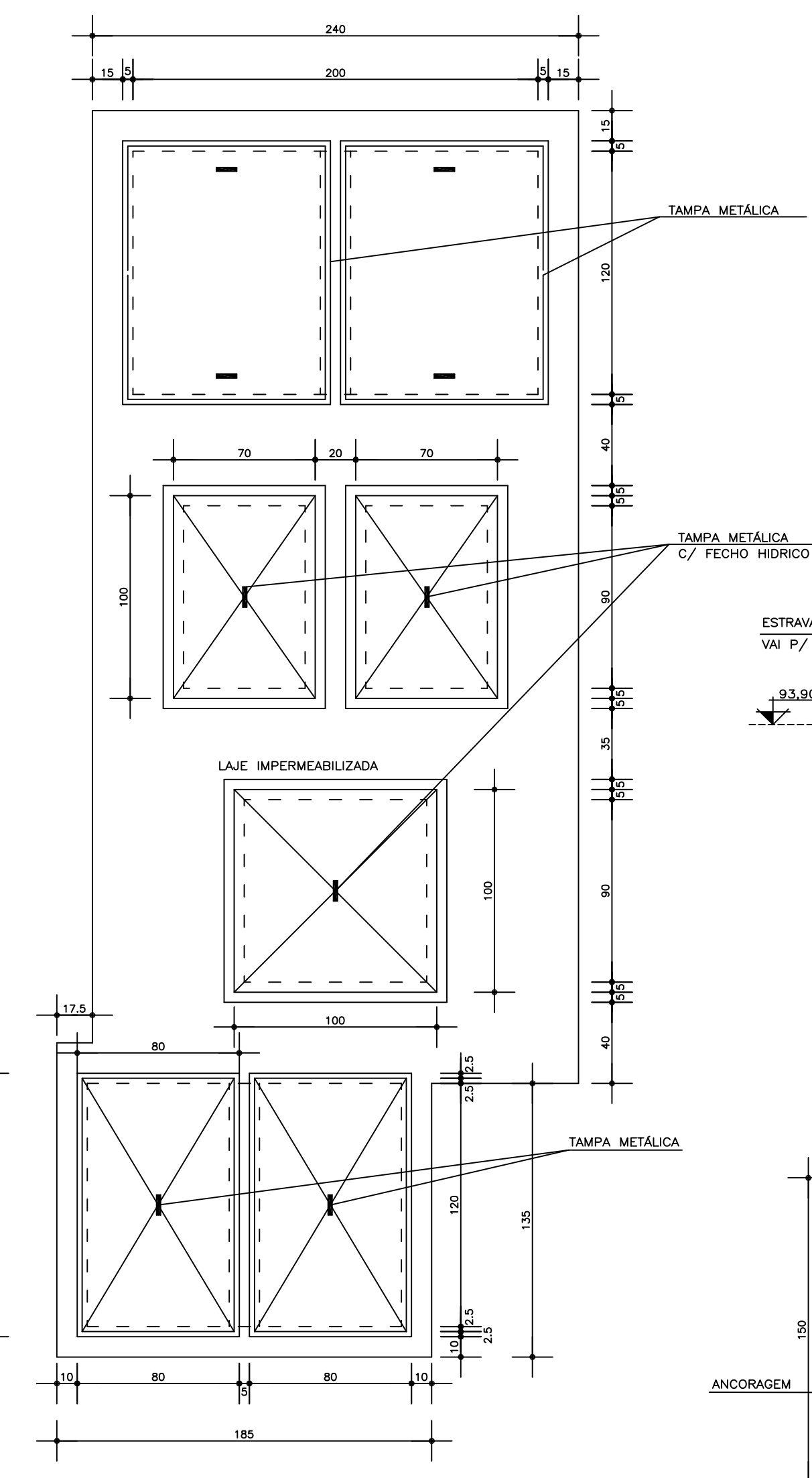
DETALHE DA GAIOLA  
ESCALA 1/12,5



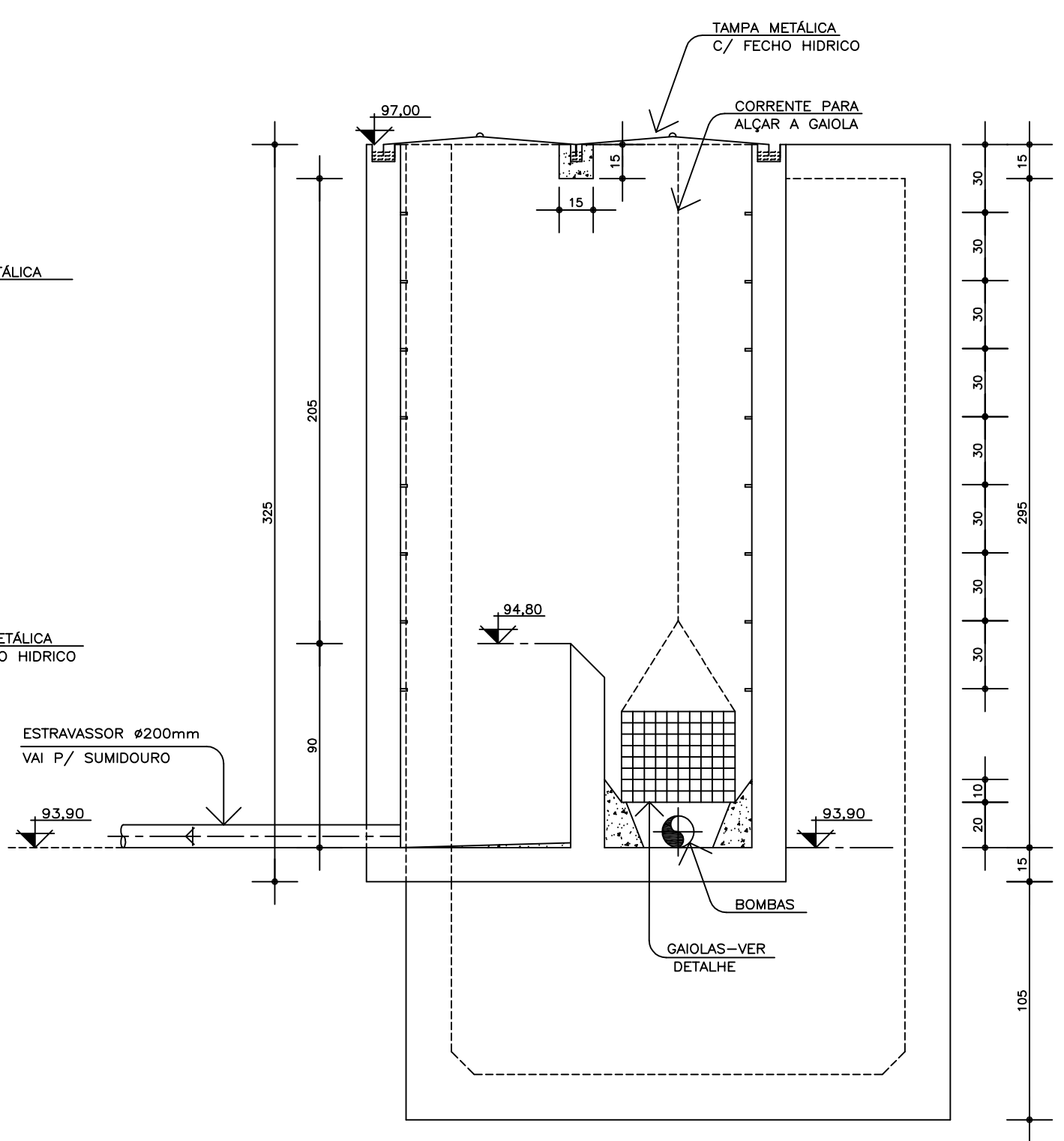
CORTE AA  
ESCALA 1/25



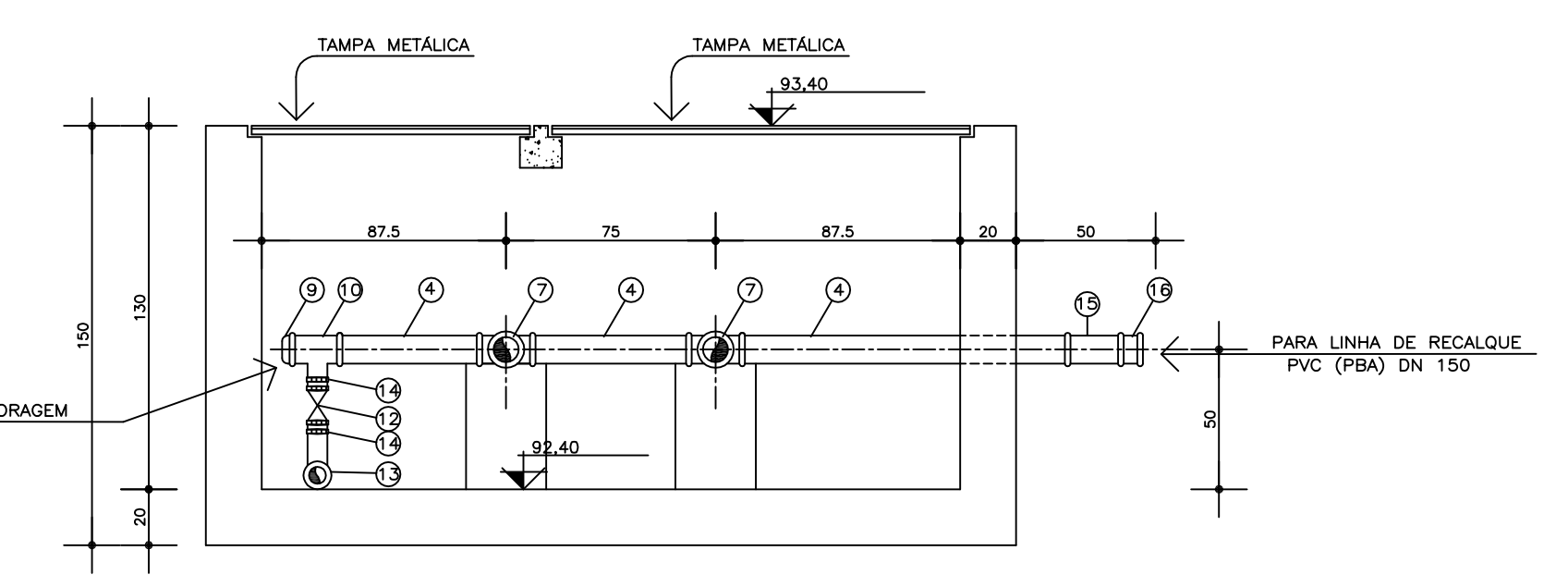
PLANTA E.E.E.1  
ESCALA 1/25



COBERTURA  
ESCALA 1/25

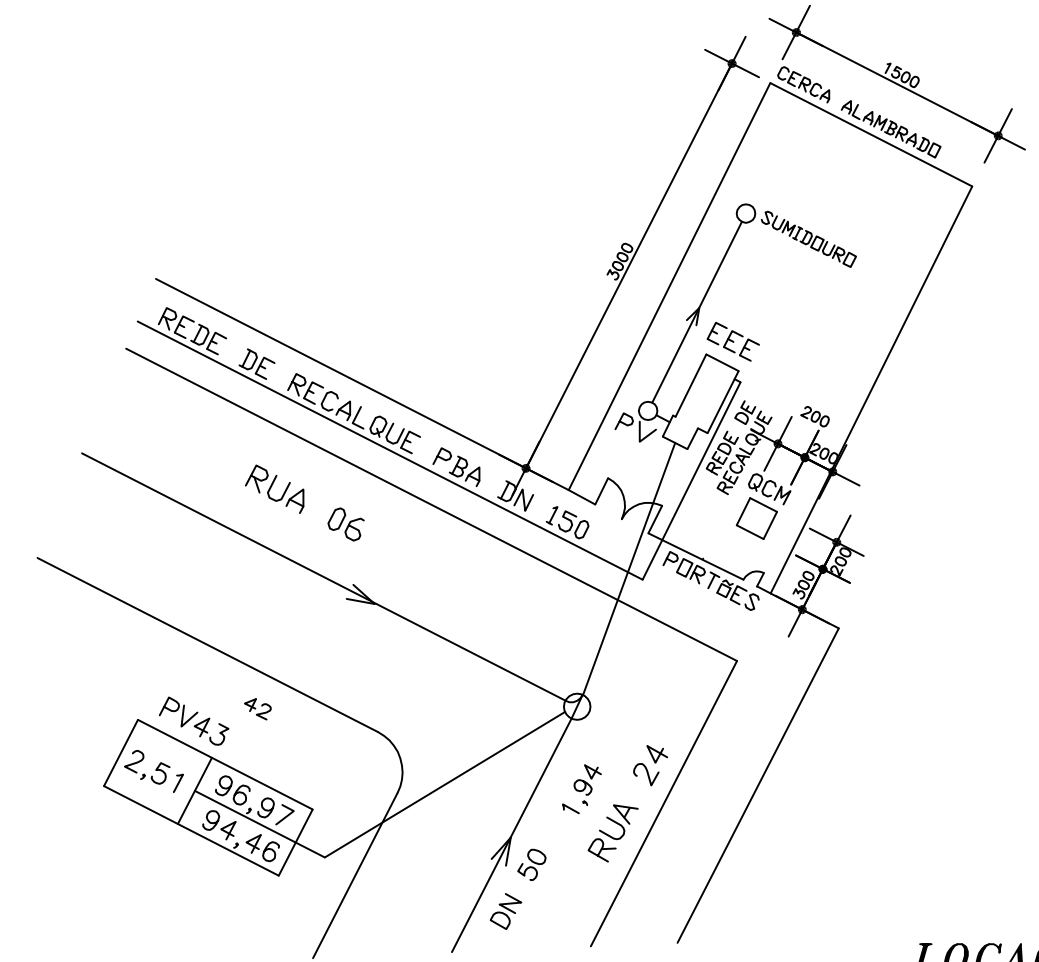


CORTE BB  
ESCALA 1/25



CORTE CC  
ESCALA 1/25

RELAÇÃO DE MATERIAL				
ESTAÇÃO ELEVATORIA DE ESGOTO - 1				
Nº	DESCRIÇÃO	DIÂMETRO	QTD	UNID
1	CONJUNTO MOTO BOMBA SUBMERSIVEL H.M = 10,40 MCA Q = 37,80 M3/H		02	CJ
2	NIPLÉ DUPLO ROSC. GALVANIZADO	100	06	PÇ
3	UNIÃO COM ASSENTO CÔNICO DE FERRO	100	04	PÇ
4	TUBO DE AÇO GALVANIZADO	100	08	M
5	VÁLVULA DE RETENÇÃO EM BRONZE FUNDIDO CIWAL OU SIMILAR	100	02	PÇ
