

Concepção dos Projetos

- Bombeamento**
- Adução**
- Barragem**

**PROJETOS BÁSICOS E EXECUTIVOS PARA A CONSTRUÇÃO DA
BARRAGEM, DUPLICAÇÃO DA ADUTORA E REABILITAÇÃO DA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.**

BACIA DO RIBEIRÃO - CATALÃO-GOIÁS

Volume A2 - Concepção dos Projetos

Março/2016

2 BASITEC

Concepção dos Projetos

- Bombeamento**
- Adução**
- Barragem**

PROJETOS BÁSICOS E EXECUTIVOS PARA A CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM, DUPLICAÇÃO DA ADUTORA E REABILITAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.

BACIA DO RIBEIRÃO - CATALÃO-GOIÁS

ÍNDICE

1	APRESENTAÇÃO.....	3
1.1	Introdução.....	4
1.2	Mapa de Localização.....	4
1.3	Descrição do Sistema Existente.....	5
1.3.1	Concepção Básica dos Sistemas de Produção Existentes.....	5
1.3.2	Sistema Produtor PARI.....	6
1.3.2	Sistema Produtor SAMAMBAIA.....	7
1.3.3	Poços Profundos / Tratamento	9
1.3.4	Estação de Tratamento de Água	10
1.3.5	Elevatória de Água de Lavagem - EAT EAL.....	11
1.3.6	Reservação.....	12
1.3.7	Situação operacional	13
1.3.8	Projeção da População e das Demandas de Água	13
1.3.9	Avaliação da Disponibilidade Hídrica dos Mananciais de Abastecimento	14
2	CONCEPÇÃO PROPOSTA	16
2.1	Aspectos Físicos.....	17
2.1.1	Localização e Acesso	17
2.1.2	Clima.....	17
2.1.3	Relevo.....	18
2.1.4	Vegetação.....	18
2.1.5	Geologia.....	19
2.2	ASPECTOS SANITÁRIOS	20
2.2.1	Abastecimento de água	20
2.2.2	Disposição dos Esgotos	20
2.3	DETERMINAÇÃO DA POPULAÇÃO E DAS VAZÕES DE PROJETO	20
3	DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO.....	22
3.1	Descrição geral.....	23
3.1.1	Captação Pari.....	23
3.1.2	Curva característica (H-Q) Definição de potência.....	24
4	ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA PROPOSTO.....	32
4.1	Descrição geral.....	33
4.1.1	Generalidades.....	33
4.1.2	Recebimento dos Equipamentos.....	33
4.1.3	Transporte dos Equipamentos	33
4.1.4	Recebimento dos Serviços.....	33
5	CONCEPÇÃO DA BARRAGEM	35
5.1.1	TIPO DE BARRAGEM DE TERRA	39
5.1.2	FATORES NA ESCOLHA DA SEÇÃO TÍPICA	40
5.1.3	CONSIDERAÇÕES DE PROJETO.....	44
6	APRESENTAÇÃO GERAL	48

1 APRESENTAÇÃO



LEGENDA:

ERINTENDÊNCIA MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO
PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA

EMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

DA BARRAGEM, DUPLICAÇÃO DA ADUTORA E REABILITAÇÃO DA ESTAÇÃO TRAT.ÁGUA DE CATALÃO

- BARRAGEM

ESCALA: sem escala

APRE-01

1.1 INTRODUÇÃO

Basitec Projetos e Construções LTDA apresenta o Projeto Básico/Executivo para Construção da Barragem, duplicação da adutora e reabilitação da estação de tratamento de água do município de Catalão. Este trabalho foi desenvolvido em duas etapas, FASE A – Estudos de Viabilidade e FASE B – Detalhamento dos Projetos.

A FASE A, que contempla os estudos desenvolvidos para o detalhamento dos projetos, é composto pelos seguintes volumes:

- *Volume A1 – Estudos Básicos de Viabilidade* - Neste volume são apresentados os estudos hidrológicos, topográficos, geológicos e geotécnicos realizados, para direcionar as soluções e demais informações necessárias para a construção da Barragem, duplicação da adutora e reabilitação da Estação de Tratamento de Água;
- **Volume A2 – Concepção dos Projetos** - Neste volume são apresentadas as concepções e soluções propostas para a construção da Barragem, duplicação da adutora e reabilitação da Estação de Tratamento de Água.

Este documento visa orientar a execução da barragem no Ribeirão Pari, município de Catalão, Estado de Goiás, e os sistemas de captação e adução de forma a ampliar o sistema de abastecimento de água do município.

O presente trabalho foi integralmente elaborado obedecendo as orientações, especificações e normas vigentes.

1.2 MAPA DE LOCALIZAÇÃO

A figura a seguir fornece a localização do trecho em projeto,

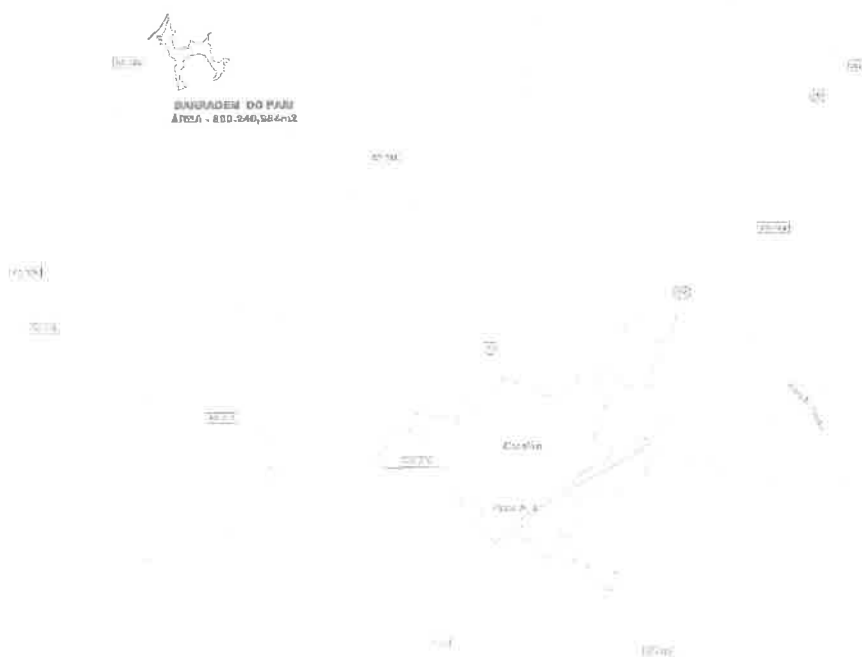


Figura 1: Mapa de Localização

1.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXISTENTE

O projeto para ampliação e melhoria do Sistema de Abastecimento de Água da cidade de Catalão, que é operado pela Superintendência Municipal de Água e Esgoto – SAE, objetiva capacitar o sistema para atender, em condições adequadas, a demanda de água ao longo do horizonte do projeto, que é de 30 anos.

O sistema de abastecimento é composto pelas seguintes unidades:

- Captação e EAB Pari;
- AAB Pari;
- EAB Intermediária Pari;
- AAB Intermediária Pari;
- Captação e EAB Samambaia;
- AAB Samambaia;
- EAB Intermediária Samambaia;
- AAB Intermediária Samambaia

1.3.1 Concepção Básica dos Sistemas de Produção Existentes

O SAE de Catalão é atendido por dois principais sistemas de produção - o Pari e o Samambaia - e conta ainda com diversos sistemas independentes de poços profundos, cuja produção totaliza cerca de 100 L/s.

O Sistema Produtor Pari é composto por captação superficial no Ribeirão Pari e é constituído por duas elevatórias em série: EAB Captação Pari e a EAB Intermediária Pari. A elevatória Captação Pari recalca água da captação até a EAB Intermediária Pari, e essa recalca até a caixa de areia da EAB Samambaia. Esse sistema serve de reforço para o Sistema Samambaia nos períodos críticos de seca.

Da mesma forma, o Sistema Produtor Samambaia é composto por captação superficial no Ribeirão Samambaia e é constituído por três elevatórias em série: EAB Captação Samambaia, EAB Samambaia e a EAB Intermediária Samambaia. A elevatória Captação Samambaia recalca água da captação até a caixa de areia. Já a EAB Samambaia recalca do desarenador até a EAB Intermediária Samambaia e que por fim recalca até a ETA.

A seguir, a Figura 2 mostra o esquema dos sistemas de produção 'Pari' e 'Samambaia' do SAA de Catalão e logo em seguida é apresentado um breve descritivo de cada uma das unidades desses sistemas.

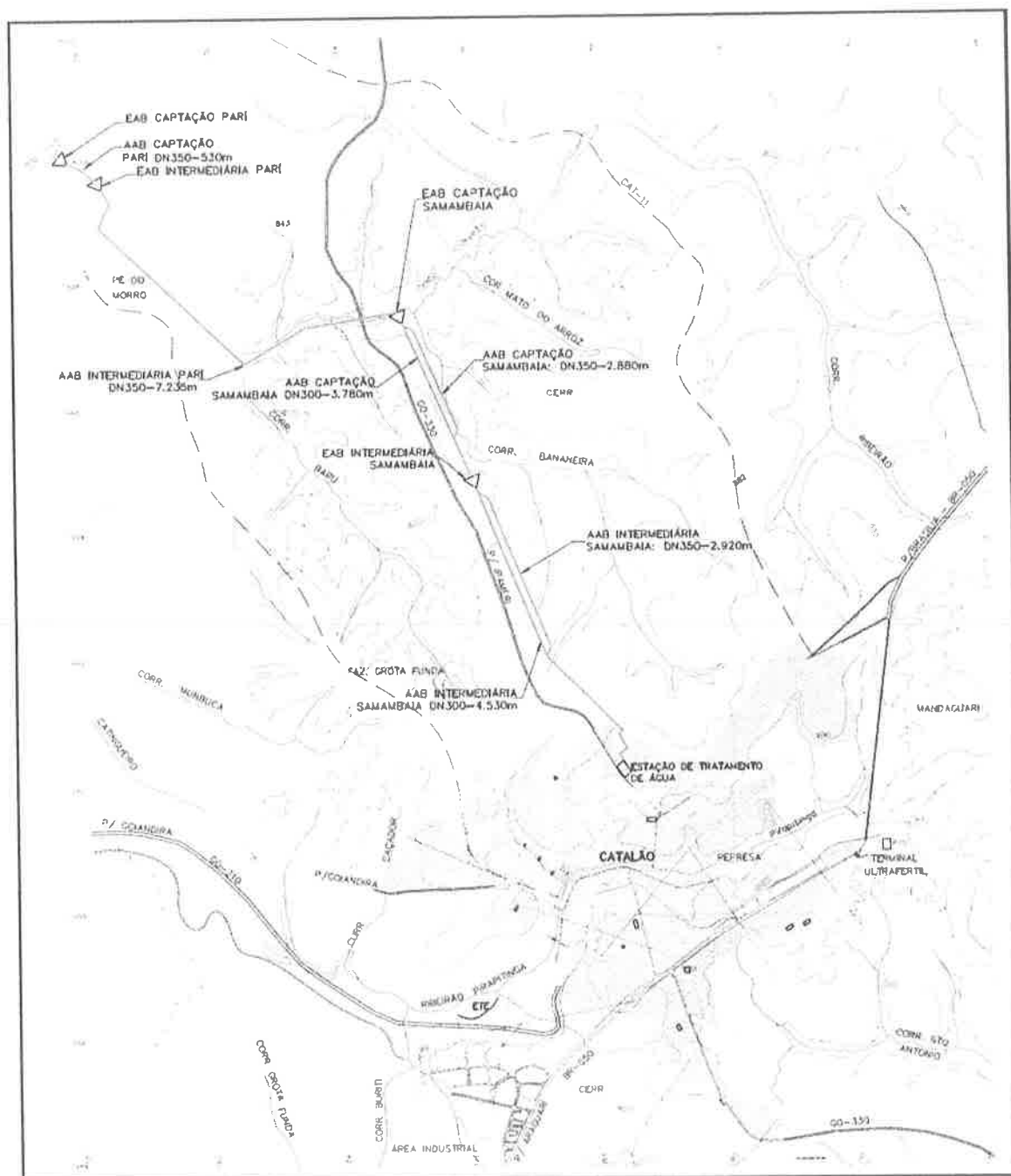


Figura 2 – Esquema dos Sistemas de Produção 'PARI' e "SAMAMBAIA"

1.3.2 Sistema Produtor PARI

1.3.2.1 CAPTAÇÃO PARI

A Captação Pari é composta por barragem de nível e um canal de tomada de água, com gradeamento médio, interligado ao poço de sucção da EAB Captação Pari.

1.3.2.2 EAB CAPTAÇÃO PARI

A EAB Captação Pari é dotada de 3 conjuntos elevatórios submersíveis, instaladas em poço úmido. O acionamento das bombas é manual e não existe sistema de comunicação instalado. As bombas instaladas são da marca Flygt, modelo CP 3201.180, impulsor 454.

1.3.2.3 AAB CAPTAÇÃO PARI

A AAB Captação Pari possui extensão total de 530 m, em PRFV, DN 350, e interliga as estações elevatórias Captação Pari e Intermediária Pari.

1.3.2.4 EAB INTERMEDIÁRIA PARI

Caixa de Areia

A caixa de areia está situada na área da EAB Intermediária Pari e possui duas câmaras com dimensões de 5,00 x 2,00 x 0,95 m, limpeza hidráulica através de 7 descargas de fundo - DN 50 mm - em cada uma das câmaras. A calha Parshall de 1' (0,35 m) é localizada a jusante da caixa de areia e serve para controle de lâmina e medição de vazão.

Poço de Sucção

O poço de sucção foi construído em concreto armado e dimensões em planta de 1,95 m x 8,90 m e altura de 2,95 m.

Casa de Bombas

Na Casa de Bombas existem 2 conjuntos moto-bomba instalados, com as seguintes características: Bombas Worthington, modelo 5 LR-15 e motores com potência de 55 cv, 1750 rpm. O transformador existente é de 250 kVA.

Recentemente, foi instalada provisoriamente o outro conjunto moto-bomba reserva da EAB Intermediária Samambaia, que recalca vazão ligeiramente superior do que as outras 2 bombas (Worthington 5 LR-15) em operação.

1.3.2.5 AAB INTERMEDIÁRIA PARI

A AAB Intermediária Pari possui extensão total 7.290 m, em PRFV DN 350 (PN 22,5).

A proteção contra transientes hidráulicos existente nessa linha é constituída por uma válvula antecipadora de onda DN 100, localizada na área da elevatória Intermediária Pari e uma estrutura quebra-vácuo, no ponto alto da adutora, já próximo à captação Samambaia.

1.3.2 Sistema Produtor SAMAMBAIA

1.3.2.1 CAPTAÇÃO SAMAMBAIA

A Captação Samambaia é composta por barragem de nível, tomada de água com tubulação de derivação, poço de sucção e caixa de areia.

Barragem de Nível

A barragem do ribeirão Samambaia e os muros de arrimo agregados à mesma são construídos em concreto armado e o nível da água é controlado através de vertedor

constituído por placas de madeira. A barragem contém descarga de fundo e a lâmina de água à montante é da ordem de 1,5 m.

Tomada de Água

A tomada d'água ocorre por meio de tubulação em aço DN 500 que direciona o fluxo para o poço de sucção, dotado de duas câmaras independentes, onde estão instaladas as bombas da EAB Captação Samambaia. O isolamento do poço de sucção ocorre por meio de comporta acionada de forma manual por meio de pedestal de manobra.

EAB Captação Samambaia

A EAB Captação Samambaia é constituída por bombas submersíveis, modelo Flygt NP 3202 180 LT, e opera conforme as seguintes características técnicas:

- Quantidade: 2, sendo 1 reserva
- Vazão: 160 a 280 L/s
- AMT: 17 a 13 mca

Caixa de Areia

A Caixa de Areia é circular / metálica e possui o fundo cônico. Possui diâmetro de 5,0 m e altura útil de 10,6 m.

1.3.2.2 EAB SAMAMBAIA

Localizada na área da Captação do Ribeirão Samambaia, esta elevatória recalca água bruta da caixa de areia até a coluna de equilíbrio na área da EAB Intermediária Samambaia. Quando necessário, esta elevatória também recebe a água proveniente do Sistema Pari.

Casa de Bombas

A casa de bomba possui ponte rolante com capacidade para 5,0 t e abriga hoje dois conjuntos elevatórios, cujas características são as seguintes: Worthington 6 LNH-24 com rotores de 22" e 23,6" (tipo B), um motor WEG 600 cv e outro GE 550 CV, ambos com frequência de 60 Hz e rotação de 1780 rpm.

No barrilete de recalque de cada bomba existe uma válvula de retenção e um registro de gaveta acionado eletricamente. Já no início da adutora de água bruta estão instalados um medidor de vazão eletromagnético, um medidor de pressão (desativado) e ainda duas válvulas auto-operadas modelo BERMAD, uma controladora de bomba e a outra antecipadora de onda.

O prédio da casa de força está instalado ao lado da casa de bombas e nela estão instalados: um transformador de 750 kVA, que responde pelo suprimento de energia para o funcionamento das bombas.

1.3.2.3 AAB CAPTAÇÃO SAMAMBAIA

A AAB Samambaia interliga a EAB Samambaia à EAB Intermediária Samambaia. É parcialmente duplicada em FºFº DN 300 e PRFV DN 350 (PN 22,5). A adutora em DN 300 possui extensão de 3.730 m e a de DN 350 possui extensão de 2.900 m.

1.3.2.4 EAB INTERMEDIÁRIA SAMAMBAIA

É responsável pela continuidade do recalque de água bruta até a ETA. É composta por torre de equilíbrio e casa de bombas idêntica a EAB Captação Samambaia. São 2 conjuntos moto-bomba instalados conforme as seguintes características: Worthington 6 LNH-24 com rotores de 22" e 23,6" (tipo B), um motor WEG 600 cv e outro GE 500 CV, ambos com frequência de 60 Hz e rotação de 1780 rpm.

A casa de bombas da EAB Intermediária Samambaia é dotada de ponte rolante com capacidade para 5,0 t, com acionamento eletromecânico. No barrilete de recalque de cada bomba existe uma válvula de retenção e um registro de gaveta acionado eletricamente.

Já no início da adutora de água bruta estão instalados um medidor de vazão eletromagnético, um medidor de pressão (desativado) e ainda duas válvulas auto-operadas modelo BERMAD, uma controladora de bomba e a outra antecipadora de onda.

O prédio da casa de força está instalado ao lado da casa de bombas e possui transformador de 750 kVA.

1.3.2.5 AAB INTERMEDIÁRIA SAMAMBAIA

Essa adutora interliga a EAB Intermediária Samambaia e a ETA. É também parcialmente duplicada em FºFº DN 300 e PRFV DN 350 (PN 22,5). A adutora em DN 300 possui extensão de 4.560 m e a de DN 350 possui extensão de 2.850 m.

1.3.3 Poços Profundos / Tratamento

A cidade de Catalão possui 6 sistemas independentes de poços profundos, que complementam o abastecimento de água. A capacidade total de produção dos poços existentes é de 120 L/s, porém ao considerar o tempo de funcionamento dos mesmos de no máximo 20 horas diárias tem-se produção efetiva da ordem de 100 L/s. O Quadro 1 apresenta as principais características dos poços perfurados.

Quadro 1 – Sistemas Independentes dos Poços Profundos.

Sistema	Poço	Vazão (m³/h)	Vazão (L/s)
Ipanema	P11	20,2	5,6
	P12	39,6	11,0
	P13	7,9	2,2
	P14	16,9	4,7
	P15	16,6	4,6
	Total	101,2	28,1
Santo Antônio	P02	16,7	4,6
	P03	43,0	12,0
	P04	23,4	6,5
	P05	23,3	6,5
	P06	-	-
	P07	17,1	4,8
	Total	123,5	34,3
Goianiense	P40	15,2	4,2
	P41	15,8	4,4
	P44	8,7	2,4

	P16	10,0	2,8
	P17	27,0	7,5
	P18	12,0	3,3
	P19	10,0	2,8
	Total	98,8	27,4
UFG	P48	15,0	4,2
	P49	7,0	1,9
	Total	22,0	6,1
Bairro de Lucas	P60	12,8	3,6
	P61	6,0	1,7
	Total	18,8	5,2
ETA	P20	6,1	1,7
	P21	43,9	12,2
	P22	16,9	4,7
	Total	66,9	18,6
Total		431,2	119,8

Quanto às características construtivas dos poços, todos são dotados de revestimento e filtro. Os poços tubulares perfurados apresentam grande variação nas vazões disponíveis, mostrando o alto grau de anisotropia dos aquíferos fissurados.

1.3.4 Estação de Tratamento de Água

A ETA do Sistema de Abastecimento de Água de Catalão está localizada no Bairro Cruzeiro II, parte alta da cidade, a 8,3 km da captação Samambala. É do tipo convencional e trata hoje a vazão de 180 l/s (648 m³/h).

Basicamente, o processo de tratamento é constituído pelas seguintes fases:

- coagulação: com cal e sulfato de alumínio através de bomba dosadora alimentada por 2 tanques de preparo com 1.500 l cada;
- medição de vazão e mistura rápida: medidor Parshall de W = 9" (22,9 cm);
- floculação: dois floculadores mecanizados, em paralelo, com profundidade útil de 2 m, cada uma com 3 agitadores. O volume útil total é de 192 m³;
- decantação: 2 unidades convencionais, retangulares, com área útil de 187 m² cada, profundidade útil de 4,0 m e extensão total das canaletas de coleta de 15,0 m;
- filtração: 4 filtros rápidos de fluxo descendente, retangulares, em câmara única de 18,5 m² de área filtrante e altura total de 2,8 m;

- desinfecção: com cloro, através de um clorador à vácuo, com aplicação da solução no canal de água filtrada;
- fluoretação: através de ácido fluossilícico aplicado com bomba dosadora;
- correção de pH: com cal, através de bomba dosadora, com aplicação de solução no canal de água filtrada (pós-alcalinização).
- o tanque de contato, última unidade de processo da ETA, alimenta, por gravidade, os reservatórios de distribuição (2 x 1350 m³, semi-enterrados). A lavagem dos filtros é realizada a partir de um reservatório elevado, localizado no último pavimento da casa de química, com capacidade de 170 m³.

Completa a estação de tratamento, uma Casa de Química, com 3 pavimentos e um pátio anexo. A Casa de Química é constituída pelos seguintes compartimentos:

- galeria dos filtros;
- elevatória de água de lavagem (recalca para o reservatório superior);
- hall de acesso;
- depósito de reagentes;
- sala de produtos químicos;
- escritório e laboratório;
- sanitários;
- reservatório superior de 170 m³.

1.3.5 Elevatória de Água de Lavagem - EAT EAL

A EAT EAL recalca água para o reservatório elevado da casa de química, o qual, além de atender a demanda para operação da ETA, responde também pelo abastecimento do Bairro Cruzeiro II. As instalações dessa elevatória situam-se ao lado do canal de água filtrada, no interior da casa de química. Esta elevatória possui duas bombas instaladas, sendo uma delas reserva, com as seguintes características: Bomba: centrífuga de eixo horizontal, KSB 80-26, 1.710 rpm; Motor ARNO trifásico, 12,5 cv, 220/380 V, 60 Hz, 1.745 rpm.

A tubulação de recalque é a mesma de descida para lavagem dos filtros, em Ferro Fundido, FOFO DN 400 mm, com extensão de 20 m.

ELEVATÓRIA ETA - EAT ETA

A Elevatória ETA recalca água do reservatório apoiado de 500 m³ para o reservatório elevado de 200 m³, ambos localizados na área da Estação de Tratamento de Água. A adutora possui extensão de 180 m sendo em DEFOFO, DN 200 mm.

Essa elevatória responde pelo suprimento de água dos bairros abastecidos pela rede reservatório elevado 200 m³, localizados nas proximidades da ETA. Suas instalações foram recentemente construídas. Possui dois conjuntos motor-bomba instalados, sendo um reserva, com as seguintes características: Bomba: centrífuga de eixo horizontal, IMBIL INI 80250, 1750 rpm, Rotor = 246 mm; Motor WEG, 20 cv, 220/380/440 V, 1760 rpm, rendimento 92,4 %.

