



O DESAFIO DO CARREGAMENTO E OPERACIONALIZAÇÃO DA ADUTORA DE ÁGUA BRUTA DO SISTEMA PRODUTOR SÃO LOURENÇO

Celso Gonçalves Arado ⁽¹⁾

Engenheiro Eletricista pela Universidade de Mogi das Cruzes – UMC, Pós Graduação em Gerenciamento Ambiental pela Universidade Brás Cubas - UBC e MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Instituto de Administração –FIA/USP e atualmente é Coordenador do Empreendimento Sistema Produtor São Lourenço.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Francisco Martins nº 159 – Mogi das Cruzes – SP – CEP.: 08780-520 – telefone: 3388-6069 e-mail: celsoarado@sabesp.com.br

RESUMO

Inaugurado em abril de 2018, o Sistema Produtor São Lourenço, com seus 82 Km de linhas de adução, demandou diversas atividades e processos para que seu sistema de veiculação de água fosse devidamente carregado e operacionalizado. Particularmente o Sistema de Adução de Água Bruta composto por duas estações elevatórias, sistema de amortecimento de transientes hidráulicos, adutora com diâmetro de 2.100mm com 50 Km de extensão, desnível geométrico de 330m, pressão de recalque de 370 mca (Classe de Pressão PN 40) e vazão de até 6,4 m³/s, adicionado ao ineditismo destes níveis de pressão e vazão, se configurou num grande desafio de engenharia para os técnicos do sistema. Nesse contexto, foram elaborados diversos estudos técnicos, procedimentos operacionais e estratégias específicas para cada etapa do enchimento com vistas ao cumprimento de prazos, à segurança dos operadores e das estruturas, de maneira a garantir a perfeita operacionalidade do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Produtor São Lourenço, Sistema de Adução, Carregamento de Adutoras

INTRODUÇÃO

As obras do Sistema Produtor São Lourenço representaram um desafio enorme, mesmo para os experimentados profissionais da Sabesp, que se depararam com desafios de engenharia por vezes inéditos, devido a magnitude da obra, pressões nas tubulações (principalmente no trecho de água bruta), diâmetros envolvidos e topografia adversa.

A operacionalização do Sistema de Adução de Água Bruta, que consta de uma Estação Elevatória de Baixa Carga, Uma Estação Elevatória de Alta Carga, Sistema de Amortecimento de Transientes Hidráulicos tipo R.H.O. e uma linha de adutora com diâmetro de 2.100mm assentado em trechos de difícil acesso, elevações acima do convencional - 330 metros geométricos e classe de pressão PN40 fizeram desta empreita um verdadeiro desafio à Engenharia de Operação.

OBJETIVO

O objetivo deste Trabalho Técnico é descrever de uma forma objetiva como foram realizados os trabalhos de limpeza, enchimento, carregamento e operacionalização de todo o conjunto de equipamentos que compõe o sistema de adução de água bruta do Sistema Produtor São Lourenço.

METODOLOGIA

Este Trabalho Técnico foi desenvolvido a partir de registros e observações de todas as atividades executadas durante a fase de pré-operação do sistema de adução de água bruta, bem como na elaboração e aplicação de procedimentos técnicos, sempre considerando as normas técnicas e as boas práticas operacionais do empreendimento Sistema Produtor São Lourenço.



DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA DE ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA

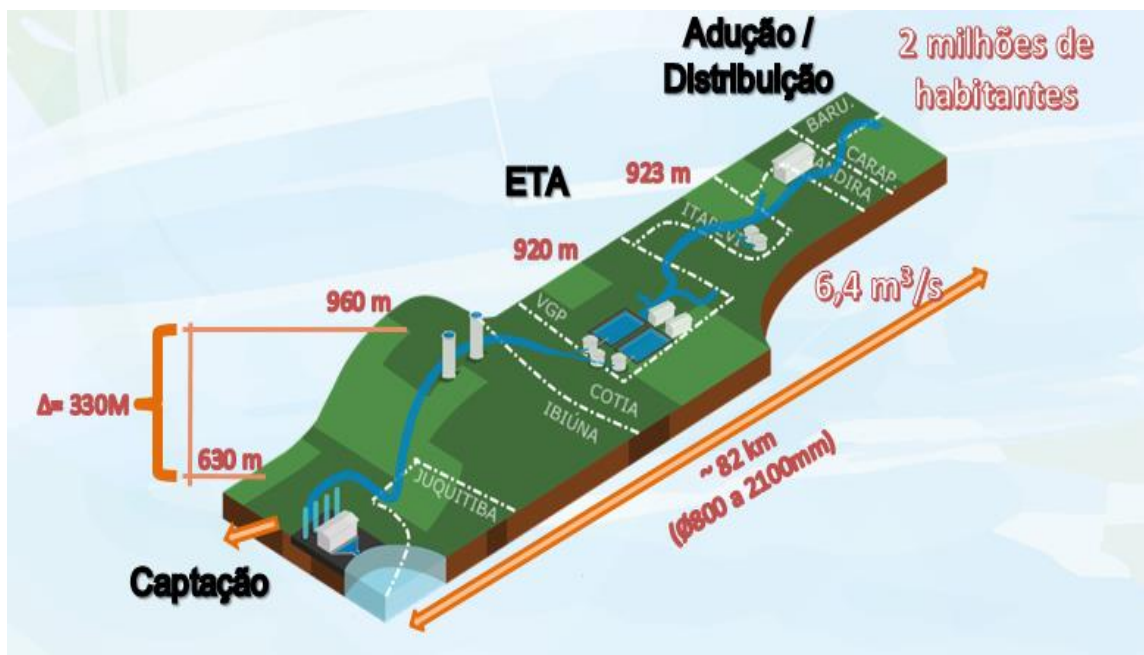


Figura 1 – Esquemático de Adução e Distribuição do SPSL

Sistema de Bombeamento e Recalque



Figura 2 – Identificação das Estruturas de Bombeamento

Estação Elevatória de Água Bruta de Baixa Carga (EEAB-BC)

A Estação Elevatória de Água Bruta de Baixa Carga (EEAB-BC) está localizada próximo à margem do reservatório Cachoeira do França, no final da estrutura de concreto armado da tomada d'água e abrigará oito bombas tipo turbina de eixo vertical instaladas em poço úmido. Tem a função de bombear as águas captadas na represa com eventuais sedimentos até o desarenador localizado numa plataforma aproximadamente 15 m



acima, onde será removida a areia e a água isenta de sedimentos será encaminhada para o poço de sucção da EEAB-AC.

A EEAB-BC do Sistema Produtor São Lourenço é equipada com 8 conjuntos motor-bombas de eixo vertical prolongado, sendo 06 em funcionamento (4 com velocidade fixa e 2 com velocidade variável) e 02 de reserva (1 com velocidade fixa e 1 com velocidade variável). Serão instalados 3 inversores de frequência. Por segurança 4 motores foram especificados para terem condições de partida com inversor de frequência, considerando o aproveitamento com troca de cabos do inversor da bomba ou motor que venha a apresentar algum problema.

A bomba instalada apresenta as seguintes características:

- Vazão: 1,05 m³/s
- Altura manométrica total: 30,0 m
- Instalação: Linha de recalque independente s/ válvulas
- Modelo: KSB SEZ 6-50, 60 Hz
- Diâmetro da conexão de descarga: 24"
- Diâmetro da Linha: 40"
- Rotação nominal: 892rpm
- Potência nominal do motor: 600cv

Estação Elevatória de Água Bruta de Alta Carga (EEAB-AC)

A Estação Elevatória de Água Bruta de Alta Carga é composta por 5 (cinco) conjuntos moto-bombas de alta carga BAC (4 em operação e 1 de reserva), com instalação em poço seco, de eixo horizontal com carcaça bipartida, de velocidade fixa, de multi-estágio e com dois bocais de sucção, posicionados em linha, com capacidade nominal individual de 1,50 m³/s e capacidade total de 6,00 m³/s para altura manométrica de 365,00 m. A Casa de Bombas de Alta Carga tem dimensões internas, em planta, de 78,20 m de comprimento, por 18,20 de largura e 3,90m de profundidade (abaixo da soleira de entrada) e abrigará as bombas para enchimento inicial da adutora, bombas para resfriamento dos motores e bombas de incêndio.

Tabela 01 – Pontos de Trabalhos dos CMBs da EEAB- AC

N.A. do Poço de Sucção	Nº de Bombas	Vazão total (m ³ /s)	K = 0,50 mm			
			Condições Operacionais por Bomba			
			Vazão (m ³ /s)	AMT (m)	Rend (%)	BHP (CV)
651,05	4	6.00	1.50	365	87,6	8322
	3	4.81	1.60	351,2	87,7	8542
	2	3.38	1.69	338,9	87,4	8721
	1	1.75	1.75	329,6	87	8833

Sistema de Proteção contra Transientes Hidráulicos



A proteção do sistema de adução de água bruta contra os efeitos deletérios decorrentes de escoamentos transitórios será efetuada por meio de 5 vasos de pressão com volume total unitário de 120 m³, dimensionados para pressões nominais de 40 bar e pressão de projeto de 45 bar.

O volume inicial de ar em cada RHO Émantido próximo a 40 m³ e será controlado automaticamente com a ação de medidor indicador / transmissor de nível do tipo pressão diferencial, conforme esquema e descrição abaixo, espaçados a cada 25 cm.

As análises hidráulicas dos transitórios hidráulicos são apresentados no capítulo 6.2 – ANEXO II do presente relatório, apresenta-se a seguir o resumo das principais conclusões:

Nos estudos desenvolvidos foram realizadas 4 simulações de operação considerando 5 RHOs de 120 m³ e 4 RHOs de 120 m³ e em cada simulação a utilização ou não de válvula de retenção de fechamento rápido com *by-pass*, tendo-se concluído pela solução 4 RHOs + 1 de reserva e sem válvula de retenção com *by-pass*, uma vez que a sua utilização não traria vantagens significativas. Entretanto, por opção da Sabesp será utilizada a válvula de retenção com *by-pass* que é a solução que foi recomendada em todos os estudos anteriormente desenvolvidos.