6	VÁLVULA DE GAVETA EM BRONZE FUNDIDO, CIWAL OU SIMILAR	100	02	PÇ
7	TE ROSC. GALVANIZADO	100	02	PÇ
8	MANGOTE FLEXÍVEL SPIRALFLEX OU SIMILAR	100	08	M
9	TAMPÃO ROSC. GALVANIZADO	100	01	PÇ
10	TE ROSC. GALVANIZADO	100x75	01	PÇ
11	TUBO AÇO GALVANIZADO ROSC.	75	02	M
12	VÁLVULA GAV. BRONZE	75	01	PÇ
13	CURVA 90° GALVANIZADO ROSC.	75	01	PÇ
14	NIPLÉ DUPLO ROSC. GALVANIZADO	75	03	PÇ
15	LULA GALVANIZADA ROSC.	100	01	PÇ
16	EXTREMIDADE ROSC./PONTA PVC PBA	100	01	PÇ



LOCAÇÃO E.E.E.1  
5/ESCALA

DMAE:

C.R.E.A.:

PROJETO : SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITARIO  
 OBRA: LOTEAMENTO SÃO FRANCISCO / JOANA D'ARC  
 LOCAL: FAZENDA MARIMBONDO  
 UBERLÂNDIA - MG

ASSINATURAS:

