



PREFEITURA MUNICIPAL DE MURIAÉ - MG

# PROJETOS PARA SISTEMAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS DE MURIAÉ

Contrato 039/2018



AMPLIAÇÃO E REFORMA ETE SAFIRA  
PROJETO BÁSICO  
VOLUME I – MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULOS

**OTTAWA**  
ENGENHARIA

**SETEMBRO / 2019**

# PROJETOS PARA SISTEMAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS DE MURIAÉ – MG

Contrato 039/2018



## **Prefeitura Municipal de Muriaé**

Av. Maestro Sansão, nº236, Bairro Centro

Muriaé – MG CEP 36.880-002

Telefone: (32) 3696-3362

## AMPLIAÇÃO E REFORMA ETE SAFIRA PROJETO BÁSICO VOLUME I – MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULOS 1ª VERSÃO

**OTTAWA**  
ENGENHARIA

MURIAÉ  
SETEMBRO / 2019

OTTAWA Engenharia Ltda.  
Rua Nilton Baldo, 744-A, Bairro Paquetá, Belo Horizonte – MG

Projetos para Sistemas de Esgotos Sanitários de Muriaé – MG  
Ampliação e Reforma ETE Safira - Projeto Básico  
Volume I – Memorial Descritivo e de Cálculos  
Ano: 2018  
nº de f. 32

Prefeitura de Muriaé – Av. Maestro Sansão, nº236, Bairro Centro  
Muriaé – MG.

**SUMÁRIO**

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>1 INFORMAÇÕES CADASTRAIS.....</b>	<b>6</b>
1.1 Identificação do Proponente .....	6
1.2 Responsabilidade Técnica pelo Projeto de Engenharia .....	6
1.3 Equipe Técnica.....	6
<b>2 RESUMO DA CONCEPÇÃO TÉCNICA .....</b>	<b>8</b>
<b>3 PARÂMETROS DE PROJETO .....</b>	<b>9</b>
<b>4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS .....</b>	<b>10</b>
4.1 Interligações das Elevatórias Existentes à Nova Elevatória Final .....	10
4.1.1 Situação atual e futura .....	10
4.1.2 Quesitos a serem verificados e atendidos .....	10
4.1.3 Diâmetros e materiais .....	10
4.1.4 Tensão trativa .....	11
4.1.5 Declividade .....	11
4.1.6 Velocidade de escoamento .....	12
4.1.7 Lâmina d'água .....	12
4.1.8 Sistematização dos cálculos e resultados .....	12
4.2 Elevatória Final.....	13
4.2.1 Justificativa Técnica .....	13
4.2.2 Informações para o dimensionamento.....	13
4.2.3 Escolha dos Diâmetros .....	13
4.2.4 Cálculo da altura manométrica.....	14
4.2.5 Ponto de operação.....	15
4.2.6 Especificação dos conjuntos moto-bombas.....	15
4.2.7 Curva característica do conjunto moto bomba.....	16
4.2.8 Poço de sucção.....	17
4.2.9 Linha de recalque.....	18
4.2.10 Transientes hidráulicos .....	18
4.2.11 Empuxos e blocos de ancoragem .....	18
4.3 Adaptação do Decanto Digestor em Reator UASB .....	19
4.3.1 Dados para o dimensionamento.....	20
4.3.2 Geometria de cada unidade .....	20
4.3.3 Verificação do tempo de detenção hidráulica (TDH).....	21
4.3.4 Verificação das cargas aplicadas .....	21
4.3.5 Verificação das velocidades superficiais .....	21
4.3.6 Dimensionamento do compartimento de decantação .....	22
4.3.7 Dimensionamento das passagens para o decantador .....	23
4.3.8 Escolha do diâmetro dos tubos de entrada .....	23
4.3.9 Estimativa da eficiência na remoção das demandas de oxigênio .....	24
4.3.10 Estimativa das concentrações de DQO e DBO no efluente do UASB.....	24
4.3.11 Avaliação da produção total de lodo.....	24
4.3.12 Avaliação da produção total de metano.....	24
4.3.13 Avaliação da produção total de biogás .....	25
4.3.14 Verificação da taxa de liberação de biogás .....	25

4.3.15	Disposição final do biogás.....	26
4.4	Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente Existente.....	26
4.4.1	Dados para verificação.....	26
4.4.2	Verificação dos principais parâmetros operacionais.....	27
4.4.3	Eficiências do tratamento.....	28
4.4.4	Estimativa de concentração de DBO no efluente final.....	28
4.5	Leitos de Secagem.....	28
4.5.1	Verificação da área necessária.....	28
4.5.2	Caracterização das células de secagem.....	29
4.5.3	Verificação da lâmina aplicada (e).....	29
4.5.4	Volume teórico de lodo desidratado (VLD).....	29
4.5.5	Vazão de drenados.....	29
<b>5</b>	<b>PLANO DE PARTIDA E OPERAÇÃO DA ETE.....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>31</b>

## **APRESENTAÇÃO**

O presente trabalho constitui-se no projeto básico das melhorias e ampliações da Estação de Tratamento de Esgotos Safira elaborado por OTTAWA ENGENHARIA LTDA, contratada pelo Município de Muriaé através do PROCESSO LICITATÓRIO PREGÃO 076/2018 - CONTRATO Nº 039/2018.

## 1 INFORMAÇÕES CADASTRAIS


### 1.1 Identificação do Proponente

- Razão Social: Prefeitura Municipal de Muriaé
- CNPJ: 17.947.581/0001-76
- Prefeito: Ioannis Konstantinos Grammatikopoulos
- Endereço: Av. Maestro Sansão, nº 236, Centro
- Município/UF: Muriaé - MG
- CEP: 36.880-002
- Telefax: (32) 3696-3362
- Endereço eletrônico: cmagno.smderi@gmail.com

### 1.2 Responsabilidade Técnica pelo Projeto de Engenharia

- Nome: Ottawa Engenharia Ltda.
- Endereço: Rua Nilton Baldo, 744-A  
Bairro Jardim Paquetá  
Belo Horizonte – MG / CEP: 31.330-660
- Endereço eletrônico: ottawaeng@terra.com.br

### 1.3 Equipe Técnica

- Coordenador Geral do Projeto, Engenheiro Civil:  
  
