



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANA BEATRIZ GOMES VANDERLEI

ASPECTOS OPERACIONAIS DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

**JOÃO PESSOA
2017**

ANA BEATRIZ GOMES VANDERLEI

ASPECTOS OPERACIONAIS DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Paraíba, como pré-requisito para obtenção do título de graduada em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Jácome Sarmento.

JOÃO PESSOA
2017

V228a Vanderlei, Ana Beatriz Gomes

Aspectos operacionais da transposição do Rio São Francisco./ Ana Beatriz Gomes Vanderlei. – João Pessoa, 2017.

61f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Francisco Jácome Sarmento

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Transposição 2. Racionamento de água 3. Eixo leste I. Título.

BS/CT/UFPB

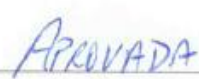
CDU: 2.ed. 626.2(043)

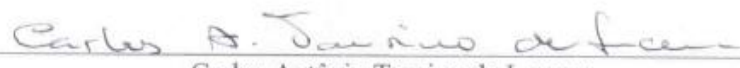
ANA BEATRIZ GOMES VANDERLEI

ASPECTOS OPERACIONAIS DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

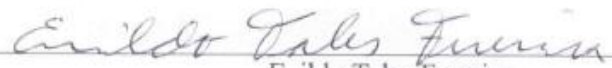
Trabalho de Conclusão de Curso em 09/06/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:

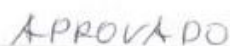

Francisco Jácome Sarmento
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

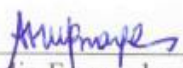



Carlos Antônio Taurino de Lucena
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB




Enildo Tales Ferreira
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB




Profª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Matrícula Siape: 1668619
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Deus, o responsável pela minha existência, por me inspirar a ser uma pessoa melhor, por me dar força, coragem, saúde, me mostrar os caminhos quando eu não mais vejo nenhuma possibilidade de seguir adiante, e principalmente, por ter colocado em meu coração a capacidade de sonhar, dar o melhor que posso, todos os dias da minha vida.

Aos meus pais, José Vanderlei e Mailza Gomes, que sempre lutaram pela nossa família, por todos os ensinamentos, todos os sacrifícios ao longo dessa jornada para que esse dia enfim chegasse, pela educação que me foi dada desde criança, por eles terem cultivado valores tão importantes na construção do meu ser. Obrigada por todas as advertências, todos os conselhos, todos os abraços de conforto, por me ampararem nas horas difíceis sem nunca desistir de mim, e por todo amor que vocês me deram desde que eu nasci, o que eu sou hoje, em grande parte, devo a vocês. Amo vocês.

Às minhas irmãs, Priscila e Marina, por todo apoio, todas as conversas, conselhos, por me entenderem, me escutarem, por estarem presentes nas horas que eu mais precisei, cada uma com sua maneira especial de ser. Que nossa amizade, amor, fidelidade, companheirismo, parceria só cresçam ao longo dessa caminhada, chamada de vida. Vocês me fazem melhor a cada dia, amo muito vocês!

Ao meu Tio Demóstenes, que mesmo não estando mais aqui em vida, está vendo esse momento de algum lugar. Tio, essa conquista é para você! Não tenho palavras para descrever e dizer tudo que você representa para mim, meu melhor amigo, a pessoa mais incrível que eu tive o prazer de conhecer na vida. Você plantou no meu coração o desejo de crescer, lutar, de conhecer o mundo, me ensinou que a vida pode ser sim feliz, que eu posso voar alto, que o impossível só depende de mim para acontecer, me ensinou a ser mais humana, a não ter preconceito, a amar o próximo como ele é. Você faz muita falta, e por isso, te levo sempre em meu coração para que assim, a gente permaneça juntos para sempre. Te amo infinitamente.

Às minhas avós, Maria Ailza e Neuza Sobreira, duas grandes mulheres que Deus me presenteou para que eu pudesse chamar de avó. Cada uma com uma forma especial de ser, diria que uma era o oposto da outra, mas que dentre tantas diferenças elas possuíam a bondade no coração como ponto de semelhança entre suas vidas. Gostaria que elas pudessem estar aqui celebrando este dia comigo, mas creio que independente do lugar, o importante é ressaltar que vocês foram indispensáveis na construção do meu ser, na minha infância, vocês me deram tanto amor, carinho, afeto, colo, que hoje, eu posso olhar para trás e dizer que nunca me faltou amor.

Ao meu tio Gilmar Ferreira, por ter me ajudado a conseguir os projetos da Transposição, obrigada por todo empenho e por estar sempre disponível. Tenho você como um grande exemplo de profissional

Aos meus tios Paulo, Socorro, Maria Clara, Guilherme, que sempre estão comigo, lutando e torcendo pela minha vitória, me acompanhando em tudo que eu faço, em todos os meus passos, meu muito obrigada, eu amo vocês!

Aos meus primos Raphael, Thayana, Maressa, por todo carinho, apoio, amizade, vocês são demais!

Ao meu amigo Luiz Eduardo Maia Pinto, que está comigo em todas as horas, aquele amigo fiel e camarada que a vida me presenteou, e que inclusive, me ajudou a corrigir esse TCC, eu amo você!

Ao meu orientador, Sarmiento, por ter acreditado em mim, por ter aceitado ser meu orientador, por toda ajuda, paciência, por todos os ensinamentos, por me fazer acreditar que eu poderia chegar lá. O senhor contribuiu muito para minha formação e me inspira a ser uma profissional melhor, sem sua ajuda eu não teria feito nada do que eu fiz. Muito obrigada!

Aos meus professores Taurino e Enildo, por serem amigos, humanos, solidários, não só educadores. Sou grata por ter tido o prazer de compartilhar esta etapa ao lado de vocês, suas ajudas tornaram esse caminho mais leve.

RESUMO

VANDERLEI A. B. G. (2017). **Aspectos Operacionais da Transposição do Rio São Francisco**. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

A Transposição das águas do Rio São Francisco é um projeto que vem sendo executado desde 2007 no Brasil e tem como principal função elucidar o problema do racionamento hídrico do semiárido brasileiro. O presente trabalho faz uma análise dos aspectos operacionais e construtivos do empreendimento, elencando as particularidades de cada obra, sua divisão em dois trechos, o Eixo Norte e o Eixo Leste, caracterizando cada trecho. Durante o estudo, buscou-se conhecer a obra como um todo, desde a elaboração dos projetos, entendendo sua abrangência e magnitude até os resultados finais com a instalação de todas as estações elevatórias que fazem parte deste projeto. Foi feita uma previsão, com base em dados contidos nos projetos executivos das obras, para se obter quantitativos no que diz respeito ao tempo gasto pela água para que esta chegue até o seu destino final, em cada trecho respectivamente, levando em consideração a retirada da vazão máxima estabelecida no projeto básico e o percurso de todas as obras de engenharia até o deságue final.