PROPRIETÁRIO: DMAE - UBERLÂNDIA -MG  
 RENATO CELSO CARDOSO  
 DIRETOR GERAL

PROJETO : ALEXANDRE SILVA CREA 31.721/D-MG  
 DIRETOR TECNICO

CONTEGDO :  
 EEE-1 - PLANTA E CORTES e LOCAÇÃO

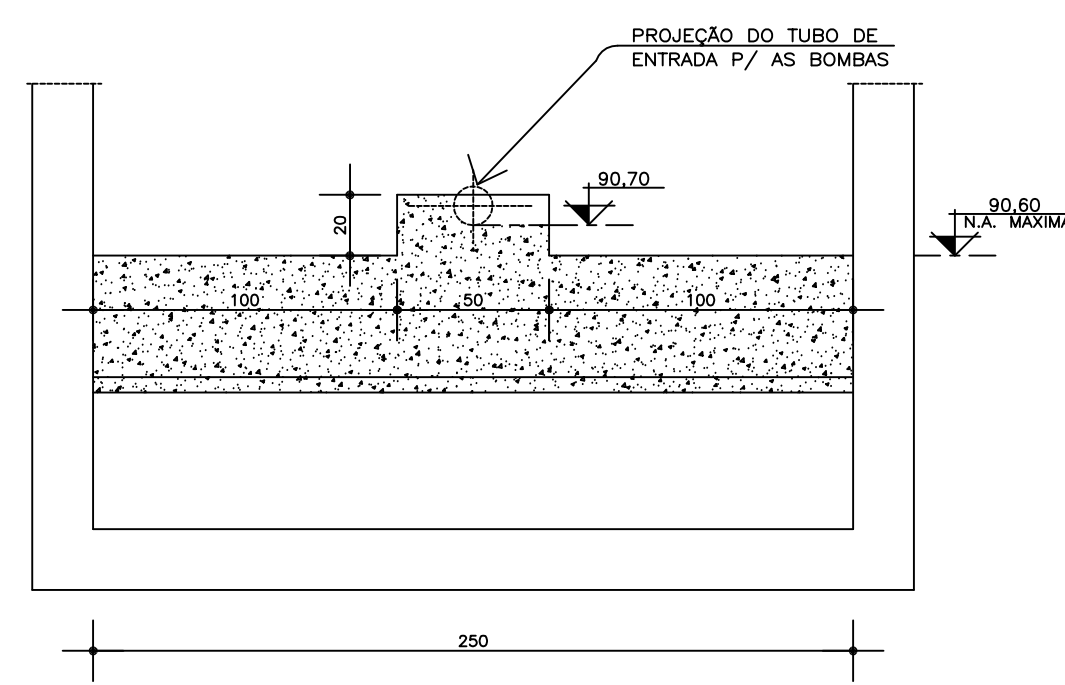
ESCALA :  
 INDICADAS

DATA :  
 MAIO/02

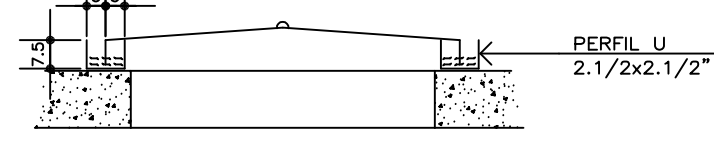
FOLHA :  
 ÚNICA  
 DESENHO  
 VALÉRIO

### **11.3 Anexo 3 - Projeto da estação Elevatória de Esgoto Joana D'arc B02 19**

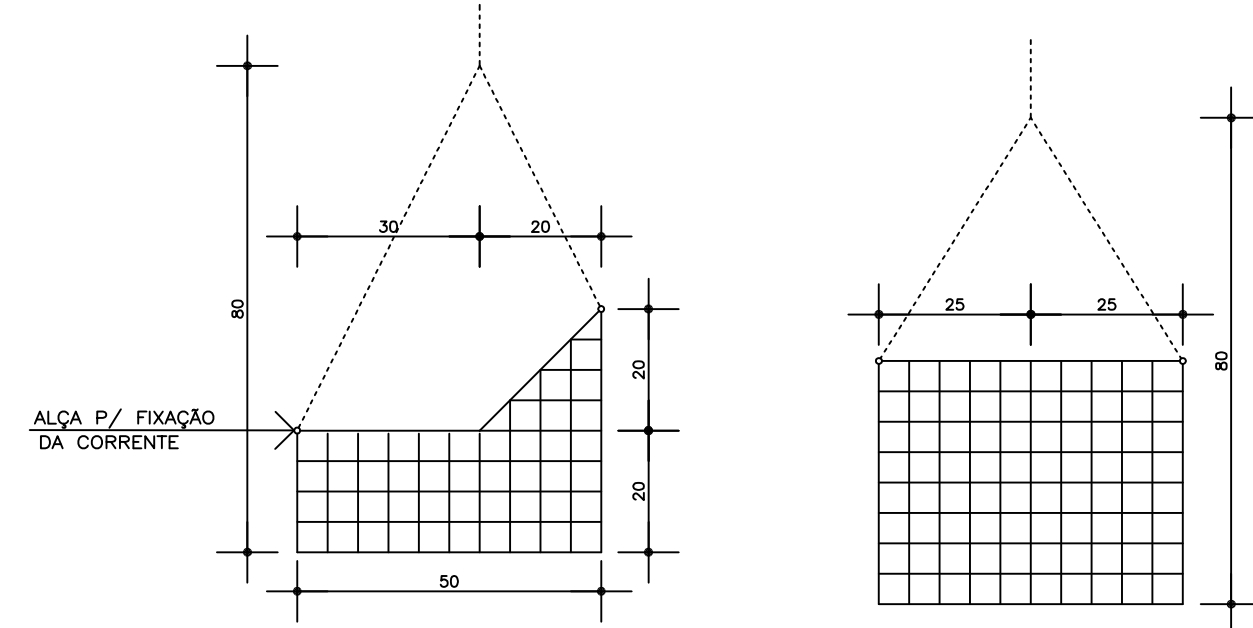
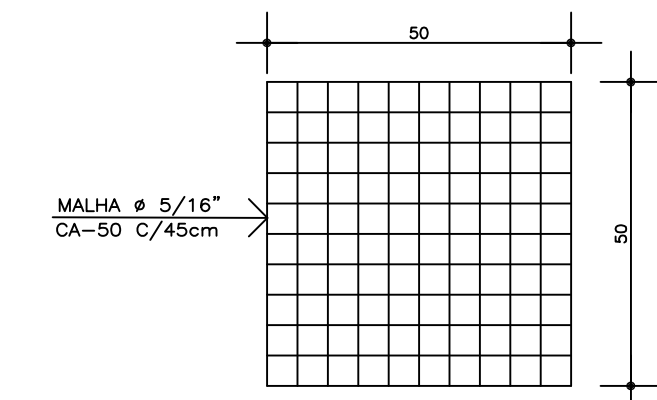