Carlos Mauro Novais Gonçalves  
CREA-MG: 49.318/ D
- Especialista, Engenheiro Civil:  
Hudson Costa Rocha  
CREA-MG: 99.507/D
- Engenheiro Civil de Estruturas:  
Olavo Ianhez Neto  
CREA-MG: 154.912/D
- Engenheiro Orçamentista:  
Gildácio Pereira Chagas  
CREA-MG: 184.893/D

- Engenheiro Eletricista:  
Coracy Martins  
CREA-MG: 36.457/D
  
- Consultor Ambiental:  
Guilherme de Faria Barreto  
Biólogo CRBio: 30.774-4



## 2 RESUMO DA CONCEPÇÃO TÉCNICA

Conforme descrito no Estudo de Concepção foi definido, para a ETE Safira a adaptação dos Decantos Digestores existentes em um Reatores UASB, o que aumenta a eficiência do tratamento e dessa forma, não será necessária ampliação dos filtros existentes, que por sua vez receberão nova impermeabilização interna de forma a evitar o ataque nocivo dos gases gerados no processo de tratamento.

De forma a otimizar e reduzir custos de operação do sistema será implantada uma nova elevatória final, com conjuntos moto-bombas mais eficientes e mais resistentes à abrasão, em substituição às duas elevatórias existentes.

Além disso, será implantado um novo queimador de gases mais afastado dos reatores.

### 3 PARÂMETROS DE PROJETO

O dimensionamento das unidades propostas foi realizado a partir dos parâmetros básicos de projeto estabelecidos no Estudo de Concepção que precedeu à elaboração de todos os projetos básicos contidos no objeto da contratação citada na apresentação desse relatório.

Apresenta-se a seguir a tabela com os resumos das vazões dos pontos de interesse do projeto.

Tabela 1. Vazões ETE Safira

Bairros Atendidos	População	Vazões de Projeto				
	Final de Plano (hab)	Infiltração Final de Plano (L/s)	Mínima Final de Plano (L/s)	Média Final de Plano (L/s)	Máx.dia Final de Plano (L/s)	Máx.h Final de Plano (L/s)
Safira	7923	1,58	6,55	13,10	15,72	22,31
João XXIII	4413	0,88	3,65	7,30	8,76	12,43
Augusto Abreu	95	0,02	0,08	0,16	0,19	0,27
Santa Helena	46	0,01	0,04	0,08	0,10	0,13
Planalto	2336	0,47	1,94	3,87	4,64	6,58
Parte da Cerâmica	1624	0,32	1,34	2,68	3,22	4,57
Colety	2152	0,43	1,78	3,56	4,27	6,06
São Gotardo	2018	0,40	1,67	3,33	4,00	5,68
Parte do Quinta das Flores	391	0,08	0,33	0,65	0,78	1,10
Prefeito Hélio Araújo	2976	0,60	2,47	4,93	5,92	8,39
Alterosa	372	0,07	0,31	0,61	0,73	1,04
João VI	455	0,09	0,38	0,75	0,90	1,28
Distrito Industrial	95	0,02	0,08	0,16	0,19	0,27
<b>Total</b>	<b>24.893</b>	<b>4,98</b>	<b>20,59</b>	<b>41,17</b>	<b>49,40</b>	<b>70,12</b>

## 4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

### 4.1 Interligações das Elevatórias Existentes à Nova Elevatória Final

#### 4.1.1 Situação atual e futura

A ETE Safira conta atualmente com duas elevatórias que serão desativadas, a Elevatória 1 localizada próxima ao Tratamento Preliminar e a Elevatória 2 situada na outra margem do córrego que atravessa a área da ETE. O dimensionamento das redes que interligarão as duas elevatórias existentes à nova elevatória final foi realizado de maneira similar ao dimensionamento de interceptores de esgotos, cuja formulação matemática e os parâmetros técnicos empregados no projeto estão descritos nos subitens a seguir apresentados.

A Elevatória 1 recebe as contribuições dos bairros Safira, João XXIII, Augusto Abreu, Santa Helena, Planalto e parte da Cerâmica, cujas vazões somadas, mínima e máxima, são 37,93 L/s e 46,29 L/s respectivamente.

A Elevatória 2 recebe o restante das contribuições da bacia a ETE Safira, cujas vazões mínima e máxima são, respectivamente, 19,52 L/s e 23,82 L/s. Como essa elevatória encontra-se na outra margem do córrego que atravessa a área da ETE será implantada uma travessia sob o mesmo, cujo detalhamento está apresentado na planta de interligações da ETE Safira.

#### 4.1.2 Quesitos a serem verificados e atendidos

- Tensão Trativa mínima .....  $T_t > 1,0 \text{ Pa}$
- Vazão mínima de cálculo ..... 1,5 L/s
- Velocidade máxima na tubulação ..... 5,0 m/s
- Lâmina d'água máxima ..... 75%
- Distância máxima entre PV's ..... 80 m
- Tubo de queda a partir de degraus superiores a .....  $\geq 0,50 \text{ m}$

#### 4.1.3 Diâmetros e materiais

A determinação dos diâmetros das tubulações resulta do dimensionamento hidráulico e foi prevista a utilização de tubos DN 250 mm em PVC e ferro fundido, este último será aplicado na travessia sob o curso d'água.

#### 4.1.4 Tensão trativa

Para todos os trechos das tubulações foram verificadas as tensões trativas médias, sendo o valor mínimo admitido igual a 1,0 Pa, valores esses impostos para garantir as condições de auto limpeza das tubulações.

As tensões trativas ( $T_t$ ), foram calculadas através das seguintes expressões matemáticas:

$$T_t = \delta \times R_H \times l$$

$$R_H = \frac{D}{4} \left( 1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta} \right)$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left( 1 - 2 \frac{y}{D} \right)$$

$$\frac{y}{D} = K \left\{ \text{sen} \left[ \frac{\pi}{180} (53 + 100K) \right] \right\}^{\left( -\frac{1}{6} \right)}$$

$$K = \text{tg} \left[ \frac{\pi}{180} \left( \frac{4961,5 \times n \times Q}{D^{\frac{8}{3}} \times l^{\frac{1}{2}}} \right)^{0,493} \right]$$

Obs.: o fator  $\frac{\pi}{180}$  é utilizado para converter o argumento das funções trigonométricas de graus para radianos.