ELEVATÓRIA CENTRAL - EAT CENTRAL

A Elevatória Central, localizada na área do escritório central da SAE, recalca água para a área de reservação Pontal. Essa elevatória é constituída de uma bomba submersível (tipo bomba de poço) instalada diretamente no interior do reservatório enterrado de 150 m³. Os conjuntos elevatórios apresentam as seguintes características: Bomba Submersível Marca Leão; Motor: Carcaça acoplada à bomba, 18 cv.

A adutora em PVC PBA DN 100, com extensão da ordem de 2.640 m é interligada com a rede de abastecimento dos reservatórios Pontal, ou seja, realiza distribuição em marcha.

1.3.6 Reservação

O complexo de reservação de água atualmente existente em Catalão é formado por 10 centros de reservação (Quadro 2), englobando 18 reservatórios com volume útil total de 5.940 m³.

Quadro 2 – Características dos reservatórios do SAA de Catalão.

Centro de Reservação	Reservatório	
	Tipo*	Capacidade (m ³)
ETA	REL	200 m ³
	REL	170 m ³
	RSE	1.350 m ³
	RSE	1.350 m ³
	RSE	500 m ³
Clay Mendes	RAP	350 m ³
	RAP	350 m ³
Nossa Senhora de Fátima	RAP	350 m ³
	RAP	280 m ³
Central	RET	150 m ³
Pontal Norte	REL	100 m ³
	REL	50 m ³
Rodoviária	RAP	350 m ³
Castelo Branco	REL	50 m ³
Castelinho	RAP	200 m ³
	REL	20 m ³
Bela Vista	REL	20 m ³
Ipanema	RAP	100 m ³

*RET – Reservatório Enterrado

RAP – Reservatório Apoiado

RSE – Reservatório Semienterrado

REL – Reservatório Elevado.

1.3.7 Situação operacional

A cidade de Catalão é abastecida por um sistema relativamente antigo (1972) que foi sendo ampliado ao longo dos anos com o incremento de novas unidades, além da realização de adequações nas unidades existentes para ampliação de suas capacidades nominais. Mesmo assim as unidades existentes ainda são suficientes para atender a demanda atual e não apresentam problemas operacionais que comprometam o abastecimento da população. Todavia, há necessidade de se promover ampliações para garantir o atendimento as demandas futuras, decorrentes do crescimento previsto para a cidade nos próximos anos.

1.3.8 Projeção da População e das Demandas de Água

Os estudos demográficos e territoriais – elaborados no âmbito do Plano Municipal de Saneamento do Sistema de Abastecimento de Água – estimaram a evolução da população urbana da cidade de Catalão, conforme indicado no Quadro 3. A área de abrangência para a Ampliação do SAA de Catalão compreende uma área de aproximadamente 2.791 ha.

Quadro 3 – Evolução da População Urbana e Atendida pelo SAA.

Ano	Pop. Urbana (hab.)	Índice de Atendimento	Pop. Atendida (hab.)
2022	96.289	100 %	96.289
2032	110.498	100 %	110.498
2042	121.807	100 %	121.807

Os parâmetros de projeto admitidos para o cálculo das demandas de água do sistema são:

$$Q_{\text{méd}} = P \cdot q / 86.400$$

$$Q_{\text{dia}} = k_1 \cdot Q_{\text{méd}}$$

$$Q_{\text{hor}} = k_1 \cdot k_2 \cdot Q$$

Onde:

- $Q_{\text{méd}}$ = consumo médio de água, l/s;
- Q_{dia} = consumo máximo diário de água, l/s;
- Q_{hor} = consumo máximo horário de água, l/s;
- k_1 = coeficiente de máxima vazão diária = 1,20;
- k_2 = coeficiente de máxima vazão horária = 1,5;
- q = coeficiente de consume per-capita variando de 237 L/hab.dia (2022) a 225 L/hab.dia (2042);
- P = população atendível, hab.

De acordo com os parâmetros estabelecidos, foram obtidas as vazões de projeto apresentadas no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Projeções da população atendida e das demandas totais de água para Rio Verde.

Ano	Pop. Urbana (hab)	Consumo Per Capita (L/hab)	Demanda (L/s)		
			Média	Máxima Diária	Máxima Horária
2022	96.289	237	264	317	475
2032	110.498	231	295	355	532
2042	121.807	225	317	381	571

1.3.9 Avaliação da Disponibilidade Hídrica dos Mananciais de Abastecimento

O Córrego Samambaia nasce nas proximidades da BR-050, que liga Catalão a Campo Alegre de Goiás, com coordenadas aproximadas de latitude 18°07' e longitude 47°54'. Seus principais afluentes na margem esquerda são os córregos Mato do Arroz e Bananeira, entre os quais se localiza a captação de água bruta.

O Ribeirão Pari é formado pelos córregos Samambaia e Baru, que se unem a cerca de 5 km a jusante da captação Samambaia. Este manancial é utilizado para suprir a demanda de água nos períodos de estiagem, quando a disponibilidade hídrica do Córrego Samambaia diminui e, por outro lado, a demanda de água é elevada.

A determinação da capacidade hídrica dos mananciais abastecedores de Catalão partiu de análises de correlação com dados obtidos nas estações fluviométricas dos rios São Bento e Veríssimo. Os estudos hidrológicos apontaram que a vazão mínima nos cursos d'água da região ocorre entre os meses de setembro a novembro e que a vazão específica em 95% do tempo ($Q_{95\%}$) é correspondente a 2,9 L/s/km².

Como as áreas de drenagem do Córrego Samambaia e do Ribeirão Pari são respectivamente de 80 km² e 177 km², obtêm-se então as seguintes vazões mínimas estimadas para esses mananciais:

$$\text{Córrego Samambaia: } Q_{95} = 80 \text{ km}^2 \times 2,9 \text{ L/s / km}^2 = 232 \text{ L/s}$$

$$\text{Ribeirão Pari: } Q_{95} = 177 \text{ km}^2 \times 2,9 \text{ L/s / km}^2 = 513 \text{ L/s}$$

A legislação estadual vigente em Goiás estabelece que a vazão máxima de exploração em uma determinada seção fluvial, considerando a modalidade de captação a fio d'água, é de 50% da vazão de referência Q_{95} para o conjunto de usuários da bacia. Cabe lembrar que os 50% restantes de vazão no curso d'água são considerados como fluxo residual mínimo que, de acordo com a legislação estadual, deve ser mantido à jusante da seção fluvial.

No

Quadro 5, a seguir, é apresentada uma síntese das disponibilidades hídricas avaliadas para as seções fluviais de interesse no Córrego Samambaia e Ribeirão Pari.

Quadro 5 – Análise da disponibilidade hídrica nos mananciais de interesse.

Curso d'água	Área (km ²)	Q_{95} (L/s)	50% da Q_{95} (L/s)
Samambaia	80	232	116
Pari	177	513	256

Neste aspecto, vale lembrar que as captações de água bruta Samambaia e Pari já possuem outorgas de 120 L/s e 160 L/s, respectivamente, emitidas pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SEMARH).

2 CONCEPÇÃO PROPOSTA

2.1 ASPECTOS FÍSICOS

2.1.1 Localização e Acesso

A área beneficiada pelo projeto corresponde à cidade de Catalão, localizada no Sudeste do Estado de Goiás, na latitude 18° 9' 57"S e longitude 47° 56' 47"O, conforme mostra a Figura 04. No ano de 2013, segundo o IBGE, conta com 94.896 habitantes, perfazendo uma área de 3.778 Km².

Catalão é considerada uma cidade de pequeno porte, de acordo com a classificação apresentada por ABDALA (2013, p. 01) que cita que são consideradas "pequenas as cidades com até 100 mil habitantes, médias as cidades com população compreendida entre 100 e 500 mil habitantes e, com população acima de 500 mil habitantes, cidades de grande porte" apontado por Santos, Costa e Andrade (2001), e, de acordo com IBGE (2010).

Nesse contexto, salienta-se que após meados da década de 1970, dá início a um processo de intenso desenvolvimento urbano devido à instalação de mineradoras na região. Vale lembrar que até então, a economia local baseava-se na exploração agrícola e, desde então, devido à riqueza mineralógica do sudoeste goiano, empresas nacionais de exploração de minérios, como multinacionais, encetaram na exploração da região impulsionando o crescimento demográfico da região.

Localização geográfica da área de estudo e recorte do município de Catalão-
GO.

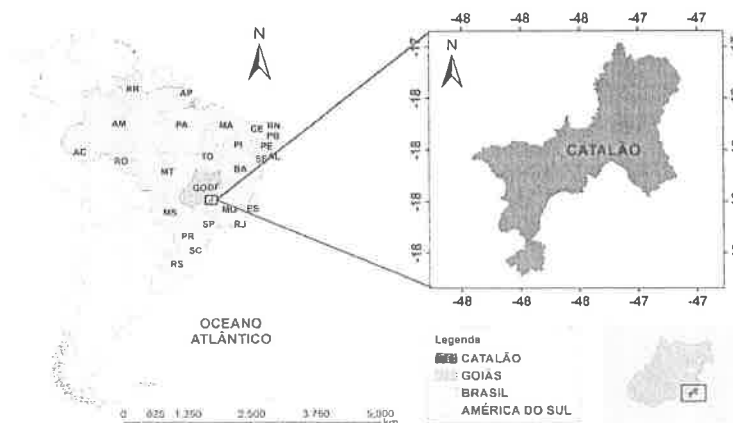


Figura 3 – Localização geográfica da área de estudo e recorte do município de Catalão-GO
Fonte: IBGE 2004.

Os acessos principais aos municípios se dão pela BR 050 e GO 020, acessos esses que deixam a cidade em posição privilegiada com relação a escoação de produção e interligação com os principais centros urbanos, comerciais e industriais do país.

2.1.2 Clima

Na região Centro Oeste, o clima é classificado como tropical, apresentando duas estações bem definidas, menos pelas temperaturas, mas principalmente pelo regime de chuvas. O verão quente e chuvoso estende-se de outubro ou novembro até março ou

abril, conforme a latitude, e é controlado pelas massas tropicais, bastante instáveis na primavera e no verão. (SANT' ANNA NETO; NERY, 2005).

2.1.3 Relevo

O município de Catalão possui duas paisagens geomorfológicas distintas: a nordeste do Rio São Marcos, uma área plana de chapada, com altitudes oscilando em torno dos 1.000 metros e ao sul desta, escarpas e mares de morro; a oeste do referido rio, áreas mais acidentadas, entremeadas por pequenos vales fluviais chamados veredas, com altitude oscilando em torno dos 800 metros. Finalmente, as porções mais baixas do território encontram-se na parte meridional do mesmo, nas margens do rio Paranaíba, cercania dos povoados de Pedra Branca e Olhos d'Água, onde as altitudes estão próximas dos 650 metros e o relevo é suave. Indo destes vales para as direções norte e leste, começam os domínios de mares de morro, os quais predominam largamente no município; neles, as altitudes aumentam paulatinamente, chegando a estar entre 800 e 900 metros na região do município de Catalão e a mais de 1.200 metros, seguindo rumo ao norte.

Finalmente, na porção nordeste do município, ocupando cerca de 100 mil hectares, se encontra o Chapadão de Catalão, que se prolonga pelo Estado de Minas Gerais, quase todo acima da cota dos mil metros de altitude. É uma área de relevo bastante plano, com baixa declividade e solos profundos, cercado por áreas bastante escarpadas ao sul e pelos rios Paranaíba, a leste, e São Marcos, a oeste. Em relação ao sítio urbano, ocorrem três formas de relevo básicas: morros, pequenos vales e áreas planas elevadas. Os morros do município são três: o de São João é o mais alto e no alto do qual existe a Igreja de São João, construção de relevante interesse turístico; Três Cruzes, no alto do qual situa-se o centro cultural e Santo Antônio, o mais baixo dos três e que tem em seu cume, a igreja de Santo Antônio, que também tem interesse histórico. Entre estes morros há um sem número de vales e baixadas, entrecortados por córregos como os do Almoço e do Pirapitinga. Finalmente, ao norte do sítio urbano, há uma área plana e alta, com altitude de cerca de 900 metros, que é para onde o sítio urbano mais está se expandindo.

2.1.4 Vegetação

O cerrado é o segundo maior bioma nacional e é uma das áreas de maior diversidade no mundo, constituída por um mosaico vegetacional composto por formações campestres (campos limpos, sujo e rupestre), formações savânicas (cerrado sensu stricto, cerrado denso, cerrado ralo e cerrado rupestre) e florestais (cerradão, matas de galeria ciliares e secas) (Ribeiro e Walter 2008).

A área central de sua ocorrência é a região do planalto central brasileiro, estendendo-se para as regiões norte, nordeste e sudeste (Eiten 1972; Ribeiro e Walter 2008).

De acordo com a definição de Myers et al. (2000) o cerrado é considerado um hotspot, pois é um ambiente com elevada concentração de espécies endêmicas e excepcional perda de habitat. Mesmo estando localizada na área core de distribuição do domínio do Cerrado, a literatura com dados de levantamento da flora regional da região sudeste de Goiás ainda é muito reduzida.

Levantamentos da vegetação na região sudeste de Goiás foi realizado apenas no município de Catalão (Ferreira e Moreno 2010), sendo que os demais estudos próximos a esta região foram no Parque Estadual de Caldas Novas, região sul de Goiás (Silva et al.

2002; Moreno e Cardoso 2006), em Silvânia região leste do estado (Felfili e Silva Junior 1993), além de descrições de algumas espécies da flora regional (Coleção Rizzo, 1981).

A variação na vegetação do cerrado é produto de interações como fertilidade do solo, profundidade do lençol freático e declividade (Eiten 1972), que em conjunto, produzem um gradiente de formas fisionômicas que vão desde campo limpo, com predominância do estrato herbáceo, até formações florestais onde predomina o estrato arbóreo (Eiten 1972; Ribeiro e Walter 2008). Considerando apenas os remanescentes mais extensos e menos dissecados dessas superfícies, os solos restringem-se basicamente aos Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, os quais são descritos genericamente como profundos, pobres em nutrientes, praticamente sem minerais primários facilmente intemperizáveis e com relevo plano a suave ondulado.

Apesar da aparente homogeneidade, o detalhamento desse universo é uma necessidade comprovada pela variabilidade química, física e mineralógica desses solos (Ker e Resende 1996). Apesar de escassos, alguns estudos realizados em escala espacial reduzida, indicam que dentro de uma mesma região climática, o tipo de solo pode ser utilizado como indicativo da composição florística a ser implantada em projetos de recomposição da vegetação (Rodrigues e Gandolfi 1996).

Estudos envolvendo a disponibilidade de nutrientes do solo são de grande importância quando relacionados com a dinâmica de distribuição de espécies, sabendo que algumas espécies não toleram baixa fertilidade do solo, ou são sensíveis a minerais como alumínio.

Alguns trabalhos já foram realizados relacionando solo-vegetação na estrutura de fitofisionomias do cerrado (Moreno et. al. 2008), a influência da topografia sobre as variações da composição florística (Cardoso e Schiavini 2002) e na estrutura da comunidade arbóreo arbustiva de floresta estacional semidecidual (Botrel et. al. 2002). Além das relações solosuperfície geomórfica e evolução da paisagem (Motta et. al. 2002).

2.1.5 Geologia

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Catalão integra um conjunto de diversas instruções formadas no Cretáceo Superior que contém, além de suítes carbonatíticas, Kimberlitos e rochas assemelhadas, sendo conhecida por Província do Alto Paranaíba. Esta Província compreende a região Sudeste de Goiás e Triângulo Mineiro, e é caracterizada não só por suas associações petrológicas, mas também pelo seu potencial meralogenético para o nióbio, fosfato, titânio e diamante, entre outros bens minerais.

Catalão é constituído por um agrupamento de tipos petrográficos no qual foram reconhecidas quatro séries magmáticas principais. A série dos piroxenitos destaca-se pelo seu potencial para o fosfato, enquanto a série dos carbonatítica, além dele, é importante por ser rica em Nióbio, um único estágio específico conhecido por rocha mineralizada. Uma outra fase magmática digna de nota é aquela que formou os fosforitos, que têm como maior importância e seu elevado conteúdo em fosfato, sendo também mineralizada em pirocloro.

2.2 ASPECTOS SANITÁRIOS

2.2.1 Abastecimento de água

Hoje, a cidade de Catalão conta com Trinta e sete mil novecentos e sessenta e sete (37.967) economias ativas, dados fornecidos pela Superintendência Municipal de Água e Esgoto – SAE – Catalão - GO, com uma população de 96.836 habitantes, senso IBGE 2014 e apresenta um crescimento demográfico acima da média nacional.

É importante lembrar que no período entre o ano de Dois mil (2000) ao ano de Dois mil e doze (2012), foram criados Trinta e três (33) novos loteamentos e efetivadas novas Quinze mil cento e noventa e quatro (15.194) primeiras ligações, ou seja, a cidade de Catalão passou por um crescimento acima de Quarenta por cento (40%), em seu consumo de água.

2.2.2 Disposição dos Esgotos

Catalão possui cerca de 62% (sessenta e dois por cento) de suas economias ativas atendidas por rede de coleta de esgoto, sendo o volume captado, destinado à Estação de Tratamento de Esgoto, para despejo no Ribeirão Pirapitinga, afluente do São Francisco, constituinte da Bacia Hidrográfica do Paranaíba.

2.3 DETERMINAÇÃO DA POPULAÇÃO E DAS VAZÕES DE PROJETO

A área de abrangência para a Ampliação do Sistema de Abastecimento de Água de Catalão compreende uma área de aproximadamente 2.791 ha. Devidos as características da ocupação urbana da cidade, os estudos demográficos e territoriais definiram duas (02) Zonas Homogêneas, sendo a zona de ocupação urbana (ZOU), caracterizada pelo adensamento populacional na malha urbana da cidade, e a zona de expansão, caracterizada por áreas com ocupação ainda inexpressiva. As projeções do crescimento populacional da cidade de Catalão consideraram os seguintes parâmetros:

- Período de alcance do plano: 30 anos;
- Número de etapas básicas de implantação: 1;
- Ano de início de operação do sistema: 2.016;
- Área de abrangência do sistema: 2.791 ha;

Os parâmetros de projeto admitidos para o cálculo das demandas do sistema são:

$$Q_{\text{méd}} = P.q/86.400$$

$$Q_{\text{dia}} = k_1.Q_{\text{méd}}$$

$$Q_{\text{hor}} = k_1.k_2.Q$$

Onde:

- $Q_{\text{méd}}$ = consumo médio de água, l/s;
- Q_{dia} = consumo máximo diário de água, l/s;
- Q_{hor} = consumo máximo horário de água, l/s;
- k_1 = coeficiente de máxima vazão diária = 1,20;
- k_2 = coeficiente de máxima vazão horária = 1,5;
- P = população atendível, hab.

De acordo com os parâmetros estabelecidos, foram obtidas as vazões de projeto apresentadas no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Projeções de crescimento das populações urbana e atendível.

Ano	Índice de atendimento %	População (hab.)		Per-capita total (l/s.hab)	Demanda (l/s)		
		Urbana	Atendível		Média	Máx. Diária	Máx. Horária
2012	95%	79.491	75.516	239	208,89	250,67	376,01
2022	100%	96.289	96.289	237	264,13	316,96	475,44
2032	100%	110.498	110.498	231	295,43	354,52	531,78
2042	100%	121.807	121.807	225	317,21	380,65	570,98

A ampliação do SAA de Catalão abrangerá as seguintes unidades:

- Barragem de Acumulação de Água Bruta (Pari);
- Captação Pari;
- Captação Samambaia – Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 (EAB 01);
- Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 (EAB 02);
- Conjunto Transformador 1500KVA Pari;
- Conjunto Transformador 1500KVA Samambaia;
- Conjunto Transformador 1500KVA EAB Samambaia;
- Adutora de Água Bruta Pari - Duplicação (AAB 01);
- Estação de Tratamento de Água (ETA)

3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

3.1 DESCRIÇÃO GERAL

3.1.1 Captação Pari

A construção da barragem, permitirá a instalação de um sistema de captação que operará sobre flutuantes, prancha: FLUTUANTE_R00, reduzindo assim, a necessidade de intervenções civis quanto a construção de casas de máquinas, o que acarretará na redução do custo de implantação do sistema, bem como nos custos operacionais do mesmo, vale observar que o sistema de flutuantes, em casos de estiagens extremas e rebaixamento do nível da barragem, permitirá o melhor aproveitamento do volume de água armazenado pela barragem, reduzindo assim o volume morto ao menor nível.

O Sistema deverá ser composto por dois módulos flutuantes independentes, prancha: PRO_EXE_FLUTUANTE_CAP_R01, e em cada unidade deverá ser instalada uma bomba Anfíbia Modelo R2-390-500CV, prancha: R2-390_500B_R00, as quais serão interligadas por um barrilete fabricado em Aço Carbono DN 600mm PN 10, prancha: PRO_EXE_FLUTUANTE_CAP_R01, que fará a interligação desse à adutora de PEAD DN 600mm PN 12, que será sustentada por 215 flutuantes auxiliares, prancha: FLUTUADOR_PEAD_R00, garantindo a flutuação da adutora de PEAD bem como os cabos de alimentação elétrica dos conjuntos motobombas.

Quando em solo, essa adutora será bifurcada em "Y" e conectada à adutora de Ferro Fundido, FOFO, DN 350mm PN 22,5, já existente e à adutora de PVC, DN 400mm PN 12, a ser instalada, prancha: CTAHP2D13-CX INTERLIGAÇÃO MONTANTE, onde serão instaladas vinte e duas ventosas de tríplex função, prancha: CTAHP12D01-PERFIL GERAL, a jusante, após 7.290m, já na Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01, será ligada a adutora de FOFO, DN 350mm PN 22,5, já existente, na forma de "Y" invertido, conectada ao barrilete de sucção, prancha: CTAHP2D14-CX INTERLIGAÇÃO JUSANTE.

A estação de bombeamento, captação Pari, deverá ser formada por três sistemas motobomba iguais, sendo dois atuantes e um outro reserva fria, não instalada. As características principais de cada conjunto são:

- Modelo: R2-390-500CV;
- Vazão nominal: 210 l/s;
- Altura manométrica: 116 mca;
- Velocidade de rotação da bomba funcionando em seu regime nominal: 1750 rpm;
- Potência elétrica nominal: 500CV;
- Diâmetro do rotor da bomba: 330mm.

Para poder analisar os fenômenos transitórios originados pelas paradas do bombeamento, é necessário dispor dos seguintes dados:

- Curva característica da bomba com as informações: altura-vazão (H-Q), potência-vazão (P-Q) e rendimento-vazão (R-Q). (Em anexo)
- Velocidade de rotação nominal da bomba: 1750 rpm
- Momento de inércia da bomba: 1,859 kg.m²

3.1.1.1 Curva característica (H-Q) Definição de potência

A curva característica H-Q da bomba permite definir a altura manométrica fornecida pela mesma segundo a vazão bombeada. Esta curva não só é fundamental para a análise do funcionamento da instalação em regime transitório, como também é decisiva na determinação do regime permanente inicial da instalação.

A informação corresponde à curva H-Q da bomba modelo 60Hz - 4 polos - 1750 rpm - 500CV, conforme apresentado na Figura 02.