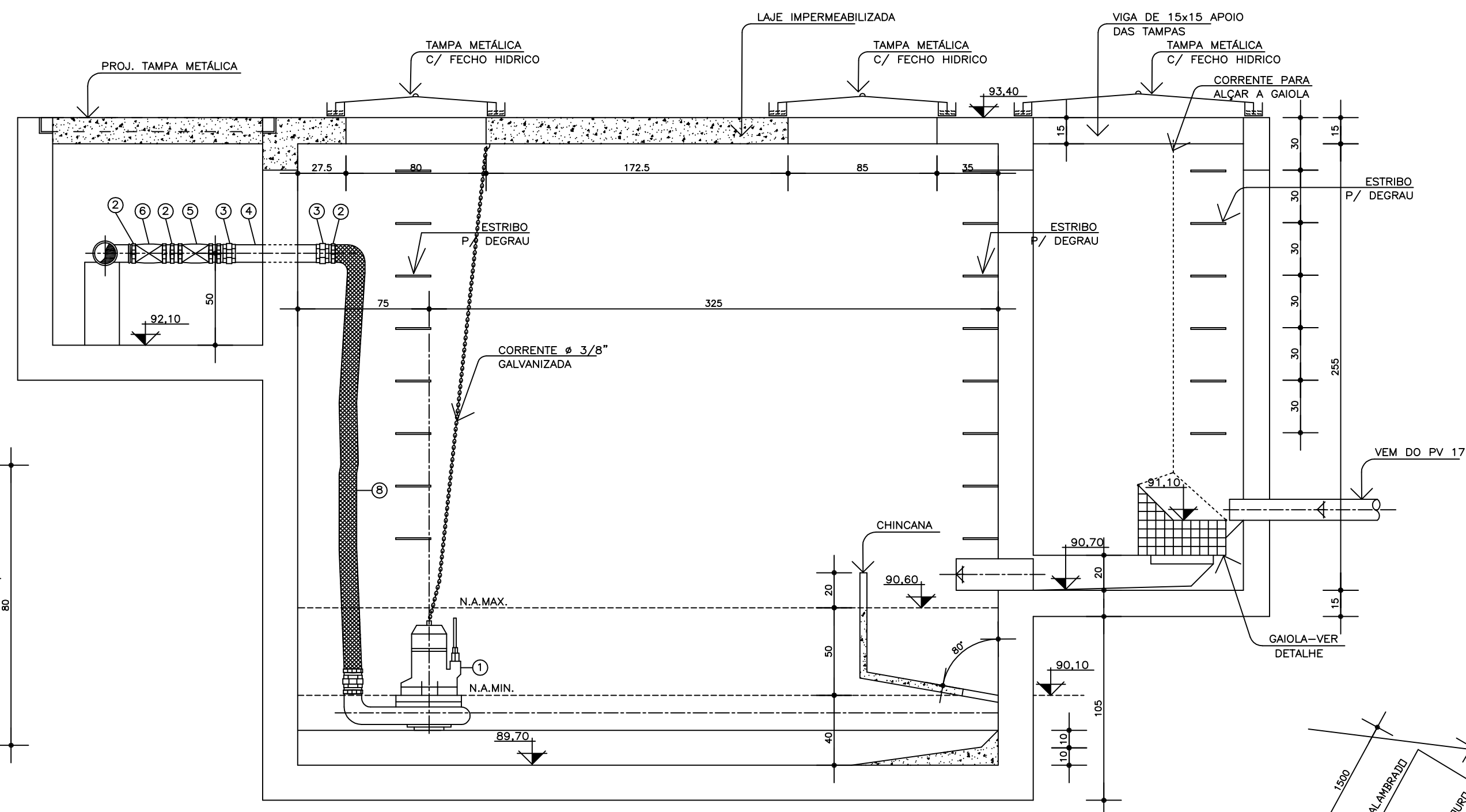
DET. DA CHICANA  
ESCALA 1/25



DET. P/ EXECUÇÃO DAS TAMPAS NA EEE  
ESCALA 1/20

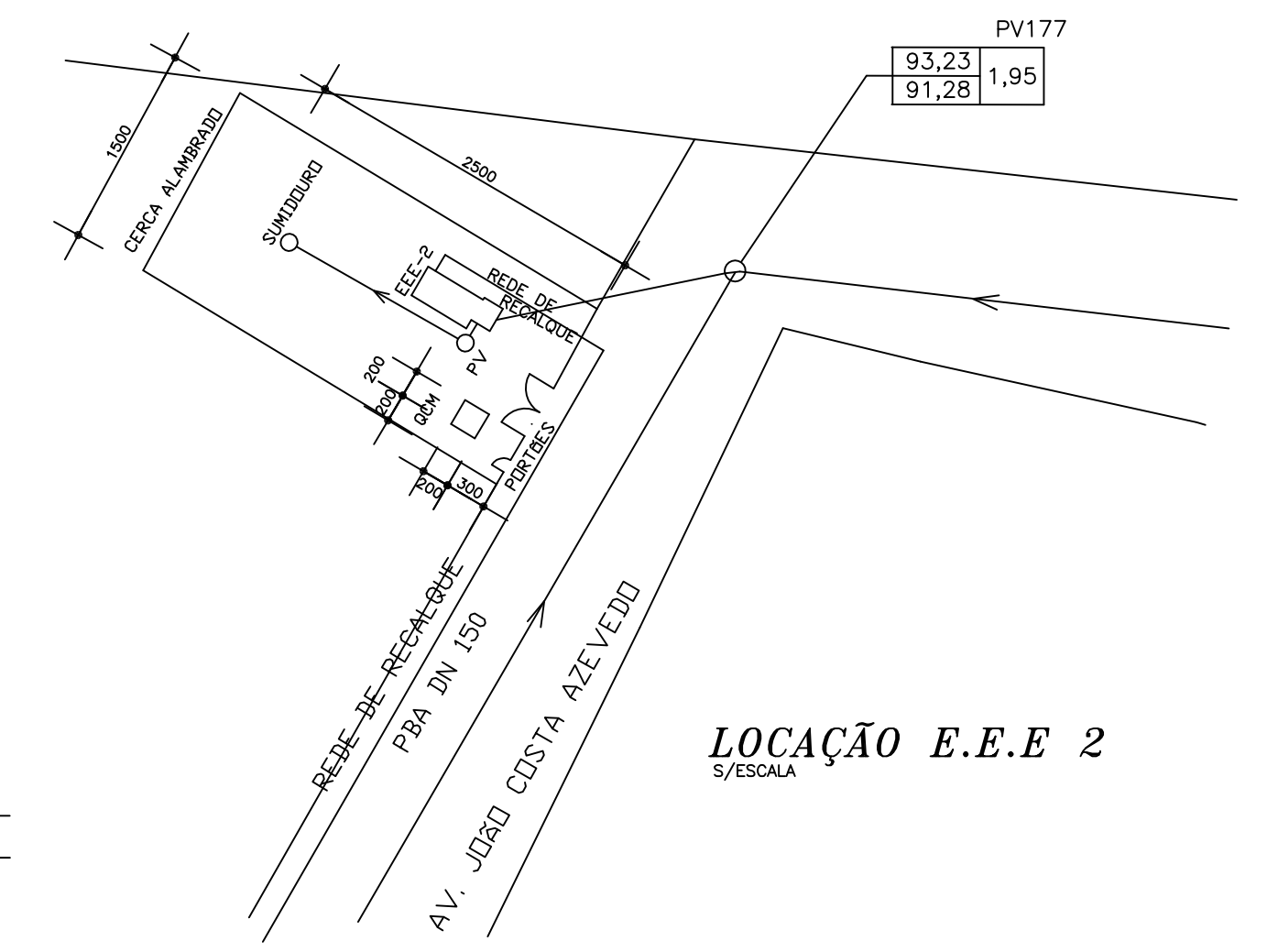


DETALHE DA GAIOLA  
ESCALA 1/12,5

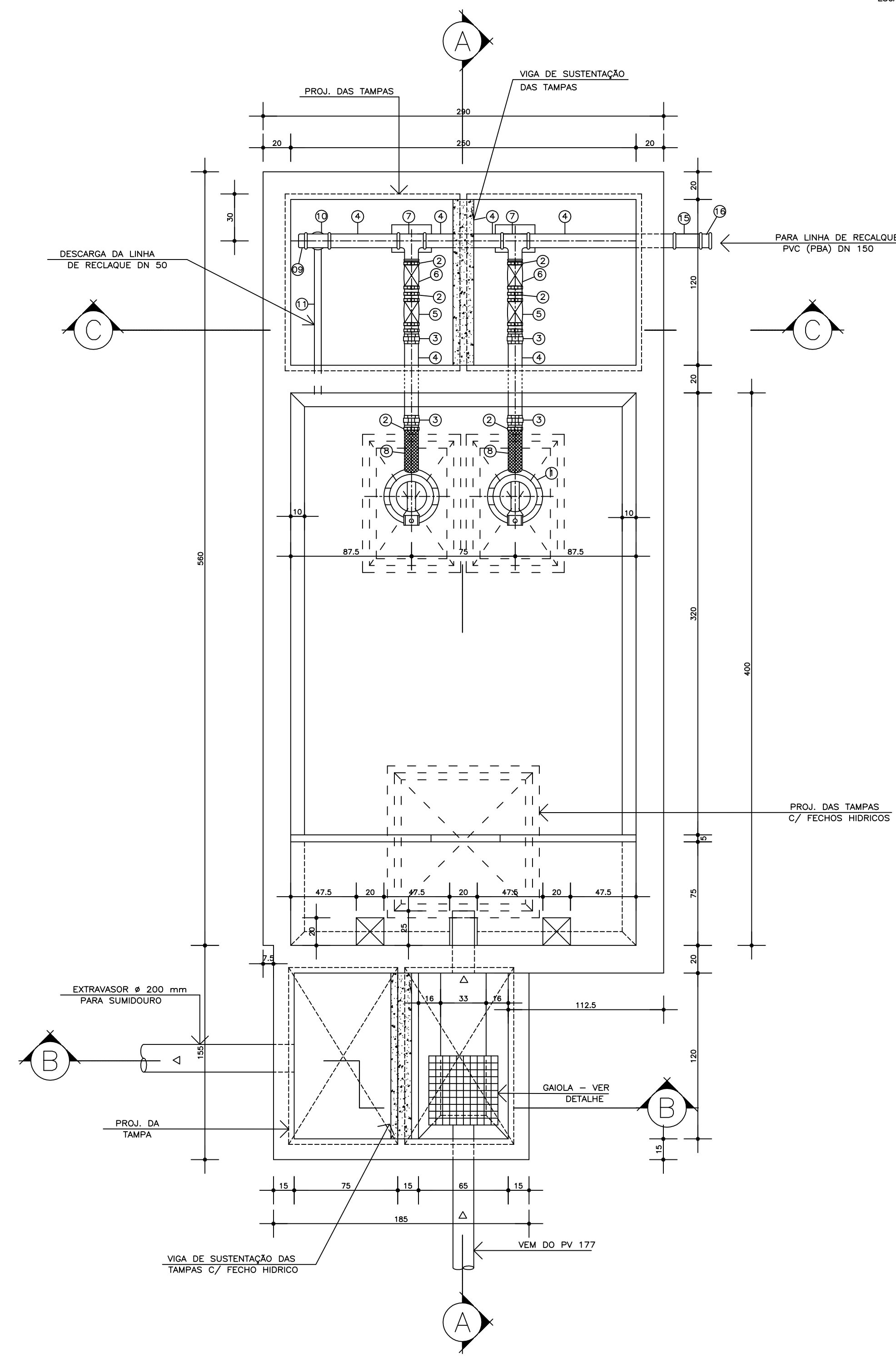


CORTE AA  
ESCALA 1/25

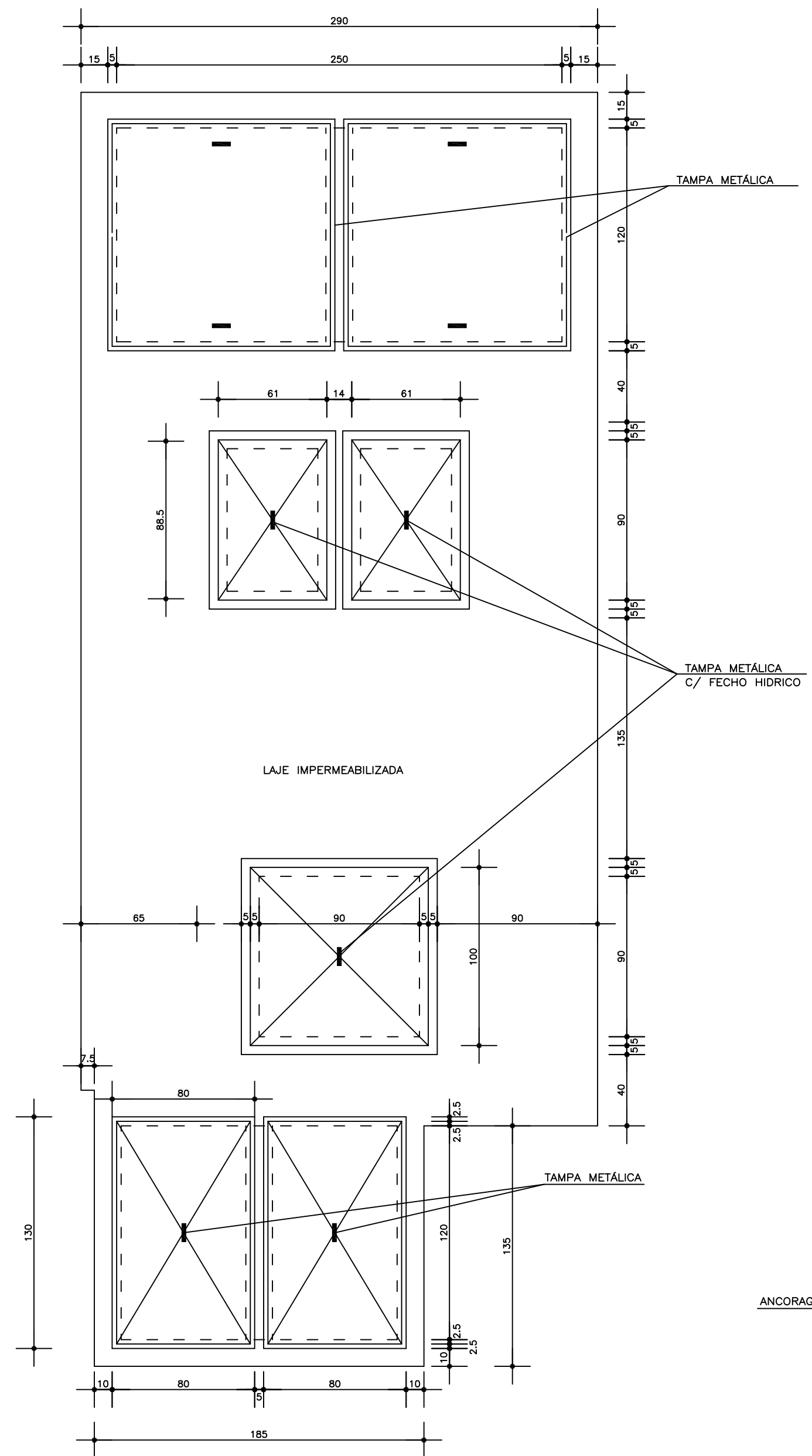
RELAÇÃO DE MATERIAL				
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO - 2				