Onde:

$\delta$  = peso específico do esgoto =  $10^4$  N/m<sup>3</sup>;

$l$  = declividade do trecho (m/m);

$D$  = diâmetro da tubulação;

$y$  = altura da lâmina d'água;

$Q$  = vazão no trecho;

$n$  = coeficiente de *Manning* = 0,013.

#### 4.1.5 Declividade

As declividades mínimas das tubulações foram definidas para atendimento simultâneo aos critérios tensão trativa maior ou igual a 1,0 Pa e lâmina d'água menor ou igual a 75%. A declividade máxima é aquela que proporciona

velocidade de escoamento igual a 5,0 m/s.

#### 4.1.6 Velocidade de escoamento

A velocidade de escoamento do esgoto em tubulação de seção circular foi avaliada pela expressão:

$$V = \frac{8Q}{D^2(\theta - \text{sen}\theta)}$$

#### 4.1.7 Lâmina d'água

As lâminas d'água foram calculadas admitindo o escoamento em regime uniforme e permanente, e seu valor máximo expresso como percentual do diâmetro da tubulação no presente caso, 75%.

#### 4.1.8 Sistematização dos cálculos e resultados

##### 4.1.8.1 Premissas do dimensionamento

De acordo com as vazões dos trechos, o traçado das tubulações e formulação matemática apresentada, elaborou-se os dimensionamentos dos dois trechos de rede, cujos resultados estão apresentados a seguir:

##### 4.1.8.2 Elevatória 1 à nova Elevatória Final

- Vazão mínima ..... 37,93 L/s
- Vazão máxima ..... 46,29 L/s
- Diâmetro ..... 250 mm
- Material ..... PVC
- Extensão total ..... 17,00 m
- Declividade ..... 1,00%
- Tensão trativa ..... 7,00 Pa
- Lâmina d'água ..... 68%
- Velocidade ..... 1,30 m/s

##### 4.1.8.3 Elevatória 2 à nova Elevatória Final

- Vazão mínima ..... 19,52 L/s
- Vazão máxima ..... 23,82 L/s
- Diâmetro ..... 250 mm
- Material ..... ferro fundido e PVC
- Extensão total ..... 30,55 m

- Declividade ..... 0,50%
- Tensão trativa ..... 3,50 Pa
- Lâmina d'água ..... 55%
- Velocidade ..... 0,86 m/s

## 4.2 Elevatória Final

### 4.2.1 Justificativa Técnica

Devido às condições topográficas da área destinada à implantação da ETE, será necessário implantar uma elevatória de esgotos para fornecimento de carga hidráulica ao sistema de tratamento de esgotos. Com o intuito de simplificar as atividades operacionais e de manutenção desse sistema de recalque optou-se pela utilização de bombas do tipo helicoidais.

### 4.2.2 Informações para o dimensionamento

- Vazão máxima ..... 70,12 L/s
- Vazão mínima sem infiltração ..... 14,82 L/s
- Extensão da linha de sucção ..... 5,85 m
- Extensão da linha de recalque ..... 12,80 m
- Cota do N.A. máximo no poço de sucção ..... 197,000 m
- Cota do N.A. mínimo no poço de sucção ..... 196,000 m
- Cota do eixo da bomba ..... 199,280 m
- Cota de chegada no tratamento preliminar ..... 205,000 m
- Altura geométrica de sucção ..... 3,280 m
- Altura geométrica de recalque ..... 5,720 m
- Altura geométrica total ..... 9,000 m

### 4.2.3 Escolha dos Diâmetros

#### 4.2.3.1 Diâmetro de sucção ( $D_s$ )

Para obtenção de baixas velocidades no barriete adotou-se,  $D_s = 250$  mm que também é do diâmetro do bocal de sucção da bomba especificada.

#### 4.2.3.2 Diâmetro da linha de recalque ( $D_R$ )

Admitiu-se o diâmetro de 250 mm para a linha de recalque coincidente com o diâmetro do bocal de descarga da bomba especificada.

#### 4.2.4 Cálculo da altura manométrica

##### 4.2.4.1 Perda de carga contínua na tubulação de sucção

- Extensão da linha de sucção .....5,85 m
- Diâmetro da linha de sucção .....250 mm
- Vazão ( $Q_{m\acute{a}x}$ )..... 70,12 L/s
- Velocidade ..... 1,43 m/s
- Perda de carga unitária (J) .....0,0070 m/m
- Perda de carga ( $hf_{cs}$ ) .....0,041 m

##### 4.2.4.2 Perda de carga contínua na tubulação de recalque

- Extensão da linha de recalque ..... 12,80 m
- Diâmetro do recalque .....250 mm
- Vazão ( $Q_{m\acute{a}x}$ )..... 70,12 L/s
- Velocidade ..... 1,43 m/s
- Perda de carga unitária (J) .....0,0070 m/m
- Perda de carga ( $hf_{cr}$ ) .....0,090 m

##### 4.2.4.3 Perdas de carga localizadas na sucção

Tabela 2. Perda de Carga Localizada na sucção

Singularidades	Qte	DN (mm)	Vazão (L/s)	V (m/s)	K	$hf_{lr}$ (m)
Curva 90°	5	250	70,12	1,43	0,40	0,208
<b>Total</b>						<b>0,208</b>

##### 4.2.4.4 Perdas de carga localizadas no recalque

Tabela 3. Perdas de Carga Localizadas

Singularidades	Qte	DN (mm)	Vazão (L/s)	V (m/s)	K	$hf_{lr}$ (m)
Válvula de retenção	1	250	70,12	1,43	2,75	0,261
Registro de gaveta	1	250	70,12	1,43	0,20	0,021
Curva 90°	5	250	70,12	1,43	0,40	0,208
Curva 45°	6	250	70,12	1,43	0,20	0,125
Tê passagem direta	1	250	70,12	1,43	0,60	0,063
Tê saída lateral	1	250	70,12	1,43	1,30	0,135
Saída de canalização	1	250	70,12	1,43	1,00	0,104
<b>Total</b>						<b>0,917</b>