Palavras-chave: Transposição, racionamento de água, eixo leste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Eixos da Transposição	12
Figura 2 – Monitor das secas.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 3 - Área do Projeto	21
Figura 4 - Bacias atendidas pelo Projeto	22
Figura 5 – Esquema dos Eixos da Transposição	25
Figura 6 - Esquema das Barragens	29
Figura 7 - Esquema das Estações Elevatórias	29
Figura 8 - Detalhe da Forebay	30
Figura 9 - Seção dos Canais	31
Figura 10 - Resumo das Barragens Eixo Norte	36
Figura 11 - Esquema do Setor A	37
Figura 12 - Esquema do Setor B.....	38
Figura 13 - Esquema do Setor C.....	39
Figura 14 - Arranjo geral do Eixo Leste.....	40
Figura 15 - Seção Transversal do Canal em Aterro.....	44
Figura 16 - Lote C (Parte I)	47
Figura 17 - Lote C (Parte II).....	48
Figura 18 - Lote C (Parte III).....	49
Figura 19 - Lote C (Parte IV)	50
Figura 20 - Estação Elevatória	52

TABELAS

Tabela 1 - Descrição das áreas e volumes do Eixo Norte	54
Tabela 2 - Descrição das áreas e volumes do Eixo Leste	55
Tabela 3 - Volume Bombeado 1, Eixo Norte	56
Tabela 4 - Volume Bombeado 2, Eixo Norte	56
Tabela 5 - Volume Bombeado 1, Eixo Leste.....	57
Tabela 6 - Volume Bombeado 2, Eixo Leste.....	57
Tabela 7 - Previsão do tempo de bombeamento 1	57
Tabela 8 - Previsão do tempo de bombeamento 2.....	58
Tabela 9 - Previsão do tempo de bombeamento 3.....	58
Tabela 10 - Previsão do tempo de bombeamento 4.....	58

SUMÁRIO

1. CONTEXTO E MOTIVAÇÃO	11
1.1 OBJETIVO DO TRABALHO	12
1.2 METODOLOGIA GERAL DO ESTUDO	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	16
2.2 CENÁRIO ECONÔMICO DA REGIÃO NORDESTE	18
2.2 A TRANPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO	19
2.3.1 FUNÇÃO SOCIAL E ECONÔMICA	23
2.3.1 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	23
2.3.2 GESTÃO EFICIENTE DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	23
2.3.3 AVANÇO TECNOLÓGICO	23
2.4 EIXOS DA TRANSPOSIÇÃO	24
2.5 EIXO NORTE.....	26
2.5.1 DETALHAMENTO DAS OBRAS.....	28
2.6 EIXO LESTE	40
3. ANÁLISE E DISCUSSÃO	51
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1. CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

A Transposição do Rio São Francisco é um projeto de deslocamento de parte das águas do Rio São Francisco para bacias do Nordeste Setentrional brasileiro. A transposição de parte da água de rios é uma técnica usada desde a Antiguidade fundamentada na modificação dos cursos de água para suprir a demanda em outras regiões onde essa substância é escassa.

Esta obra de transposição vai retirar água de uma bacia hidrográfica, composta por um conjunto de rios, e levá-la para outra, por meio de bombeamento artificial e canais (adutoras podem ser utilizadas em se tratando de pequenas vazões). Segundo o Ministério da Integração Nacional, responsável pela obra, a transposição não desvia o leito do rio, apenas retira parte da água da bacia do São Francisco.

Este rio, conhecido como Velho Chico, é um dos mais importantes do Brasil. Pela sua extensão pois, nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais, atravessa a Bahia, Pernambuco e faz a divisa natural dos estados de Sergipe e Alagoas antes de desaguar no Atlântico, em Piaçabuçu no estado de Alagoas, totalizando 2,7 mil quilômetros de comprimento. Por essa razão, é chamado de rio da integração nacional e escoar por paisagens muito diversas, incluindo os biomas da Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga (VENTURINI,2017).

O Rio São Francisco é também muito importante do ponto de vista econômico, devido sua característica perene e por propiciar uma agricultura irrigada, pecuária e pesca, sendo o grande responsável pelo desenvolvimento das comunidades do seu entorno. Atualmente, a região destaca-se pela produção de frutas tropicais e também de vinho.

Para retirar 1,4% da água do São Francisco, foi elaborado um projeto de 477 km e extensão (Figura 1), que inclui a construção de aquedutos, subestações de energia elétrica e reservatórios. O projeto é dividido nos eixos Norte e Leste. Quando estiver totalmente concluído, ele deve levar água para habitantes de 390 cidades de quatro estados: Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Por ora, há água fluindo apenas no Eixo Leste (VENTURINI,2017).

Figura 1: Eixos da Transposição



Fonte: VENTURINI, 2017

O projeto de transposição do São Francisco surgiu como argumento para sanar a deficiência hídrica na região do semiárido através da transferência de água do rio para abastecimento de açudes e rios menores na região nordeste, diminuindo a seca no período de estiagem.

Materiais históricos indicam registros de estudos e projetos sobre o São Francisco já em meados dos anos 1800, período em que Dom Pedro II governava o Brasil. Historiadores encontraram já naquele período relatos dos danos e do sofrimento provocados pela seca a nordestinos, conforme reportagem da Agência Pública, de 2014. Em 1847, um projeto propunha desviar parte das águas do São Francisco ao Ceará. As propostas, porém, não avançaram, em razão de limitações técnicas e da prioridade dada pelo governo imperial à construção de ferrovias e ao porto do Rio. (VENTURINI,2017).

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

1.1.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Estudar o projeto de engenharia da Transposição do Rio São Francisco em seus componentes de infraestrutura integrantes de cada trecho, observando sua funcionalidade na obra como um todo.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Obter o volume de todas as obras de engenharia que compõem a transposição, através do estudo dos projetos de executivos, e desta forma, fazer uma previsão do tempo necessário para que o volume total de água retirado do Rio São Francisco, chegue no seu destino final na

Paraíba, solucionando assim, a situação crítica de escassez hídrica em que as cidades paraibanas se encontram. O enfoque principal foi para o Eixo Leste, pois a cidade de Campina Grande estava à beira de um colapso, enfrentando a maior seca já registrada na história.