A conexão de cada vaso com o barrilete de recalque será efetuada por meio de ramal curto de 750 mm de diâmetro, com válvula de retenção de fechamento rápido que possibilita o escoamento de água do vaso para o barrilete e impede o fluxo contrário. O fluxo contrário será efetuado pelo *by-pass* da válvula de retenção com diâmetro de 600 mm com placa de orifício multifuros, conforme dimensionamento apresentado a seguir. As interligações dos RHOs com o barrilete de recalque serão equipadas com válvulas de esfera com $\Phi 750$ mm de diâmetro, para o isolamento do vaso do sistema, possibilitando operações de manutenção. Na tubulação de interligação será prevista uma válvula de descarga de $\Phi 200$ mm, para o esvaziamento da tubulação e do RHO.

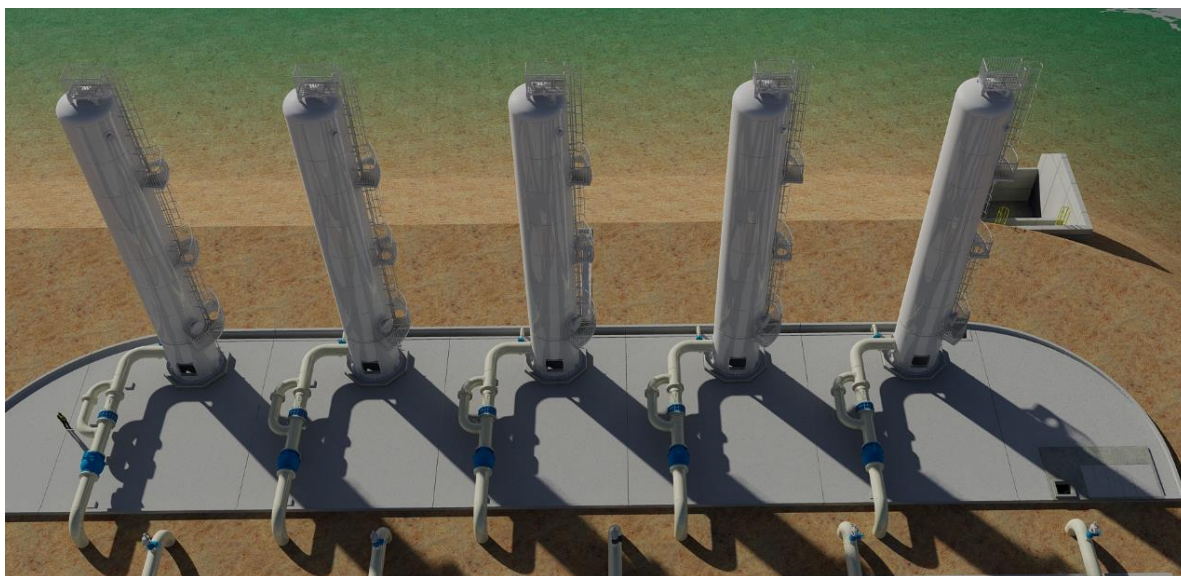


Figura 3 – Sistema de Proteção contra transientes hidráulicos - RHOs

Subestação Elétrica 138/13,8KV/ 35 MVA

O Complexo de Captação de Água Bruta é dotado de uma Subestação Elétrica com linhas de transmissão alimentadoras de 42 Km de extensão. É composta de 2 transformadores rebaixadores de tensão de 138 KV para 13,8KV para alimentação dos CMBs de Baixa Carga e Alta Carga.



Constitui-se de seccionadores, para raios, disjuntores em sistema duplo de redundância (Linha 1 e Linha 2) podendo intercalar os transformadores ou trabalhar com o barramento dividido (Trafo 1 + Trafo 2). Todo o Sistema é controlado por meio de supervisor de automação – Sistema SCADA.

É subdividida na parte de Baixa Tensão (13,8KV) em dois ramais principais de alimentação:

Sala de painéis e Controle – Alta carga: Alimenta o sistema de potência das Bombas de Alta Carga – 4 x 9.100 CV

Sala painéis e Controle Baixa Carga: Alimenta o sistema de potência das Bombas de Baixa Carga – 5 x 600 CV

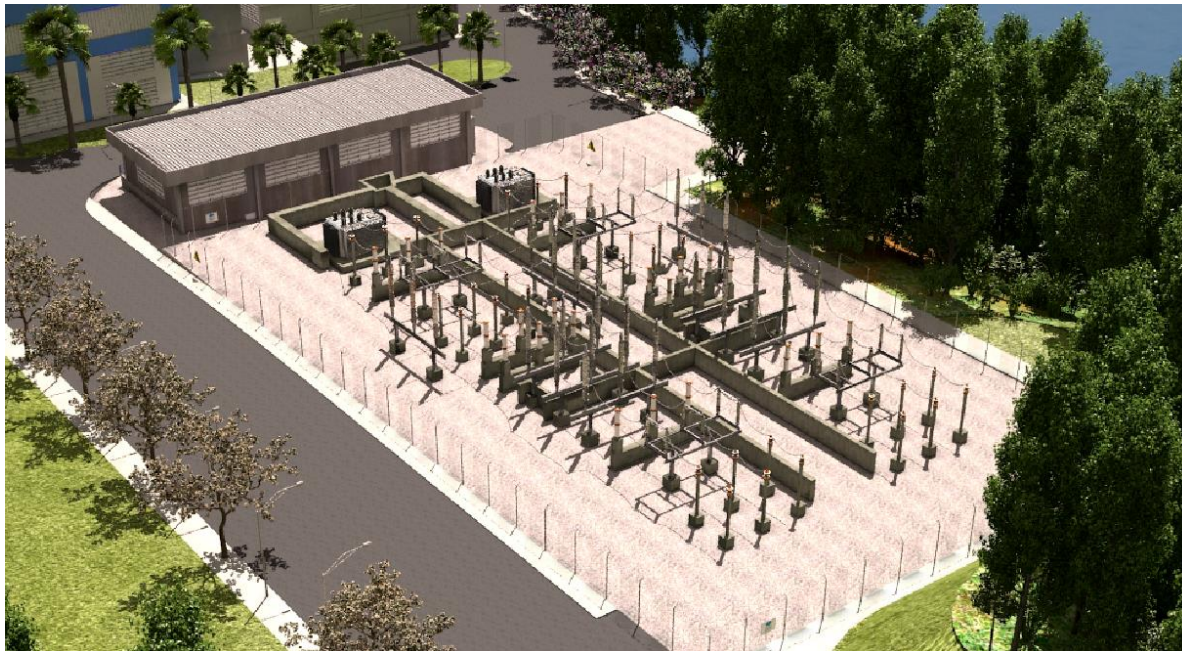


Figura 4 – Vista da Subestação 138/13,8KV – 35MVA



Figura 5 – Vista Geral do Sistema de Captação de Água Bruta e suas sub-unidades



Adutora de Água Bruta por Recalque – Trecho I

A adutora de água bruta no trecho por recalque, situado entre a Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB) e a Chaminé de Equilíbrio de Água Bruta nº 1 (CEQ-AB1), tem extensão total de 21,9 km.

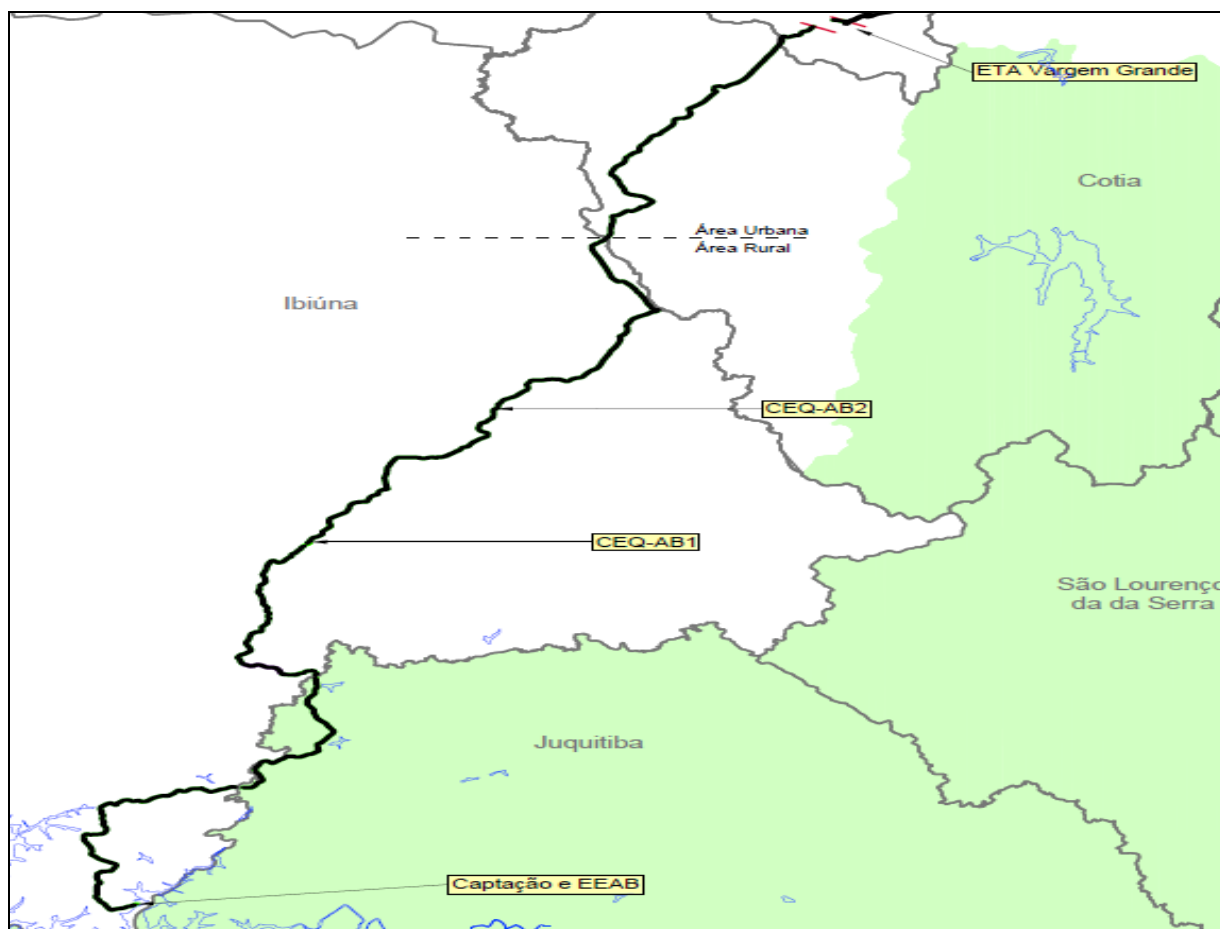


Figura 6 – Trecho percorrido pela Adutora de Água Bruta

A adutora enterrada é assentada com envoltória de areia compactada a 90% Proctor Normal, com recobrimento máximo da ordem de 3,5m sobre a geratriz superior do tubo, para atender às solicitações de cargas, de vácuo interior, e deformação transversal do diâmetro limitada conforme norma NTS. Para isolamento da adutora para fins de manutenção, foi implantada apenas uma estrutura de bloqueio, constituída de válvulas 100% estanques (nas duas direções), no início do trecho ascendente da serra de Paranapiacaba.