##### 4.2.4.5 Perda de carga total

$$hf = hf_{cs} + hf_{ls} + hf_{cr} + hf_{lr}$$

$$hf = 0,041 + 0,208 + 0,090 + 0,917$$

$$hf = 1,256 \text{ m}$$

#### 4.2.4.6 Altura manométrica

$$H_{\text{man}} = H_g + h_f$$

$$H_{\text{man}} = 9,000 + 1,256 \quad H_{\text{man}} = 10,256\text{m}$$

#### 4.2.5 Ponto de operação

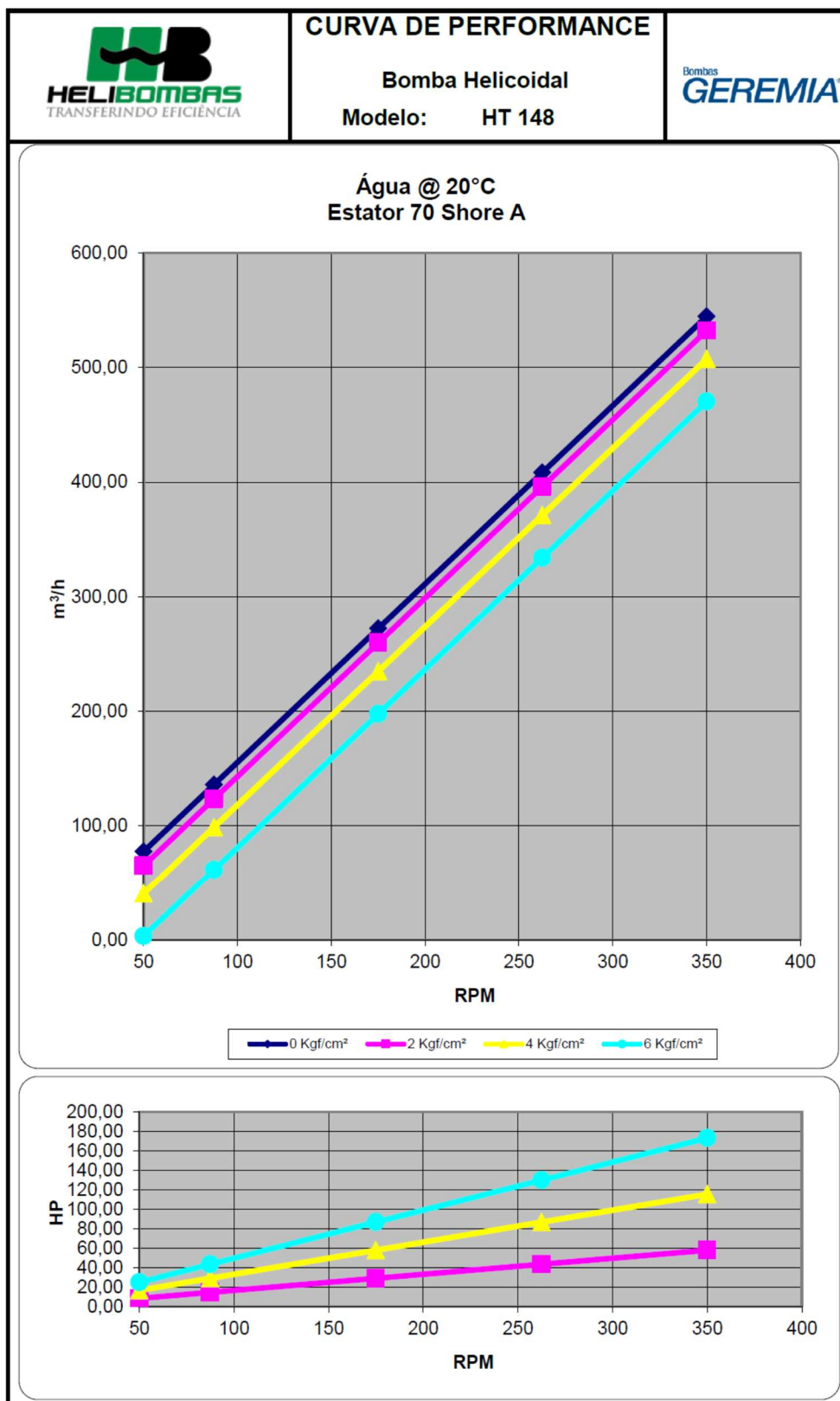
O ponto de operação ( $Q = 252,432 \text{ m}^3/\text{h}$   $H_{\text{man}} = 10,256$  metros) aplicado à curva da bomba selecionada permite confirmar a sua escolha e todas condições operacionais do sistema de recalque.

#### 4.2.6 Especificação dos conjuntos moto-bombas

- Marca ..... Helibombas
- Modelo ..... Geremia HT-148
- Diâmetro da sucção ..... 250 mm
- Diâmetro da descarga ..... 250 mm
- Rotação da bomba ..... 170 r.p.m.
- Rendimento da bomba ..... 36,9 %
- Potência consumida ..... 26 cv
- Potência do motor ..... 40 cv 4 polos
- Vazão da bomba ..... 252,432 m<sup>3</sup>/h
- Altura manométrica total ..... 10,256 m
- “Aspiração” (Altura manométrica de sucção) ..... 3,529 m



#### 4.2.7 Curva característica do conjunto moto bomba



Revised: July 2010 Helibobmas, Bombas Geremia®. All Rights Reserved

#### 4.2.8 Poço de sucção

##### 4.2.8.1 Volume do poço de sucção

Para garantir a intermitência de 10 minutos entre duas partidas consecutivas do conjunto moto-bomba, é necessário um poço de sucção com volume útil ( $V_u$ ) definido da seguinte forma.

( $T_1$ ) tempo de enchimento do poço de sucção

$$T_1 = \frac{V_u}{Q_e}$$

$Q_e$ , vazão afluyente de esgoto.

( $T_2$ ) = tempo de esvaziamento do poço de sucção

$$T_2 = \frac{V_u}{Q_B - Q_e}$$

$Q_B$  - Vazão da bomba definida no item anterior.