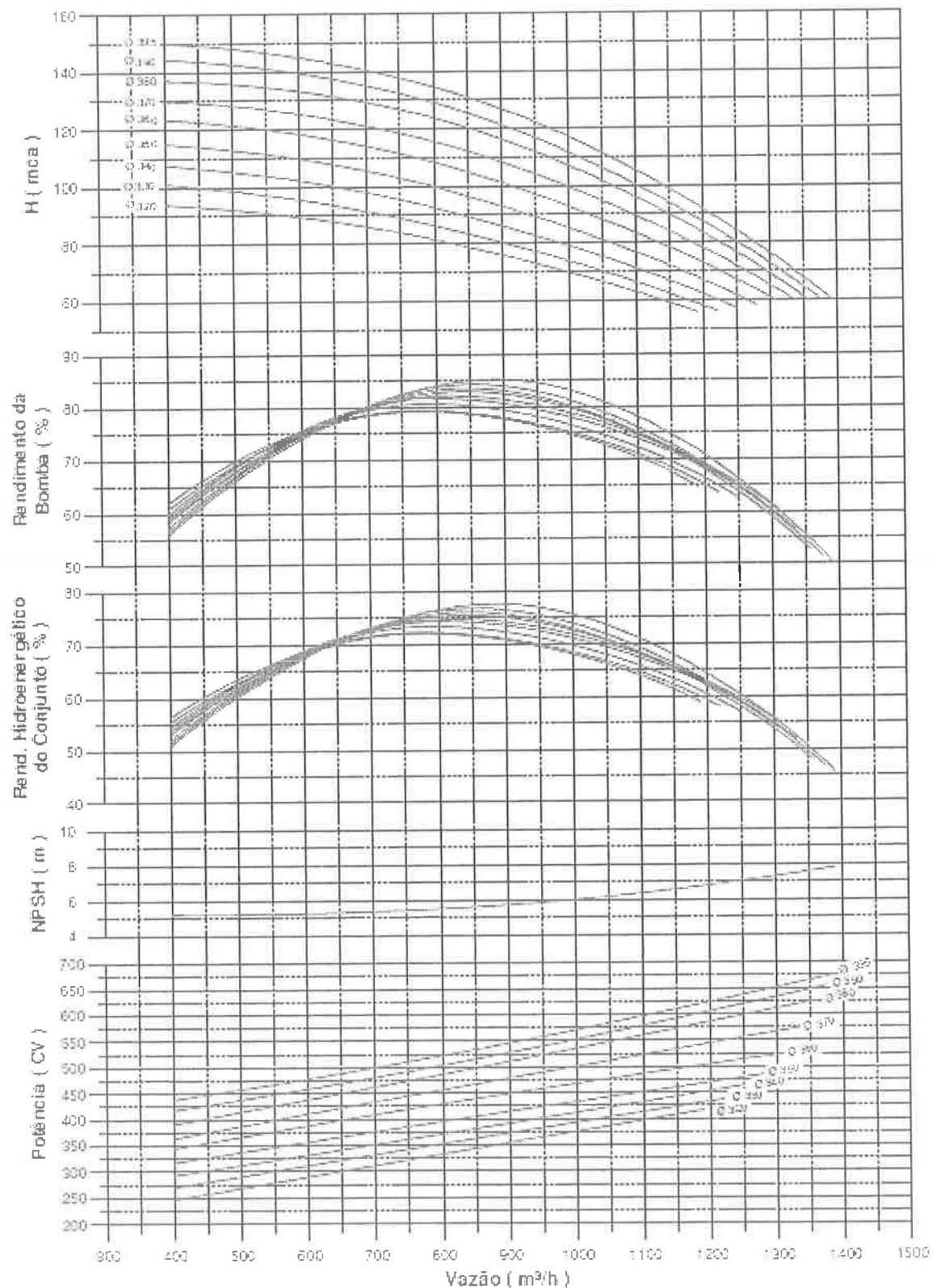


Figura 02: Curva da bomba modelo 60Hz – 4 polos – 1750 rpm – 500CV.

As características da instalação referente as cotas na sucção, cota 695m, perfil topográfico prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, NF Barragem Pari e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 – EAB 01, cota 744m, assim como o detalhe do perfil longitudinal da adutora, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00.

Para a determinação do modelo de bomba a ser utilizado, levando em consideração a curva de performance da mesmas, utilizou-se o Método Baseado na Variação Linear dos Custos das Tubulações:

Parte-se do princípio que o custo de implantação da tubulação tem sua variação linearmente com o seu diâmetro, então:

$$Custo (Diâmetro) = \lambda \times Diâmetro$$

O custo de implantação é dado por:

$$C_{implantação} = \lambda \times D \times L$$

O custo anual de energia de bombeamento é:

$$C_{energia} = P \times Nb \times p$$

Onde P é a potência requerida (kW), Nb é o número de horas de bombeamento no ano (horas) e p é a tarifa de energia elétrica (R\$/kWh).

Substituindo a potência P temos:

$$C_{energia} = \frac{9,81 \times Q \times (H_g + h_f)}{\eta} \times Nb \times p$$

Onde Q é a vazão (m³/s), H_g o desnível geométrico e η é o rendimento do conjunto motor bomba. As perdas (h_f) podem ser determinadas através das equações:

$$h_f = \beta \cdot L \frac{Q^2}{D^5}$$

Onde a variável β é dada por:

$$\beta = \frac{8}{\pi^2 g} \left(f + \frac{(\Sigma K) D}{L} \right)$$

O custo de energia deve ser atualizado e é dado pela multiplicação do custo energético anual pelo fator de atualização (Fa). O fator de atualização é calculado com base na taxa de juros anual e a taxa de aumento anual de energia elétrica.

O Custo total é portanto:

$$C_{total} = \frac{9,81 \times Q \times (H_g + \beta \cdot L \frac{Q^2}{D^5}) \times Nb \times p}{\eta} \times F_a + \lambda \cdot D \cdot L$$

Essa equação representa a curva de custo total para diferentes diâmetros e para encontrar o menor custo da curva em questão para derivar em função do

diâmetro para encontrar o ponto mínimo da equação que será admitido como o ponto do diâmetro ótimo.

Após aplicar a derivada em função do diâmetro e organizar a equação temos:

$$D_{otimo} = 1,913 \left(\frac{\beta \cdot p \cdot N_b \cdot F_a}{\lambda \cdot \eta} \right)^{0,166} \sqrt{Q}$$

Em analogia com a fórmula de Bresse ($k\sqrt{Q}$)

$k = 1,913 \left(\frac{\beta \cdot p \cdot N_b \cdot F_a}{\lambda \cdot \eta} \right)^{0,166}$ temos que k tem o valor de:

Planilha DEIR - Dimensionamento Econômico de Instalações de Recalque			
Dados		Unidade	Quantidade
Altura geométrica		m	50
Comprimento da tubulação		m	7700
Vazão requerida		l/s	169,6
Somatório dos coef. (perdas localizadas)		-	0
Coeficiente de majoração das perdas contínuas		-	1,00
Rendimento do conjunto motor-bomba		%	82
Viscosidade cinemática da água		m ² /s	0,000001004
Rugosidade absoluta		mm	0,02
Período de utilização		anos	30
Utilização média anual		horas	5840
Preço do kWh		\$	0,063
Taxa de aumento anual de energia		%	6
Taxa de juro anual		%	12
Diâmetro atribuído (interno)		mm	366,2
Custo de implantação da tubulação atribuída		\$/m	375,00
Cálculo das variáveis			
Coeficiente de atualização da energia "Fa"			13,47
Parâmetro de custo "λ"		R\$/m/m	1024,03
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (tubulação atribuída)			
	f	A	B
	0,01359102	8,58	8,58
Variável de perdas "β"			
Diâmetro ótimo teórico		mm	342,60
Diâmetro ótimo comercial (DN)			400,00
Diâmetro ótimo interno		mm	400,00
Velocidade de escoamento		m/s	1,35
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (diâmetro ótimo interno)			
	f	A	B
	0,01369576	8,54	8,54
Perda total			
Perda unitária		mca	24,48
Altura manométrica		m/m	0,0032
Potência requerida		kW	74,48
Potência requerida		CV	151,11
Custo atualizado da energia (valor presente)		\$	205,32
			748.983,28

Figura 03: Planilha de Cálculo do método DEIR para a adutora de água bruta Pari – EAB 0, 1PVC DN 400 mm PN 12.

Planilha DEIR - Dimensionamento Econômico de Instalações de Recalque			
Dados		Unidade	Quantidade
Altura geométrica		m	50
Comprimento da tubulação		m	7700
Vazão requerida		l/s	150,4
Somatório dos coef. (perdas localizadas)		-	0
Coeficiente de majoração das perdas contínuas		-	1,00
Rendimento do conjunto motor-bomba		%	82
Viscosidade cinemática da água		m²/s	0,000001004
Rugosidade absoluta		mm	0,02
Período de utilização		anos	30
Utilização média anual		horas	5840
Preço do kWh		\$	0,063
Taxa de aumento anual de energia		%	6
Taxa de juro anual		%	12
Diâmetro atribuído (interno)		mm	366,2
Custo de implantação da tubulação atribuída		\$/m	375,00
Cálculo das variáveis			
Coeficiente de atualização da energia "Fa"			13,47
Parâmetro de custo "λ"		R\$/m/m	1024,03
Cálculo do coeficiente de atrito " f " (tubulação atribuída)			
	f	A	B
	0,01381685	8,51	8,51
Variável de perdas "β"			0,0011416
Diâmetro ótimo teórico		mm	323,51
Diâmetro ótimo comercial (DN)			350,00
Diâmetro ótimo interno		mm	350,00
Velocidade de escoamento		m/s	1,56
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (diâmetro ótimo interno)			
	f	A	B
	0,01376316	8,52	8,52
Perda total		mca	37,71
Perda unitária		m/m	0,0049
Altura manométrica		mca	87,71
Potência requerida		kW	157,82
Potência requerida		CV	214,43
Custo atualizado da energia (valor presente)		\$	782.233,32

Figura 04: Planilha de Cálculo do método DEIR para a adutora de água bruta Pari – EAB 01, FOFO
DN 350 mm PN 22.

Conforme mostrado na Figura 03 e 04 o sistema impulsor escolhido terá como característica principal de operação uma vazão de **320 (1152 m³/h)** e uma altura manométrica máxima de **87,71mca**, pior situação do trecho em FOFO DN 350mm PN 22, adutora já instalada. A curva da bomba escolhida operando a 60Hz e a 50Hz pode ser observada na figura 02.

A concepção proposta para atender o projeto de bombeamento Pari, prevê a captação para Final de Plano de 320 L/s que será recalçada para a Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01. O esquema do modelo proposto como solução está disposto nas Figuras 05, 06, 07, 08, e 09.

Os modelos apresentados a seguir, foram obtidos através de programa de computação, EPANET 2, sendo este um modelo automatizado de simulação que ajuda a atingir este objetivo. Permite simular o comportamento hidráulico e de qualidade da água de um sistema de distribuição sujeito a diversas condições operacionais, durante um determinado período de funcionamento.

O EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, onde se destacam como principais características:

- * Dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc;
- * Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;
- * Modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão;
- * Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- * Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- * Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (p.ex. aspersores de irrigação, ou consumos dependentes da pressão);
- * Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição (p.ex., altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controles com condições múltiplas.

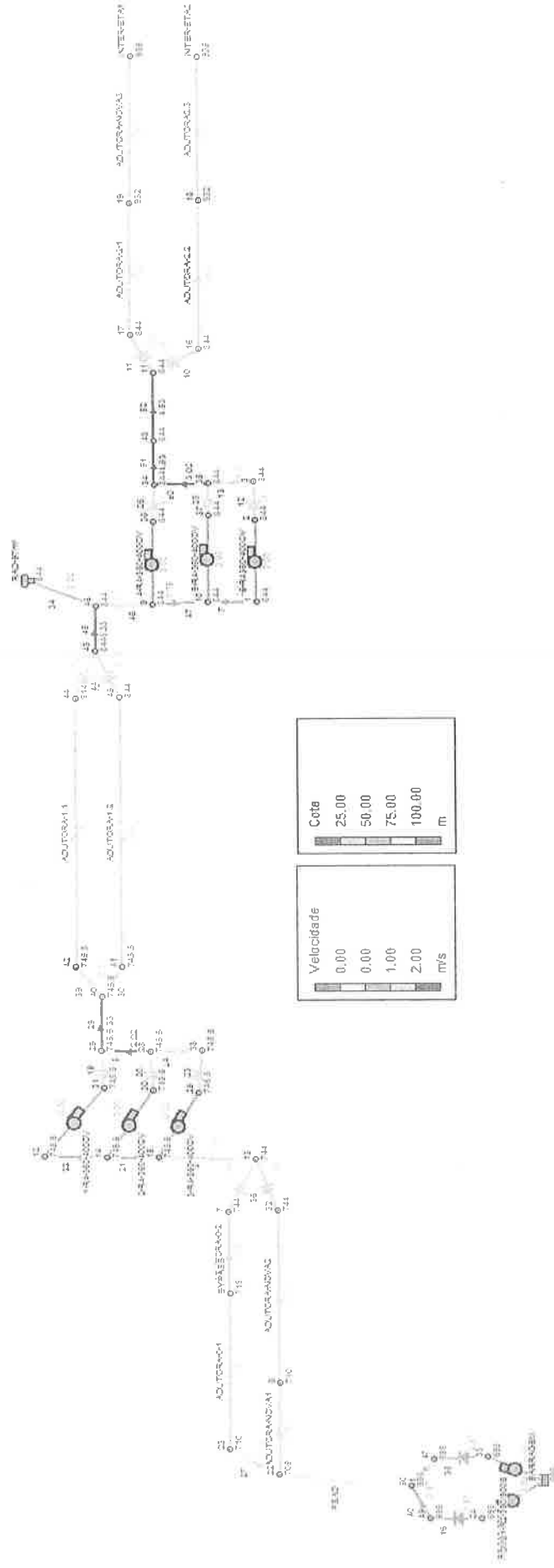


Figura 05: Modelagem do Sistema de Bombeamento Cota x Velocidade.

A Captação Samambaia, apresenta, conforme modelo, para o trecho já instalado, adutora de FOF DN 350mm PN 22, Captação Pari, cota 695m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01, cota 744m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, velocidade de escoamento de 1,39m/s, para a vazão de 154l/s, considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidade de escoamento para adução de água bruta.

Já para o trecho de adução a ser implantada, o modelo acima, adutora de PVC DN 400mm PN 16, captação Pari, cota 695m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01, cota 744m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, velocidade de escoamento de 1,91m/s, para a vazão de 169,6l/s, também considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidades de escoamento para adução de água bruta.

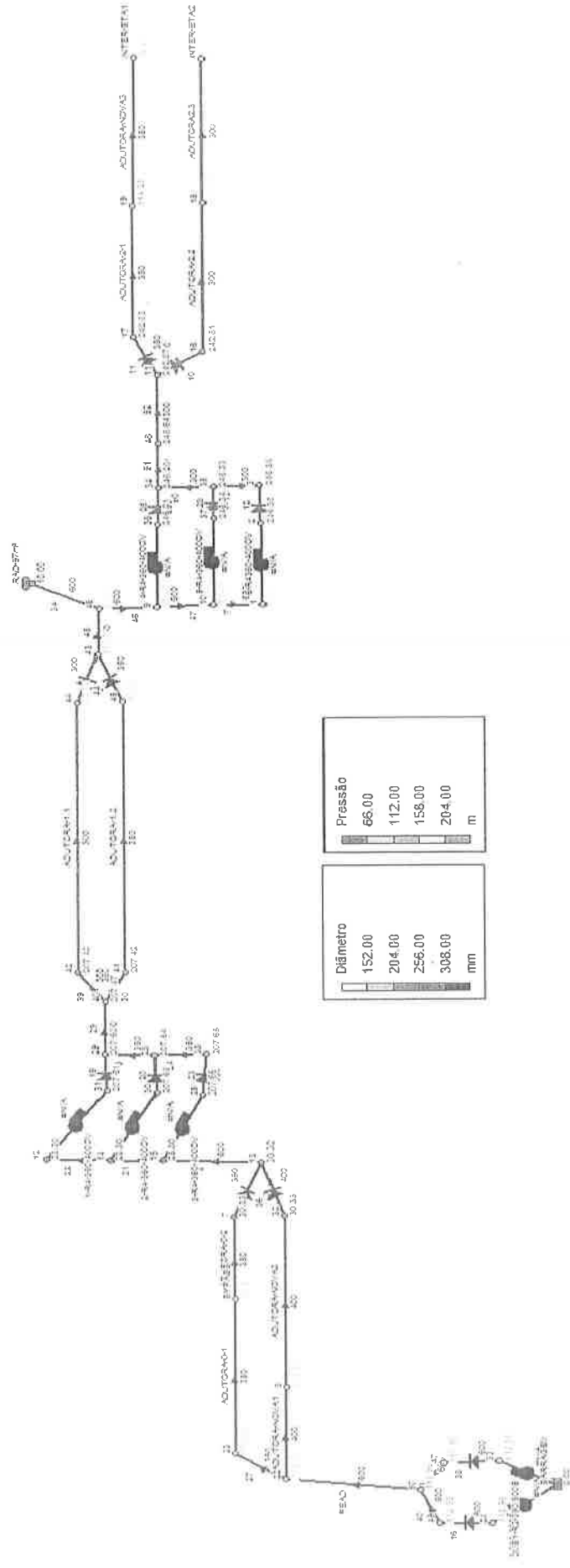


Figura 06: Modelagem do Sistema de Bombeamento Diâmetro Nominal x Pressão.

A Captação Samambala, apresenta, conforme modelo, para o trecho já instalado, adutora de FOFO DN 350mm PN 22, Captação Pari, cota 695m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambala 01, cota 744m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, pressão de 103,64mca, para a vazão de 154l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 30,32mca na entrada do sistema de bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambala 01 - EAB 01.

Já para o trecho de adução a ser implantada, o modelo acima, adutora de PVC DN 400mm PN 16, captação Pari, cota 695m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambala 01, cota 744m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, pressão de 103,64, para a vazão de 169,6l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 30,32mca na entrada do sistema de bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambala 01 - EAB 01.

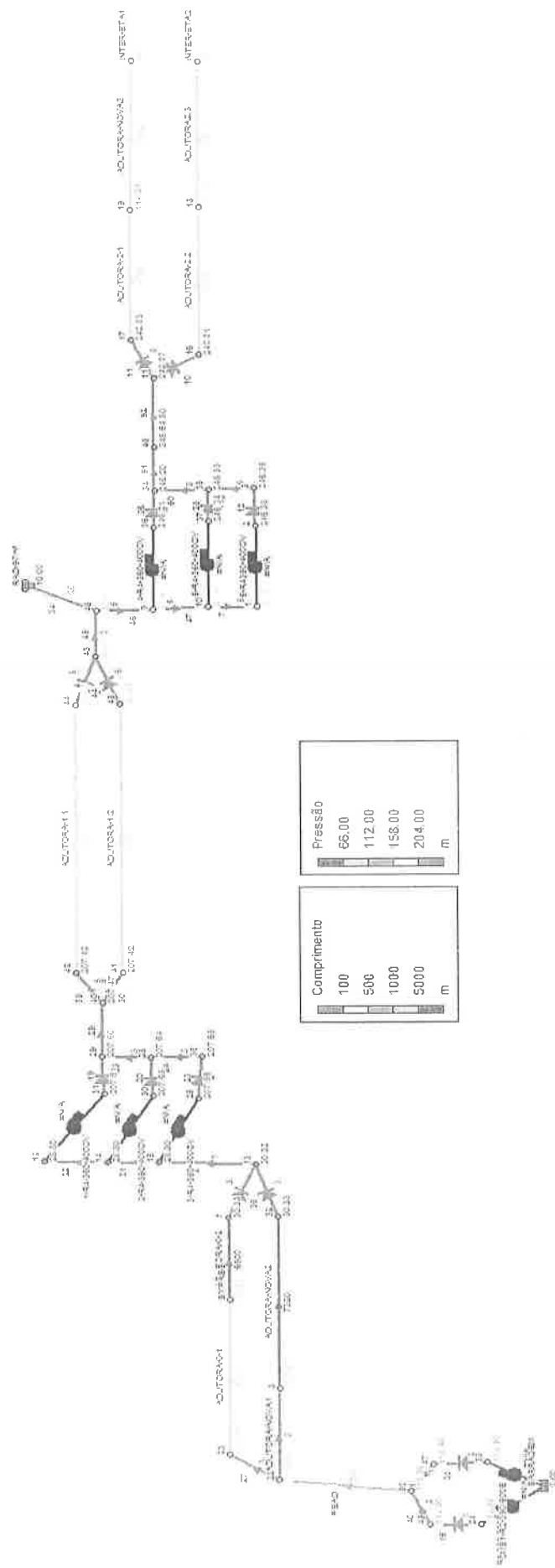


Figura 07: Modelagem do Sistema de Bombeamento Comprimento x Pressão.

A Captação Samambaia, apresenta, conforme modelo, para o trecho já instalado, adutora de FOFO DN 350mm PN 22, Captação Pari, cota 695m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01, cota 744m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, pressão de 103,64mca, para a vazão de 154l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 30,32mca, após percorrer um trecho de 7590m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00.

Já para o trecho de adução a ser implantada, o modelo acima, adutora de PVC DN 400mm PN 16, captação Pari, cota 695m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01, cota 744mm, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, pressão de 103,64, para a vazão de 169,6l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 30,32mca, após percorrer um trecho de 7700m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00.

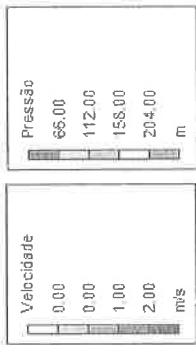


Figura 08: Modelagem do Sistema de Bombeamento Velocidade x Pressão.

A Captação Samambaia, apresenta, conforme modelo, para o trecho já instalado, adutora de FOFO DN 350mm PN 22, Captação Pari, cota 695m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01, cota 744m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, pressão de 103,64mca, para a vazão de 154l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 30,32mca, após percorrer um trecho de 7590m, prancha PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, a velocidade de escoamento de 1,39m/s, para a vazão de 154l/s, considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidade de escoamento para adução de água bruta.

Já para o trecho de adução a ser implantada, o modelo acima, adutora de PVC DN 400mm PN 16, captação Pari, cota 695m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EABO_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01, cota 744mm, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EABO_R00, pressão de 169,6l/s, chegando ao final da

adutora com pressão de 30,32mca, após percorrer um trecho de 7700m, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00, a velocidade de escoamento de 1,91m/s, para a vazão de 169,6l/s, também considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidades de escoamento para adução de água bruta.

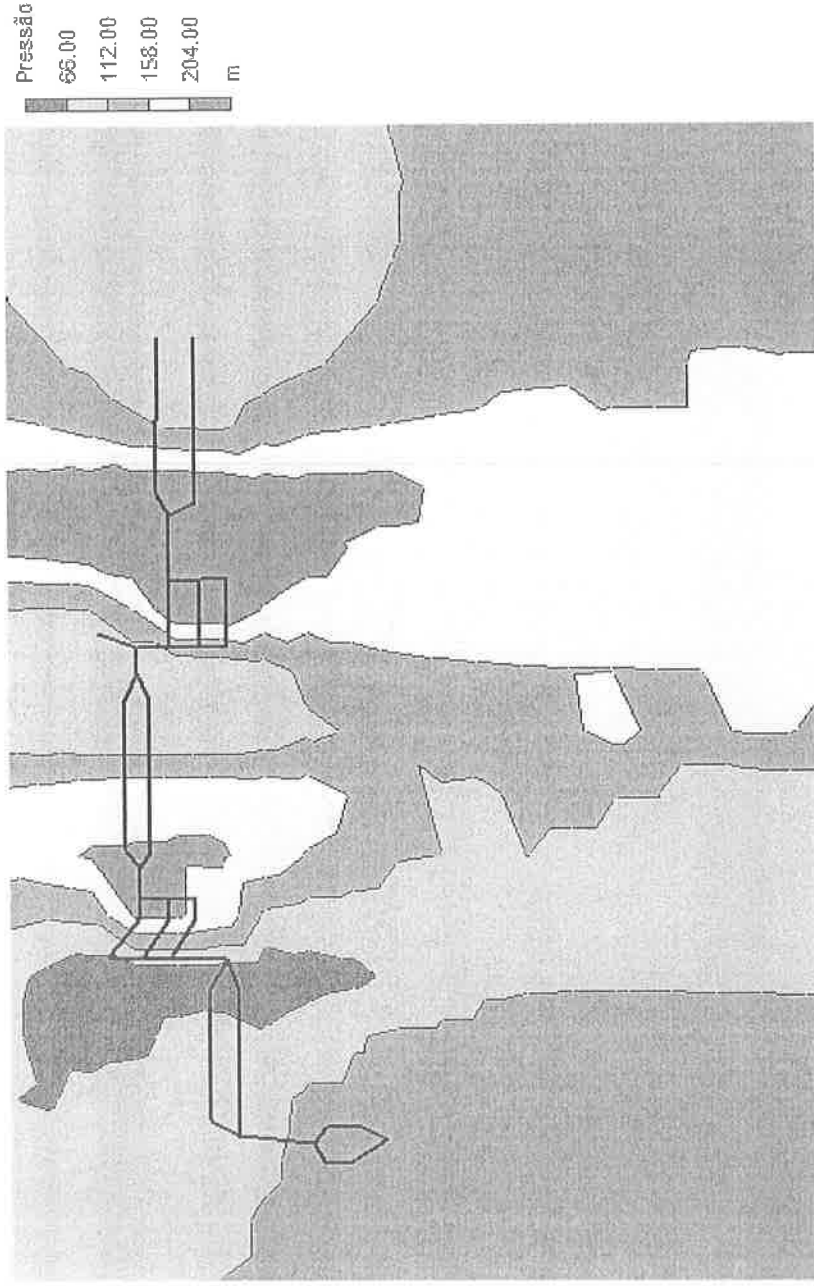


Figura 09: Modelagem do Sistema de Bombeamento Isolinhas de Pressão.