Tabela 02 – Características da Tubulação de Adução de Água Bruta

TRECHO	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO (mm / polegadas)	ESPESSURA (mm/polegadas)	Tipo do Aço Carbono
EEAB até estaca 900 – Trecho III	19.000	2.100 mm 84”	15,87mm 5/8”	API 5L X65
Estaca 900 – Trecho III até Chaminé de Equilíbrio 01	2.920	2.100 mm 84”	12,7mm 1/2”	API 5L X60



Chaminé de Equilíbrio 01 até Chaminé de Equilíbrio 03	27.351	2.100 mm 84"	11,11mm 7/16"	ASTM A-1018 Gr36
---	--------	-----------------	------------------	------------------

As válvulas de admissão e expulsão de ar estão instaladas nos pontos altos da adutora, para admissão de ar durante as operações de descarga, e expulsão do ar do interior da tubulação durante a fase de enchimento inicial, ou do ar acumulado durante a operação normal do sistema de adução.

As válvulas de admissão e expulsão de ar são de diâmetro nominal mínimo de 200 mm (8"), de abertura rápida e fechamento lento.

As descargas ao longo da adutora são realizadas por intermédio de ramais de no máximo 600mm (24") de diâmetro e válvula para bloqueio do tipo esfera, com "flange de espera". A válvula de bloqueio é dotada de by-pass com válvula de duas vias – uma via para a atmosfera – de 25 mm (1") de diâmetro.

O controle de vazão das descargas é realizado por intermédio da instalação no "flange de espera" de válvulas de fluxo anular com acionamento manual. As válvulas de bloqueio serão operadas somente após a instalação das válvulas de controle e da retirada do ar pelo "bypass"; para evitar a ocorrência de erosões, as descargas deverão possuir placa de impacto para dissipar a energia do jato d'água oriundo da manobra.

Devido às altas pressões do trecho por recalque, as válvulas de bloqueio e os componentes dos dispositivos de admissão e/ou expulsão de ar e de descarga foram especificados para a Classe de Pressão superior a PN40 (40bar).

O traçado selecionado para implantação da adutora de água bruta a partir da EEAB, segue 7,0 km no sentido norte por estradas internas das fazendas Editora 3 e SAMA, no município de Ibiúna. Na sequência, segue por vias vicinais públicas dos municípios de Ibiúna e de Juitituba, e atravessa duas vezes o Ribeirão Laranjeiras; após a primeira travessia, entra por 5,8 km no município de Juitituba e, depois da segunda, o traçado retorna para Ibiúna até a estrada Verava.

O traçado adotado tem cerca de 4,0 km a mais que outro estudado por estradas particulares e faixas de servidão, dentro das fazendas SAMA e Meandros, no município de Ibiúna. Entretanto, mesmo com um custo maior, a Sabesp optou pela implantação da adutora em vias vicinais públicas do município de Juitituba para evitar desapropriações e interferências com a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) existente na fazenda Meandros. Continuando pela estrada Verava, com perfil íngreme, predominantemente sinuoso e com precário estado de conservação, a adutora alcança o alto da serra de Paranapiacaba, totalizando 21,9 km de extensão e interligando a chaminé CEQ-AB1.

As características principais da adutora de água bruta por recalque são:

- Material do tubo: aço do tipo ASTM A1018 Gr60/65;
- Diâmetro do tubo: 2.100 mm (84");
- Extensão total da adutora: 49,3 km; e
- Espessuras da chapa:
 - 19.000 m em espessura de 15,8 mm (5/8"),
 - 2.920 m em espessura de 12,7 mm (1/2"),
 - 27.351m em espessura de 11,11 mm (7/16")

Para transmissão de dados e imagens foram instalados cabos de fibra óptica com linha "Dual" no interior de dutos de 100 mm (4"), diretamente enterrados ao longo do trecho por recalque da adutora de água bruta, com profundidade segura em relação ao nível do solo e com uma fita de advertência instalada a 1,0 m de profundidade para prevenir danos aos cabos em caso de manutenção da adutora e/ou outros serviços.

Adutora de Água Bruta por Gravidade – Trecho II



A adutora de água bruta no trecho por gravidade, entre a Chaminé de Equilíbrio de Água Bruta nº 1 (CEQ-AB1) e os Reservatórios de Compensação de Água Bruta (RCAB) da ETA Vargem Grande, tem extensão total de 28,3 km. Percorre os municípios de Ibiúna, Cotia e adentra em Vargem Grande Paulista até a área da ETA. A tubulação foi constituída por tubos de aço carbono do tipo ASTM A283 GrD, com 2.100 mm (84”) de diâmetro, sendo 8,1 km com espessura de 15,8 mm (5/8”) e 20,2 km com 12,7 mm (1/2”).

O trecho por gravidade percorre o planalto de Ibiúna, em cotas que variam de 870,0 a 945,0 m. Esse perfil topográfico suave do traçado impõe pressões que não superam os 80,0 mca em condições normais de operação, permitindo o uso de tubulação de aço com classes de pressão convencionais. Nesse caminhar foram implantadas duas novas chaminés de equilíbrio para melhorar o desempenho hidráulico da adutora de água bruta: a CEQ-AB2, localizada em ponto alto intermediário do trecho, e a CEQ-AB3, localizada imediatamente a montante do RCAB. A adutora enterrada foi assentada com envoltória de areia compactada a 90% Proctor Normal, com recobrimento máximo da ordem de 3,5 m sobre a geratriz superior do tubo, para atender as solicitações de cargas, de vácuo interior, e deformação transversal do diâmetro limitada conforme norma NTS.

As válvulas de admissão e expulsão de ar foram instaladas nos pontos altos da adutora, para admissão de ar durante as operações de descarga, e expulsão do ar do interior da tubulação durante a fase de enchimento inicial, ou do ar acumulado durante a operação normal do sistema de adução. As válvulas de admissão e expulsão de ar têm diâmetro nominal mínimo de 200 mm (8”), ser de abertura rápida e fechamento lento.

As descargas foram instaladas nos pontos baixos do perfil da adutora, para descarga de água na limpeza e lavagem da tubulação, durante a fase de pré-operação, ou no esvaziamento de trechos para fins de limpeza e/ou manutenção. Para o trecho por gravidade da adutora de água bruta, as válvulas de bloqueio e os componentes dos dispositivos de admissão e/ou expulsão de ar e de descarga deverão ser especificados para Classe de Pressão superior a PN16 (16 bar).

O controle operacional das vazões aduzidas é realizado apenas pelo sistema liga/desliga dos conjuntos motobomba da Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB), com monitoramento a partir do controle de níveis no poço de sucção das bombas, nas Chaminés de Equilíbrio de Água Bruta (CEQ-AB1 e CEQ-AB2), nos Reservatórios de Compensação de Água Bruta (RCAB) e na vazão afluente à Estação de Tratamento de Água (ETA) Vargem Grande. O traçado selecionado para implantação da adutora de água bruta, a partir da CEQ-AB1, continua rumo norte pela estrada Verava e por estradas secundárias do município de Ibiúna; passa pelo município de Cotia por estradas vicinais; e segue por faixa de servidão no município de Vargem Grande Paulista, até adentrar na gleba da ETA Vargem Grande.

A adutora passa inicialmente por dois pequenos núcleos rurais: bairro dos Paulos e bairro Verava, e, em seguida, atravessa áreas com atividade de reflorestamento. Adiante, passa pelo núcleo rural Carmo Messias e depois pelo bairro da Campininha, ainda em Ibiúna, em região com ocupação predominantemente rural, com chácaras e cultivos de hortaliças. Em Cotia, passa pelo bairro Água Espirada e ocupações peri-urbanas de Caucaia do Alto ao longo da estrada dos Pereiras.

O trecho da adutora por gravidade atravessa os fundos de vale do rio Sorocabuçu, do córrego dos Grilos, do rio Sorocamirim e do Ribeirão dos Pereiras, com traçados suaves e sem grandes desníveis topográficos. Todas as travessias foram realizadas sob os cursos d’água, respeitando as distâncias mínimas estabelecidas pelo DAEE entre a geratriz superior do tubo e o fundo do curso d’água.

A travessia da adutora projetada sobre a via férrea da ALL nas proximidades da ETA Vargem Grande, com 70,0 m de extensão e diâmetro de 2.100 mm (84”), foi realizada com a utilização de tubos de aço ASME AS-516 Gr.70 com espessura de 19,0 mm (3/4”).

As características principais da adutora de água bruta por gravidade são:

- Material do tubo: aço do tipo ASTM A283 GrD;
- Diâmetro do tubo: 2.100 mm (84”);
- Extensão total da adutora: 28,3 km;
- Espessuras da chapa: 8,1 km com 15,8 mm (5/8”), e 20,2 km com 12,7 mm (1/2”).