1.2 METODOLOGIA GERAL DO ESTUDO

O presente estudo tem caráter teórico, como também faz uso de planilhas confeccionadas no programa Excel, para se obter o volume de água total transportado pela obra da transposição do Rio São Francisco, e fazer uma comparação do tempo gasto para que esse volume chegue ao seu destino final, com a implantação de todas as unidades de bombeamento, ou seja, trabalhando com plenitude operacional, e com a implantação parcial das unidades de bombeamento, como se encontra em operação na atual conjuntura.

Através do estudo dos Eixos Norte e Leste - pude obter os volumes totais a serem vencidos nas obras ao longo da transposição, como os aquedutos, adutoras, barragens, canais e, desta forma, fazer uma analogia com a capacidade de bombeamento de cada estação elevatória, levando em consideração a implantação de todas as bombas, como também, a implantação parcial das bombas, ilustrando o atual estado de operação destas estações.

Desta forma, pude chegar ao número de dias que a água iria levar para chegar ao seu destino final caso estivesse operando com sua capacidade total, ou seja, com todas as bombas das estações de bombeamento funcionando, e em quantos dias a água chegaria ao seu destino final com a instalação parcial das bombas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Projeto de Integração do Rio São Francisco é a maior obra da Política Nacional de Recursos Hídricos, com a finalidade de garantir a segurança hídrica para mais de 390 municípios do Nordeste Setentrional, que enfrentam sérios problemas com a seca, de acordo com informações do Ministério da Integração Nacional.

Este Projeto consiste na retirada de uma parcela da água do Rio São Francisco para atender às necessidades hídricas do Nordeste Setentrional brasileiro, o qual vem sendo castigado por longos períodos de estiagem. Atualmente, desde 2012, a região sofre com a escassez de chuvas, perdas de safras e baixa vazão de águas nos rios, caminhando desta forma, para o sexto ano seguido de estiagem severa.

São inúmeros os danos sofridos pela região Nordeste podendo ser elencados, a morte de gado, barragens sem água, açudes que chegaram ao seu volume morto, racionamento de água em diversas cidades e em especial, um processo irreversível que ameaça o solo da região, a desertificação. A Paraíba é o estado brasileiro que mais sofre com esse problema, dito como o processo de degradação ambiental que torna as terras inférteis e improdutivas, segundo dados do Instituto Nacional do Semiárido (Insa).

Em decorrência da atual estiagem, aproximadamente 80% das cidades do Nordeste declararam estado de emergência ou de calamidade por seca ou por estiagem pelo menos uma vez, segundo dados do Ministério da Integração Nacional. Em quatro dos nove estados da região, o percentual de cidades com decretos é superior a 90% nestes últimos cinco anos, segundo dados coletados no site do G1.

O drama social resultante das secas prologadas no sertão brasileiro começou a ser notado com o afluxo da população que nele veio a se instalar a partir do descobrimento do país. Crônicas e documentos oficiais do período colonial narram a seriedade do problema e retratam o início das migrações de flagelados em busca de trabalho em outras regiões não afetadas pelo fenômeno.

A procura por soluções para conter os efeitos devastadores das secas periódicas que avassalam a região teve início durante o Período Imperial (1822 – 1889), onde teve relevância a concepção, em 1838, do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro. Naquele mesmo ano, teve início a etapa de exploração da região com a primeira missão da comissão Científica de Exploração Geológica e Mineralógica, Botânica, Zoológica, Astronômica, Geográfica, Etnográfica e Narrativa da Viagem que se encaminhou à Província do Ceará. As secas estavam longe das considerações da Comissão, e com o término da primeira missão, as recomendações

do seu comandante salientaram a necessidade de melhoria dos meios de transporte e do acúmulo água pela construção de açudes, como também a abertura de um canal que interligasse o Rio São Francisco, um rio perene, ao Rio Jaguaribe, citado como o maior rio seco do mundo.

O problema climático já era visto como um empecilho nacional, de tal maneira que já se fazia alusão à construção de poços artesianos nos lugares em que os rios secassem ou onde a seca evidenciava-se como um flagelo de grande poder. Sendo assim, esta primeira fase de reconhecimento do Brasil durante o período Imperial ficou marcada pela realização dos primeiros levantamentos com a finalidade de implantar obras como açudes, estradas e perfuração de poços.

Já na Primeira República (1889-1930), as frequentes secas datadas nos anos de 1890, 1902, 1907 e 1908 reforçaram de uma vez por todas a necessidade de intervenção por parte do poder público como resposta ao desafio crescente de solucionar o problema da escassez de água no semiárido brasileiro. Esta fase tem início com a fundação da Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS-Decreto 7.619, de 1909). Especialistas estrangeiros foram contatados para realizar os primeiros estudos das águas subterrâneas do Nordeste, criando-se o mapa referente ao canal São Francisco – Rio Jaguaribe, em 1913. O IOCS atravessou os impactos climáticos de 1915 e teve a sua designação substituída por Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas, IFOCS, na seca de 1919 (Dec. 13.687 -1919). Este novo órgão passou a ponderar o problema das secas em uma visão geográfica muito mais abrangente, com o desenvolvimento de trabalhos em diversas áreas até então não consideradas, para tentar entender toda história geográfica, geológica e meteorológica da região (ENGECORPS e HARZA, 2000).

Mais adiante na história do Brasil, no final do Estado Getulista (1930-1945), tem-se como relevante um Decreto-Lei Nº 8.486, de 28.12.45, onde a IFOCS foi remodelada, passando a chamar-se Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, DNOCS, (ENGECORPS e HARZA, 2000). Este órgão tem enfrentado as secas periódicas que assolam a região com algumas tentativas de minimizar seus efeitos para a população e para o meio ambiente, tais como:

- ✓ Perfuração de dezenas de poços e construção de açudes públicos;
- ✓ Lavoura seca e culturas de vazantes;
- ✓ Irrigação, onde os agricultores conseguiriam amenizar os danos causados pela ausência de chuvas, caso fossem orientados corretamente de como utilizar corretamente essa técnica.

- ✓ Tentativas de reflorestamento sistemático e intensivo de diversas áreas gravemente degradadas;

Em 1958, foi criada a SUDENE, órgão que representou mais um esforço de mudança de algumas práticas assistencialistas e da construção de açudes de forma equivocada, sem estudos preliminares hidrológicos ou de uso, como também da perfuração temporária de poços. Este órgão veio para tentar promover uma mentalidade que buscasse realizar obras de desenvolvimento mais duradouras, pautadas no conhecimento dos potenciais hídricos de superfície e da água subterrânea.