( $T_C$ ) Tempo do Ciclo

$T_C = T_1 + T_2$  deve ser no mínimo igual a 10 minutos.

$$\frac{V_u}{Q_e} + \frac{V_u}{Q_B - Q_e} \geq 10$$

Através do cálculo diferencial determina-se o menor volume do poço de sucção que satisfaz a relação acima, expressa pela fórmula:

$$V_u \geq 2,5 \times Q_B$$

$$Q_B = 72,12 \text{ L/s} \rightarrow 4,3272 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$V_u \geq 2,5 \times 4,3272$$

$$V_u \geq 10,82 \text{ m}^3$$

##### 4.2.8.2 Caracterização do poço de sucção

- Formato ..... Prismático
- Comprimento ..... 2,55 m
- Largura ..... 4,15 m
- Submergência mínima ..... 0,60 m
- Altura útil ..... 1,00m
- Altura efetiva ..... 1,10 m
- Volume útil ..... 10,58 m<sup>3</sup>
- Volume efetivo ..... 11,64 m<sup>3</sup>

- Vazão mínima sem infiltração ..... 14,82 L/s
- Tempo de detenção hidráulico ..... 13,09 minutos

#### 4.2.9 Linha de recalque

A linha de recalque será locada a partir da elevatória de esgoto e seguirá dentro da área da ETE. Suas principais características hidráulicas e construtivas são:

- Constituição .....ferro fundido
- Diâmetro .....250 mm
- Extensão ..... 12,80 m
- Velocidade do fluxo..... 1,43 m/s

#### 4.2.10 Transientes hidráulicos

Diante das principais características hidráulicas apresentadas por este sistema recalque, baixas altura manométrica e velocidade de fluxo, é desnecessário, neste caso, o estudo das pressões transientes pois é sabido de antemão que os transientes hidráulicos pouco afetarão o sistema de recalque, principalmente porque sua linha de recalque será constituída de tubos de ferro fundido resistentes aos esforços solicitantes decorrentes de pressões negativas no interior da linha de recalque.

#### 4.2.11 Empuxos e blocos de ancoragem

O dimensionamento dos blocos de ancoragem é precedido pelos cálculos dos empuxos hidráulicos, realizados através da formulação matemática descrita na sequencia:

$$E_H = 2P \times \frac{\pi D_e^2}{4} \times \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Onde:

$E_H$  = Empuxo hidráulico

$P$  = Pressão interna na tubulação no ponto em estudo

$\theta$  = Deflexão do eixo da tubulação

$D_e$  = Diâmetro externo da tubulação

De forma aproximada, para curvas no plano horizontal LASMAR (2003) determina que a utilização de blocos de ancoragem possa ser dispensada caso

a tensão transmitida ao solo, referente ao empuxo aplicado, distribuído no retângulo, definido por 50 cm de tubo e por seu diâmetro externo, seja inferior a tensão horizontal admissível do solo, admitida no máximo em 40 kN/m<sup>2</sup>, caso essa grandeza não resulte de ensaios de laboratório de mecânica dos solos.

$$\sigma_H = \frac{E_H}{50\text{cm} \times D_e} \leq \sigma_{\text{ADM-H}} = 40 \text{ kN/m}^2$$

$$E_H \leq (50\text{cm} \times D_e) \times \sigma_{\text{ADM-H}}$$

Onde:

$\sigma_H$  = Tensão horizontal aplicada ao solo

$\sigma_{\text{ADM-H}}$  = Tensão horizontal máxima admitida no solo.

Em tubulações de diâmetro externo de 274 mm, o empuxo hidráulico máximo a partir do qual os blocos de ancoragem são necessários é:

$$E_H \leq (0,50 \times 0,274) \times 40$$

$$E_H \leq 5,48 \text{ kN}$$

Através da formulação matemática apresentada elaborou-se uma planilha de cálculos dos empuxos hidráulicos aplicados nas deflexões da tubulação, e o respectivo dimensionamento dos blocos de ancoragem. Admitiu-se para a linha de recalque da elevatória da ETE Safira um tipo de bloco de ancoragem, aplicável às curvas de 90°.

Apresentam-se no anexo 2 a planilha de cálculo de empuxo hidráulico e de dimensionamento dos blocos de ancoragem, no qual, a favor da segurança, foi considerada a pressão máxima verificada na linha de recalque correspondente à pressão manométrica máxima acrescida de 50% cujo resultado é 15,0 mca, (metros de coluna d'água).

### 4.3 Adaptação do Decanto Digestor em Reator UASB

Para adaptação dos decantos digestores existentes será necessária a demolição das lajes de cobertura, além das canaletas de recolhimento interno e paredes de divisão interna, conforme detalhado no projeto estrutural, para construção das novas estruturas internas e nova laje de cobertura.

Salienta-se que para não paralisar completamente o funcionamento da ETE as obras nos dois decanto digestores não ocorrerão simultaneamente de

forma a garantir que ao menos um módulo da ETE permaneça em funcionamento.

#### 4.3.1 Dados para o dimensionamento

▪ N° de habitantes .....	24,893
▪ Carga DBO “per capita” .....	54 g DBO/hab/dia
▪ Carga DQO “per capita” .....	90 g DBO/hab/dia
▪ Carga total de DBO.....	1344 kg DBO/dia
▪ Carga total de DQO .....	2240 kg DQO/dia
▪ Vazão média total .....	41,17 L/s (3557,09 m <sup>3</sup> /dia)
▪ Vazão máxima horária total .....	70,12 L/s (6058,37 m <sup>3</sup> /dia)
▪ Vazão média por módulo .....	20,59 L/s (1778,54 m <sup>3</sup> /dia)
▪ Vazão máxima horária por módulo .....	35,06 L/s (3029,18 m <sup>3</sup> /dia)
▪ Concentração de DBO .....	378 mg/L
▪ Concentração de DQO .....	630 mg/L
▪ Coeficiente de produção de sólidos (Y) .....	0,12 kg SST/kg DQOapl
▪ Coef. prod sólidos, em termos de DQO (Yobs). 0,21 kg DQOLodo/kg DQOapl	
▪ Concentração do lodo de descarte .....	C <sub>1</sub> = 3%
▪ Densidade do lodo de descarte .....	d <sub>3%</sub> = 1.020 kg/m <sup>3</sup>
▪ Concentração do lodo desidratado .....	C <sub>2</sub> = 50%
▪ Densidade do lodo desidratado .....	d <sub>50%</sub> = 1.040 kg/m <sup>3</sup>

#### 4.3.2 Geometria de cada unidade

A ETE Safira conta com dois Decanto Digestores compostos, cada um, de 12 módulos tronco piramidal que serão aproveitados e apresentam as seguintes características geométricas.