**Encontro Técnico
AESABESP**
29º Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



FENASAN

parceiro **IFAT**
2018

Cabos de fibra óptica com linha “Dual” para transmissão de dados e imagens serão instalados no interior de dutos de 100 mm (4”), diretamente enterrados ao longo do trecho por gravidade da adutora de água bruta, com profundidade segura em relação ao nível do solo e com uma fita de advertência instalada a 1,0 m de profundidade para prevenir danos aos cabos em caso de manutenção da adutora e/ou outros serviços.

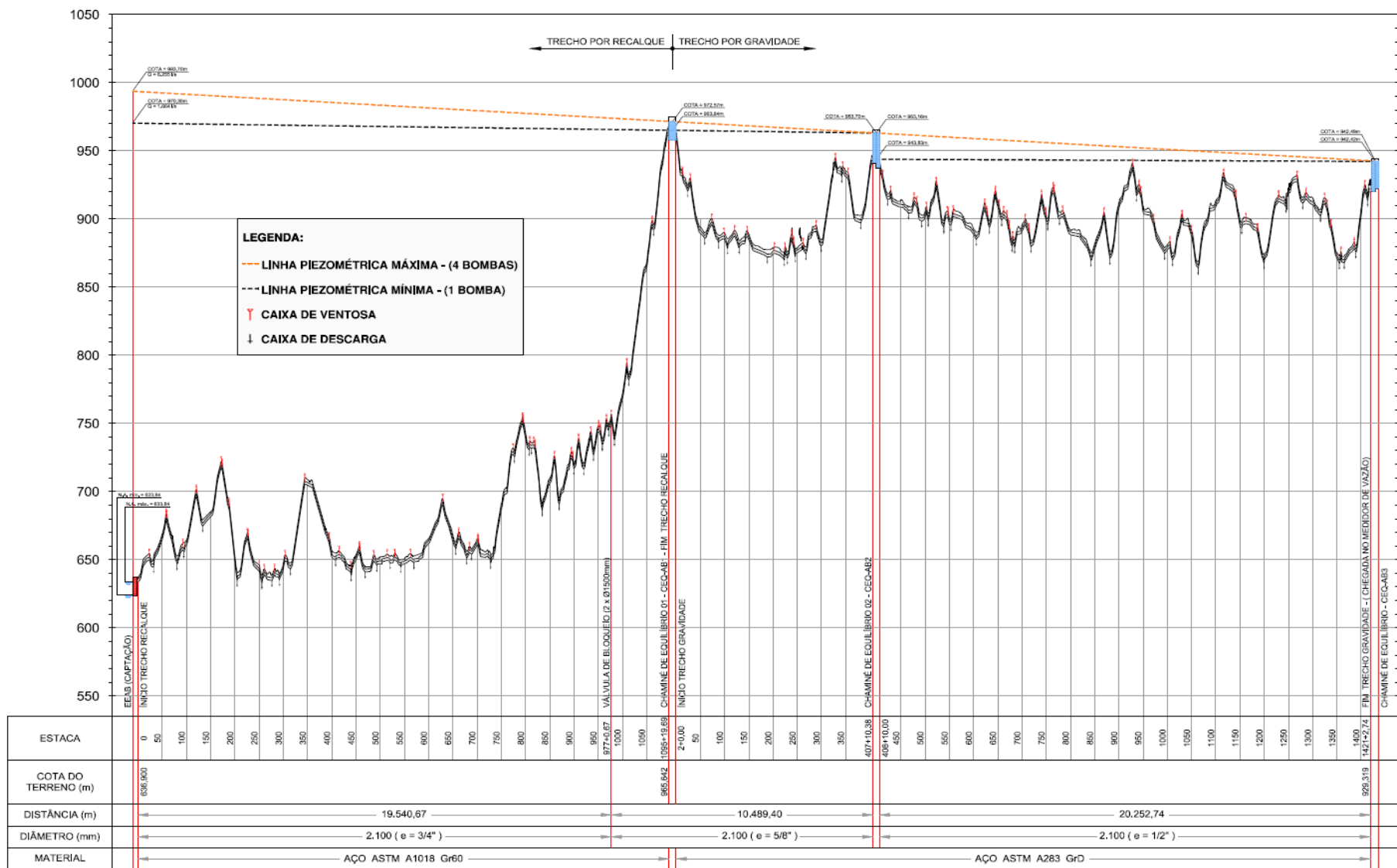


Figura 7 – Perfil Piezométrico da Adutora de Água Bruta - SPSL



Chaminés de Equilíbrio de Água Bruta (CEQ-AB1, CEQ-AB2 e CEQ-AB3)

Chaminés de Equilíbrio de Água Bruta – CEQ-AB1

A Chaminé de Equilíbrio de Água Bruta nº 1 (CEQ-AB1) foi implantada no ponto alto do perfil, no divisor das bacias hidrográficas dos rios Juquiá e Sorocaba, para fins de transição dos regimes operacionais da adução por recalque e por gravidade, e proteção da adutora de água bruta com relação à ocorrência de pressões transitórias.