3.1.1.1 NPSH

Os cálculos referentes ao NPSH tornam-se desnecessários, uma vez que o sistema de bombeamento trabalhará afogado, não sendo passível de cavitação.

3.1.2 Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 – EAB 01

A instalação de nova rede de adução, para a adequação da vazão final do projeto (2042), implica em ajustes no barrilete de sucção da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia – EAB 01.

A tubulação já existente, prancha: PERFIL_AAB_PARI-EAB0_R00 , Ferro Fundido, FOFO, DN 350 PN 22, 7590m, permanecerá inalterada, bem como seus dispositivos de proteção Hidromecânica e a mesma será interligada a um novo barrilete de sucção a ser instalado de Aço Carbono DN 600mm PN 12, prancha: PRO_EXE_HD_EAB01-R00 XXX, na cota 744m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00.

A adutora a ser instalada, PCV, DEFOFO, DN 400 PN 16, 7700m, também será interligada a esse barrilete de sucção de Aço Carbono DN 600mm PN 12, prancha: PRO_EXE_HD_EAB01-R00 XXX na cota 744m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00.

O Sistema de bombeamento, considerado como um BOOSTER, ou estação pressurizadora, será alimentada pelo barrilete de sucção, prancha: PRO_EXE_HD_EAB01-R00 XXX, e será composto por quatro conjunto motobomba, Modelo 4R-360-400CV, ligados diretamente ao barrilete de recalque DN 600mm Aço Carbono, prancha: PRO_EXE_HD_EAB01-R00 XXX e deverá recalcar o volume de água à Estação Elevatória de Água Bruta 02 – EAB 02, através de dois trechos de adução, trecho 01, Ferro Fundido FOFO DN 300mm PN 22, trecho 02, Fibra de Vidro DN 350mm PN 16 já existentes.

A EAB 01, deverá ser formada por quatro sistemas motobomba iguais, sendo três atuantes e um outro como reserva fria, não instalada. As características principais de cada conjunto são:

- Modelo: R4-360-400CV;
- Vazão nominal: 106 l/s;
- Altura manométrica: 170mca;
- Velocidade de rotação da bomba funcionando em seu regime nominal: 1750 rpm;
- Potência elétrica nominal: 400CV;
- Diâmetro do rotor da bomba: 330mm.

Para poder analisar os fenômenos transitórios originados pelas paradas do bombeamento, é necessário dispor dos seguintes dados:

- Curva característica da bomba com as informações: altura-vazão (H-Q), potência-vazão (P-Q) e rendimento-vazão (R-Q). (Em anexo)
- Velocidade de rotação nominal da bomba: 1750 rpm

- Momento de inércia da bomba: 1,859 kg.m²

3.1.2.1 Curva característica (H-Q) Definição de potência

A curva característica H-Q da bomba permite definir a altura manométrica fornecida pela mesma segundo a vazão bombeada. Esta curva não só é fundamental para a análise do funcionamento da instalação em regime transitório, como também é decisiva na determinação do regime permanente inicial da instalação.

A informação correspondente à curva H-Q da bomba obtém-se o modelo 60Hz – 4 polos – 1750 rpm – 500CV conforme apresentado na Figura 10.

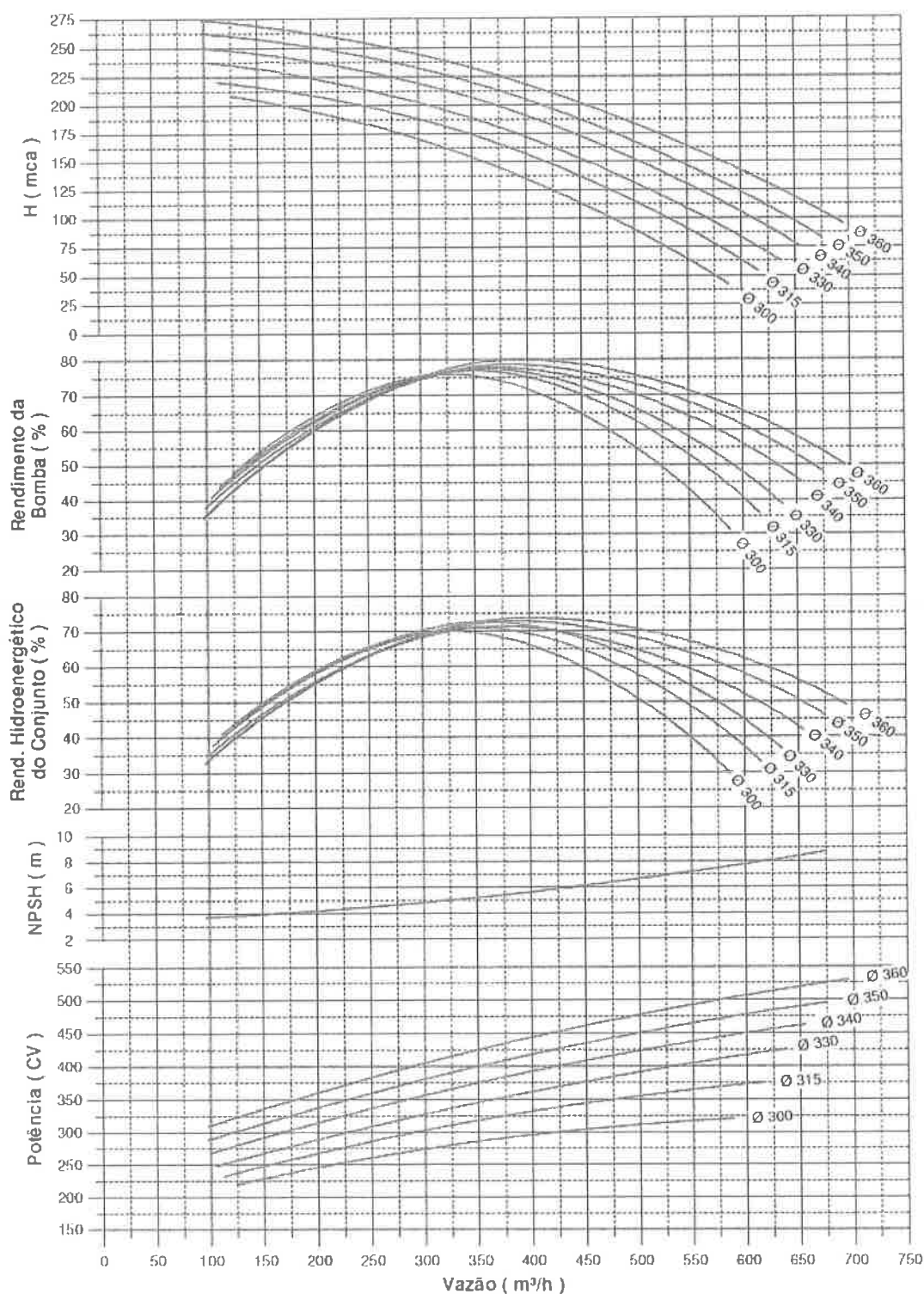


Figura 10: Curva da bomba modelo 60Hz – 4 polos – 1750 rpm – 500Cv.

As características da instalação referente as cotas na sucção, cota 745,5m, perfil topográfico prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 – EAB 01 e Estação Elevatória de Água Bruta 02 – EAB 02, cota 844m, assim como o detalhe do perfil longitudinal da adutora, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00.

Para a determinação do modelo de bomba a ser utilizado, levando em consideração a curva de performance da mesmas, utilizou-se o Método Baseado na Variação Linear dos Custos das Tubulações:

Parte-se do princípio que o custo de implantação da tubulação tem sua variação linearmente com o seu diâmetro, então:

$$Custo (Diâmetro) = \lambda \times Diâmetro$$

O custo de implantação é dado por:

$$C_{implantação} = \lambda \times D \times L$$

O custo anual de energia de bombeamento é:

$$C_{energia} = P \times Nb \times p$$

Onde P é a potência requerida (kW), Nb é o número de horas de bombeamento no ano (horas) e p é a tarifa de energia elétrica (R\$/kWh).

Substituindo a potência P temos:

$$C_{energia} = \frac{9,81 \times Q \times (H_g + h_f)}{\eta} \times Nb \times p$$

Onde Q é a vazão (m³/s), H_g o desnível geométrico e η é o rendimento do conjunto motor bomba. As perdas (h_f) podem ser determinadas através das equações:

$$h_f = \beta \cdot L \cdot \frac{Q^2}{D^5}$$

Onde a variável β é dada por:

$$\beta = \frac{8}{\pi^2 g} \left(f + \frac{(\Sigma K) D}{L} \right)$$

O custo de energia deve ser atualizado e é dado pela multiplicação do custo energético anual pelo fator de atualização (Fa). O fator de atualização é calculado com base na taxa de juros anual e a taxa de aumento anual de energia elétrica.

O Custo total é portanto:

$$C_{total} = \frac{9,81 \times Q \times (H_g + \beta \cdot L \cdot \frac{Q^2}{D^5}) \times Nb \times p}{\eta} \times F_a + \lambda \cdot D \cdot L$$

Essa equação representa a curva de custo total para diferentes diâmetros e para encontrar o menor custo da curva em questão para derivar em função do

diâmetro para encontrar o ponto mínimo da equação que será admitido como o ponto do diâmetro ótimo.

Após aplicar a derivada em função do diâmetro e organizar a equação temos:

$$D_{otimo} = 1,913 \left(\frac{\beta \cdot p \cdot N_b \cdot F_a}{\lambda \cdot \eta} \right)^{0,166} \sqrt{Q}$$

Em analogia com a fórmula de Bresse ($k\sqrt{Q}$)

$k = 1,913 \left(\frac{\beta \cdot p \cdot N_b \cdot F_a}{\lambda \cdot \eta} \right)^{0,166}$ temos que k tem o valor de:

Planilha DEIR - Dimensionamento Econômico de Instalações de Recalque		
Dados	Unidade	Quantidade
Altura geométrica	m	108
Comprimento da tubulação	m	4000
Vazão requerida	l/s	185
Somatório dos coef. (perdas localizadas)	-	0
Coeficiente de majoração das perdas contínuas	-	1,00
Rendimento do conjunto motor-bomba	%	80
Viscosidade cinemática da água	m ² /s	0,000001004
Rugosidade absoluta	mm	0,02
Período de utilização	anos	30
Utilização média anual	horas	5840
Preço do kWh	\$	0,063
Taxa de aumento anual de energia	%	6
Taxa de juro anual	%	12
Diâmetro atribuído (interno)	mm	366,2
Custo de implantação da tubulação atribuída	\$/m	375,00
Cálculo das variáveis		
Coeficiente de atualização da energia "Fa"		13,47
Parâmetro de custo "λ"	R\$/m/m	1024,03
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (tubulação atribuída)		
	f	A B
	0,01343502	8,63 8,63
Variável de perdas "β"		0,0011101
Diâmetro ótimo teórico	mm	358,59
Diâmetro ótimo comercial (DN)		300,00
Diâmetro ótimo interno	mm	300,00
Velocidade de escoamento	m/s	2,61
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (diâmetro ótimo interno)		
	f	A B
	0,01328195	8,68 8,68
Perda total	mca	61,83
Perda unitária	m/m	0,0155
Altura manométrica	mca	169,83
Potência requerida	kW	385,26
Potência requerida	CV	523,46
Custo atualizado da energia (valor presente)	\$	1.909.544,87

Figura 11: Planilha de Cálculo do método DEIR para a adutora de água bruta EAB 01 – EAB 02 DN 300mm.

Planilha DEIR - Dimensionamento Econômico de Instalações de Recalque			
Dados		Unidade	Quantidade
Altura geométrica		m	108
Comprimento da tubulação		m	4000
Vazão requerida		l/s	185
Somatório dos coef. (perdas localizadas)		-	0
Coeficiente de majoração das perdas contínuas		-	1,00
Rendimento do conjunto motor-bomba		%	80
Viscosidade cinemática da água		m²/s	0,000001004
Rugosidade absoluta		mm	0,02
Período de utilização		anos	30
Utilização média anual		horas	5840
Preço do kWh		\$	0,063
Taxa de aumento anual de energia		%	6
Taxa de juro anual		%	12
Diâmetro atribuído (interno)		mm	366,2
Custo de implantação da tubulação atribuída		\$/m	375,00
Cálculo das variáveis			
Coeficiente de atualização da energia "Fa"			13,47
Parâmetro de custo "λ"		R\$/m/m	1024,03
Cálculo do coeficiente de atrito " f " (tubulação atribuída)			
	f	A	B
	0,01343502	8,63	8,63
Variável de perdas "β"			0,0011101
Diâmetro ótimo teórico		mm	358,59
Diâmetro ótimo comercial (DN)			350,00
Diâmetro ótimo interno		mm	350,00
Velocidade de escoamento		m/s	1,92
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (diâmetro ótimo interno)			
	f	A	B
	0,01339241	8,64	8,64
Perda total		mca	28,84
Perda unitária		m/m	0,0072
Altura manométrica		mca	136,84
Potência requerida		kW	310,44
Potência requerida		CV	421,79
Custo atualizado da energia (valor presente)		\$	1.538.670,37

Figura 12: Planilha de Cálculo do método DEIR para a adutora de água bruta EAB 01 – EAB 02 DN 350mm.

Conforme mostrado na Figura 11 e 12 o sistema impulsor escolhido terá como característica principal de operação uma vazão de **320 (1152 m³/h)** e uma altura manométrica máxima de **169,83 mca**, pior situação do trecho em 300mm. A curva da bomba escolhida operando a 60Hz e a 50Hz pode ser observada na figura 10.

A concepção proposta para atender o projeto de bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 EAB 01, prevê a captação para Final de Plano de 320 L/s que será recalçada para a Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02. O esquema do modelo proposto como solução está disposto nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17.

Os modelos apresentados a seguir, foram obtidos através de programa de computação, EPANET 2, sendo este um modelo automatizado de simulação que ajuda a atingir este objetivo. Permite simular o comportamento hidráulico e de qualidade da água de um sistema de distribuição sujeito a diversas condições operacionais, durante um determinado período de funcionamento.

O EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, onde se destacam como principais características:

- * Dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc;

- * Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;

- * Modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão;

- * Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;

- * Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;

- * Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (p.ex. aspersores de irrigação, ou consumos dependentes da pressão);

- * Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição (p.ex., altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controles com condições múltiplas.

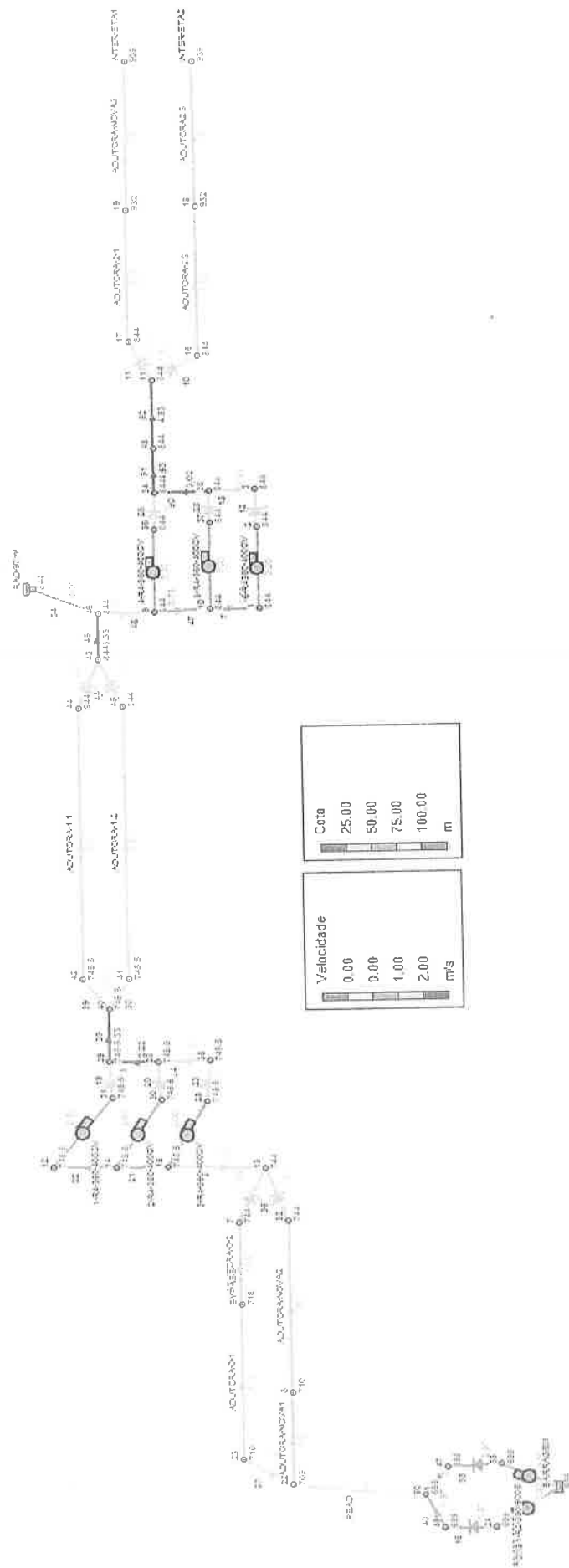


Figura 13: Modelagem do Sistema de Bombeamento Cota x Velocidade.

A Estação elevatória de Água Bruta 01 – EAB 01, apresenta, conforme modelo, para o trecho 01, adutora de FOFO DN 300mm PN 22, Estação Elevatória de Água Bruta 01 - EAB 01, cota 745,5m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, velocidade de escoamento de 1,81m/s, para a vazão de 185l/s, considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidade de escoamento para adução de água bruta.

Já para o trecho 02, o modelo acima, adutora de Fibra de Vidro DN 350mm PN 16, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01, cota 745,5m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, velocidade de escoamento de 2,00m/s, para a vazão de 185l/s, também considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidades de escoamento para adução de água bruta.

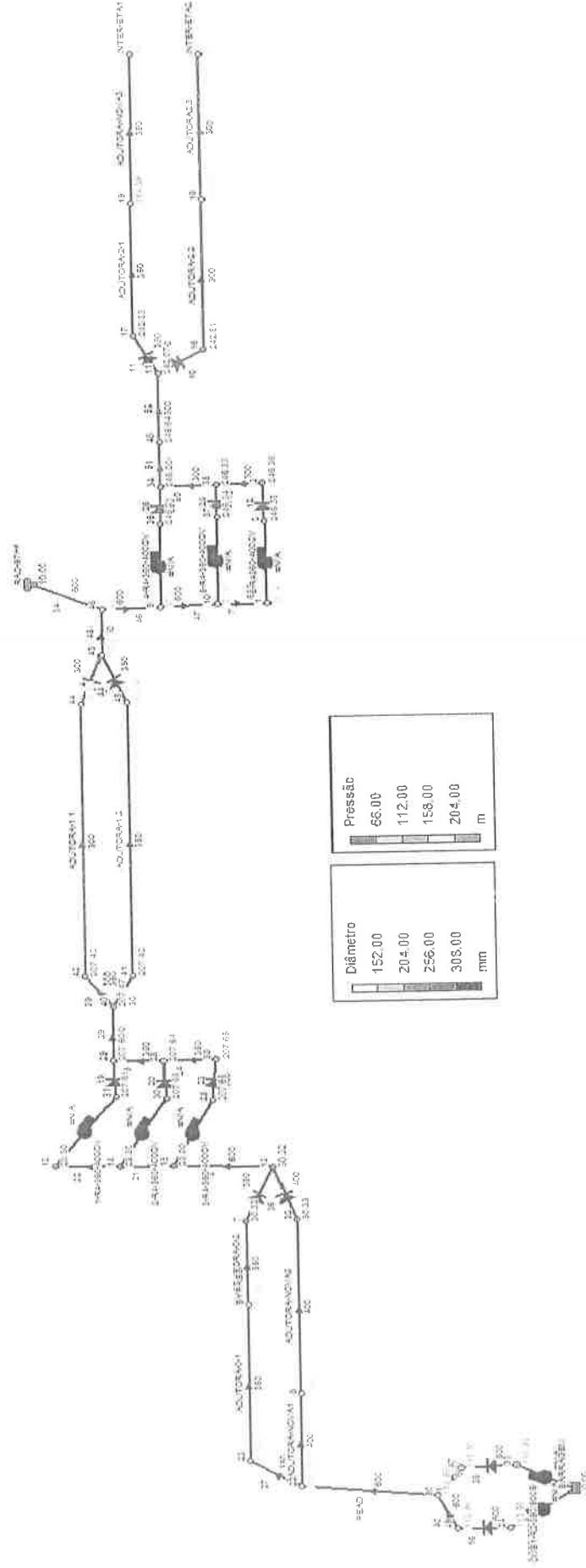


Figura 14: Modelagem do Sistema de Bombeamento Diâmetro Nominal x Pressão.

A Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 – EAB 01, adutora de FOFO DN 300mm PN 22, EAB 01, cota 745,5m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, pressão de 207,65mca, para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 67,48mca na entrada do sistema de bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02- EAB 02.

Já para o trecho 02, o modelo acima, adutora de Fibra de Vidro DN 350mm PN 16, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01- EAB 01, cota 745,5m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, pressão de 207,65, para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 67,48mca na entrada do sistema de bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02.