##### 4.3.2.1 Volume prismático de uma unidade

▪ Comprimento total do reator .....	29,00 m
▪ Largura total do reator .....	9,50 m
▪ Altura útil.....	2,60 m
▪ Volume .....	716,30 m <sup>3</sup>

##### 4.3.2.2 Volume tronco piramidal

▪ Número de troncos de pirâmide.....	12 unidades
--------------------------------------	-------------

- Lado da base maior .....4,45 m
- Lado da base menor .....0,60 m
- Altura do tronco piramidal .....1,93 m
- Área maior .....19,80 m<sup>2</sup>
- Área menor .....0,36 m<sup>2</sup>
- Volume total dos troncos piramidais .....176,27 m<sup>3</sup>

#### 4.3.2.3 Volume total de cada reator

- Altura útil total .....4,53 m
- Área superficial .....275,50 m<sup>2</sup>
- Volume total .....892,57 m<sup>3</sup>

#### 4.3.3 Verificação do tempo de detenção hidráulica (TDH)

$$TDH = \frac{V}{Q};$$

$$TDH = \frac{892,57}{20,59 \times 3,6}$$

TDH = 12,04 horas (superior a 8 horas)

#### 4.3.4 Verificação das cargas aplicadas

##### 4.3.4.1 Carga orgânica volumétrica

$$COV = \frac{L_0}{V}$$

$$COV = \frac{2240}{2 \times 892,57}$$

$$COV = 1,25 \text{ KgDQO/m}^3/\text{dia}$$

##### 4.3.4.2 Carga hidráulica volumétrica

$$CHV = \frac{Q}{V}$$

$$CHV = \frac{3557,09}{2 \times 892,57}$$

$$CHV = 1,99 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{dia}$$

#### 4.3.5 Verificação das velocidades superficiais

$$v = \frac{Q}{A}$$

4.3.5.1 Para  $Q_{\text{méd}} = 74,11 \text{ m}^3/\text{h}$

$v_{\text{méd}} = 0,29 \text{ m/h}$

4.3.5.2 Para  $Q_{\text{máx}} = 126,22 \text{ m}^3/\text{h}$

$v_{\text{máx}} = 0,49 \text{ m/h}$

Valores recomendáveis segundo *Lettinga & Hulshoff*:

$v_{\text{méd}} < 0,50 \text{ m/h}$  (preferencialmente), ou no máximo  $< 0,70 \text{ m/h}$

$v_{\text{máx}} < 0,90 \text{ m/h}$  (preferencialmente), ou no máximo  $< 1,11 \text{ m/h}$

#### 4.3.6 Dimensionamento do compartimento de decantação

4.3.6.1 Volume o decantador ( $V_d$ )

$V_d = k \times L \times (c \times e + (c + d) \times f / 2)$ ;

Geometria dos decantadores para cada unidade:

- N° de unidades .....  $k = 6$
- Comprimento .....  $L = 9,50 \text{ m}$
- Largura da seção retangular .....  $c = 4,66 \text{ m}$
- Abertura das passagens .....  $d = 0,75 \text{ m}$
- Altura da seção retangular .....  $e = 0,45 \text{ m}$
- Altura da seção trapezoidal .....  $f = 1,45 \text{ m}$

Cálculo do volume ( $V_d$ )

$V_d = 343,10 \text{ m}^3$

4.3.6.2 Área do decantador ( $A_d$ )

$A_d = k \times c \times L$

$A_d = 265,62 \text{ m}^2$

4.3.6.3 Verificação das taxas de aplicação superficial (TAS)

$$TAS = \frac{Q}{A_d}$$

Para  $Q_{\text{méd}} = 74,11 \text{ m}^3/\text{h}$

$TAS = 0,28 \text{ m/h}$

Para  $Q_{\text{máx}} = 126,22 \text{ m}^3/\text{h}$

$TAS = 0,48 \text{ m/h}$

As taxas de aplicação superficiais estão de acordo com os valores recomendados pela literatura técnica que são:

Para  $Q_{\text{méd}}$  TAS  $\leq 0,6$  a  $0,8$  (m/h)

Para  $Q_{\text{máx}}$  TAS  $< 1,2$  m/h

#### 4.3.6.4 Verificação dos tempos de detenção hidráulica (TDH)

$$TDH = \frac{V_d}{Q}$$

Para  $Q_{\text{méd}} = 74,11 \text{ m}^3/\text{h}$

TDH = 4,63 h

Para  $Q_{\text{máx}} = 126,22 \text{ m}^3/\text{h}$

TDH = 2,72 h

Comentários sobre os tempos de detenção hidráulicos

Para  $Q_{\text{méd}}$  TDH  $> 1,5$  h

Para  $Q_{\text{máx}}$  TDH  $> 1,0$  h

#### 4.3.7 Dimensionamento das passagens para o decantador

##### 4.3.7.1 Área total das passagens ( $A_P$ )

$$A_P = k \times L \times d$$

$$A_P = 42,75 \text{ m}^2$$

##### 4.3.7.2 Velocidades nas passagens

$$V = Q/A_P$$

Para  $Q_{\text{méd}} = 74,11 \text{ m}^3/\text{h}$

$$V_{\text{méd}} = 1,73 \text{ m/h}$$

Para  $Q_{\text{máx}} = 126,22 \text{ m}^3/\text{h}$

$$V_{\text{máx}} = 2,95 \text{ m/h}$$

Recomenda-se que:

$$V_{\text{méd}} < 2,0 \text{ a } 2,3$$

$$V_{\text{máx}} < 4,0 \text{ a } 4,2$$

#### 4.3.8 Escolha do diâmetro dos tubos de entrada

- Número de tubos de entrada ..... 12
- Vazão máxima por tubo de entrada ..... 2,92 L/s (0,0029 m<sup>3</sup>/s)
- Vazão média por tubo de entrada ..... 1,72 L/s (0,0017 m<sup>3</sup>/s)

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$



$v = 0,2 \text{ m/s}$  (recomendada)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,00029}{\pi \times 0,2}} \times 1.000$$

$D = 136,38 \text{ mm}$  adotou-se o diâmetro comercial mais próximo, PEAD DE 140 mm ( $D = 134,4 \text{ mm}$ ), com  $v = 0,21 \text{ m/s}$