Nº	DESCRIÇÃO	DIÂMETRO	QTDE	UNID
1	CONJUNTO MOTOBOMBA SUBMERSIVEL H.M. = 13,40 MCA Q = 48,60 M3/H		02	CJ
2	NIPLÉ DUPLO ROSC. GALVANIZADO	100	06	PÇ
3	UNIÃO COM ASSENTO CÔNICO DE FERRO	100	04	PÇ
4	TUBO DE AÇO GALVANIZADO	100	08	M
5	VALVULA DE RETENÇÃO EM BRONZE FUNDIDO CIWAL OU SIMILAR	100	02	PÇ
6	VALVULA DE GAVETA EM BRONZE FUNDIDO, CIWAL OU SIMILAR	100	02	PÇ
7	TE ROSC. GALVANIZADO	100	02	PÇ
8	MANGOTE FLEXIVEL SPIRALFLEX OU SIMILAR	100	-	M
9	TAMPÃO ROSC. GALVANIZADO	100	01	PÇ
10	TE ROSC. GALVANIZADO	100x75	01	PÇ
11	TUBO AÇO GALVANIZADO ROSC.	75	03	M
12	VALVULA GAV. BRONZE	75	01	PÇ
13	CURVA 90° GALVANIZADO ROSC.	75	01	PÇ
14	NIPLÉ DUPLO ROSC. GALVANIZADO	75	03	PÇ
15	LULA GALVANIZADA ROSC.	100	01	PÇ
16	EXTREMIDADE ROSC./PONTA PVC PBA	100	01	PÇ