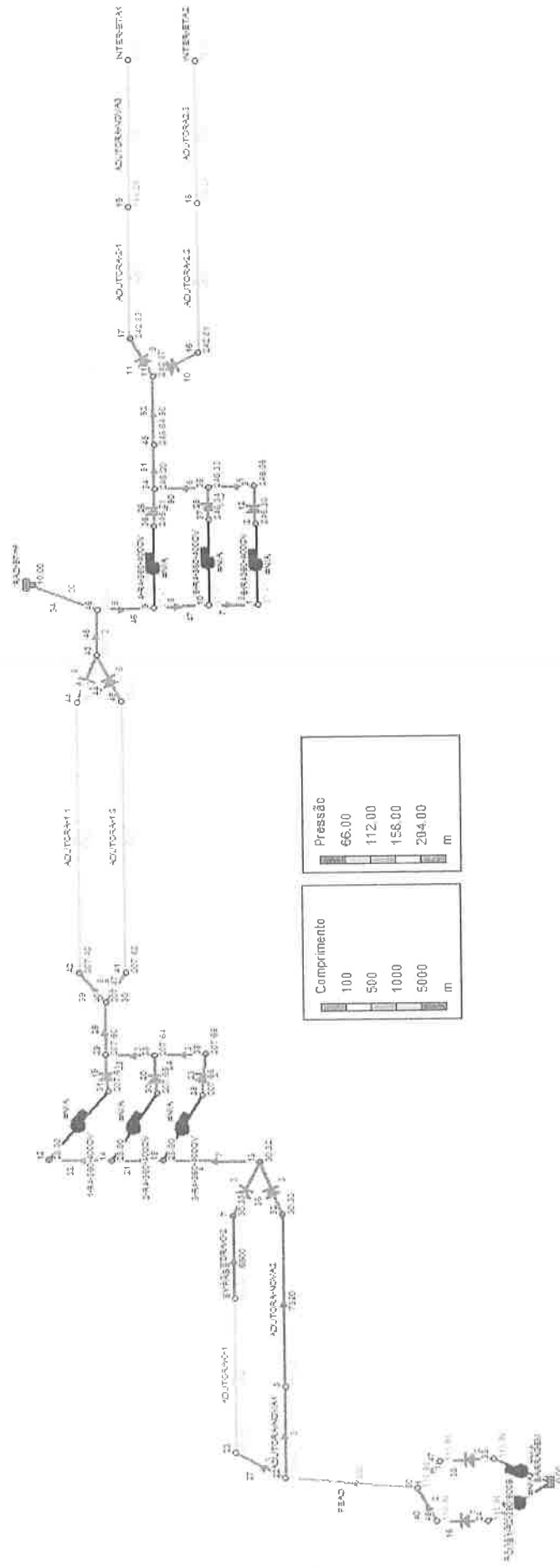


Figura 15: Modelagem do Sistema de Bombeamento Comprimento x Pressão.

O Sistema de Bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 – EAB 01, apresenta, conforme modelo, para o trecho 01, adutora de FOFO DN 300mm PN 22, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 – EAB 01, cota 745,5m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02, cota 844m, prancha XXX, pressão de 207,65mca, para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 67,48mca, após percorrer um trecho de 4000m, prancha PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00.

Já para o trecho de adução 02, o modelo acima, adutora de Fibra de Vidro DN 350mm PN 16, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 – EAB 01, cota 745,5m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, pressão de 207,65mca, para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 67,48mca, após percorrer um trecho de 4000m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00.

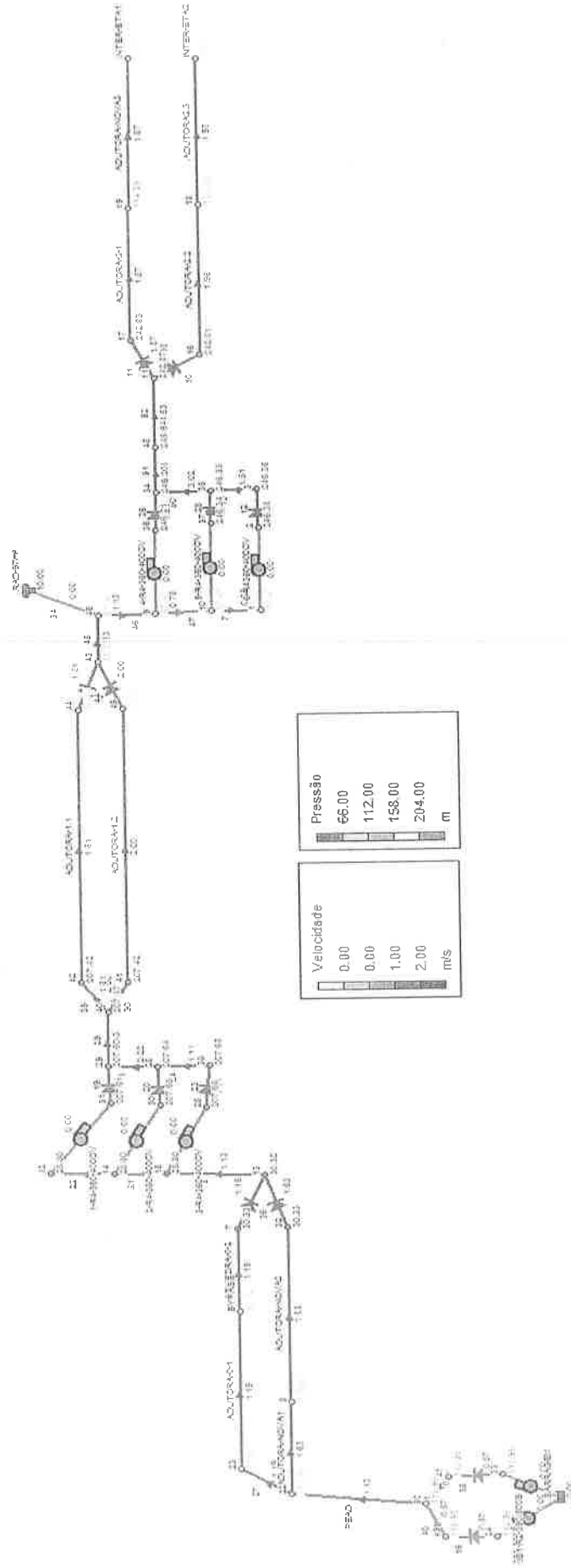


Figura 16: Modelagem do Sistema de Bombeamento Velocidade x Pressão.

O Sistema de Bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 - EAB 01, apresenta, conforme modelo, para o trecho 01, adutora de FOFO DN 300mm PN 22, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 - EAB 01, cota 745,5m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 2 - EAB 02, cota 844m, prancha XXX, pressão de 207,65mca, para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 67,48mca, após percorrer um trecho de 4000m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, a velocidade de escoamento de 1,81m/s, para a vazão de 185l/s, considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidade de escoamento para adução de água bruta.

Já para o trecho 02, o modelo acima, adutora de Fibra de Vidro DN 350mm PN 16, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 - EAB 01, cota 745,5m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 - EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, a velocidade de escoamento de 2,0m/s, para a vazão de 185l/s, também considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidades de escoamento para adução de água bruta.

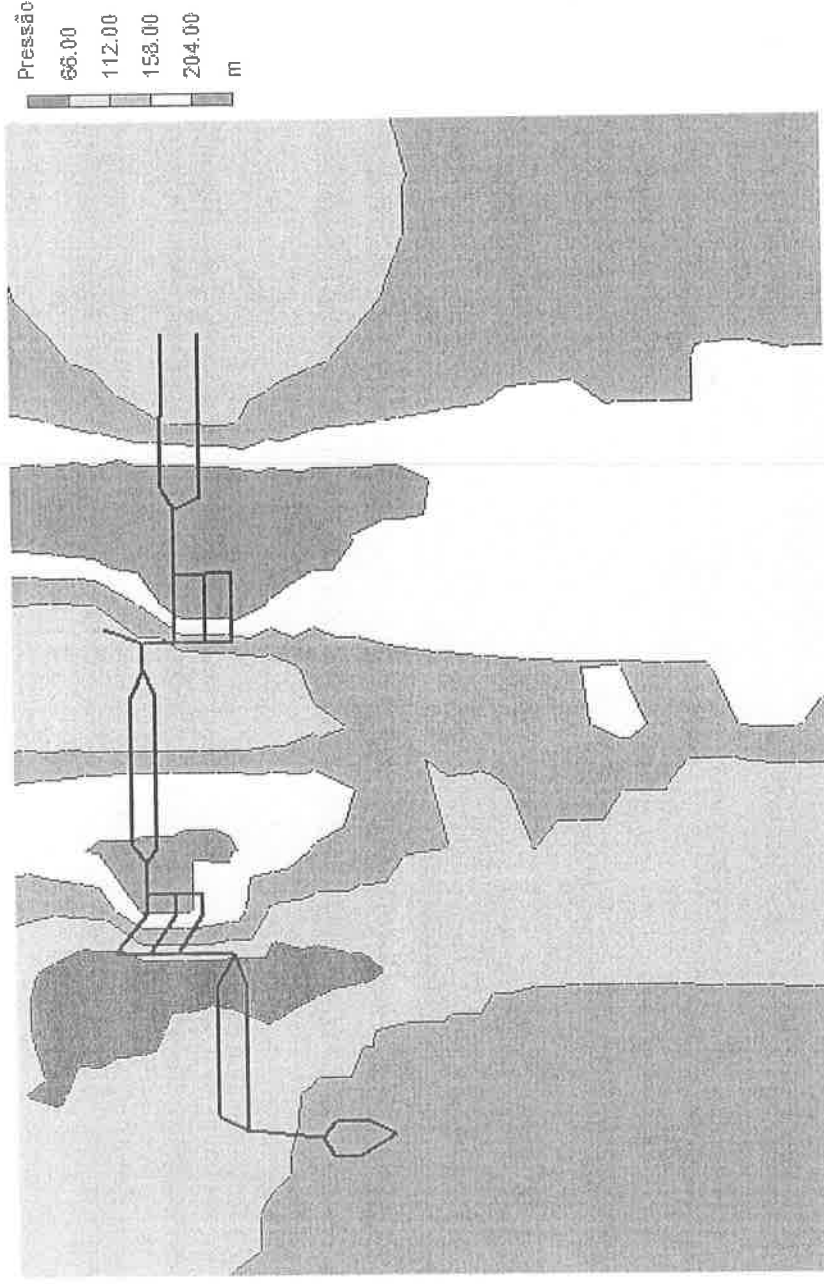


Figura 17: Modelagem do Sistema de Bombeamento Isolinhas de Pressão.

3.1.2 NPSH

Os cálculos referentes ao NPSH tornam-se desnecessários, uma vez que o sistema de bombeamento trabalhará sobre pressão positiva conforme demonstrado na figura 16, pressão 30,32mca.

3.1.3 Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02

O Sistema de bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02, também considerado como um BOOSTER, ou estação pressurizadora, será alimentada pelo barrilete de sucção de Aço Carbono DN 600mm, prancha: PRO_EXE_HD_EAB02_R00, e será composto por quatro conjunto motobomba, Modelo 4R-360-400CV, ligados diretamente ao barrilete de recalque Aço Carbono DN 600mm, prancha: PRO_EXE_HD_EAB02_R00 e deverá recalcar o volume de água à Estação de Tratamento de Água – ETA, através de dois trechos de adução, trecho 01, Ferro Fundido FOFO DN 300mm PN 22, com 6300m de comprimento, trecho 02, Fibra de Vidro DN 350mm PN 16 já, com 4500m já finalizados e 1900m de adução à ser instalado em PVC DEFOFO DN 350mm PN 16.

A EAB 02, deverá ser formada por quatro sistemas motobomba iguais, sendo três atuantes e um outro como reserva fria, não instalada. As características principais de cada conjunto são:

- Modelo: R4-360-400CV;
- Vazão nominal: 106 l/s;
- Altura manométrica: 190mca;
- Velocidade de rotação da bomba funcionando em seu regime nominal: 1750 rpm;
- Potência elétrica nominal: 400CV;
- Diâmetro do rotor da bomba: 340mm.

Para poder analisar os fenômenos transitórios originados pelas paradas do bombeamento, é necessário dispor dos seguintes dados:

- Curva característica da bomba com as informações: altura-vazão (H-Q), potência-vazão (P-Q) e rendimento-vazão (R-Q). (Em anexo)
- Velocidade de rotação nominal da bomba: 1750 rpm
- Momento de inércia da bomba: 1,859 kg.m²

3.1.4 Curva característica (H-Q) Definição de potência

A curva característica H-Q da bomba permite definir a altura manométrica fornecida pela mesma segundo a vazão bombeada. Esta curva não só é fundamental para a análise do funcionamento da instalação em regime transitório, como também é decisiva na determinação do regime permanente inicial da instalação.

A informação correspondente à curva H-Q da bomba modelo 60Hz – 4 polos – 1750 rpm – 500CV, conforme apresentado na Figura 18.

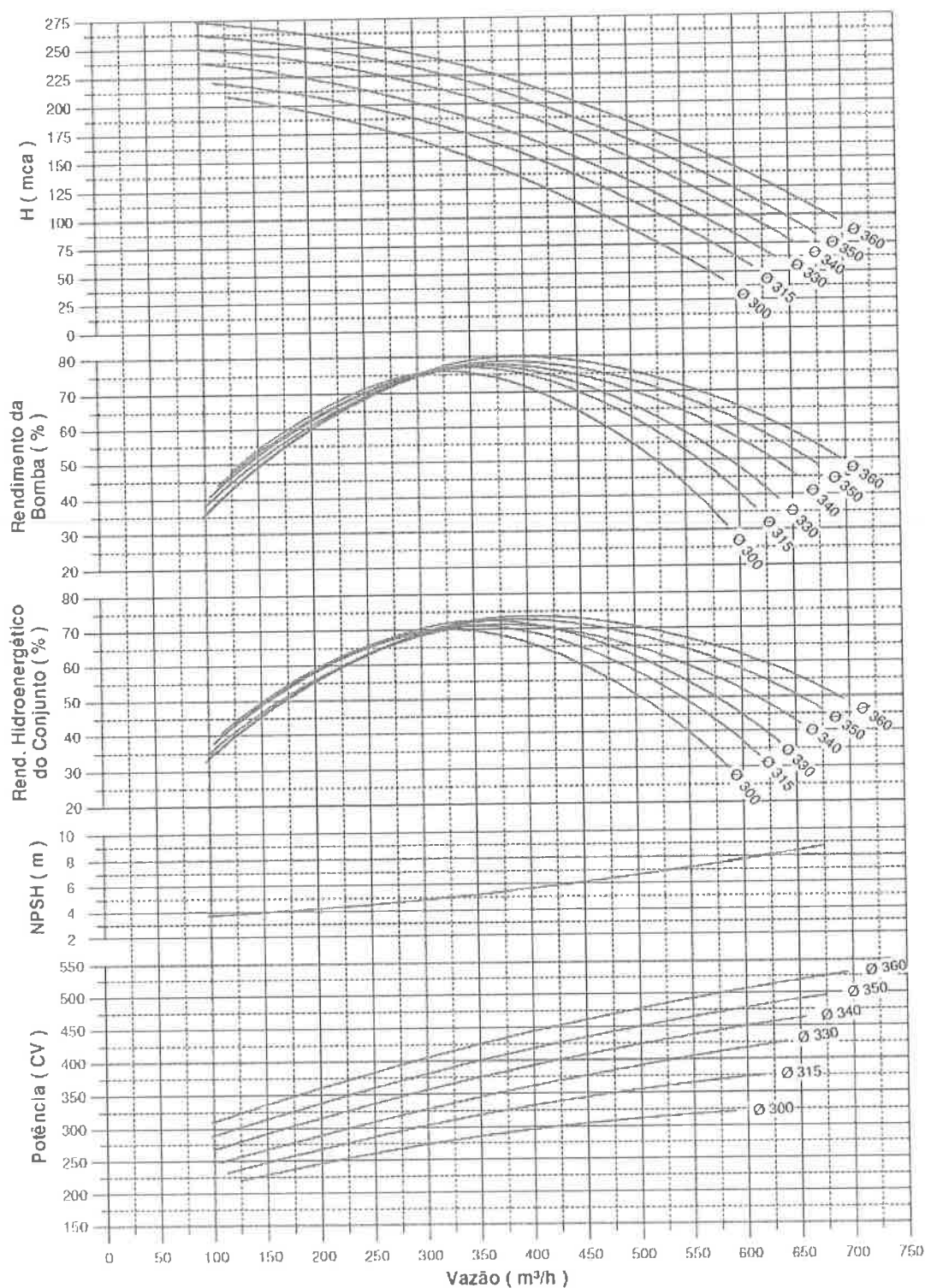


Figura 18: Curva da bomba modelo 60Hz – 4 polos – 1750 rpm – 500CV.

As características da instalação referente as cotas na sucção, cota 844m, perfil topográfico prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02 e Estação de Tratamento de Água – ETA, cota 935m, assim

como o detalhe do perfil longitudinal da adutora, prancha:
PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00.

Para a determinação do modelo de bomba a ser utilizado, levando em consideração a curva de performance da mesmas, utilizou-se o Método Baseado na Variação Linear dos Custos das Tubulações:

Parte-se do princípio que o custo de implantação da tubulação tem sua variação linearmente com o seu diâmetro, então:

$$Custo (Diâmetro) = \lambda \times Diâmetro$$

O custo de implantação é dado por:

$$C_{implantação} = \lambda \times D \times L$$

O custo anual de energia de bombeamento é:

$$C_{energia} = P \times Nb \times p$$

Onde P é a potência requerida (kW), Nb é o número de horas de bombeamento no ano (horas) e p é a tarifa de energia elétrica (R\$/kWh).

Substituindo a potência P temos:

$$C_{energia} = \frac{9,81 \times Q \times (H_g + h_f)}{\eta} \times Nb \times p$$

Onde Q é a vazão (m³/s), H_g o desnível geométrico e η é o rendimento do conjunto motor bomba. As perdas (h_f) podem ser determinadas através das equações:

$$h_f = \beta \cdot L \frac{Q^2}{D^5}$$

Onde a variável β é dada por:

$$\beta = \frac{8}{\pi^2 g} \left(f + \frac{(\Sigma K) D}{L} \right)$$

O custo de energia deve ser atualizado e é dado pela multiplicação do custo energético anual pelo fator de atualização (Fa). O fator de atualização é calculado com base na taxa de juros anual e a taxa de aumento anual de energia elétrica.

O Custo total é portanto:

$$C_{total} = \frac{9,81 \times Q \times (H_g + \beta \cdot L \frac{Q^2}{D^5}) \times Nb \times p}{\eta} \times F_a + \lambda \cdot D \cdot L$$

Essa equação representa a curva de custo total para diferentes diâmetros e para encontrar o menor custo da curva em questão para derivar em função do diâmetro para encontrar o ponto mínimo da equação que será admitido como o ponto do diâmetro ótimo.

Após aplicar a derivada em função do diâmetro e organizar a equação temos:

$$D_{otimo} = 1,913 \left(\frac{\beta \cdot p \cdot N_b \cdot F_a}{\lambda \cdot \eta} \right)^{0,166} \sqrt{Q}$$

Em analogia com a fórmula de Bresse ($k\sqrt{Q}$)

$$k = 1,913 \left(\frac{\beta \cdot p \cdot N_b \cdot F_a}{\lambda \cdot \eta} \right)^{0,166} \text{ temos que } k \text{ tem o valor de:}$$

Planilha DEIR - Dimensionamento Econômico de Instalações de Recalque		
Dados	Unidade	Quantidade
Altura geométrica	m	91
Comprimento da tubulação	m	6300
Vazão requerida	l/s	185
Somatório dos coef. (perdas localizadas)	-	0
Coeficiente de majoração das perdas contínuas	-	1,00
Rendimento do conjunto motor-bomba	%	75
Viscosidade cinemática da água	m ² /s	0,000001004
Rugosidade absoluta	mm	0,02
Período de utilização	anos	30
Utilização média anual	horas	5840
Preço do kWh	\$	0,063
Taxa de aumento anual de energia	%	6
Taxa de juro anual	%	12
Diâmetro atribuído (interno)	mm	366,2
Custo de implantação da tubulação atribuída	\$/m	375,00
Cálculo das variáveis		
Coeficiente de atualização da energia "Fa"		13,47
Parâmetro de custo "λ"	R\$/m/m	1024,03
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (tubulação atribuída)		
	f	A B
	0,01343502	8,63 8,63
Variável de perdas "β"		
Diâmetro ótimo teórico	mm	362,46
Diâmetro ótimo comercial (DN)		350,00
Diâmetro ótimo interno	mm	350,00
Velocidade de escoamento	m/s	1,92
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (diâmetro ótimo interno)		
	f	A B
	0,01339241	8,64 8,64
Perda total	mca	45,43
Perda unitária	m/m	0,0072
Altura manométrica	mca	136,43
Potência requerida	kW	330,13
Potência requerida	CV	448,54
Custo atualizado da energia (valor presente)	\$	1.636.269,15

Figura 19: Planilha de Cálculo do método DEIR para a adutora de água bruta EAB 02 – ETA DN 300mm.

Planilha DER - Dimensionamento Econômico de Instalações de Recalque		
Dados	Unidade	Quantidade
Altura geométrica	m	91
Comprimento da tubulação	m	6300
Vazão requerida	l/s	185
Somatório dos coef. (perdas localizadas)	-	0
Coeficiente de majoração das perdas contínuas	-	1,00
Rendimento do conjunto motor-bomba	%	75
Viscosidade cinemática da água	m ² /s	0,000001004
Rugosidade absoluta	mm	0,02
Período de utilização	anos	30
Utilização média anual	horas	5840
Preço do kWh	\$	0,063
Taxa de aumento anual de energia	%	6
Taxa de juro anual	%	12
Diâmetro atribuído (interno)	mm	366,2
Custo de implantação da tubulação atribuída	\$/m	375,00
Cálculo das variáveis		
Coeficiente de atualização da energia "Fa"		13,47
Parâmetro de custo "λ"	R\$/m/m	1024,03
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (tubulação atribuída)		
	f	A B
	0,01343502	8,63 8,63
Variável de perdas "β"		0,0011101
Diâmetro ótimo teórico	mm	362,46
Diâmetro ótimo comercial (DN)		300,00
Diâmetro ótimo interno	mm	300,00
Velocidade de escoamento	m/s	2,61
Cálculo do coeficiente de atrito "f" (diâmetro ótimo interno)		
	f	A B
	0,01328195	8,68 8,68
Perda total	mca	97,38
Perda unitária	m/m	0,0155
Altura manométrica	mca	188,38
Potência requerida	kW	455,84
Potência requerida	CV	619,34
Custo atualizado da energia (valor presente)	\$	2.259.338,32

Figura 20: Planilha de Cálculo do método DEIR para a adutora de água bruta EAB 02 – ETA DN 350mm.

Conforme mostrado na Figura 19 e 20 o sistema impulsor escolhido terá como característica principal de operação uma vazão de **320 (1152 m³/h)** e uma altura manométrica máxima de **188,38mca**, pior situação do trecho em 300mm. A curva da bomba escolhida operando a 60Hz e a 50Hz pode ser observada na figura 18.

A concepção proposta para atender o projeto de bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 EAB 02, prevê a captação para Final de Plano de 320 L/s que será recalçada para a Estação de Tratamento de Água - ETA. O esquema do modelo proposto como solução está disposto nas Figuras 21, 22, 23, 24 e 25.

Os modelos apresentados a seguir, foram obtidos através de programa de computação, EPANET 2, sendo este um modelo automatizado de simulação que ajuda a atingir este objetivo. Permite simular o comportamento hidráulico e de qualidade da água de um sistema de distribuição sujeito a diversas condições operacionais, durante um determinado período de funcionamento.

O EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, onde se destacam como principais características:

- * Dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc;

- * Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;

- * Modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão;

- * Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;

- * Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;

- * Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (p.ex. aspersores de irrigação, ou consumos dependentes da pressão);

- * Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição (p.ex., altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controles com condições múltiplas.