Nessa evolução histórica do trato do problema da água no semiárido setentrional, a concepção da transposição do Rio São Francisco já foi tema de várias abordagens, muitas ideias foram propostas, mas nenhuma saiu da etapa inicial, pois faltou-lhes um maior embasamento técnico-científico. Apenas através do DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento é que foram realizados os primeiros estudos em nível técnico apropriado à magnitude de tal empreendimento.

Através de estudos e pesquisas, ficou clara a viabilidade técnico-econômica da transposição como uma solução estrutural para a irrigação e para o abastecimento de uma extensa região do semiárido nordestino. A conclusão dos estudos realizados foi de que o projeto de irrigação do Nordeste Semiárido, através da transposição das águas do Rio São Francisco, era uma possibilidade com validade técnica, econômica, social e financeira para o desenvolvimento dessa região, marcada pela desigualdade, pobreza, escassez.

Desta forma, o projeto compreendeu os sistemas de captação, adução, drenagem, viário, automação e elétrico. Foram, também, identificadas e quantificadas as áreas a serem desapropriadas para a implantação das obras, definido o cronograma físico de construção, determinados os quantitativos e orçamentos, e efetuadas recomendações sobre serviços a serem realizados na fase de projeto executivo.

Entretanto, o projeto saiu da pauta dos assuntos de interesse do governo e só foi retomado em 1997, com a promoção de licitações públicas e contratação de empresas consultoras para reestudo de engenharia (viabilidade), estudos de inserção regional do empreendimento e estudos ambientais na área de influência direta e indireta do projeto.

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Nordeste brasileiro foi ocupado primeiramente em sua região litorânea, a qual ficou conhecida como Zona da Mata, e onde a produção de cana-de-açúcar era sua principal atividade

e atrativo. Posteriormente, com o surgimento de um parque industrial voltado principalmente para a produção de insumos não duráveis e, mais recentemente, pelo aproveitamento de seu potencial turístico e pela produção de petróleo e gás natural, mantém ainda expressivos desequilíbrios internos e com outras regiões do País.

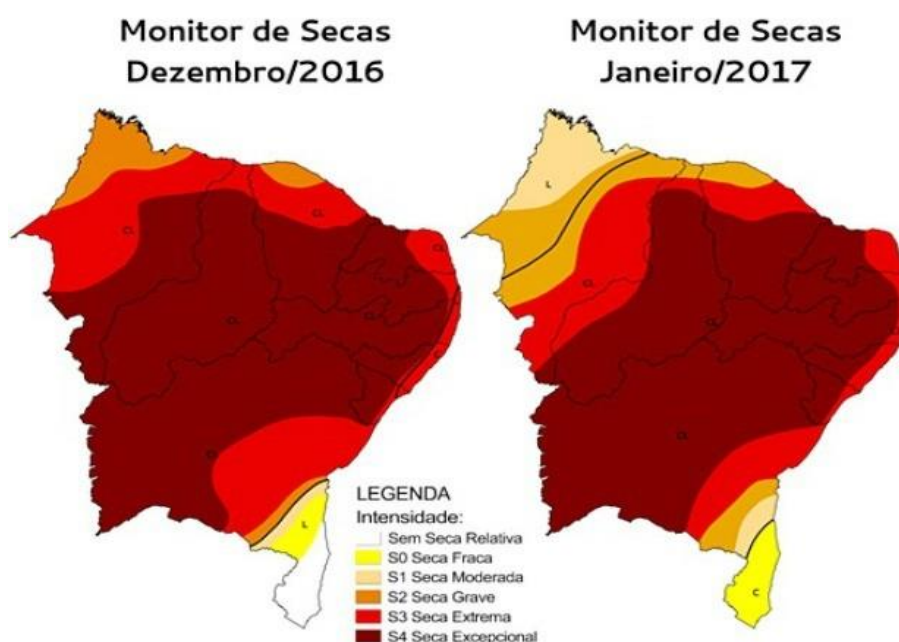
No Programa Avança Brasil, os Eixos de Integração e Desenvolvimento nomeados São Francisco e Transnordestina, que englobavam a Região Nordeste, tiveram uma participação no PIB nacional em torno de 13% ao longo dos anos noventa, valor este bem inferior ao de outras regiões, quando comparado à sua população, de cerca de 30% da população nacional.

Devido às dificuldades encontradas nessa região, a população tende a buscar saídas para a sobrevivência, indo em direção às capitais em busca de oportunidades de trabalho. A migração conseguinte, que acabou por ultrapassar a capacidade absorção do mercado de trabalho, tornou mais notável as dificuldades dos conglomerados urbanos, com crescente custo para a sociedade.

Esta conjuntura vem acentuando as desigualdades, com a permanência de bolsões de pobreza extrema na região, tanto no sertão, quanto nas grandes cidades litorâneas, permanecendo os índices de migração intra e inter-regional entre os maiores do País, sintoma de uma realidade pouco sustentável.

Esse status pode ser explicado, em parte, pelo fenômeno rotineiro da seca. O semiárido nordestino corresponde a uma área total de 700 mil km², uma das regiões secas mais populosas do mundo, onde vivem 23 milhões de brasileiros (Figura 2).

Figura 2 – Monitor das secas



Fonte: g1.globo.com/ceara/noticia/2017/02/seca-alivia-no-noroeste-do-ceara-mas-avanca-no-baixo-jaguaribe.html

O sertão nordestino possui um alto índice de evaporação, grande irregularidade na distribuição das chuvas ao longo do ano, e solos com baixa permeabilidade. Essas características conduzem a que nos curtos períodos de chuva sejam escoados grandes volumes de água e que, na maior parte do tempo, os rios se apresentem quase sempre secos. Nessa situação, pequena parcela da chuva acaba escoando pelos rios e não alimenta os aquíferos, configurando uma baixa garantia de disponibilidade de água.

No decorrer do último século, inúmeras foram as tentativas de assegurar a disponibilidade de água nos rios intermitentes, por meio do armazenamento da água em reservatórios grandes e pequenos, regionalmente conhecidos por açudes. Os de grande porte foram planejados para assegurar o suprimento da água em casos de secas plurianuais, de maneira a melhorar a disponibilidade hídrica, pois os açudes pequenos não são capazes de atravessar tais secas.

As discrepâncias regionais juntamente com as secas rotineiras e com a baixa eficácia de armazenamento e garantia de água têm colaborado para perpetuar o êxodo populacional para as cidades do sudeste do país. Na maioria das vezes, a população que deixa o sertão para tentar a sorte nas grandes cidades, acaba marginalizada, vivendo em condições bastante precárias.