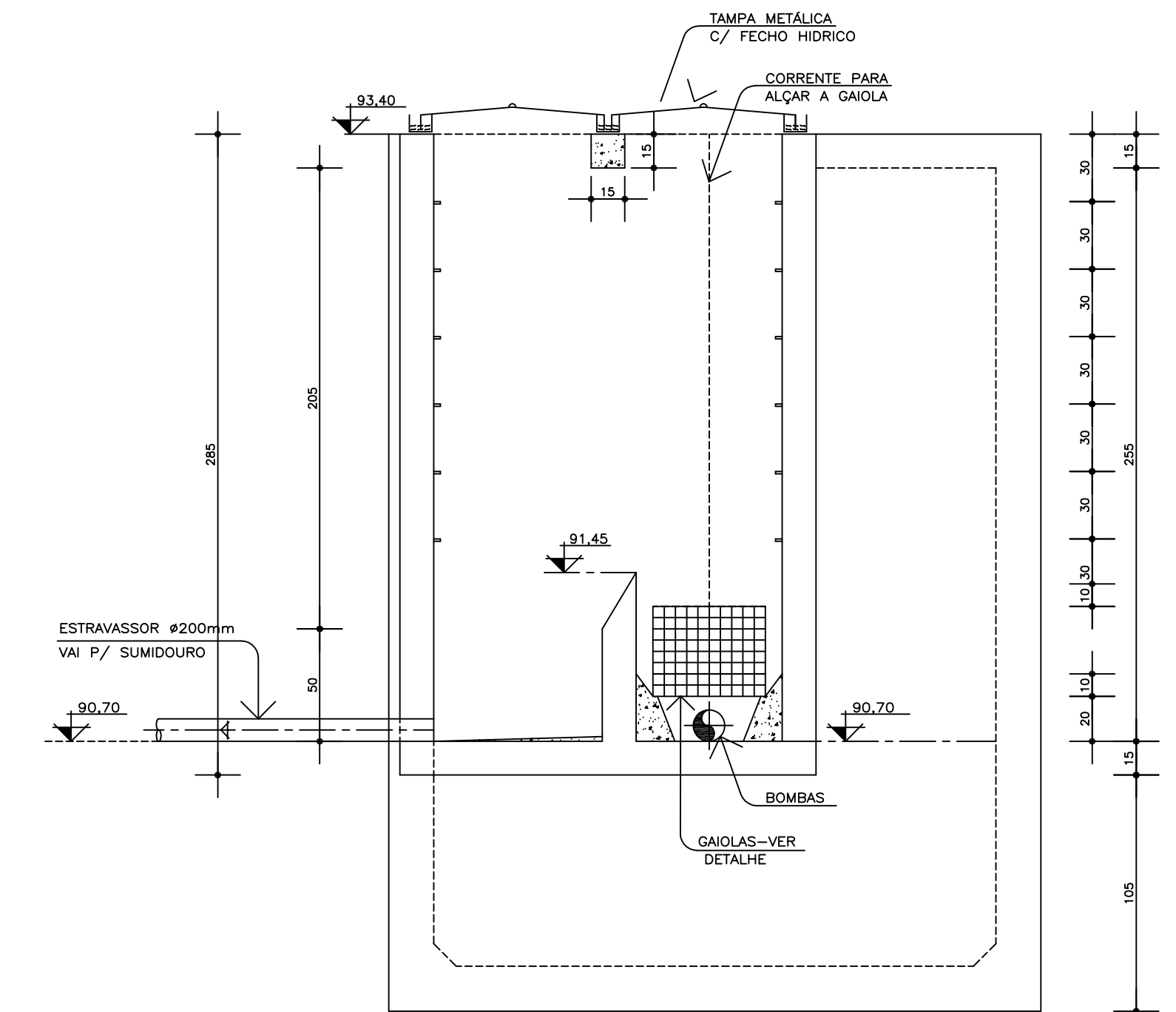
LOCAÇÃO E.E.E 2  
5/ESCALA



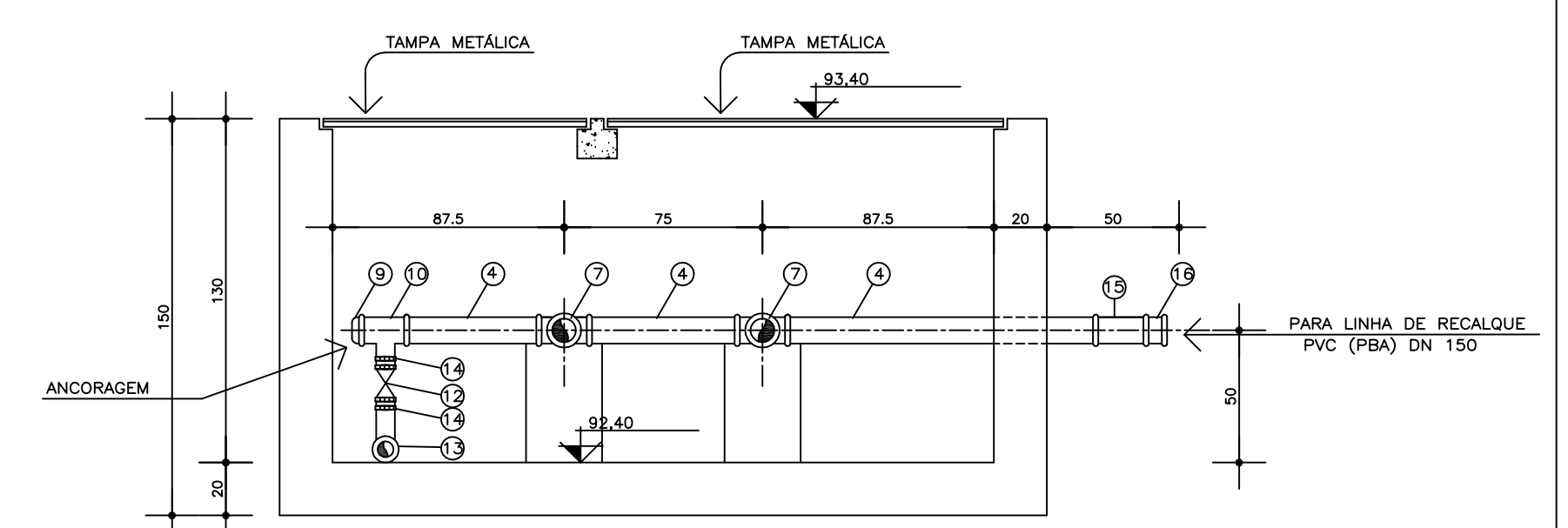
PLANTA E.E.E.1  
ESCALA 1/25



COBERTURA  
ESCALA 1/25



CORTE BB  
ESCALA 1/25



CORTE CC  
ESCALA 1/25

DMAE:

C.R.E.A.:

PROJETO : SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO  
 OBRA : LOTEAMENTO SÃO FRANCISCO / JOANA D'ARC  
 LOCAL : FAZENDA MARIMBONDO  
 UBERLÂNDIA - MG

ASSINATURAS:

PROPRIETÁRIO: DMAE - UBERLÂNDIA - M.G.  
 RENATO CELSO CARDOSO  
 DIRETOR GERAL

PROJETO : ALEXANDRE SILVA CREA 31.721/D-MG  
 DIRETOR TÉCNICO

CONTEÚDO :  
 EEE-2 - PLANTA E CORTES e LOCAÇÃO

ESCALA :  
 INDICADAS

DATA :  
 MAIO/02

FOLHA :  
 ÚNICA  
 DESENHO  
 VALÉRIO

**11.4 Anexo 4 - Projeto da rede coletora de esgoto que é atendida pelas estações elevatórias Joana D'arc B01 18 e Joana D'arc B02 19.**







**LEGENDA**

A - DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO EM MM. ( QDO NÃO COPIADO = 100 )  
 B - DECLIVIDADE DO TRACÇO EM m/m.  
 C - COMPRIMENTO DO TRACÇO EM m.  
 D - PROFUNDIDADE DA SARA EM m QDO A MESMA NÃO CERRA NO FUNDO NO P.V. ( SINALIZ. OVI TUBO DE QUESA )  
 E - COTA DO TERRENO EM m.  
 F - COTA DO FUNDO EM m.  
 G - PROPORCIONAL DO P.V. EM m.

**PLANTA DE ESCOTAMENTO SANITARIO**  
ESCALA 1/2000

DMAE:		
C.R.E.A. :		
<b>DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO</b> UBERLÂNDIA - M.G.		
PROJETO : SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO OBRA : LOTEAMENTO SÃO FRANCISCO / JOANA D'ARC LOCAL : FAZENDA MARIBONDO UBERLÂNDIA - M.G.	ÁREAS : ÁREA TOTAL: 781.027,80 SISTEMA VÁRIO: 180.322,79 LOTES: 355.734,68 VERDE E INSTITUCIONAL: 198.785,98 PROTEÇÃO DA COLÔNIA PENAL: 29.158,42 TOTAL LOTES: 1383	ASSINATURAS:  PROJETO :