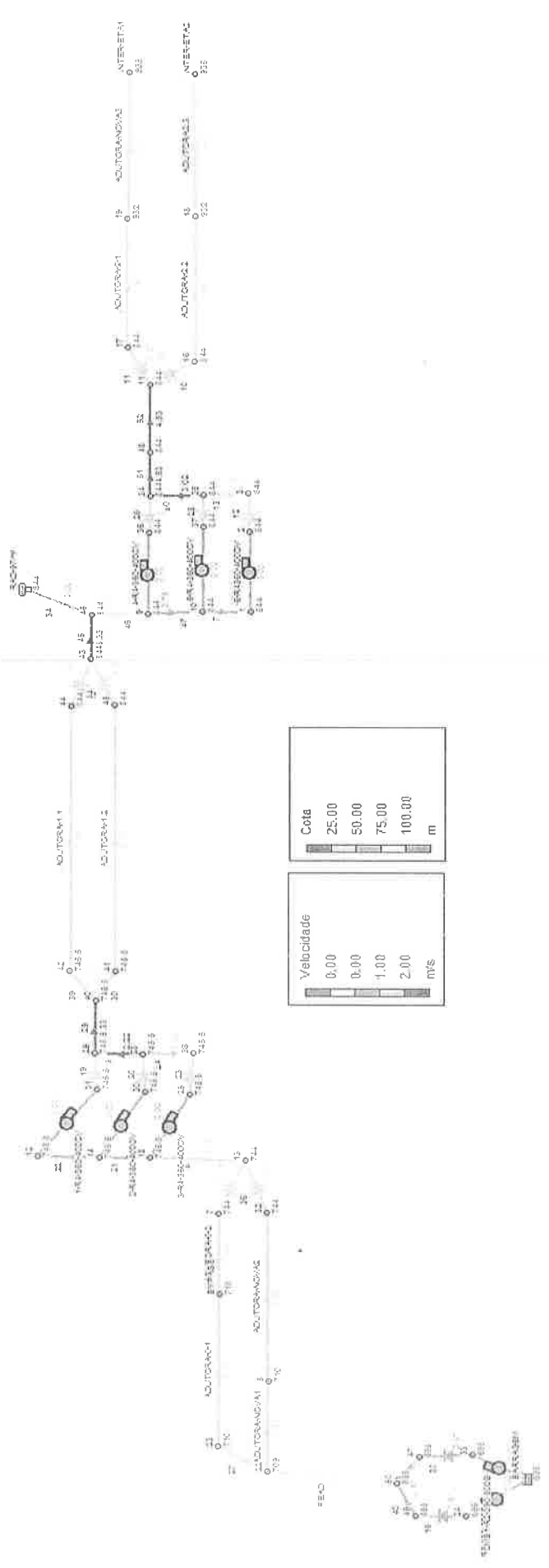


Figura 21: Modelagem do Sistema de Bombeamento Cota x Velocidade.

A Estação elevatória de Água Bruta 02 – EAB 02, apresenta, conforme modelo, para o trecho 01, adutora de FOFO DN 300mm PN 22, Estação Elevatória de Água Bruta 02- EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação de Tratamento de Água - ETA, cota 935m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, velocidade de escoamento de 1,87m/s, para a vazão de 185l/s, considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidade de escoamento para adução de água bruta.

Já para o trecho 02, o modelo acima, adutora de Fibra de Vidro DN 350mm PN 16, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação de Tratamento de Água - ETA, cota 935mm, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, velocidade de escoamento de 1,98m/s, para a vazão de 185l/s, também considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidades de escoamento para adução de água bruta.

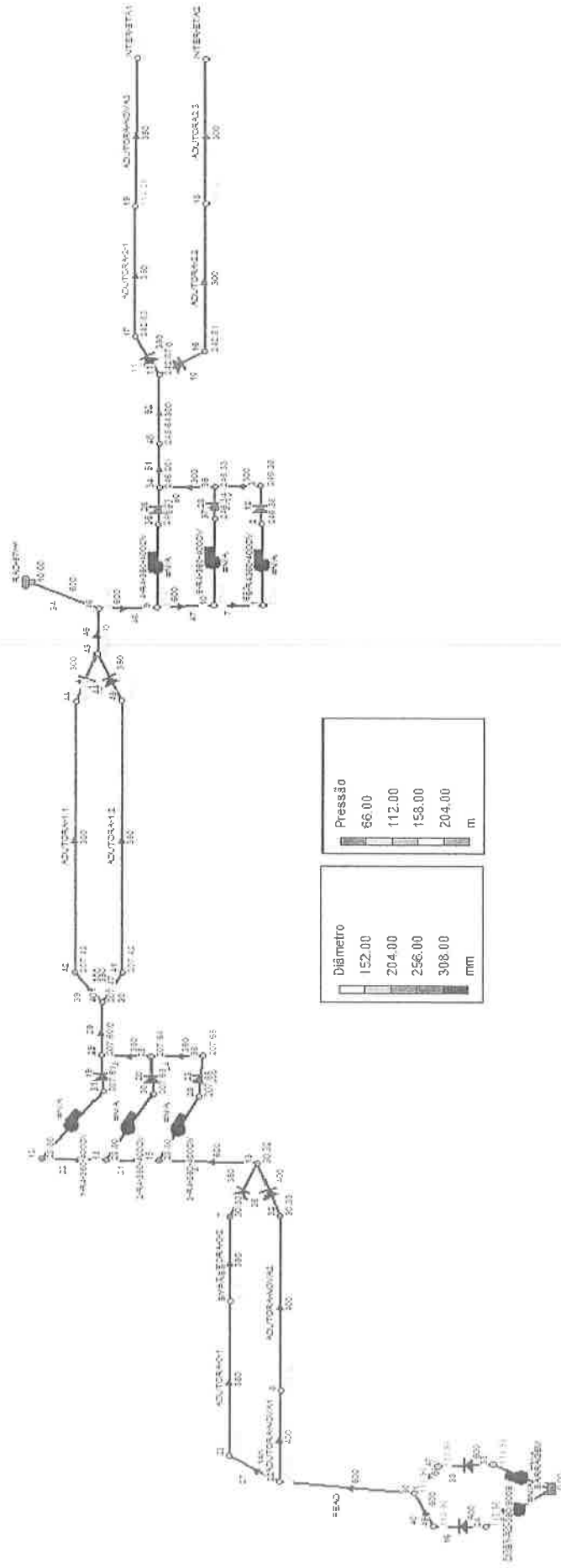
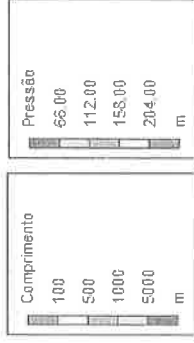


Figura 22: Modelagem do Sistema de Bombeamento Diâmetro Nominal x Pressão.

A Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02, apresenta, conforme modelo, para o trecho 01, adutora de FOFO DN 300mm PN 22, EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação de Tratamento de Água – EAT, cota 935m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, pressão de 242,87mca, para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 75,12mca na entrada do sistema de tratamento de água – ETA.

Já para o trecho 02, o modelo acima, adutora de Fibra de Vidro DN 350mm PN 16, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02- EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação de Tratamento de Água – ETA, cota 935mm, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, pressão de 242,87 para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 96,37mca na entrada da do sistema de tratamento de água – EAT.



O Sistema de Bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 – EAB 02, apresenta, conforme modelo, para o trecho 01, adutora de FOFO DN 300mm PN 22, Estação de tratamento de Água – ETA, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação de Tratamento de Água – ETA, cota 935m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, pressão de 242,87mca, para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 75,12mca, após percorrer um trecho de 6300m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00.



Department of Education

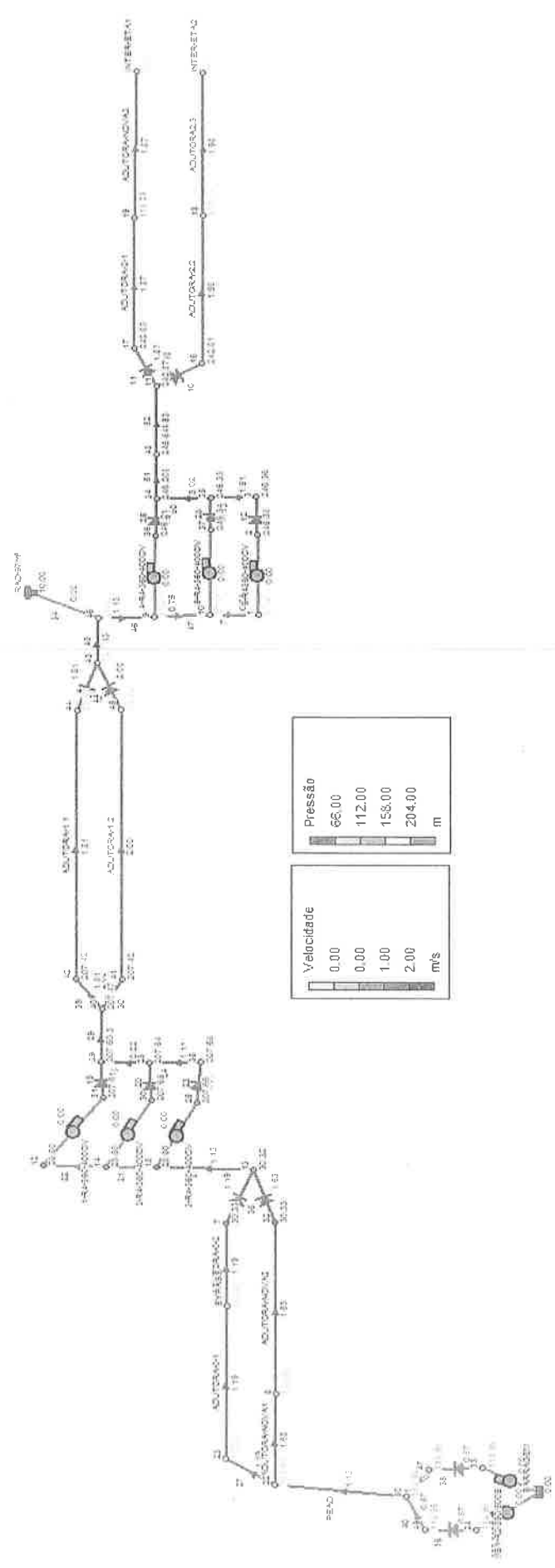


Figura 24: Modelagem do Sistema de Bombeamento Velocidade x Pressão.

O Sistema de Bombeamento da Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 - EAB 02, apresenta, conforme modelo, para o trecho 01, adutora de FOFO DN 300mm PN 22, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 - EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação de Tratamento de Água - ETA, cota 935m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, pressão de 242,87mca, para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 75,12mca, após percorrer um trecho de 6300m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, a velocidade de escoamento de 1,87m/s, para a vazão de 185l/s, considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidade de escoamento para adução de água bruta.

Já para o trecho 02, o modelo acima, adutora de Fibra de Vidro DN 350mm PN 16, Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 01 - EAB 01, cota 745,5m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, e Estação Elevatória de Água Bruta Samambaia 02 - EAB 02, cota 844m, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, pressão de 242,87mca, para a vazão de 185l/s, chegando ao final da adutora com pressão de 96,37mca, após percorrer um trecho de 4500m de rede de adução em Fibra de Vidro DN 350mm PN 16, já instalada mais uma trecho à ser instalado de 1900m adutora em PCV DEFOFO DN 350mm PN 16, prancha: PERFIL_AAB_EAB1_EAB2_R00, a velocidade de escoamento de 1,98m/s, para a vazão de 185l/s, também considerada segura e dentro das normas técnicas aplicadas à velocidades de escoamento para adução de água bruta.

3.2 NPSH

Os cálculos referentes ao NPSH tornam-se desnecessários, uma vez que o sistema de bombeamento trabalhará sobre pressão positiva conforme demonstrado na figura 16, pressão 67,47mca.

4 ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA PROPOSTO

4.1 DESCRIÇÃO GERAL

4.1.1 Generalidades

Para a montagem dos equipamentos hidromecânicos relativos às estações de bombeamento, deverão ser obedecidas, onde aplicável, os requisitos das seguintes especificações:

- ABTN - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ASME - American Society of Mechanical Engineers;
- AWWA - American Water Works Association;
- ASTM - American Society for Testing of Materials;
- AWA - American Welding Society;
- SSPC - Steel Structures Painting Council;
- ASCE - American Society of Civil Engineers.

4.1.2 Recebimento dos Equipamentos

Deve-se verificar se todo o material se encontra em bom estado, caso contrário informará por escrito ao Fornecedor para que sejam tomadas as providências cabíveis.

A empresa contratada para realizar os serviços assume toda a responsabilidade pela guarda e tudo o mais que se fizer necessário para a conservação dos materiais e equipamentos a serem aplicados na obra, desde o recebimento até a aceitação dos serviços.

4.1.3 Transporte dos Equipamentos

Todos os equipamentos serão recebidos na área do projeto, devendo o transporte dos mesmos até o local das obras, bem como até o ponto de instalação dos mesmos, incluindo os danos eventualmente provocados no momento ou após o transporte serão da responsabilidade da Empreiteira contratada.

Dever-se-á observar as instruções para o transporte e movimentação dos equipamentos, tubos, peças e acessórios de modo a evitar quaisquer danos aos seus revestimentos. Neste sentido toda e qualquer movimentação deverá ser realizada utilizando-se correias de borracha apropriadas e nunca cabos nus, barras metálicas, pranchas, correntes ou outros materiais que possam danificar o revestimento.

4.1.4 Recebimento dos Serviços

Após a conclusão dos serviços e a realização dos testes previstos para cada equipamento e, estando os serviços executados conforme especificações técnicas, funcionando efetivamente e não tendo nenhuma observação a fazer, será lavrado o Termo de Encerramento Físico.

Na hipótese de correções, deverá ser feita à regularização dos serviços. Somente após a realização destas correções será lavrado o Termo de Encerramento Físico.

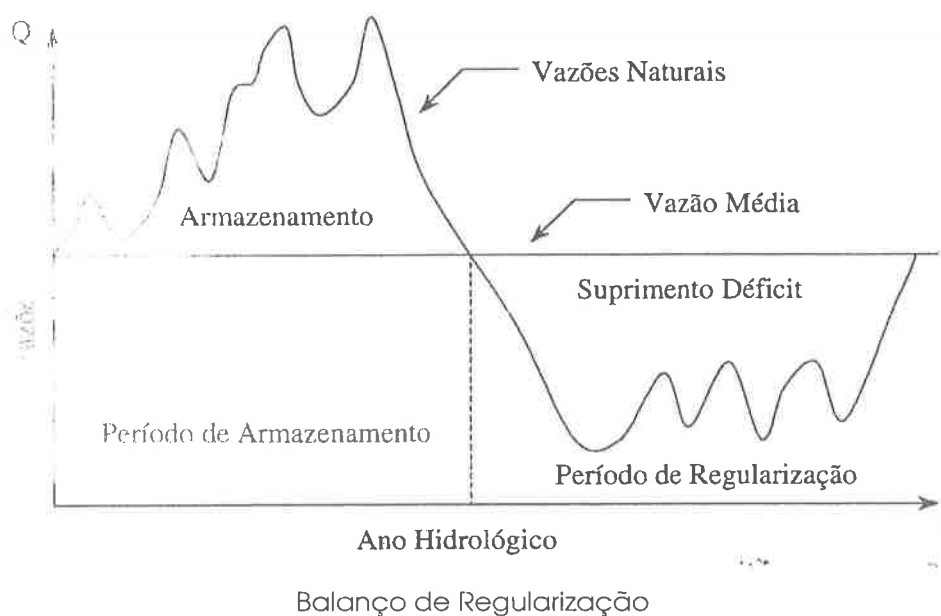
5 APRESENTAÇÃO GERAL

5 CONCEPÇÃO DA BARRAGEM

A conscientização humana, notadamente nas duas últimas décadas, da limitação dos recursos naturais da terra, aliada à crescente demanda das mesmas, tem conduzido cada vez mais a sua exploração de modo racional e otimizado, reduzindo seu desperdício ao mínimo.

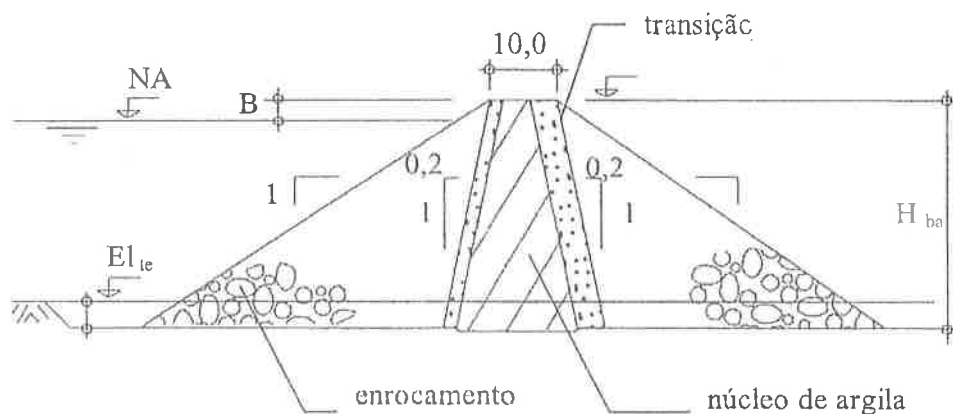
Sob esse enfoque são desenvolvidos os estudos para implantação de barragens, em que, em uma primeira fase, é estudada toda a Bacia Hidrográfica, e associada a todos os possíveis usos de água. Deste modo, evita-se que a implantação de uma barragem, num determinado local, prejudique outros locais barráveis da bacia, o que impediria a otimização global almejada. Por outro lado, evita o aproveitamento da água somente sob uma finalidade.

As barragens podem ser definidas quanto as suas finalidades, sendo divididas em Barragens de Regularização e Barragens de Retenção. As Barragens de Regularização, tem a finalidade de regularizar o regime hidrológico de um rio, ou seja, armazena água no período de afluência em relação à demanda. Com esta operação, a amplitude de variações das vazões naturais do rio, é reduzida, garantindo-se assim, vazões efluentes, nos períodos de estiagem, superiores às naturais. Já as Barragens de Retenção têm a finalidade de reter água, amortecendo a onda de cheias para evitar inundações, podem ser utilizadas também para a retenção de sedimentos ou resíduos industriais. No caso de amortecimento de cheias, a onda de cheia é temporalmente armazenada, sendo posteriormente liberada, de tal modo que não cause danos a jusante.

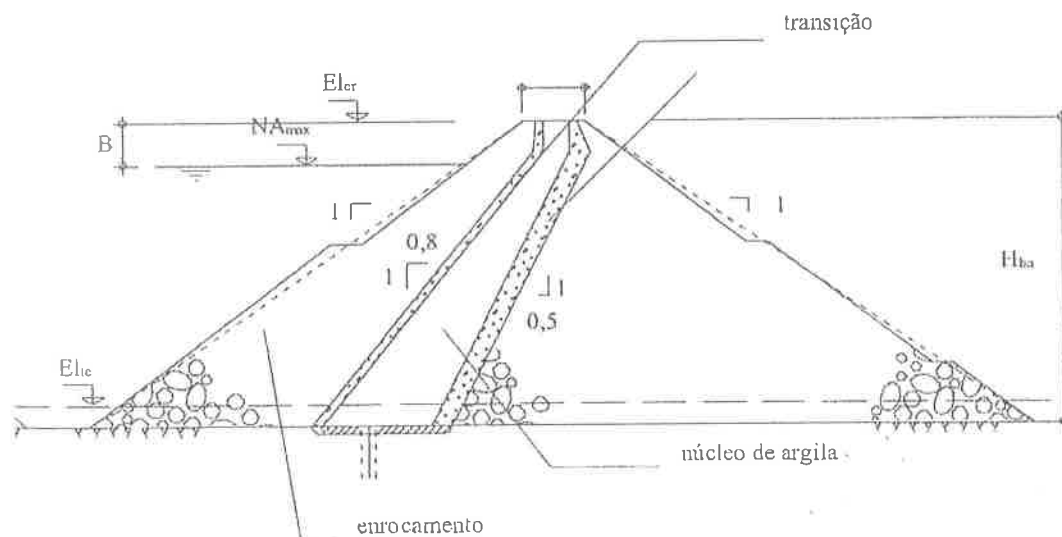




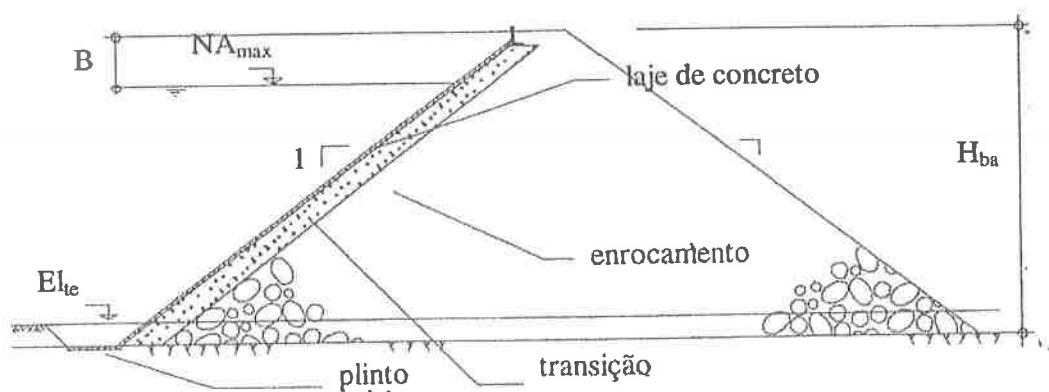
O arranjo de um aproveitamento hidrelétrico é muito influenciado pelo tipo de vale, podendo ser encaixado e estreito, semi-encaixado ou aberto. Em vales encaixados e estreitos é usual a execução de barragens de concreto tipo arco. No caso de vales semi-encaixados pode-se optar por barragens do tipo gravidade, com contrafortes ou mesmo barragens de enrocamento. Quando se tem vales muito abertos, recomenda-se barragens do tipo gravidade de concreto convencional ou concreto compactado com rolo (CCR) e barragens de terra.



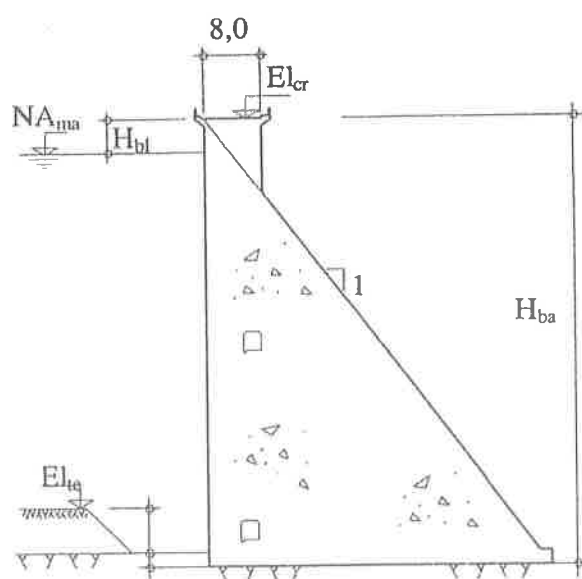
Seção típica da barragem de enrocamento com núcleo de argila vertical



Seção típica da barragem de enrocamento com núcleo de argila inclinado



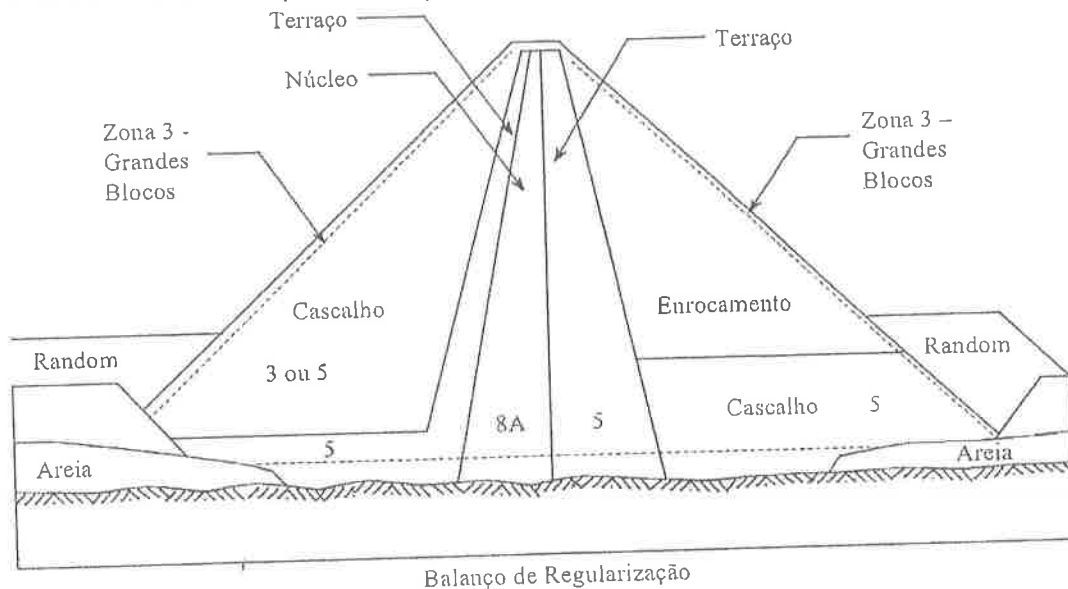
Seção típica da barragem de enrocamento com face de concreto



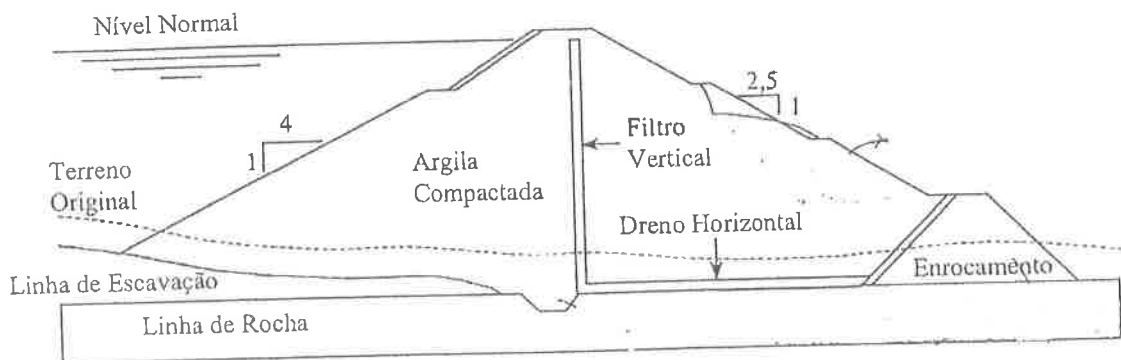
Seção típica da barragem de concreto convencional a gravidade

5.1.1 TIPO DE BARRAGEM DE TERRA

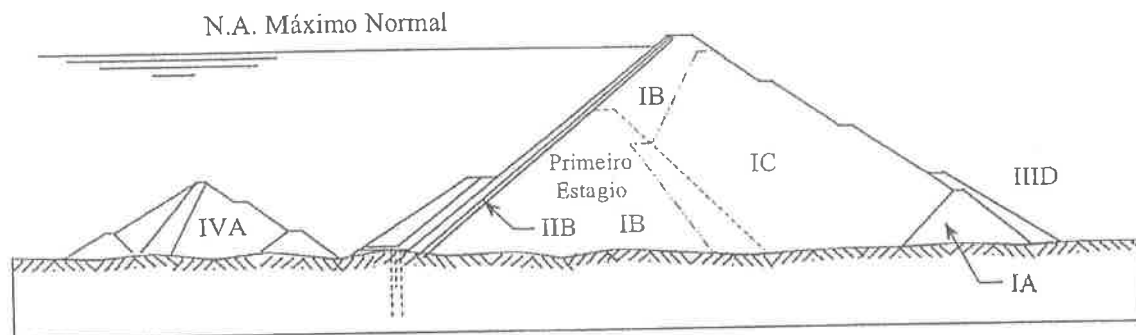
Quanto ao tipo de seção a barragem pode ser homogênea, zoneada ou de enrocamento. A seção homogênea tem predominância de um único material. É indicada quando a rocha está muito profunda e não há grande variação de materiais. A seção zoneada é indicada quando há muitos materiais disponíveis. Já a barragem de enrocamento é escolhida quando há predominância de material rochoso na sua seção.