2.2 CENÁRIO ECONÔMICO DA REGIÃO NORDESTE

A existência de solos férteis em clima semiárido, juntamente com a existência de infraestrutura urbana, de energia e de transportes, além da sua posição espacial estratégica frente aos mercados externos, faz do semiárido setentrional uma fronteira de variadas oportunidades de negócios, desde que seja disponibilizada água com garantia, o principal gargalo de infraestrutura local, uma condição necessária para a realização das potencialidades econômicas do sertão.

Desta forma, faz sentido para o governo brasileiro criar condições de atração de capital e tecnologia para que esta região consiga se desenvolver, para que assim, sejam geradas condições de absorver relevantes contingentes populacionais, por meio das oportunidades de emprego, de geração de renda e participação nas atividades do agronegócio.

Assim, para que essas atividades sejam efetivadas e potencializadas na região, é imprescindível:

- ✓ Disponibilizar água, já que ela é o insumo básico da agricultura, sem risco de racionamento, pois os investimentos em tecnologia agrícola não se realizam em

situações de insegurança;

- ✓ Fornecer água em quantidade necessária para atender os polos agrícolas, onde as sinergias da agregação permitam consolidar sistemas de agronegócios dotados de competitividade e inserção global, além de garantir fluxos de suprimento, promover marcas, controlar o fluxo por produto e aperfeiçoar as tecnologias para a constante melhoria da cadeia produtiva como um todo.

A disposição das oportunidades de crescimento, de acordo com as habilidades locais, entre as diferentes regiões e Estados do País, é conjuntura básica para a consolidação da nação, dos laços de união e de solidariedade entre sua população. O ponto básico para se alcançar uma harmonia entre as diferentes localidades é o fato de que a maior produção de uma região requer maior consumo de outras unidades da Federação, que se beneficiam em um conjunto de produção equilibrada.

2.2 A TRANPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

A Transposição de Águas do Rio São Francisco se classifica como um empreendimento estruturante, de grande alcance geográfico, o qual beneficia quatro Estados e uma área habitada por mais de 8 milhões de brasileiros, os quais possuirão a matéria-prima fundamental para sua vida e para o seu devido desenvolvimento, a água, trazendo como efeito o aumento do potencial agrícola, estendendo seus efeitos sobre a economia regional e nacional. Este projeto traz a possibilidade de beneficiamento tanto das populações urbanas, sujeitas a constante falta de água ou água com qualidade questionável, quanto das populações rurais dos sertões, localizadas nas proximidades dos eixos do projeto, as quais poderão ser abastecidas com regularidade, livres das sequelas das secas sobre seu trabalho e produção.

Por se tratar de uma obra estruturante, o projeto vai de encontro as despesas emergenciais expressivas e constantes nas áreas de seca, reduzindo-os e atenuando a população dos efeitos impiedosos das secas inevitáveis.

A Transposição prevê o bombeamento de água a partir de duas captações no Rio São Francisco, retirando em média cerca de 3%, em 2025, da vazão regularizada pelo Reservatório de Sobradinho, transferindo-a aos açudes planejados de outras bacias - Castanhão, no Rio Jaguaribe; Santa Cruz, no Rio Apodi; Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Piranhas-Açu e Boqueirão-Cabaceiras, no Rio Paraíba. São açudes situados em posição geográfica especial, no limite do substrato rochoso cristalino com áreas sedimentares próximas, aptas ao

desenvolvimento agrícola.

A partir desses açudes, a água será distribuída por sistemas adutores para as principais regiões com demanda hídrica expressiva dos Estados beneficiados, incluindo grandes centros urbanos, industriais, regiões turísticas e áreas de agricultura irrigada, com ênfase nos os principais Polos de Desenvolvimento Integrado.

A obra favorecerá, também, às populações do sertão e do agreste situadas por toda extensão dos eixos de transporte hídrico concebidos com o projeto, beneficiados por mais de 720 km de canais e reservatórios, pelos rios e açudes receptores das águas transpostas, estes com mais 1.000 km de extensão.

A ligação do reservatório de Sobradinho, a partir do rio São Francisco, com os açudes planejados pelo projeto proporcionará o gerenciamento otimizado das águas da região, que passará a ser referenciada a um futuro conhecido, já que o projeto tem como finalidade oferta de água segura, preenchendo os açudes, caso a chuva natural não ocorra.

Sendo assim, a Transposição simboliza a garantia de maior uso das águas das bacias receptoras com retiradas mínimas do Rio São Francisco, que serão variáveis e intermitentes no tempo, em função da distribuição interanual e regional das chuvas.

O projeto permitirá sustentabilidade ao desenvolvimento regional pela segurança de água no que diz respeito à quantidade e qualidade para diferentes fins. De maneira relacionada, irá assegurar privilégio social, por abranger uma área densamente ocupada, rendimento econômico, por complementar e aumentar a eficiência de uma expressiva infraestrutura regional já instalada, e eficiência de gerenciamento da água, pela diminuição das perdas nos açudes e, também, pela cobrança justa da água como bem econômico.

Neste cenário, a modernização econômica e o desenvolvimento sustentável são os principais objetivos do empreendimento, que integra um montante de investimentos em infraestrutura econômica, como transportes, energia e telecomunicações, desenvolvimento social, como educação, saúde, habitação e saneamento, informação, conhecimento e meio ambiente, conforme fora previsto no Plano Plurianual do Governo Federal 2000-2003 - Programa Avança Brasil.

O Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco localiza-se na porção setentrional da Região Nordeste, compreendendo partes dos Estados do Ceará, da Paraíba, de Pernambuco e do Rio Grande do Norte, área central do Polígono das Secas, conforme se mostra na Figura 3. As bacias hidrográficas beneficiadas, agrupadas segundo as categorias de bacias

2.3.1 FUNÇÃO SOCIAL E ECONÔMICA

Os objetivos principais são: certificar a oferta adequada de água de boa qualidade, tanto para a população quanto para as atividades econômicas; atender à necessidade hídrica do Nordeste Setentrional em um horizonte de 25 anos, reduzindo as restrições ao desenvolvimento sustentável e melhorando a distribuição geográfica das oportunidades de progresso e bem-estar social; reduzir os efeitos das secas em amplas parcelas do semiárido nordestino, proporcionando eixos hídricos interiores com garantia de água razoável para viabilizar a exploração da agricultura irrigada e da piscicultura nos vales atravessados e ao longo dos sistemas hidráulicos do projeto, especialmente para a pequena agricultura difusa.

2.3.1 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Tem como foco: proporcionar padrões sustentáveis de utilização dos recursos hídricos como também, fortalecer a inserção do projeto no ambiente local observando simultaneamente as condicionantes ambientais e as potencialidades suscetíveis de serem exploradas.