CONTEÚDO : REDE DE ESGOTO SANITÁRIO E LEGENDA	ESCALA : INDICADAS	DATA : AGOSTO/01
		FOLHA : 01/02 DESENHO: VALERIO

**11.5 Anexo 5 – Autorização do DMAE de Uberlândia para utilização dos dados em dissertação.**

**DMAE**  
ÁGUA E ESGOTO

PREFEITURA DE  
**UBERLÂNDIA**  
NOSSA CIDADE CADA VEZ MELHOR

**Departamento Municipal de Água e Esgoto**

Autarquia Municipal, Lei Nº 1.555 de 23/11/1967  
CNPJ/MF: 25.769.548/0001-21 - Inscrição Estadual Isento  
Uberlândia - Minas Gerais

**OFÍCIO 2393 / 2010 – GTE / DT / DG**

Uberlândia, 17 de novembro de 2010.

**Assunto:** Responde carta de solicitação

Prezada Senhorita,

Informamos que, devido ao protocolo de solicitação de 12 de novembro de 2010, estamos autorizando o desenvolvimento de trabalho de pesquisa de mestrado junto às estações elevatórias de esgoto da cidade de Uberlândia tendo como objetivos principais:

1. Estudar as características físicas e volumetria das estruturas envolvidas no bombeamento de esgoto;
2. Levantar as características das bombas, bem como suas respectivas potências e consumos;
3. Levantar as características de consumo de energia elétrica em função da vazão bombeada, discretizada a cada dez minutos;
4. Utilizar métodos de otimização para obter uma economia no consumo de energia elétrica.

Atenciosamente,

  
David Thomaz Neto  
Diretor Técnico

  
Epaminondas Honorato Mendes  
Diretor Geral

À SRTA ADÉLIA MARA MASSULO