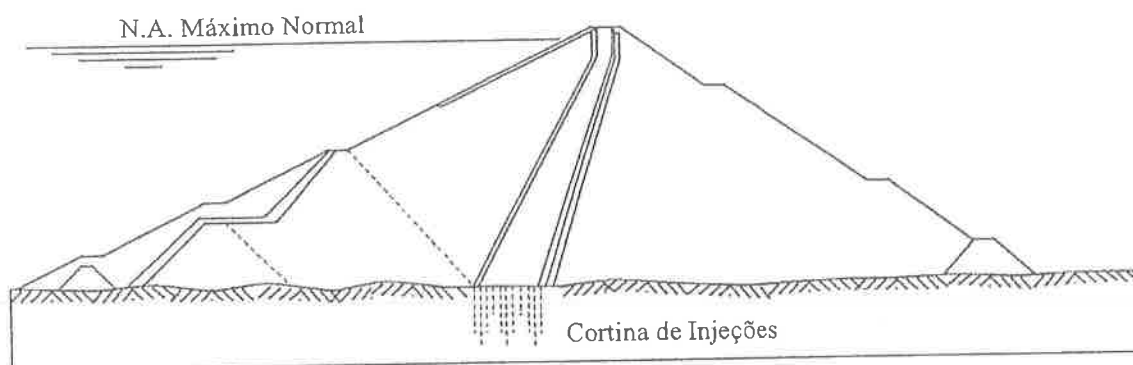
Exemplo de barragem de seção Zoneada



Exemplo de barragem homogênea



(a) Enrocamento com face de concreto



Exemplo de barragem de enrocamento

(a) Enrocamento com face de concreto

(b) Enrocamento com núcleo impermeável

Figura 3.1 – 3.2 - 3.3

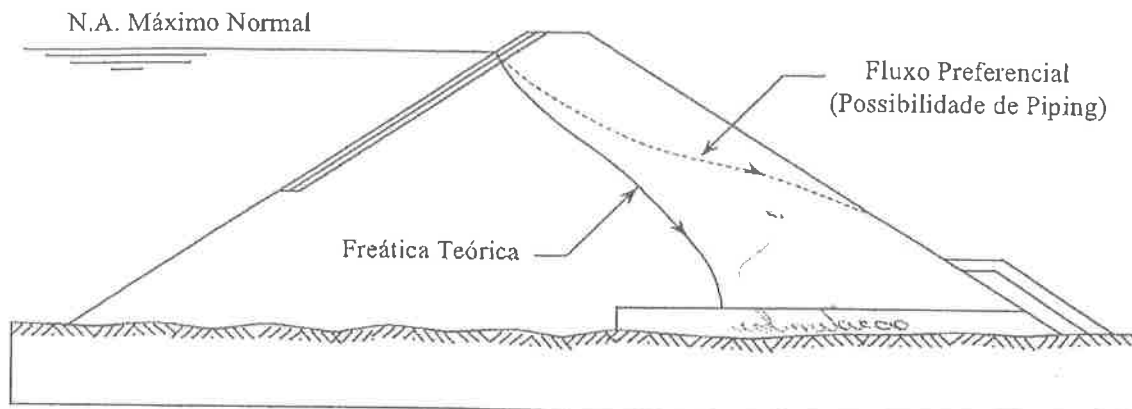
A escolha da barragem de terra ou de enrocamento visa a otimização do arranjo geral do barramento como um todo, e não a sua otimização isolada. A mais estável entre as barragens de terra e terra-enrocamento é a barragem de enrocamento com núcleo de argila vertical. São o tipo de barragens que trazem nítidas vantagens econômicas no contexto global do aproveitamento.

5.1.2 FATORES NA ESCOLHA DA SEÇÃO TÍPICA

A principal vantagem das barragens de terra e enrocamento é que os materiais de construção são fornecidos pela natureza. Em alguns casos, somente um tipo de solo é disponível nas proximidades da obra. Neste caso, a preocupação quanto ao projeto da seção se prende a determinação das dimensões mais econômicas da barragem, associadas as características do material e respectiva especificação de compactação, bem como as características geotécnicas da fundação.

Se o material é de baixa permeabilidade, o projeto constituirá em um maciço homogêneo com um sistema de drenagem interno. Neste tipo de barragem é comum utilizar um filtro septo vertical ou inclinado para montante, até o nível de água máximo do reservatório. Não é aconselhável a utilização em barragens homogêneas, de filtro de pé ou tapete drenante horizontal, mesmo em barragens de pequena altura. O filtro vertical ou inclinado para montante, aumenta a estabilidade da região a jusante do

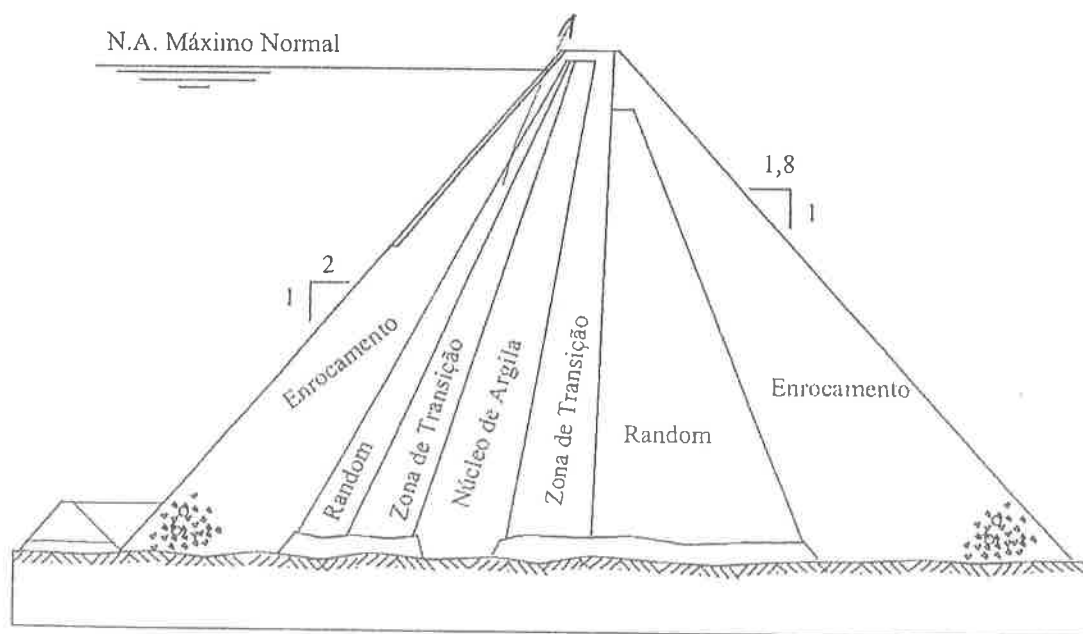
maciço e evita qualquer possibilidade do fluxo atingir o talude de jusante o que levaria a formação de "piping" (erosão agressiva).



Barragem homogênea com dreno horizontal

Por outro lado, há locais em que existe uma grande variedade de solos. Neste casos, o projeto mais econômico consiste em um maciço zoneado, utilizando-se os materiais menos permeáveis na parte central, como núcleo, e os materiais granulares, mais resistentes, nas zonas externas.

Quando os materiais de uma jazida ou de escavações obrigatórias são erráticos, é comum utilizá-los numa zona denominada "random". Devido a heterogeneidade da zona de "random", esta nunca é utilizada com núcleo. Esta zona situa-se a jusante do filtro septo.



Localização da zona denominada "random"

É aconselhável considerar em um primeiro momento os materiais provenientes das escavações obrigatórias. No caso de materiais terrosos, a sua utilização só é econômica, quando utilizado diretamente das escavações. Por outro lado, as escavações rochosas obrigatórias, devem sempre ser incorporadas ao maciço independente da possibilidade de sua utilização direta ou não.

O projeto do maciço de uma barragem está intimamente ligado com as características geotécnicas do terreno de fundação, em particular, a resistência ao cisalhamento, a compressibilidade, a permeabilidade e a resistência a erodibilidade.

Quanto à resistência ao cisalhamento da fundação, o conceito de resistência baixa ou alta, tem como referência a resistência do material do maciço.

De um modo geral, quando a resistência da fundação é inferior a do maciço, os taludes do maciço são condicionados pela resistência da fundação, pois as superfícies potenciais de ruptura passam pela fundação. Por outro lado, quando a resistência da fundação é igual ou superior a do maciço, os taludes dos maciços são estabelecidos unicamente em função da resistência do mesmo.

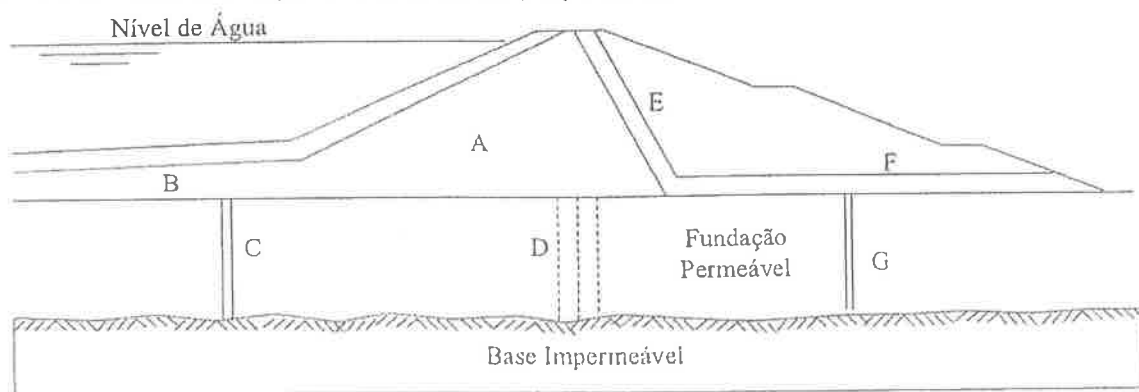
Então, dependendo das características de resistência da fundação, não faz-se necessário grande preocupação quanto ao tipo de material a ser utilizado no maciço, como também, quanto às respectivas especificações construtivas. Nos locais de fundações de baixa resistência e de grande espessura, cujos estudos econômicos indicam a sua não remoção, pode-se utilizar como material de maciço, qualquer material, com exceção daqueles com elevada porcentagem de matéria orgânica, bem como pouco rigor quanto ao grau de compactação mínimo e desvio de umidade, desde que o maciço apresente certa homogeneidade.

Deve-se projetar taludes mais abatidos e/ou bermas de equilíbrio, ou fazer a remoção total ou parcial da camada de baixa resistência, ou ainda utilizar de métodos para aumentar a resistência do solo (drenos de areia ou geossintético no caso de argila mole saturada), para o caso de terrenos com baixa resistência.

Quanto a compressibilidade, deve-se considerar a influência, no maciço, dos recalques da fundação, além do estudo da fundação quanto à ruptura. Esta influência se traduz principalmente por eventual fissuramento do maciço e pela redução do bordo livre "freeboard".

Além dos recalques imediatos e por adensamento, um outro tipo de recalque também deve ser observado. São os chamados recalques por saturação, que ocorrem devido ao colapso da estrutura do solo da fundação, provocado pela saturação do mesmo, devido ao enchimento do reservatório.

Em função da permeabilidade, deve-se observar a perda d'água da fundação, que não pode ser excessiva. Assim como as pressões d'água na base do talude a jusante, que se elevadas, reduzem consideravelmente a estabilidade deste talude. E, deve-se observar os gradientes na saída, a jusante do pé do talude que também podem provocar "piping". Para o controle da percolação pode-se utilizar métodos para sua redução, como a utilização de uma zona impermeável, um tapete impermeável a montante, um diafragma ou uma zona de injeções. Ou, ainda realizar um controle de drenagem como um filtro-dreno vertical, o tapete drenante ou poço de alívio.



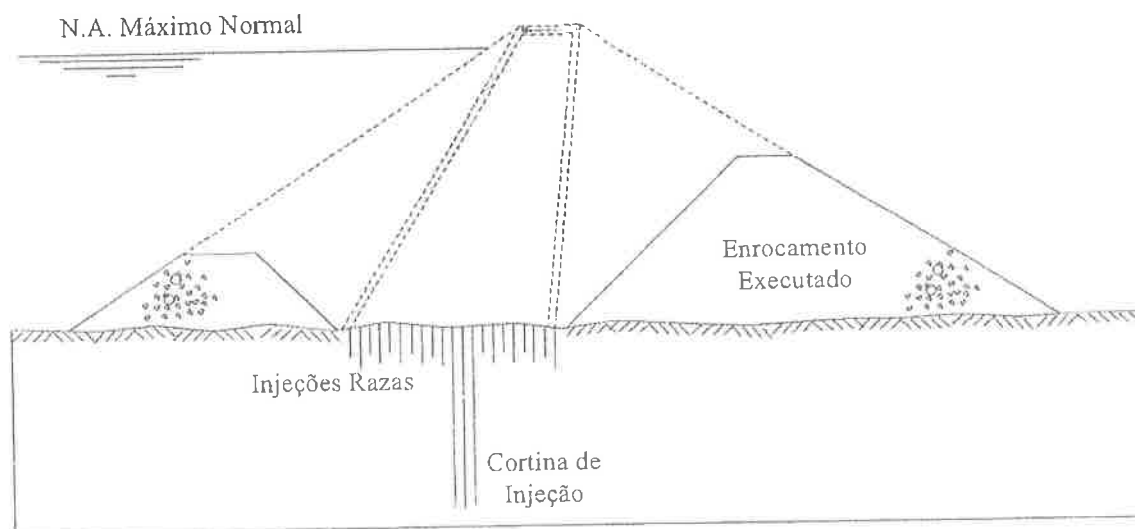
Métodos para o controle da percolação

- (A) Zona impermeável
- (B) Tapete impermeável a montante
- (C) Diagrama Flexível
- (D) Zona de injeções
- (E) Filtro-dreno vertical
- (F) Tapete drenante
- (G) Poços de alívio

Outros fatores importantes na definição da seção tipo são o tempo disponível para a construção e o clima da região. Os rendimentos gerados por um reservatório, em um ano de operação são bem superiores as economias obtidas em estudos adicionais de projeto, bem como alternativas de projeto mais econômicos, porém com tempo de construção maior. O clima da região está diretamente relacionado com o clima da região. Em locais de pluviosidade elevada e sem estação seca definida, o projeto de um maciço homogêneo de material bem argiloso, pode ser antieconômico de um ponto de vista global. Nestes locais, deve-se sempre que possível restringir o volume de material argiloso a um mínimo compatível com as necessidades técnicas do projeto, mesmo que esta não seja a solução mais econômica isoladamente.

Nestes locais de pluviosidade elevada, sempre que possível, tem-se utilizado no projeto de barragem de terra, seções zoneadas, com núcleo de material areno-argiloso e espaldares constituídos de materiais granulares (cascalho, cascalho arenoso, etc), mesmo que estes materiais se encontrem a distâncias maiores, ou adotadas seções de terra enrocamento. Outra alternativa é a utilização de taludes mais brandos, porém aceitando-se um controle de compactação menos rigoroso, no que concerne a umidade de compactação.

A escolha de uma barragem de enrocamento é muitas vezes ditada pelo tempo disponível para construção, pois a execução do enrocamento independe das condições climáticas da região. Entretanto, a construção do enrocamento depende da construção do núcleo, que por sua vez depende das condições climáticas. A fim de se obter uma otimização na construção do enrocamento, o núcleo é projetado com inclinação para montante. Deste modo é possível a construção de grande parte do talude a jusante, independente da subida do núcleo.



Barragem de enrocamento com núcleo argiloso inclinado a montante

De um modo geral, a sequência de construção de uma barragem envolve duas grandes fases. Na primeira fase, o rio continua passando pela calha natural (total ou parcial). Durante esta fase são construídas as estruturas de desvio (canal lateral, túnel, galeria, etc), por onde será desviado o rio na segunda etapa. Na segunda fase é feito o fechamento do canal por onde passava o rio na primeira fase e, completada a barragem neste trecho.

Nos casos em que é extenso o canal por onde passa o rio durante a primeira fase, não é econômica a construção de pontes, ligando as duas margens. Neste caso, na primeira fase, os materiais de construção para as duas frentes de trabalho tem que ser das próprias margens, mesmo ocorrendo materiais com características geotécnicas bem mais favoráveis em uma margem que em outra, resultando deste modo, em seções de barragens diferentes.

Quanto a ensecadeira da segunda fase, a sua cota é definida em função de considerações hidrológicas e hidráulicas, de tal modo que seja segura para uma determinada cheia (em geral, com tempo de recorrência de 25 a 100 anos). Como o volume desta ensecadeira é considerável, é prática corrente a incorporação da mesma ao maciço definitivo da barragem, resultando em diminuição de volume e em tempo de construção.

Quanto ao reservatório, quando a quantidade d'água disponível é da mesma ordem de grandeza da demanda, a perda d'água por infiltração, através do maciço e da fundação, deve ser reduzida ao máximo. Esta necessidade é comum em barragens de regularização, de porte médio, para abastecimento de cidades. Neste caso, deve-se utilizar, para o maciço, materiais de baixa permeabilidade, e tratamento de fundação, visando reduzir ao máximo a percolação, em algumas condições será necessária a utilização de medidas de redução de percolação com "cut-off" total ou diafragma total.

Por outro lado, para as barragens construídas unicamente com finalidade de controle de cheias, o controle da percolação se reflete somente quanto aos gradientes de saída (para o controle do "piping") e as sub-pressões na base do talude de jusante, e não quanto ao volume total d'água perdida por percolação. Em alguns casos o tempo de permanência do volume armazenado para o controle de cheias é tão reduzido que não há possibilidade de estabelecimento de regime permanente de fluxo no maciço, não necessitando, portanto, maiores cuidados de drenagem interna.

5.1.3 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

Em termos de controle da barragem, alguns itens devem ser seguidos para que a barragem apresente segurança satisfatória. De fato, dá-se maior importância aos fatores ligados a engenharia geotécnica, onde deve-se analisar as tensões e deformações no maciço e na fundação, na condição de equilíbrio limite, além de analisar também essas tensões de deformações em regime elástico, linear ou não. É de suma importância, também, os estudos de percolação.

Os taludes da barragem devem ser estáveis durante a construção e todas as fases de operação incluindo a de rebaixamento rápido. O maciço não deve impor tensões excessivas a fundação. A análise de estabilidade do maciço e fundação, no regime de equilíbrio limite, não considera as deformações cisalhantes necessárias a mobilização da resistência ao cisalhamento. Deste modo, embora um talude possa apresentar uma segurança global ao deslizamento, suas deformações podem não ser compatíveis com a segurança da obra.

A percolação através do maciço, fundação e ombreiras devem ser controladas de tal modo que não ocorra "piping" ou remoção de material por solução.

Adicionalmente, a quantidade de d'água perdida por percolação deve ser compatível com a finalidade do projeto. A análise de segurança ao "piping" deve contemplar a comparação entre forças de percolação com forças de gravidade. Com isso, o estudo do "piping" envolve o estabelecimento do estado de tensões no maciço durante a operação da barragem, uma vez que, tanto a força atuante de percolação, quanto a resistência, de gravidade, é função do estado de tensões. A existência de zonas fraturadas no maciço ou de fraturas abertas devido à percolação (faturamento hidráulico) governa a distribuição da permeabilidade no maciço e, conseqüentemente, a configuração dos gradientes hidráulicos.

A crista da barragem deve ter uma elevação segura quanto ao transbordamento por efeitos de ondas, bem como uma folga adicional referente aos recalques após construção. Os recalques do maciço e da fundação, provocam distribuição de tensões no interior do maciço, com possíveis aberturas de trincas.

A capacidade de vazão do vertedouro deve ser de tal ordem a impedir o transbordamento do reservatório sobre a barragem de terra.

A engenharia geotécnica envolve a estimativa das tensões e deformações tanto nas obras de terra como nas fundações. A fim de obter essa estimativa de modo correto é necessário o conhecimento das equações constitutivas dos solos, bem como a distribuição geométrica dos diversos tipos de solo, bem como a distribuição geométrica dos diversos tipos de solos.