2.3.2 GESTÃO EFICIENTE DOS RECURSOS HÍDRICOS

A finalidade deste enfoque é incentivar o melhor gerenciamento da água pela sua cobrança como bem econômico, à medida que os estados favorecidos se comprometerão com a aquisição e pagamento de cotas de água proporcionadas pelo projeto, como também impulsionar o planejamento racional dos recursos hídricos dos estados beneficiados, a partir de seus açudes estratégicos, dando melhor cobertura territorial ao atendimento do semi-árido.

2.3.3 AVANÇO TECNOLÓGICO

O propósito deste tema são:

- ✓ Assegurar a colaboração hídrica, por meio de esquemas operacionais modernos e automáticos, assegurando o uso mais racional e otimizado dos recursos hídricos locais das bacias receptoras, para minimizar custos e outros efeitos sobre o sistema energético brasileiro;

- ✓ Proporcionar flexibilidade ao bombeamento, excluindo-o nos horários de maior consumo de energia elétrica para minimizar custos e outros efeitos sobre o sistema energético brasileiro;
- ✓ Oferecer a água do São Francisco aos estados usufruidores, sempre que possível conservando sua qualidade original e permitindo a medição de seu volume, a ser por eles adquirido.

2.4 EIXOS DA TRANSPOSIÇÃO

O Projeto de Transposição é constituído por estações de bombeamento e estruturas para condução de água, desde o Rio São Francisco até os diversos pontos de entrega nos Estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

A obra é formada por dois grandes eixos de obras, chamados de Eixo Norte e Eixo Leste. Essa divisão, bem como os respectivos pontos de captação, podem ser observados na Figura 5.

A maior parte do percurso das águas realiza-se em canais que, dependendo da topografia, são escavados no terreno natural, construídos em aterro compactado ou ainda têm uma seção mista, a meia encosta, de escavação e aterro.

A travessia de talvegues e vales é realizada através de aquedutos e reservatórios. Há passagens também por reservatórios existentes e projetados, necessários à operação do Sistema de Transposição. Por fim, haverá também a utilização de leitos naturais de rios para o percurso final de parte das vazões transpostas até os açudes receptores.

A maioria dos novos reservatórios é formada pela construção pequenas barragens, distribuídas aos pares junto às estações elevatórias, uma a montante e outra a jusante, com a função de evitar o perdas de água, compensando a operação de paralisação diária do bombeamento.

Figura 5 – Esquema dos Eixos da Transposição



Fonte: ENGECORPS/HARZA, 2012.

2.5 EIXO NORTE

O Eixo Norte é formado por 5 trechos de obras. Inicia-se com a captação no Rio São Francisco, localizada após o Reservatório de Sobradinho e a montante da Ilha Assunção, próximo a Cabrobó (PE).

O primeiro trecho, denominado Trecho I, é o mais importante desse eixo, onde se localizam as principais Estações de Bombeamento. Tem início no Rio São Francisco na cota 325 e eleva a água até aproximadamente a cota 494, vencendo um desnível de 169 m, ao longo de 141 km de canais, reservatórios, aquedutos, túneis e tubulações.

Esse trecho, também chamado de trecho comum, transfere água para todos os outros trechos. Desenvolve-se basicamente no Estado de Pernambuco, passando próximo da cidade Salgueiro, com término no reservatório de Jatí, nas imediações da cidade de Jatí, já no Estado do Ceará.

O segundo trecho, chamado de Trecho II, tem início na barragem do reservatório de Jatí, passando pelo açude já existente de Atalho e indo até o reservatório projetado de Cuncas, percorrendo o espigão que separa os Estados do Ceará e Paraíba.

Esse trecho tem como função principal o atendimento da bacia do Rio Piranhas (PB), denominado também Rio Açu (RN), e a passagem de água para os trechos III e IV. Atende, além das demandas difusas ao longo do percurso da água, aquelas originadas no rio Salgado (CE), através de diversas tomadas d'água. Seu funcionamento é por gravidade, não sendo necessários novos bombeamentos, como também ocorre com os trechos III e IV. Está prevista a construção (numa 2ª Etapa), de duas Usinas Hidrelétricas (nas barragem de Jatí e Atalho) para geração de energia, de maneira a compensar parte da energia consumida pelas Estações Elevatórias do Sistema.

O terceiro trecho, denominado de Trecho III, tem início no Reservatório Cuncas e tem como função o atendimento da bacia do Rio Jaguaribe (CE) e a condução de água para o Trecho IV. Desenvolve-se pelo espigão entre os Estados do Ceará e Paraíba, até as proximidades de Santa Helena, onde está previsto um reservatório de derivação para o Trecho IV. A partir deste reservatório, esse trecho segue em direção do Rio Salgado, no Estado do Ceará, até o reservatório projetado Caio Prado. Desse ponto em diante, prossegue inicialmente pelo leito natural do rio Caio Prado e, posteriormente, quando houver trânsito de maiores vazões, também por canal até o rio Salgado, onde deságua próximo à cidade de Icó, abastecendo depois o rio Jaguaribe.

O quarto trecho ou Trecho IV, parte do reservatório Santa Helena e segue em direção ao Estado do Rio Grande do Norte. Sua função se concentra no atendimento da bacia do Rio Apodi, além das demandas difusas distribuídas ao longo do percurso entre a Paraíba e o Rio Grande do Norte. As obras deste trecho finalizam no açude público Angicos, continuando a partir deste ponto, inicialmente pelo leito natural do rio Apodi e, posteriormente, quando houver trânsito de maiores vazões, também por canal até o açude Pau-dos-Ferros.

O último trecho, Trecho V, Começa no reservatório de Mangueira do Trecho I, no Estado de Pernambuco, e atende a bacia do Rio Brígida e as demandas difusas ao longo do traçado. Atravessa o território do Estado de Pernambuco até os açudes existentes Chapéu e Entremontes. Possui ainda uma estação de bombeamento para elevar a água em aproximadamente 13 m, de modo a atingir cotas suficientes para a transferência de água para os açudes existentes.

As demandas para o consumo de água para a área de influência do projeto, subtraídas dos recursos hídricos superficiais disponíveis nas bacias receptoras pela operação otimizada de todos os seus reservatórios de regularização, definiram o déficit hídrico da região estudada.

A modelagem matemática permitiu a simulação do sistema, composto pelo Projeto de Transposição de Águas do rio São Francisco e pelos reservatórios estratégicos identificados nas bacias receptoras, considerando os regimes hidrológicos locais, e as condições de operação do sistema elétrico Norte-Nordeste. Com base nas séries históricas de dados pluviométricos e fluviométricos da região e dos principais cursos de água abrangidos pelo projeto, foi possível simular as condições de operação do sistema para um período de até 60 anos consecutivos.