#### 4.3.9 Estimativa da eficiência na remoção das demandas de oxigênio

4.3.9.1 DQO (Demanda química de oxigênio)

$$E_{DQO} = 100 (1 - 0,68 \times TDH^{-0,35})$$

$$E_{DQO} = 72\%$$

4.3.9.2 DBO (Demanda bioquímica de oxigênio)

$$E_{DBO} = 100 (1 - 0,70 \times TDH^{-0,50})$$

$$E_{DBO} = 80\%$$

#### 4.3.10 Estimativa das concentrações de DQO e DBO no efluente do UASB

$$S = S_0 \times \left(1 - \frac{E}{100}\right)$$

$$S_{DQO} = 208 \text{ mg/L}$$

$$S_{DBO} = 95 \text{ mg/L}$$

#### 4.3.11 Avaliação da produção total de lodo

$$P_{Lodo} = Y \times DQO_{apl}$$

$$P_{Lodo} = 0,12 \times 2240$$

$$P_{Lodo} = 269 \text{ kg SST/dia}$$

Volume de lodo descartado com concentração de 3% de sólidos

$$V_{Lodo} = \frac{P_{Lodo}}{d_{3\%} \times C_1}$$

$$V_{Lodo} = 8,78 \text{ m}^3/\text{dia}$$

#### 4.3.12 Avaliação da produção total de metano

$$DQO_{CH_4} = Q_{méd} [S_0 (1 - Y_{obs}) - S]$$

$$DQO_{CH_4} = 1030 \text{ kg DQO/dia}$$

$$k(t) = \frac{Pk}{R(273 + t)}$$

$$k(t) = 2,63 \text{ Kg DQO/m}^3$$

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{\text{DQO}_{\text{CH}_4}}{k(t)}$$

$$Q_{\text{CH}_4} = 392 \text{ m}^3/\text{dia}$$

#### 4.3.13 Avaliação da produção total de biogás

Admite-se que o metano represente 75% do biogás logo se tem:

$$Q_{\text{biogás}} = \frac{Q_{\text{CH}_4}}{0,75}$$

$$Q_{\text{biogás}} = 523 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Por reator  $Q_{\text{biogás}} = 262 \text{ m}^3/\text{dia}$

#### 4.3.14 Verificação da taxa de liberação de biogás

##### 4.3.14.1 Área disponível para coleta de biogás ( $A_g$ )

$$A_g = k \times L \times b$$

$$A_g = 10,83 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{biogás}} = 262 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{\text{biogás}} = 10,90 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$\text{TLB} = \frac{Q_{\text{biogás}}}{A_g}$$

$$\text{TLB} = 1,01 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$$

##### 4.3.14.2 Tubulação coletora de biogás:

Para esta tubulação foi admitido um diâmetro que não permita velocidade do fluxo superior a  $V_{\text{biogás}} = 3,60 \text{ m/s}$ , ou seja:

$$D \geq \sqrt{\frac{4 \times Q_{\text{biogás}}}{\pi \times V_{\text{biogás}} \times 3600}} \times 1000$$

$$Q_{\text{biogás}} = 10,90 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$D \geq 32,7 \text{ m}$$

Adotado  $D = 50 \text{ mm}$

#### 4.3.15 Disposição final do biogás

Previu-se a implantação de um queimador de gás aplicável à situação presente, onde se queira dispor na atmosfera, de forma ambientalmente correta, o biogás resultante da decomposição anaeróbia de massa orgânica e que apresente vazão inconstante e baixa pressão.

O equipamento especificado será composto por duas partes principais. A primeira é o ignitor que tem a função de gerar a alta tensão que será utilizada pelos eletrodos (velas) para gerar a centelha. Seu acondicionamento será em caixa plástica apropriada para instalações externas, ou seja, ao tempo. A segunda parte do equipamento é o queimador que promoverá a mistura do biogás com o ar atmosférico e serve de suporte para os condutores de alta tensão e dos eletrodos. A estrutura do queimador será constituída em aço inox, resistente à corrosão, apesar da grande agressividade do ambiente de sua instalação. Os isoladores elétricos serão de material de alta durabilidade e não higroscópico. As tubulações que aduzirão o biogás, a partir do reator UASB, até o próprio queimador serão de polipropileno e as válvulas de bronze.

#### 4.4 Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente Existente

Conforme verificado no Estudo de Concepção com melhoria da eficiência da ETE com a transformação dos decantos digestores em reatores UASB não será necessário ampliar os filtros anaeróbios existentes. Dessa forma o mesmo receberá apenas melhorias para proteção da estrutura existente contra ataque nocivo de gases, com a aplicação de cimento impermeabilizante nas paredes internas, na faixa compreendida entre 50 cm abaixo do N.A., até a laje de cobertura e toda a face interna da laje de cobertura. Também foi prevista a instalação de 90 m de guarda corpo em todo perímetro da laje de cobertura de cada filtro, totalizando 180 m de guarda corpo.

##### 4.4.1 Dados para verificação

- Vazão média .....  $Q_{\text{méd}} = 41,17 \text{ L/s (148,21 m}^3\text{/h)}$
- Vazão máxima diária .....  $Q_{\text{máx-d}} = 46,75 \text{ L/s (168,30 m}^3\text{/h)}$
- Vazão máxima horária .....  $Q_{\text{máx-h}} = 70,12 \text{ L/s (252,43 m}^3\text{/h)}$
- DBO média afluyente ..... 95 mg/L

- Carga de DBO afluente ( $L_F$ )..... 337,92 kg DBO5/dia
- Eficiência do reator UASB ..... 75%
- Número de unidades.....2
- Comprimento ..... 15,60 m
- Largura .....29,00 m
- Seção horizontal total .....904,80 m<sup>2</sup>
- Altura do meio suporte ( $h_1$ ) = .....0,80 m
- Altura do fundo falso ( $h_2$ ) = .....0,72 m
- Altura da lâmina livre ( $h_3$ ) = .....0,20 m
- Altura útil ( $h_u$ )  $h_1 + h_2 + h_3$  = .....1,72 m
- Volume real.....1556,26 m<sup>3</sup>

#### 4.4.2 Verificação dos principais parâmetros operacionais

##### 4.4.2.1 Tempo de detenção hidráulica (TDH)

$$TDH = V/Q$$

- TDH para  $Q_{méd}$  = 10 h.....recomendado (5 a 10 horas)
- TDH para  $Q_{máx-d}$  = 9 h.....recomendado (4 a 8 horas)
- TDH para  $Q_{máx-h}$  = 6 h.....recomendado (3 a 6 horas)