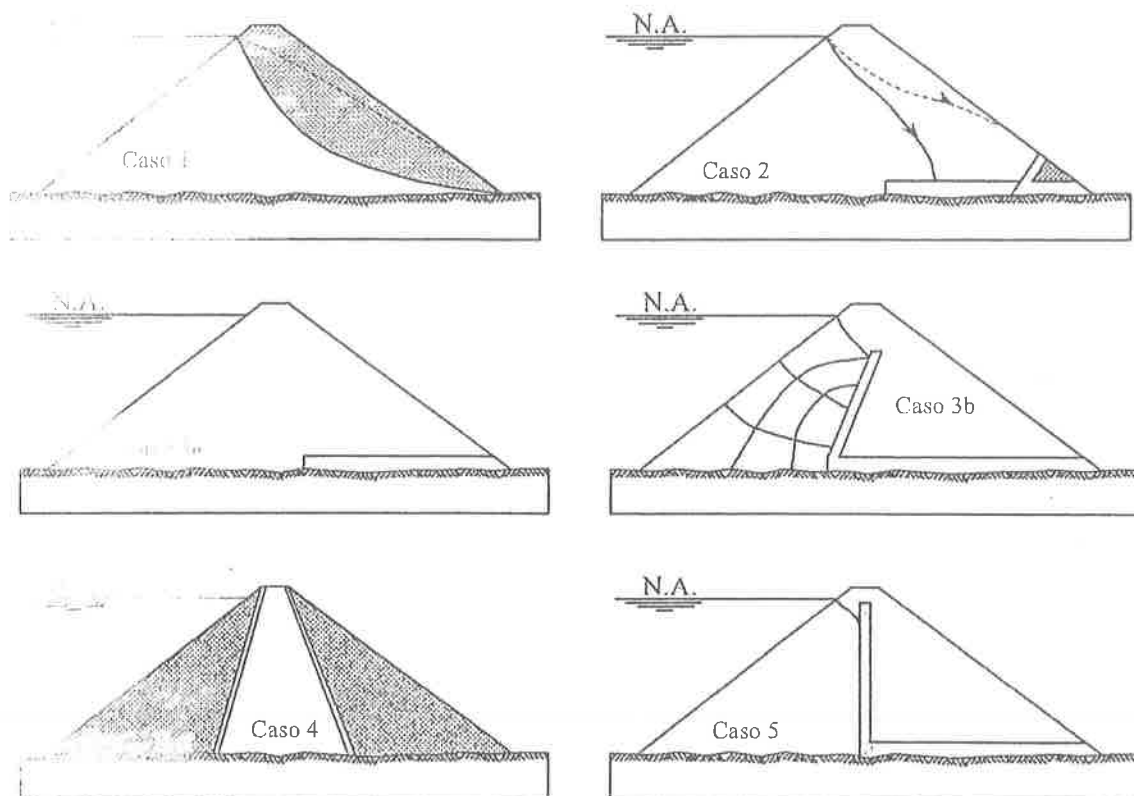
Devido à impossibilidade da aplicação do procedimento correto acima exposto, a engenharia geotécnica subdividiu o problema geral de tensões e deformações no solo em dois grupos: um associado à deformação e o outro referente a máxima tensão que pode ser imposta a uma massa de solo, estado de ruptura.

Na realidade, o solo deforma de modo contínuo, desde seu estado inicial de tensões até a ruptura. Muitos problemas têm ocorrido em projetos de barragem devido à separação artificial e simplificada, do comportamento do solo, em estudos de deformação, sem consideração de rupturas localizadas e estudos de ruptura, sem consideração das deformações necessárias para a massa de solo atingir o estado de ruptura.

As barragens de terra (enrocamento) são constituídas por um núcleo de material terroso impermeável, contido por espaldares de enrocamento, e com zonas de filtro e transição entre o núcleo e o enrocamento. A posição do núcleo varia desde extremamente inclinado, coincidindo com o talude de montante, até a posição central, simétrica.

Sob o ponto de vista de estabilidade de taludes, de faturamento hidráulico do núcleo e eficiência no contato núcleo-fundação, de um modo geral, função das características de resistência e deformabilidade do material do núcleo e do enrocamento, o núcleo moderadamente inclinado para montante constitui a posição otimizada. De forma livre a "inclinação moderada" se refere a inclinação 0,4H:1,0V a 0,6H:1,0V para a interface de jusante do núcleo de enrocamento, e 0,9H:1,0V a 1,0H:1,0V para a interface de montante. O núcleo inclinado também apresenta vantagens de cronograma, em locais de alta pluviosidade, por possibilitar construção de maior volume do enrocamento de jusante, independente do núcleo.

Quanto ao sistema interno de drenagem, de acordo com a evolução dos projetos pelos anos, hoje, impõe-se a necessidade de septo drenante total, a fim de evitar fluxo emergente no talude de jusante. Deve-se observar as condições ideais de percolação, implícitas no conceito de rede de fluxo, e as condições reais, associadas a camadas mal compactadas, ao estado de tensões do maciço e zonas fissuradas no maciço.



Evolução do projeto de barragens de terra e seu sistema de drenagem interna

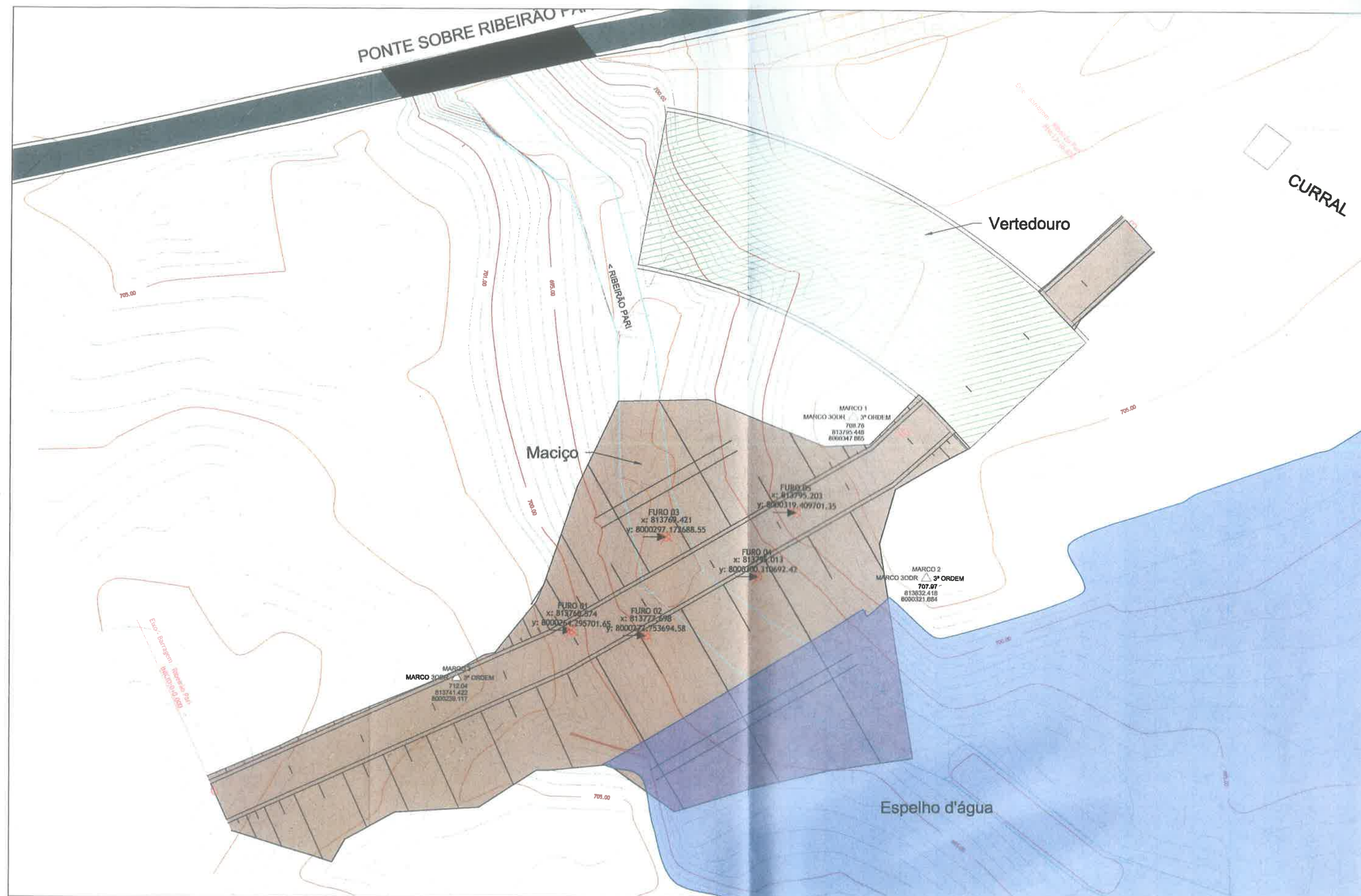
No caso de regularização de fundação rochosa, é comum a existência de grandes irregularidades topográficas na superfície rochosa no leito do rio, associadas a zonas de maior faturamento da rocha, uma vez que o rio "procura" as zonas de fraquezas estruturais da rocha para estabelecer o seu leito.

Projeto de barragens de terra e/ou enrocamento em tais regiões, caracterizadas por variações abruptas da superfície rochosa, exigem uma análise detalhada das zonas potenciais de fissuras no maciço, devido às deformações diferenciais impostas por estas irregularidades topográficas. Para estes casos, é aconselhável a regularização da topografia da fundação, através da suavização das irregularidades, ou a fixação da sequência construtiva de modo a reduzir os recalques diferenciais. Também é possível a adequação dos materiais do maciço e/ou respectivas especificações, de modo a reduzir os recalques diferenciais, ou prover maior plasticidade ao solo nas zonas solicitadas a tração. Ou ainda, a ampliação do sistema de drenagem interna nas zonas de fissuramento potencial.

Para fundações em solos argilosos saturados moles, como estes materiais caracterizam-se por baixa resistência ao cisalhamento, elevada compressibilidade e baixa permeabilidade, aconselha-se a remoção parcial ou total do material, ou a utilização da construção por etapas associadas com utilização de drenos verticais de areia para aceleração do adensamento e, a diminuição da solicitação cisalhante da fundação mediante adaptação da seção transversal da maciço através da suavização dos taludes e/ou com emprego de bermas de equilíbrio, fazendo com que a resistência ao cisalhamento aumente.

Quanto ao aspecto de elevada deformabilidade deve-se distinguir os casos de recalques quase absolutos de recalques diferenciais. O primeiro tipo de recalque pouco frequente, interfere no projeto somente no que se refere a diminuição do bordo livre,

necessitando portanto, de uma sobre elevação da cota da crista da barragem correspondente aos recalques após a construção. Quanto aos recalques diferenciais, as soluções de projeto tem sido a adaptação de sequência construtiva visando uma redução dos recalques diferenciais e/ou projeto de sistema de drenagem mais rigoroso, a espessura dos drenos deve ser de tal ordem que não sejam seccionados devidos aos recalques diferenciais.



LEGENDA

ATERRO BARRAGEM	CURVA MESTRE
ESPELHO D'ÁGUA	CURVA INTERMEDIÁRIA
VERTEDOURO	



SUPERINTENDÊNCIA MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE CATALÃO

PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA

MELHORIAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

OBRA: CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM, DUPLICAÇÃO DA ADUTORA E REABILITAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CATALÃO

CONTEÚDO: BARRAGEM

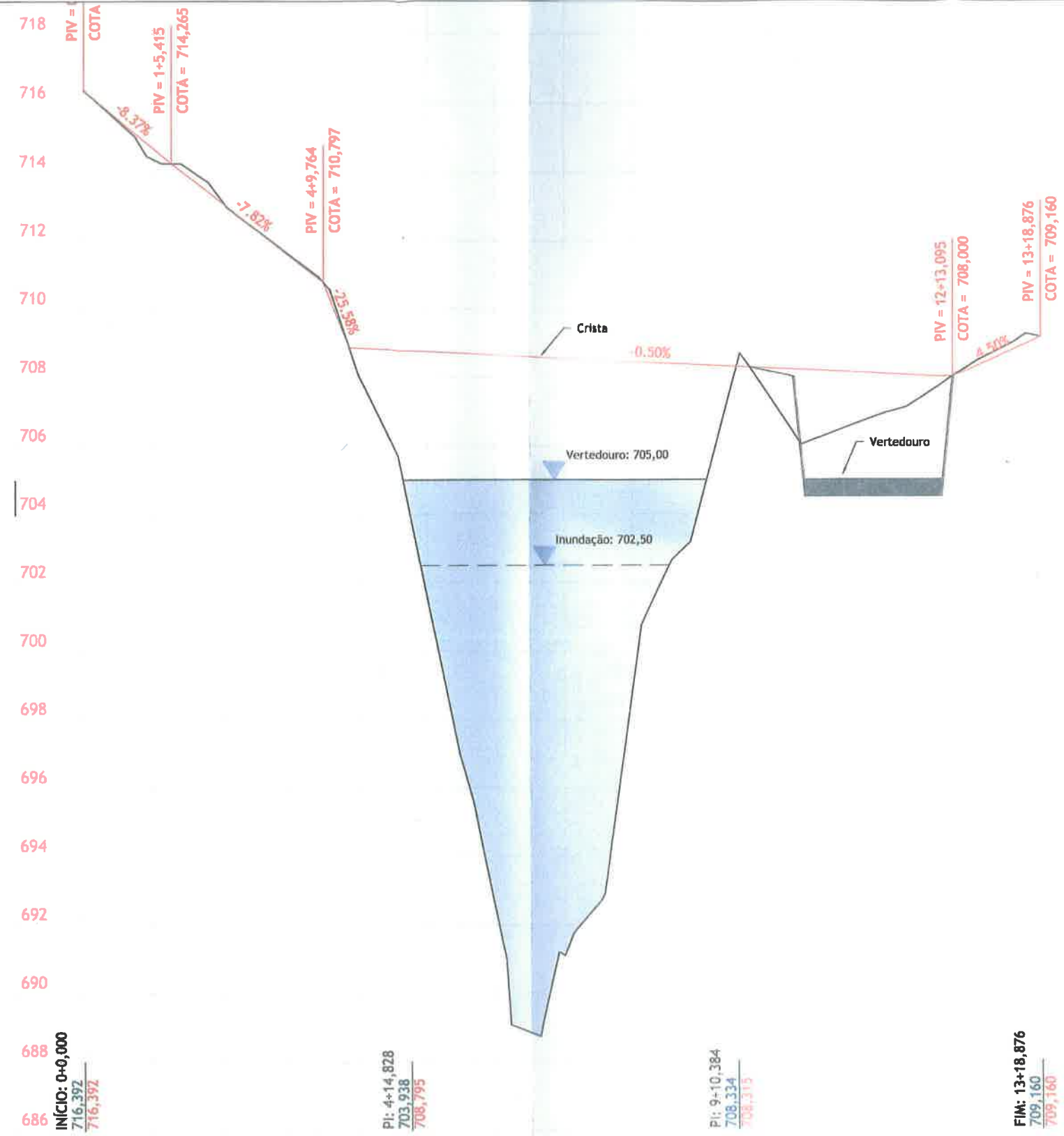
TÍTULO: CONCEPÇÃO EM PLANTA

ESCALA 1:900

PR 204 BAR 01 R00

PERFIL LONGITUDINAL DE:
Eixo - Barragem - Ribeirão Pari

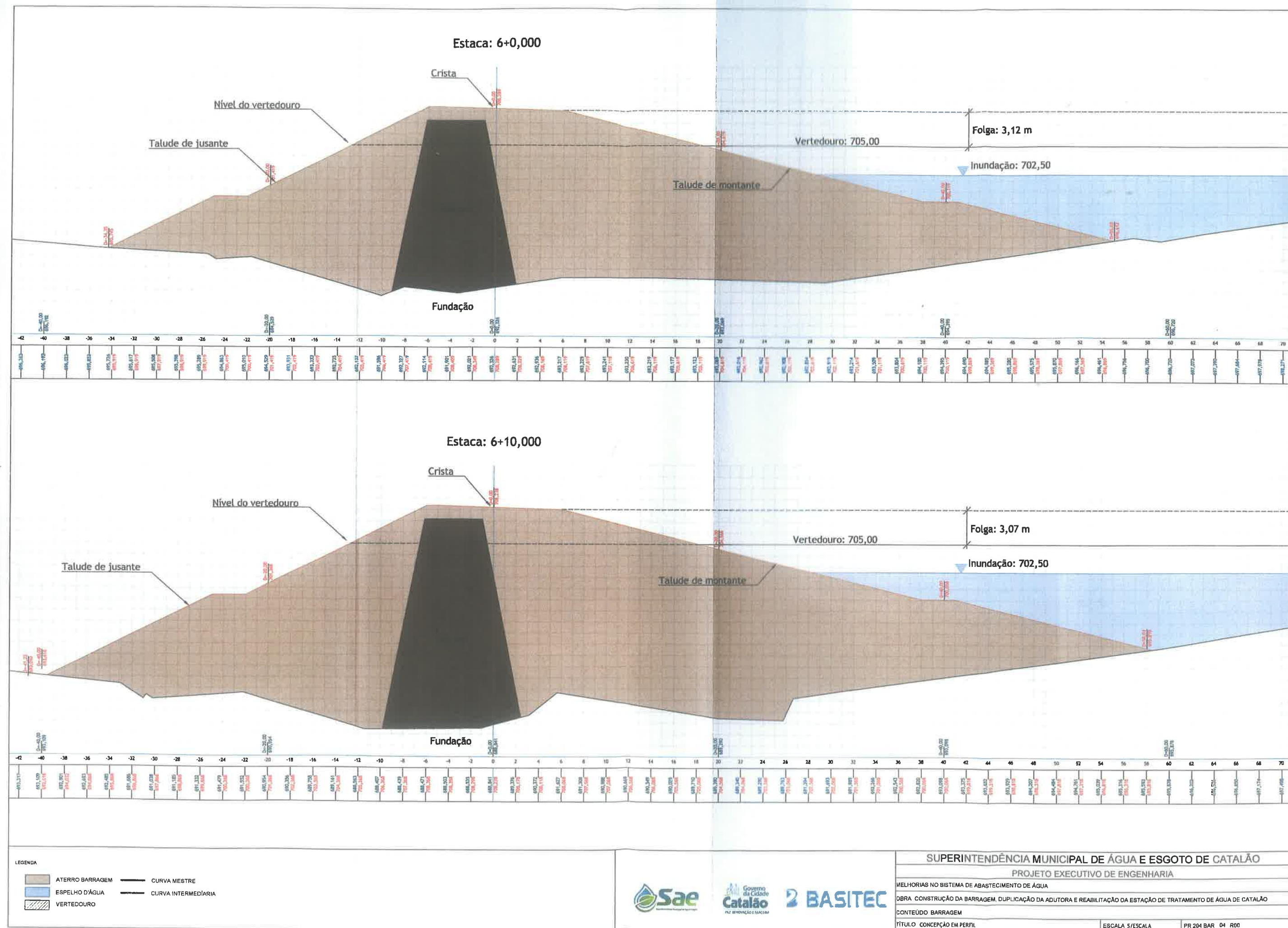
■ TERRENO NATURAL ■ PROJETO

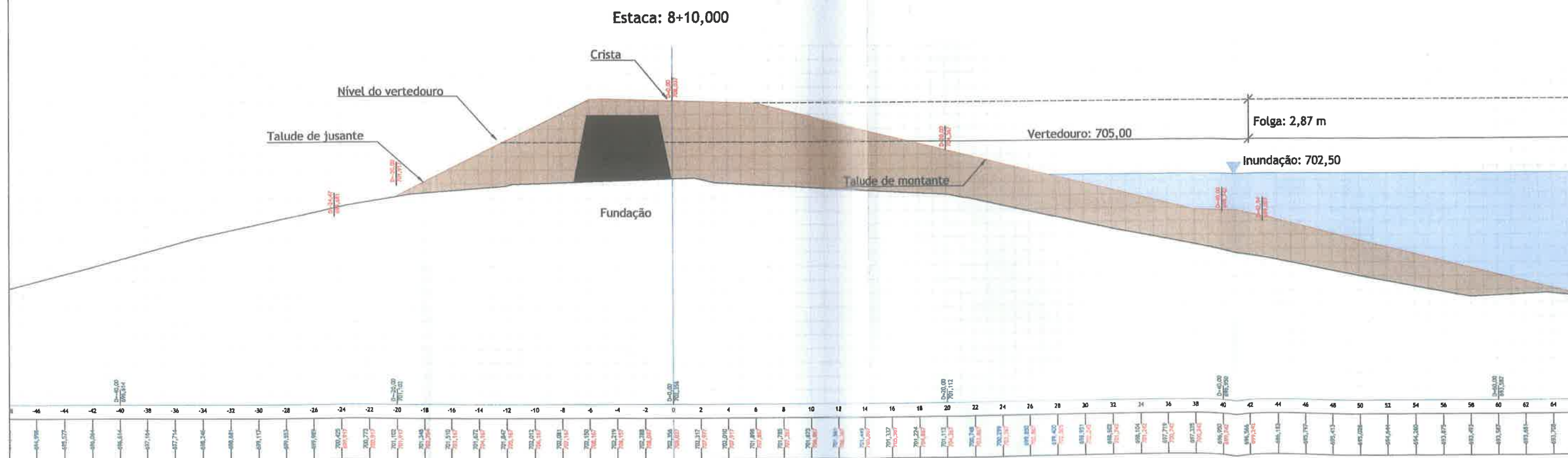
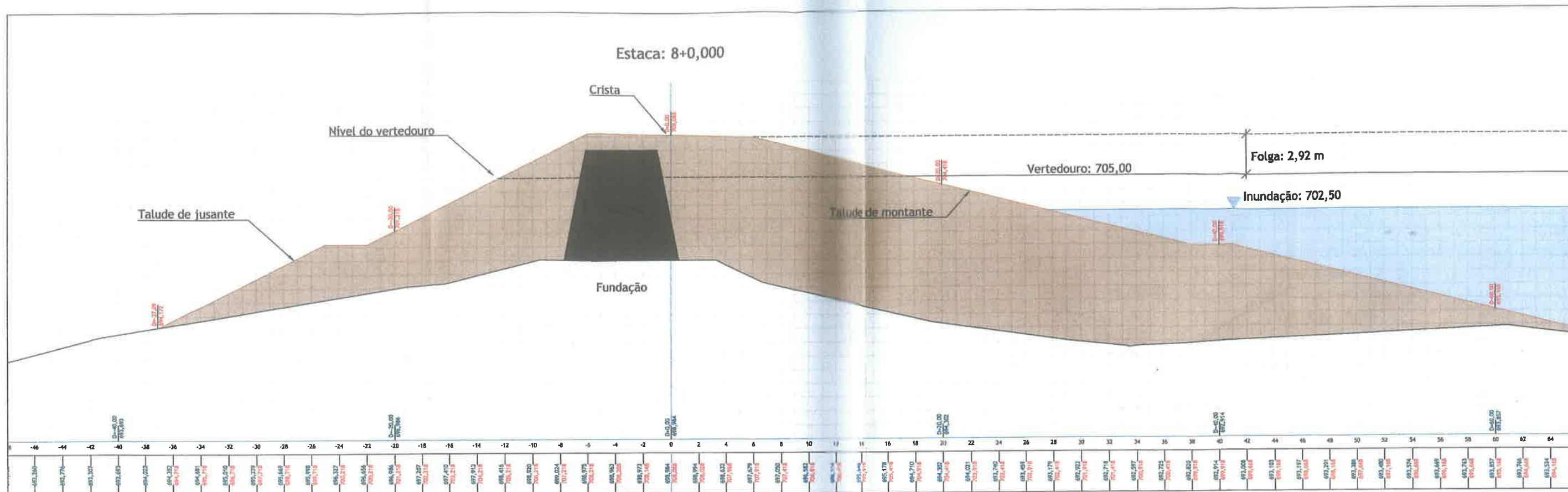


COTAS	716,392	714,395	713,185	711,597	708,047	701,457	692,326	691,159	698,984	704,355	707,401	706,443	707,132	708,458
ESTACAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

- LEGENDA
- ATERRO BARRAGEM
 - EBELHO D'ÁGUA
 - VERTEDOURO
 - CURVA MESTRE
 - CURVA INTERMEDIÁRIA







LEGENDA

- ATERRO BARRAGEM
- ESPELHO D'ÁGUA
- VERTEDOURO
- CURVA MESTRE
- CURVA INTERMEDIÁRIA



SUPERINTENDÊNCIA MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE CATALÃO

PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA

MELHORIAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

OBRA: CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM, DUPLICAÇÃO DA ADUTORA E REABILITAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CATALÃO

CONTEÚDO: BARRAGEM

TÍTULO: CONCEPÇÃO EM PERFIL

ESCALA 5/ESCALA

PR 204 BAR 06 R00