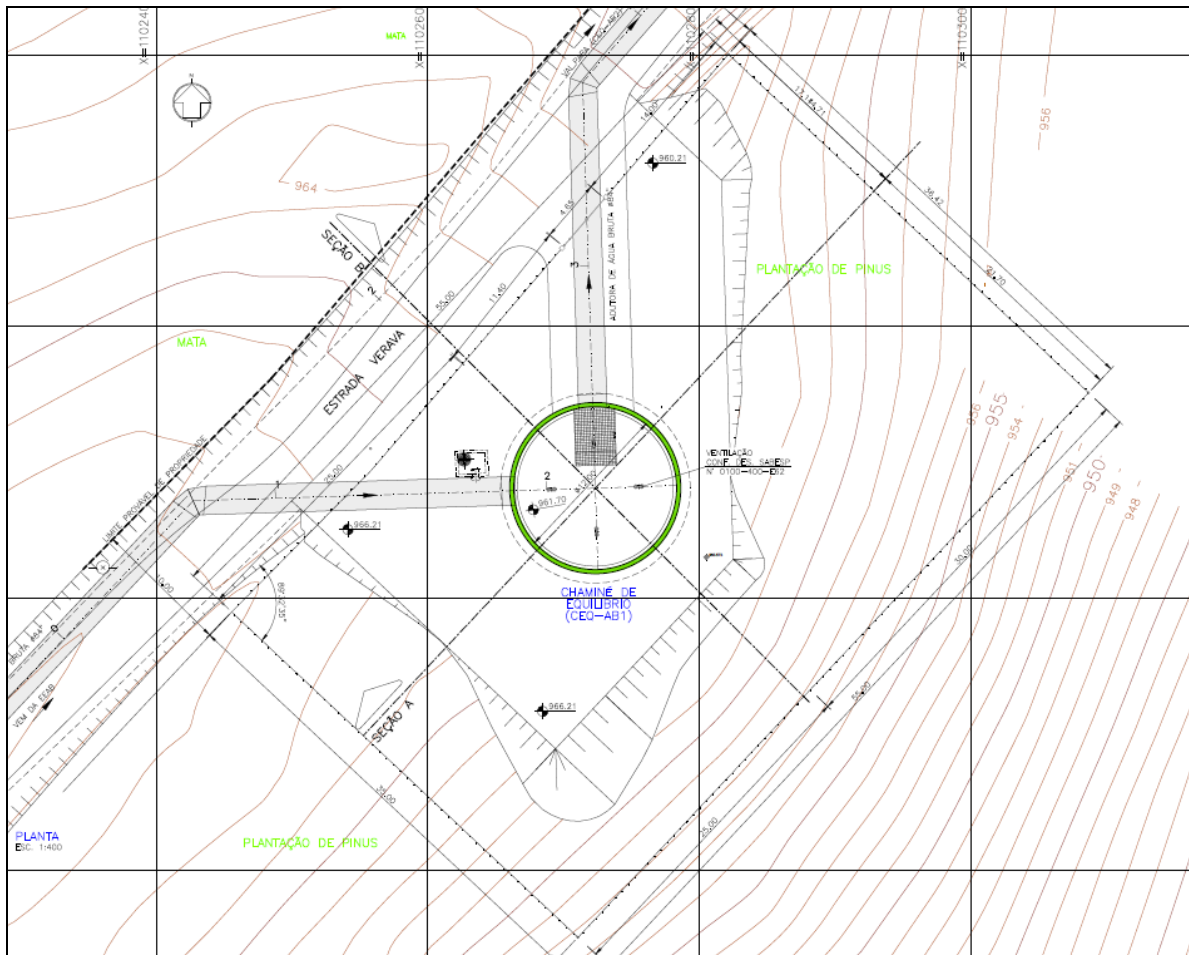


Figura 8 – Esquemático em planta da Chaminé 01

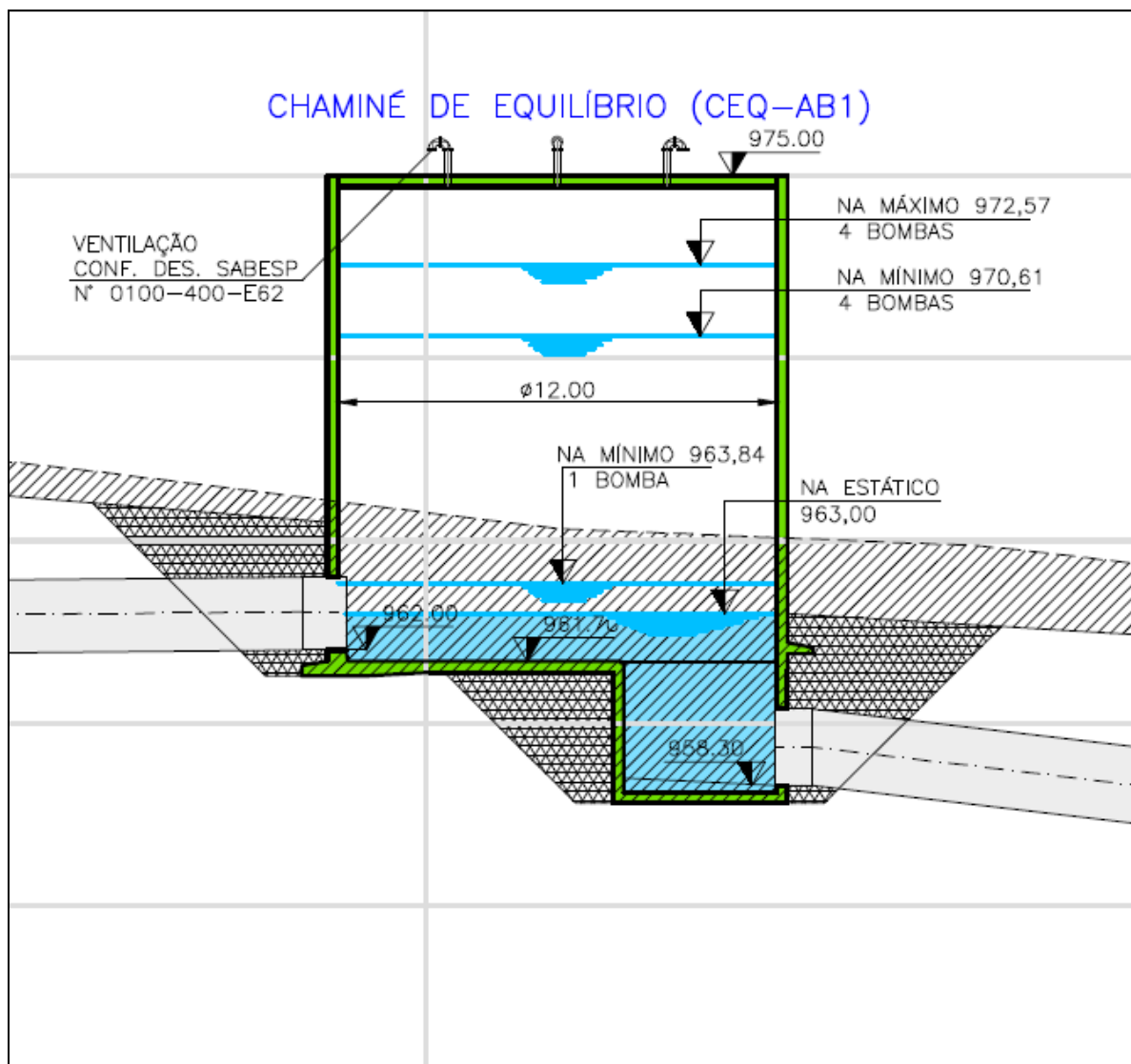


Figura 9 – Corte esquemático da Chamimé de Equilíbrio 1

A CEQ-AB1 tem formato circular com 12,0 m de diâmetro e altura de 13,3 m, foi executada em concreto protendido com cobertura em laje; a capacidade de 1.600 m³ será suficiente para a manutenção das oscilações de pressão em situações transitórias dentro de limites toleráveis com relação às classes de pressão das instalações.

A Chamimé de Equilíbrio de Água Bruta nº 2 (CEQ-AB2) foi implantada 8,1 km a jusante da CEQ-AB1. Foi compartimentada e dotada de vertedouro interno para evitar o esvaziamento de trecho da tubulação situado imediatamente à jusante da CEQ-AB1 e auxiliar o controle das pressões transitórias no primeiro trecho da adutora por gravidade, por ocasião da interrupção do bombeamento.

Chaminés de Equilíbrio de Água Bruta – CEQ-AB2

A CEQ-AB2, com capacidade de 4.700 m³, tem formato circular com 15,0 m de diâmetro e altura de 26,5 m. Será executada em concreto protendido com cobertura em laje. O vertedouro interno terá a soleira em cota que



garanta que toda a tubulação a montante continue pressurizada após a interrupção do bombeamento pela EEAB.

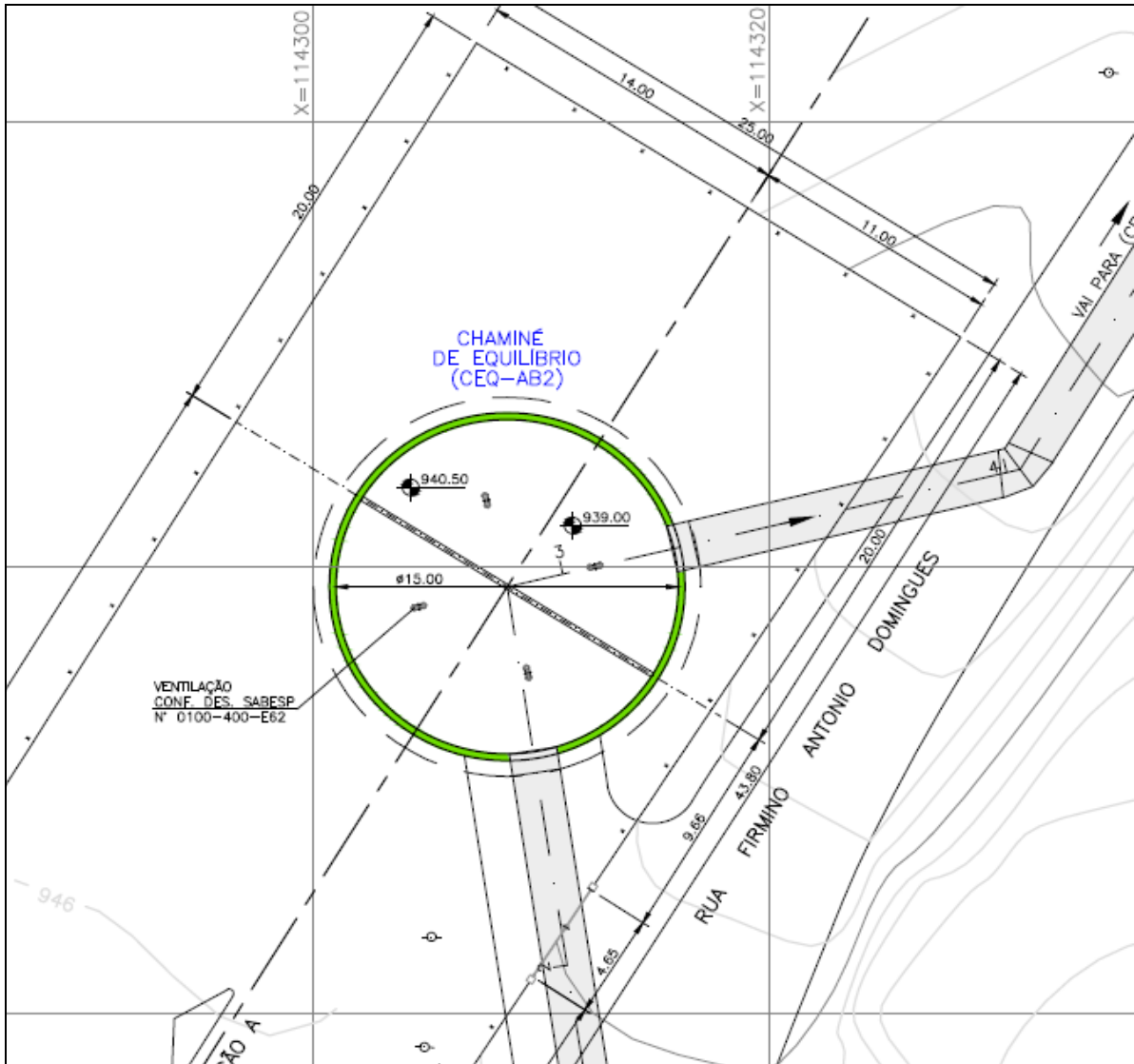


Figura 10 - Esquemático em planta da Chaminé 02

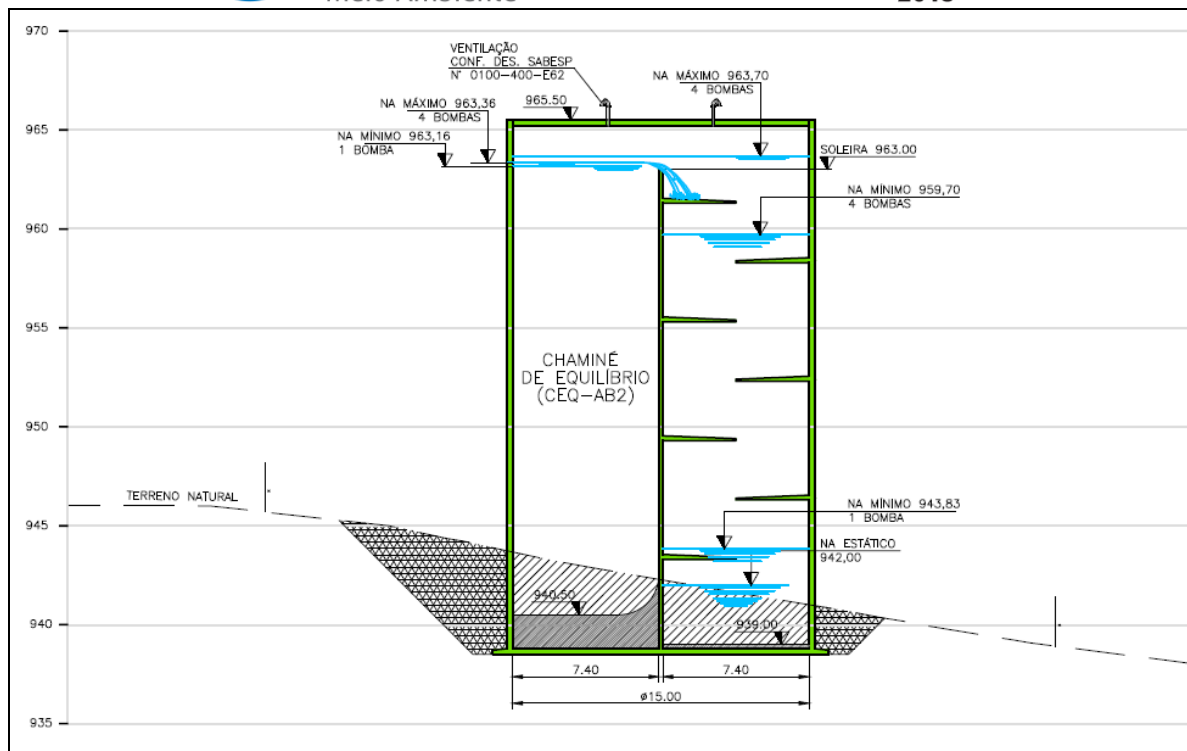


Figura 11 - Corte esquemático da Chaminé de Equilíbrio 2

Por estarem implantadas em áreas isoladas das demais instalações componentes do SPSL, as Chaminés de Equilíbrio CEQ-AB1 e CEQ-AB2 deverão possuir sistema de alimentação elétrica através de energia solar e, no caso de falha deste sistema, opção de dispositivo de emergência para atender a iluminação de emergência e sistema de automação e vigilância.