##### 4.4.2.2 Taxas de aplicação superficial (TAS)

$$TAS = Q/A$$

- TAS para  $Q_{méd}$  = 3,93..... recomendado (< 6 a 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia)
- TAS para  $Q_{máx-d}$  = 4,46 ..... recomendado (< 8 a 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia)
- TAS para  $Q_{máx-h}$  = 6,70 ..... recomendado (< 10 a 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia)

##### 4.4.2.3 Carga orgânica no meio suporte (COMS)

$$COMS = \frac{L_F}{A_{total} \times h_1}$$

$$COMS = \frac{337,92}{904,80 \times 0,80}$$

$$COMS = 0,47 \text{ kg DBO/m}^3/\text{dia} \quad (\text{recomendado de } 0,25 \text{ a } 0,75 \text{ kg DBO/m}^3/\text{dia})$$

#### 4.4.2.4 Carga orgânica (CO)

$$CO = \frac{L_F}{A_{total} \times h_u}$$

$$CO = \frac{337,92}{904,80 \times 1,72}$$

$$CO = 0,22 \text{ kg DBO/m}^3/\text{dia} \quad (\text{recomendado de } 0,15 \text{ a } 0,50 \text{ kg DBO/m}^3/\text{dia})$$

#### 4.4.3 Eficiências do tratamento

##### 4.4.3.1 Eficiência do filtro anaeróbio ( $E_F$ )

$$E_F = 100(1 - 0,87 \times TDH^{-0,54})$$

$$E_F = 100(1 - 0,87 \times 10,5^{-0,54})$$

$$E_F = 76 \%$$

##### 4.4.3.2 Eficiência do sistema (UASB + filtro)

$$E_S = (E_R + E_F - E_R \times E_F / 100)$$

$$E_S = (75 + 76 - 75 \times 76 / 100)$$

$$E_S = 94 \%$$

#### 4.4.4 Estimativa de concentração de DBO no efluente final

$$S = (100 - E_S) \times S_0 / 100$$

$$S = (100 - 94) \times 378 / 100$$

$$S = 23,10 \text{ mg/L}$$

#### 4.5 Leitões de Secagem

Os leitões de secagem existentes serão aproveitados. Apresenta-se a seguir a verificação dos mesmos.

##### 4.5.1 Verificação da área necessária

- Produção diária de lodo no reator..... 268,80 kg SST/dia
- Período de descarte ..... 10 dias
- Massa de lodo a ser descartada ..... 2688,00 kg SST
- Volume de lodo a 3% de concentração ..... 87,84 m<sup>3</sup>
- Concentração de lodo desidratado ( $C_2$ )..... 50%
- Taxa de aplicação de sólidos ..... 15 kg sst/m<sup>2</sup>
- Área de secagem necessária ..... 179,20 m<sup>2</sup>

**4.5.2 Caracterização das células de secagem**

- Número de unidades ..... 2 (funcionamento alternado)
- Formato ..... retangular
- Comprimento de cada célula ..... 20,30 m
- Largura de cada célula ..... 8,70 m
- Área permanente de secagem..... 176,61 m<sup>2</sup>
- Altura livre de cada célula..... 0,50 m

**4.5.3 Verificação da lâmina aplicada (e)**

- Volume de lodo descartado na dezena..... 87,84 m<sup>3</sup>
- Área permanente de secagem..... 176,61 m<sup>2</sup>
- Lâmina aplicada..... 0,50 m

Para compatibilizar o período de descarte de lodo (10 dias) com o período estimado necessário para desidratação do lodo (15 dias) as células de secagem funcionarão alternadamente.

**4.5.4 Volume teórico de lodo desidratado (VLD)**

$$VLD = \frac{P_{\text{LODO}}}{d_{50\%} \times C_2}$$

$$VLD = \frac{268,80}{1.040 \times 0,50}$$

$$VLD = 0,52 \text{ m}^3/\text{dia}$$

**4.5.5 Vazão de drenados**

- Vazão lodo fresco ..... 8,78 m<sup>3</sup>/dia
- Vazão lodo desidratado ..... 0,52 m<sup>3</sup>/dia
- Vazão de drenados ..... 8,27 m<sup>3</sup>/dia

## 5 PLANO DE PARTIDA E OPERAÇÃO DA ETE

Para implantação das obras de melhorias da ETE Safira o funcionamento de um conjunto de decanto digestor e filtro será interrompido, dessa forma todo esgoto será direcionado para o outro conjunto que permanecerá em funcionamento e assim garantindo que os esgotos recebam tratamento, embora de maneira, temporariamente, precária.

Após a conclusão das obras o reator UASB e filtro anaeróbio serão submetidos a testes de estanqueidade no qual poderá ser usada água do próprio curso receptor. Confirmado o sucesso dos testes, essas unidades deverão permanecer cheias de água para em seguida receberem os esgotos que preencherão os reatores e os filtros anaeróbios e expulsarão a água anteriormente retida.

No início do regime operacional da ETE os esgotos serão submetidos apenas a gradeamento, desarenação e decantação primária que será exercida pelo reator UASB. Com o decorrer do tempo a função biodegradação anaeróbia da matéria orgânica presente nos esgotos, atribuída aos reatores e filtro anaeróbio respectivamente será paulatinamente exercida, até a sua eficiência prevista em projeto. De forma a reduzir o tempo para o crescimento da biomassa no interior do Reator poderá ser utilizado lodo proveniente do outro módulo que encontra-se em funcionamento.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAPTISTA, Márcio; COELHO, Márcia. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. Editora UFMG – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2002;
2. BASTOS, Francisco. **Problemas de Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro, 1983;
3. CHERNICHARO, Carlos (coordenador). **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte, 2001;
4. CRESPO, Patrício. **Elevatórias nos Sistemas de Esgotos**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2001;
5. CRESPO, Patrício. **Sistema de Esgotos**. Editora UFMG – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1997;
6. CRESPO, Patrício. **Tratamento de Esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG;
7. VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade Das Águas e ao Tratamento De Esgotos**; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2005;
8. VON SPERLING, Marcos. **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos**; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2005.