Desta forma, foram determinadas as vazões de bombeamento necessárias para suprimento dos déficits hídricos das bacias receptoras, totalizando um montante necessário, em 2025, de 63,2 m³/s.

Na conjuntura atual dos reservatórios, seu desempenho acaba não aproveitando grande parte do volume de água, pois, sob a permanente ameaça de uma provável seca, os órgãos gestores do uso da água acabam reservando, muitas vezes, volumes excessivos para o futuro. Esse excedente de água acaba evaporando-se sob a ação do sol. O medo da falta de água no futuro acaba atrapalhando sua utilização mais racional no presente.

A gestão integrada dos grandes reservatórios beneficiados pela Transposição proporcionará uma contribuição hídrica, decorrente da operação do sistema, da ordem de 24 m³/s, em 2025, quando a demanda a ser atendida estiver viabilizada.

O sistema de transposição irá bombear água apenas quando necessário. Em anos em que a seca aumentar, o sistema poderá bombear continuamente a sua capacidade máxima diária de 114,3 m³/s. Em anos úmidos, será utilizada a capacidade mínima das bacias receptoras, concentrada nos açudes, limitando-se o bombeamento a uma pequena vazão a ser utilizada de modo difuso pelas comunidades interioranas, situadas ao longo dos canais e dos rios e riachos receptores.

Por outro lado, em anos hidrológicamente favoráveis na bacia do São Francisco, com as águas vertendo pelas barragens, poderá ser realizado o bombeamento máximo para os açudes, sem impacto sobre a geração de energia, flexibilizando e otimizando a operação integrada do sistema.

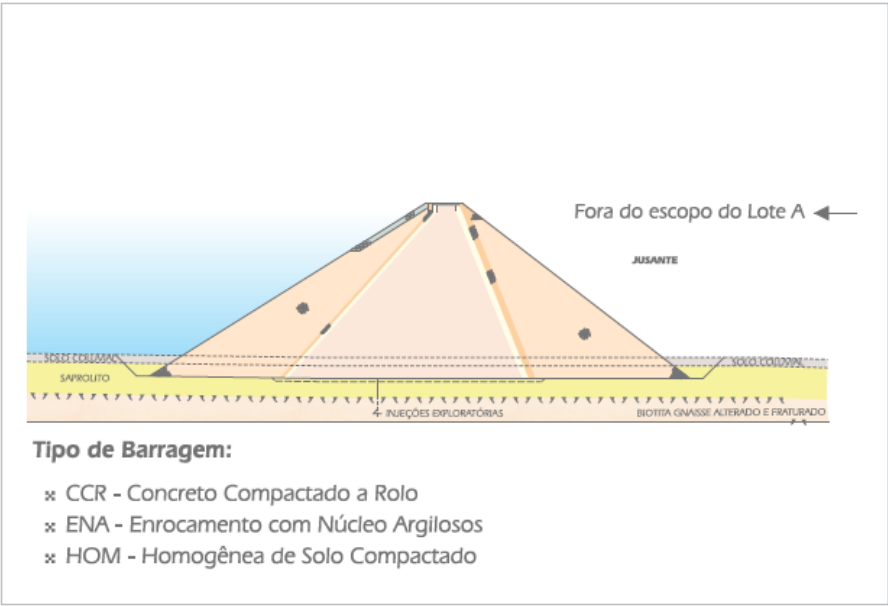
Nas condições definidas, a operação do empreendimento não irá desencadear interferências na economia regional da Bacia do Rio São Francisco, que permanece com seus usos diversos atendidos.

2.5.1 DETALHAMENTO DAS OBRAS

O Trecho I do Eixo Norte do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco tem como ponto de início a tomada d'água localizada na margem esquerda do rio, no trecho localizado entre a Barragem de Sobradinho e o reservatório da UHE Itaparica, nas imediações da Ilha Assunção. Neste local, serão subtraídos até 99 m³/s destinado às bacias receptoras dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, e para a bacia do Rio Brígida (sub-bacia do Rio São Francisco) no Estado de Pernambuco.

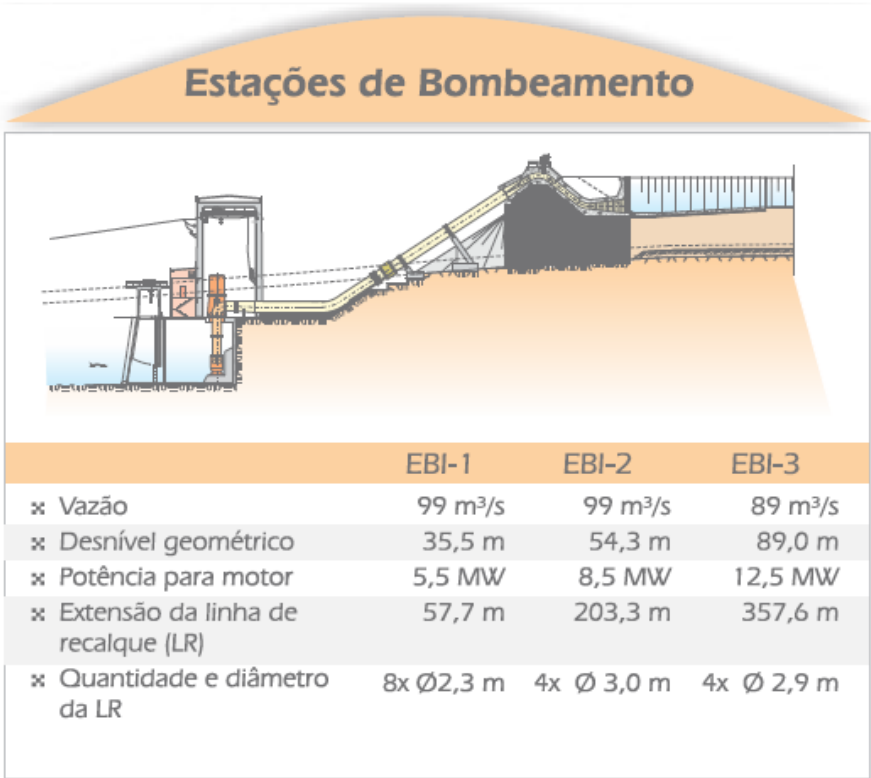
O sistema planejado é constituído por canais, 3 estações de bombeamento, incluindo as subestações, 7 barragens (Figura 6), 5 aquedutos, 2 túneis, uma galeria, um sistema de controle operacional localizado na EB-I (Figura 7) e tomada d'água para usos diversos localizadas nos reservatórios e ao longo dos canais, geralmente a cada 3,3 km.