Chaminés de Equilíbrio de Água Bruta – CEQ-AB3

A Chaminé de Equilíbrio de Água Bruta nº 3 (CEQ-AB3) foi instalada no final do trecho por gravidade da adutora, na área da ETA Vargem Grande, e tem as seguintes finalidades principais:

- Auxiliar o controle das pressões transitórias do último trecho da adutora por gravidade,
- Manter a linha piezométrica acima dos pontos altos existentes na adutora em condições normais de operação, e;
- Efetuar a distribuição de vazões para os Reservatórios de Compensação de Água Bruta (RCAB) da ETA.

Nesta última condição funcionando como estrutura de controle de vazões. A CEQ-AB3, com capacidade de 1.700 m³, tem formato circular com cerca de 10,0 m de diâmetro e altura de 22,2 m, foi executada em concreto protendido com cobertura em laje.

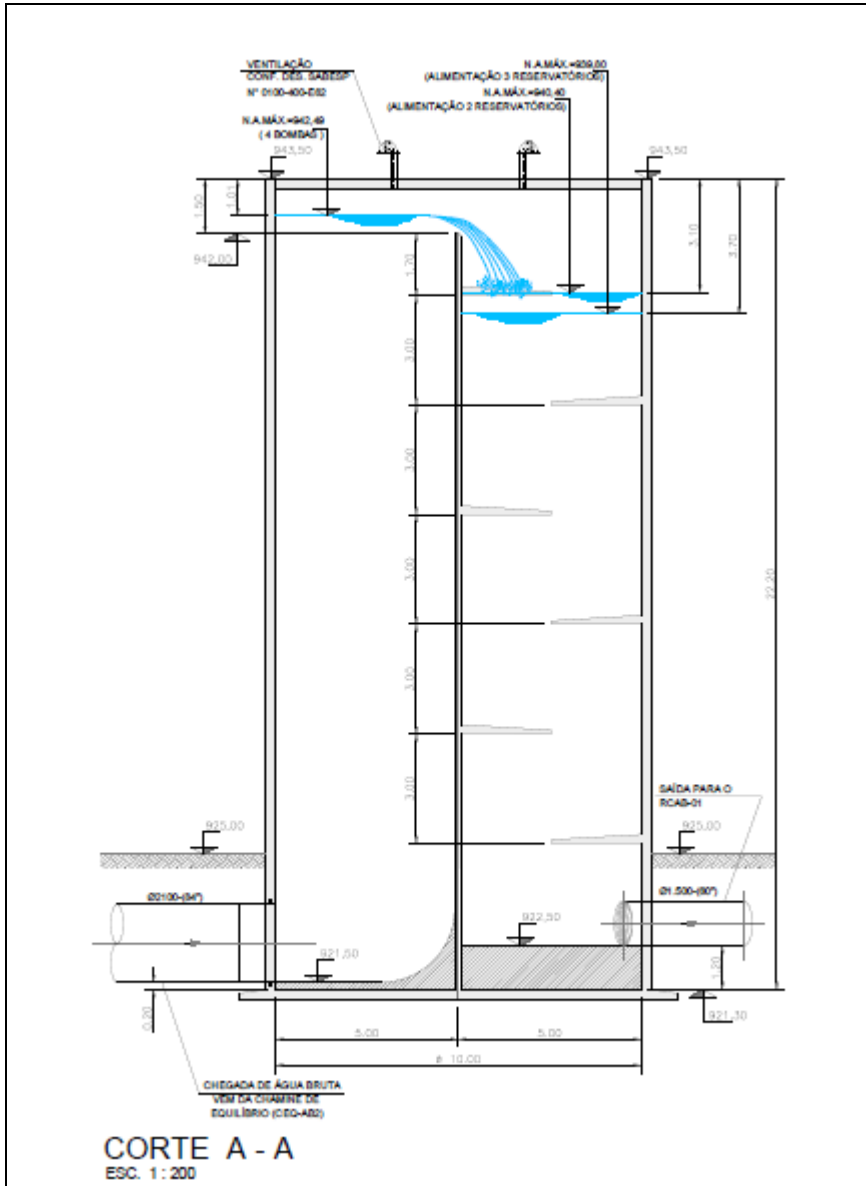


Figura 13 - Corte esquemático da Chaminé de Equilíbrio 3

Os controles de níveis das chaminés de equilíbrio são realizados por intermédio de medidores de nível ultrassônicos. Os dispositivos e as estruturas de controle foram projetados para operarem sem o risco de ocorrência de extravasão em todas as situações operacionais.

SERVIÇOS PRÉVIOS:

LIMPEZA E INSPEÇÃO INTERNA

Este foi mais um desafio que exigiu muita técnica e paciência. Nas tubulações de 2.100 mm foi montada uma força tarefa que percorreu todos os 50 km de tubulações, removendo todos os detritos e restos de materiais de obra existentes na tubulação, limpando o interior do tubo.

Após foi realizado uma completa inspeção interna do tubo, detectando ovalizações (diâmetro interno verificado a cada 50 m), possíveis danos mecânicos no revestimento, que eram imediatamente tratados e re-inspecionados. Para a verificação de ovalizações, a corda máxima admissível foi calculada ponto a ponto,



levando em consideração a criticidade do defeito em relação a distância de ventosas e pontos de elementos que impeçam o colapso do tubo.

Isso foi importante, porque a limitação de ovalização prevista na AWWA tem como parâmetro a resistência a fratura do revestimento, tanto que para revestimentos mais rígidos (epóxi) o valor máximo é de 1% do diâmetro do tubo. No nosso caso, sabíamos que o PU não apresentaria trincas nem mesmo com ovalizações da ordem de 10%.



Figura 14 - Limpeza e Inspeção interna da Adutora principal.

MODELAGEM POR ELEMENTOS FINITOS

Para a verificação da máxima ovalização permitida, foi realizada a modelagem em software de modelos finitos prevendo-se a pior condição com a maior carga de apoio (trem-tipo) e nas condições das maiores sobre e subpressões de projeto.

As tensões e os fatores de segurança à flambagem foram avaliados através dos critérios do Código ASME Seção VIII Divisão 2. Foram avaliadas as condições de pressão interna e pressão externa para duas geometrias: geometria nominal e a geometria ovalizada da adutora.

Neste estudo, constatou-se que as ovalizações em até 10% não implicavam em quaisquer problemas de inversão da catenária, danos estruturais e de estabilidade para a tubulação.

Nestas simulações, considerando o material do tubo e a tendência de colapso, limitamos as ovalizações a 8% do diâmetro.

Nas inspeções “in loco”, pudemos constatar que nas ovalizações reprovadas por exceder os 8%, os revestimentos continuaram absolutamente íntegros.

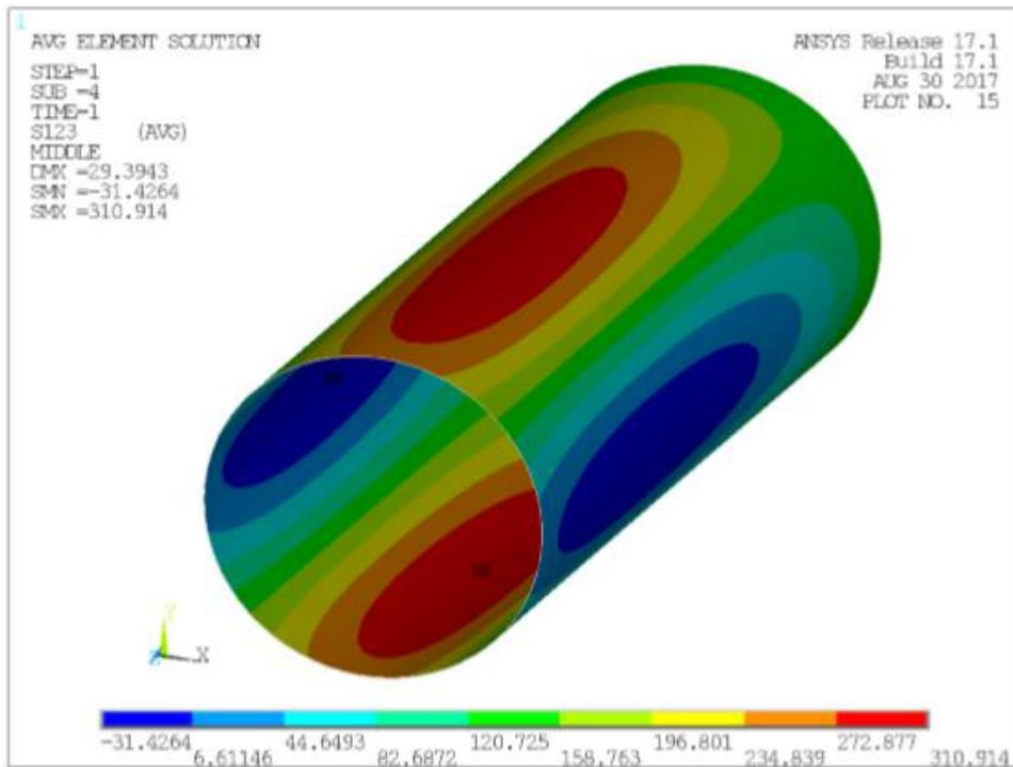


Figura 15 – Verificação das Tensões tri-axiais [MPa] por elementos finitos

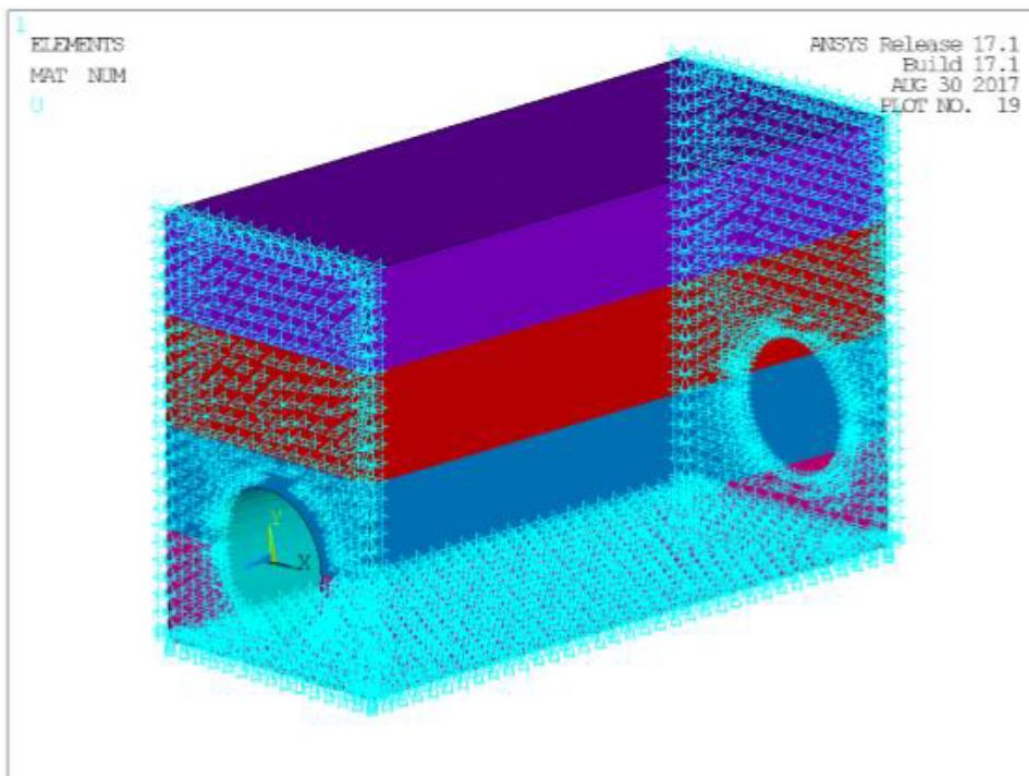


Figura 16 – Modelo de carregamento com os esforços axiais, de envoltória e de trem tipo incididos.



O PROCESSO DE CARREGAMENTO

O processo de carregamento das estruturas se deu de maneira planejada e gradual. O início do carregamento se deu pelas estruturas do canal de entrada. Todo o processo foi acompanhado com marcos e pinos de recalque para verificação dos recalques conforme previstos em projeto. Em paralelo foram sendo comissionados todos os equipamentos acessórios tais como comportas, válvulas, pórticos, talhas, sistemas de esgotamento, bombas auxiliares, parte elétrica e iluminação.

Em paralelo foram realizados os trabalhos de comissionamento da parte elétrica de potência e estudo de seletividade elétrica para garantir a correta partida dos CMBs.

Com a partida da EEAB-BC em 05/12/2017 iniciou-se o processo de enchimento do poço de sucção e alta carga, também realizado conforme descrito acima.

O carregamento da Adutora de Água Bruta se deu em 4 etapas:

- Etapa 01: Carregamento por bombas auxiliares até a estaca 1.009 (20.180m).
- Etapa 02: Carregamento da Adutora da Estaca 1.009 até a Chaminé 01 na estaca 1.095 (1.720m)
- Etapa 03: Carregamento da Adutora da Chaminé 01 até a Chaminé 02 na estaca 407,10 (8.151m)
- Etapa 04: Carregamento da Adutora da Chaminé 02 até a Chaminé 03 na estaca 929,31 (20.281)

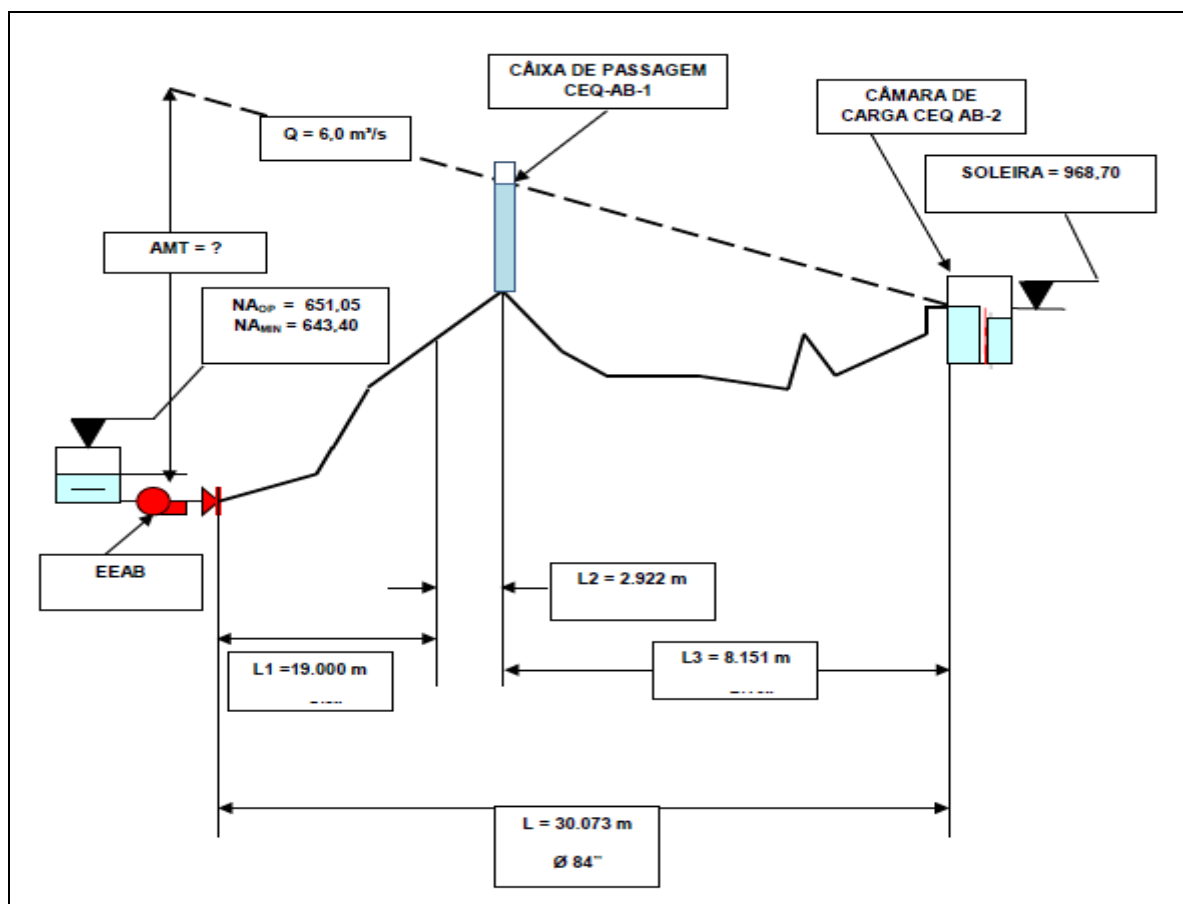


Figura 17 – Etapas de Carregamento 1, 2 e 3.



Bomba / Pump Planta / Plant	HPDM 500-970-2d/23 Sao Lourenco	SULZER
Fluido / Fluid: água / water Densidade / Density: 998,3kg/m ³ Temperatura / Temperature: 20°C Viscosidade / Viscosity: 1mm ² /s	Rotação / Speed: 1185rpm Estágios / Stages: 2 nq: 23 Curva básica/Basis: BPC023.014	Ponto garantido Rated point vazão / flow: 1.50 m ³ /s altura / head: 365.0 m potência / power: 6121 kW eficiência / efficiency: 87.6 % NPSH ₃ %: 8,9m

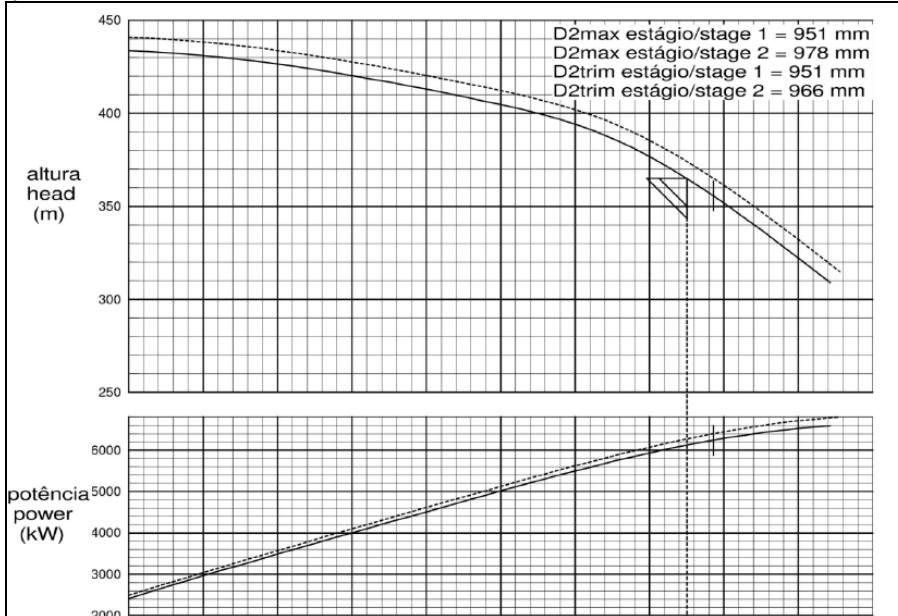


Figura 18 – Curva de Desempenho da Bomba de AC (Potência e Altura manométrica)

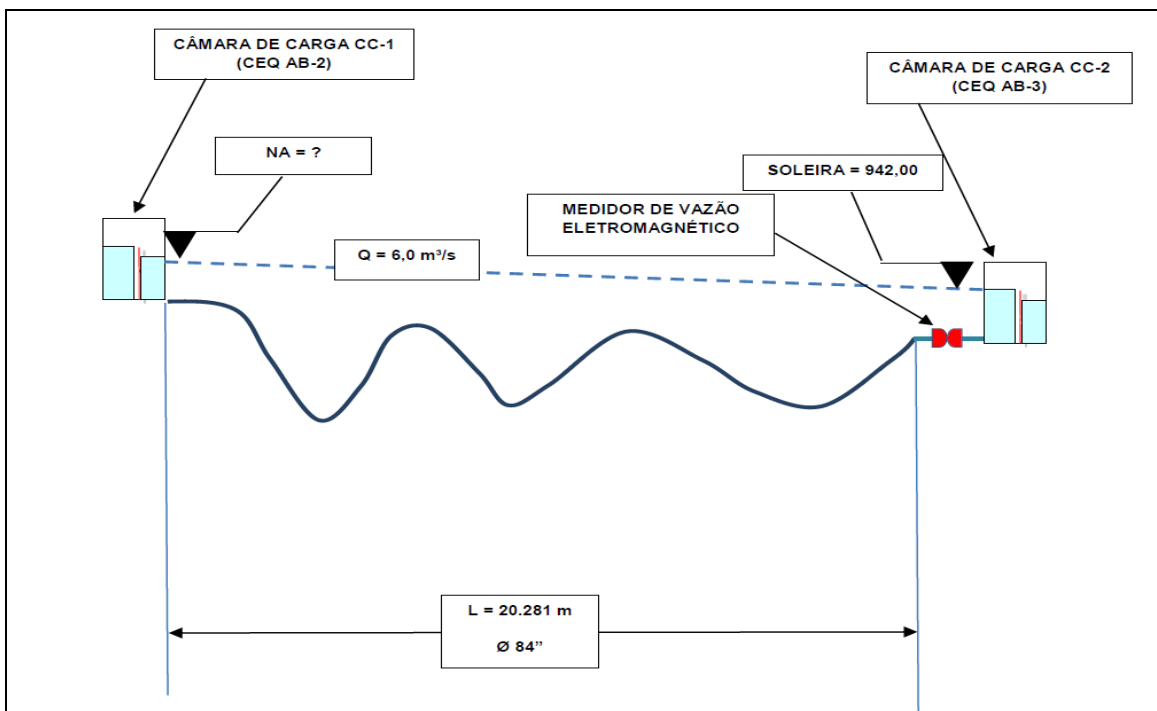


Figura 19 – Etapa de carregamento 4

Todo o processo foi criteriosamente controlado e acompanhado pari-passu e se deu com um enchimento lento com velocidades internas da ordem de 0,25 m/s.



A necessidade das bombas de enchimento auxiliares se deu pela curva de potência da bomba de alta carga, que para poder iniciar seu processo de partida requereu uma carga mínima de 240 mca, que só foi alcançada à partir da estaca 977 (19.540m). As bombas auxiliares avançaram até a estaca 1.009 por conta do comissionamento da bomba 01 de alta carga.

Com as bombas de alta carga entrando em operação, utilizou-se apenas uma delas e controlou-se a vazão de enchimento por meio da válvula esfera do Barrilhete da EEAB-AC graduando-a e mantendo-se uma vazão da ordem de 800 l/s. As caixas e estruturas de manobras foram verificadas uma à uma. As ventosas e descargas foram abertas e à medida que iam **ventando**¹ estas iam sendo remontadas e fechadas.

CRONOLOGIA DO ENCHIMENTO

ADUTORA DE ÁGUA BRUTA – TRECHO DE RECALQUE.

Tabela 03 – Cronologia de Enchimento Trecho de Recalque

TRECHO	DATA INICIO	DATA TÉRMINO	OBS
(est. 0 até est. 204)	15/01/18	22/01/18	Início do enchimento da estaca "zero"
	23/01/18	26/01/18	Paralisação por problema na bomba de enchimento de 250 CV
(est. 204 até est. 394)	27/01/18	01/02/18	Retomada do enchimento
	01/02/18	01/02/18	Paralisação por problema na descarga da estaca 727 (finalizada às 22h do dia 01/02/18)
(est. 394 até est. 778)	02/02/18	05/02/18	Retomada do enchimento
	05/02/18	06/02/18	Paralisação (12h) por problema na descarga da estaca 869
(est. 778 até est. 934)	06/02/18	09/02/18	Retomada do enchimento
	09/02/18	22/02/18	Paralisação por problema de suportaçã das válvulas de bloqueio da estaca 977.
(est. 934 até est. 954)	22/02/18	22/02/18	Retomada do enchimento
	22/02/18	26/02/18	Paralisação por problema de vazamento nas válvulas de bloqueio da estaca 977.
(est. 954 até est. 1009)	26/02/18	27/02/18	Retomada do enchimento
	27/02/18	06/03/18	Paralisação aguardando a ligação da bomba de AC.
(est. 1009 até est. 1061)	06/03/18	06/03/18	Retomada do enchimento
(est. 1061 até est. 1096)	07/03/18	07/03/18	Finalização do enchimento da AABR, chegando até a CEQ 1.

ADUTORA DE ÁGUA BRUTA – TRECHO DE GRAVIDADE.

Tabela 04 – Cronologia de Enchimento Trecho de Gravidade

TRECHO	DATA INICIO	DATA TÉRMINO	OBS
--------	-------------	--------------	-----

¹ Ventando – Diz-se que uma ventosa (válvula de admissão e expulsão de ar) “ventou” quando do preenchimento total por água da coluna onde ela está instalada, perfazendo o fenômeno da expulsão de ar deste colo, o que na prática é audível à quem está próximo. Este fenômeno é um sinalizador de que aquele trecho nas cotas adjacentes estão carregados.



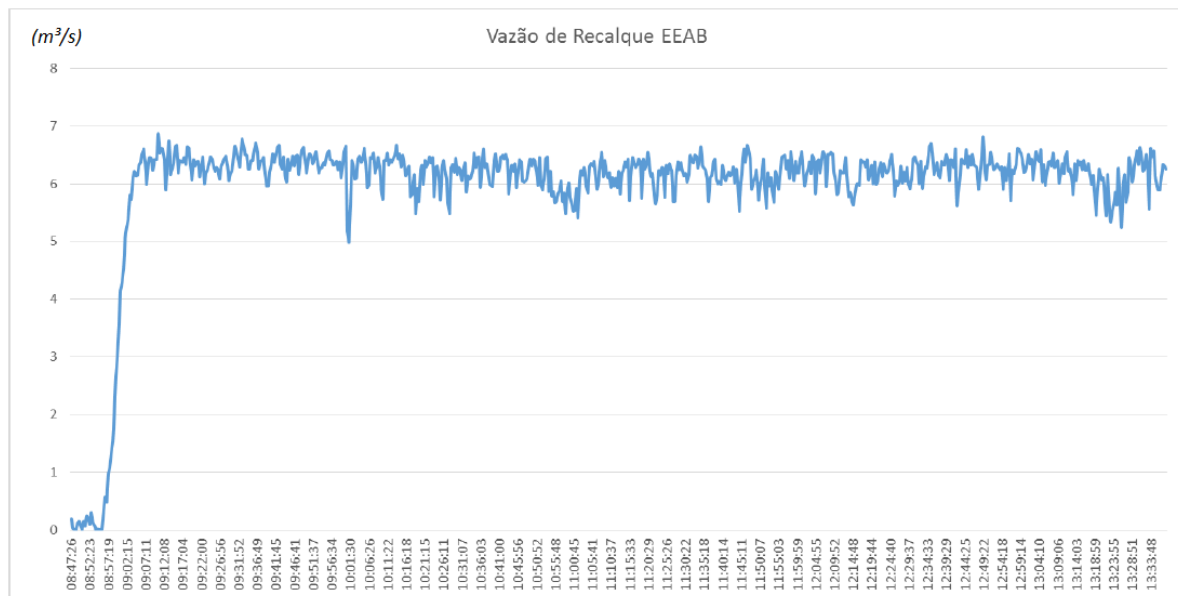
(est. 0 até est. 408 - CEQ2)	09/03/18	10/03/18	Início do enchimento.
	11/03/18	13/03/18	Paralisação aguardando a abertura das ventosas e fechamento das descargas.
(est. 408 até est. 1421)	13/03/18	19/03/18	Retomada do enchimento.
	20/03/18	20/03/18	Água verteu a CEQ-3

CONCLUSÃO:

Como verificado neste trabalho, a questão do primeiro enchimento em linhas de adução de saneamento, que para os mais incautos pode parecer um processo simples, é uma etapa bastante complexa e que requer técnicas específicas para a sua perfeita realização.

Utilizando-se das melhores práticas de verificações, análise das estruturas, modelagem em elementos finitos e um processo lento e gradual do enchimento; com o acompanhamento pari-passu das equipes de construção e comissionamento, fizeram do desafio do Carregamento e Operacionalização da Adutora de Água Bruta do Sistema Produtor São Lourenço um grande sucesso.

Tabela 05 – Gráfico de Vazão de Ensaio da Adutora de Água Bruta - SPSL



Como é possível verificar no gráfico acima, as vazões veiculadas no sistema de adução de água bruta do Sistema Produtor São Lourenço atingiram plenamente a vazão de projeto. Com isto, o Sistema Produtor São Lourenço ficou apto para cumprir sua função precípua que é a de poder fornecer água de qualidade e na quantidade necessária para a porção oeste da RMSP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CCSL/CPSL, Consórcio Projetista. Relatório Técnico - Memorial Descritivo Operacional do Recalque de Adução de Água Tratada
2. CCSL/CPSL, Relatório 0250-RT-01.0-H-0101 - Projeto Hidráulico e Memorial Descritivo do Sistema Produtor São Lourenço.
3. Curvas de Potência Pump HPDM 500-970-2d/23 – Sulzer Data Book
4. Arquivo Fotográfico das Obras do SPSL – TE-CCV
5. CONCREMAT ENGENHARIA, RTS 30.000224.031/17 – 01.09.2017, Relatório de Análise de Tensões e de Flambagem através do Método dos Elementos Finitos de Adutora de Água Bruta do Sistema Produtor São Lourenço.