Figura 6 - Esquema das Barragens



Fonte: ENGEORPS/HARZA, 2012.

Figura 7 - Esquema das Estações Elevatórias



Fonte: ENGEORPS/HARZA, 2012.

A tomada d'água do Trecho I é o início de todo o sistema de Transposição denominado de Eixo Norte, localizado na margem esquerda do Rio São Francisco. O término do Trecho I é no Reservatório Jatí.

O emboque da tomada d'água é formado por um canal de 150m de largura, escavado na cota 316,08 m ao longo de uma extensão de 50m. A partir desse ponto, que é o início do estaqueamento do canal (estaca 0+000 e cota 317,08m), a largura de 150m será gradualmente reduzida, numa extensão também de 150m, até a base do canal de alimentação ficar com a largura igual a 9,50 m, escavado na cota 317,08m.

O canal tem seção transversal trapezoidal com 9,5m de base e 12,5m de altura e taludes com inclinação de 1V:1,5H, sem revestimento ao longo dos taludes escavados em rocha, e com revestimento de proteção nos taludes escavados em solo.

Depois de percorrer aproximadamente 2.080m o canal alcança a estação de bombeamento EB-I. O sistema de tomada d'água está apto a deslocar 99 m³/s de água do Rio São Francisco em condições severas de nível d'água, sendo dotado de particularidades construtivas que tem como objetivo à eliminação do efeito de carreamento de material suspenso.

Ao se aproximar da estação de bombeamento EB-I o canal sofre mudança de seção configurando uma transição, onde ao longo de 81m a base do canal aumenta gradualmente até a largura de 70m, dando início o forebay de montante, que tem como papel absorver as oscilações decorrentes da operação do sistema de recalque e configurar a aproximação ao conjunto de bombas, funcionando como câmara de carga da elevatória. O forebay (Figura 8), tem 70m de base e 155m de comprimento.

Figura 8 - Detalhe da Forebay



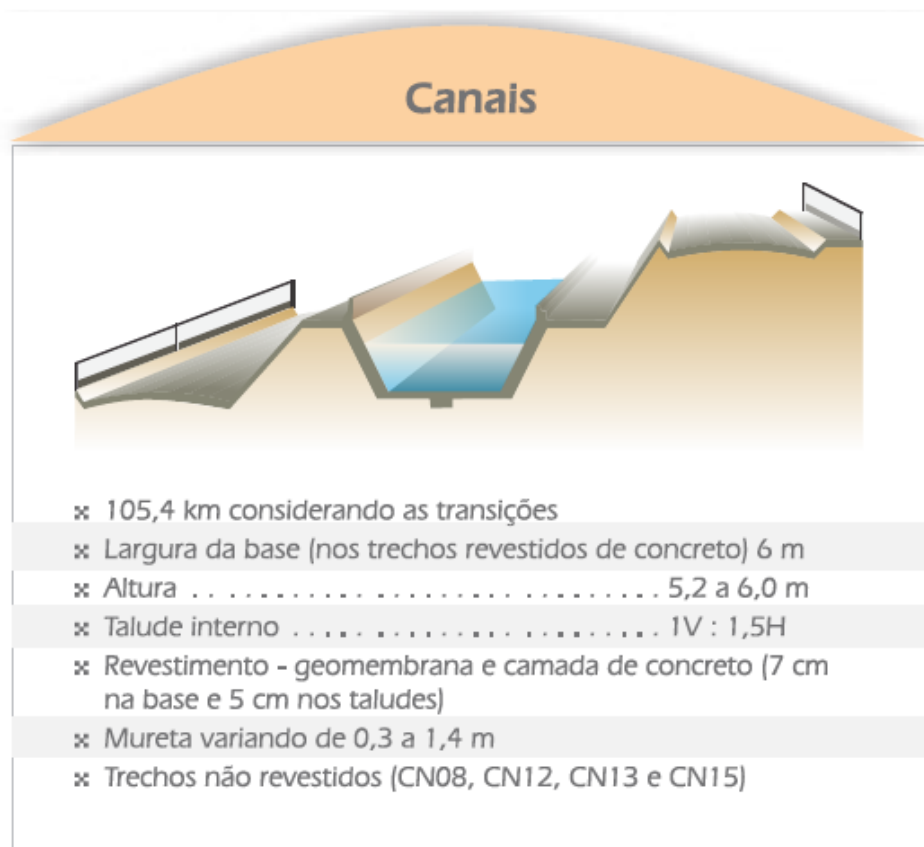
A estação de bombeamento EB-I tem como função de elevar os 99 m³/s captados da cota 324,98m para a cota 360,50m em níveis normais, finalizando um desnível geométrico de 35,52m. A estação tem 44,0 MW de potência total e será munida de nove conjuntos moto-bombas, sendo um reserva, e respectivas linhas de recalque individuais.

O deságue é realizado após o recalque no forebay de jusante, cujas dimensões são iguais ao forebay de montante e se estende por 195m. A partir daí inicia-se a transição de saída em que a base da seção diminui gradativamente de 70m para 6m de largura ao longo de 86m.

O trecho posterior segue até a segunda estação de bombeamento EB-II em um total aproximado de 78km e suas obras específicas são apresentadas adiante:

Canal trapezoidal, mostrado na Figura 9, projetado com base de 6,0m, taludes laterais de 1V:1,5H, altura de 6,0m, lâmina de água de 5,25 m, revestido em concreto, totalizando aproximadamente 42 km.

Figura 9 - Seção dos Canais



Fonte: ENGECORPS/HARZA, 2012.

O cruzamento com a BR-428 onde será construída uma ponte em concreto protendido, com duas pistas e 35,0m de extensão.

Reservatório Tucutú, constituído por barragem em enrocamento com núcleo argiloso, com altura máxima de 27,50m e comprimento de crista de 2.340m. Apresenta área de inundação de 3,47km², volume útil de 15,20 milhões de m³ e NA normal 359,73m, sendo constituído de vertedor de soleira livre com 160m de comprimento. Este reservatório possuirá estrutura de controle em sua saída para o canal de jusante, formada por quatro comportas e de uma tomada d'água para usos diversos.

O aqueduto Logradouro, construído em concreto armado composto por duas células de seção retangular de 5,2m de largura por 5,8m de altura, comprimento de 179m, pilares com altura máxima de 19 m espaçados a cada 30m e capacidade de 99 m³/s. A transição da seção trapezoidal do canal para a seção retangular do aqueduto é feita ao longo de 52 m de extensão tanto a montante quanto à jusante.

O aqueduto Saco da Serra, construído em concreto armado composto por duas células de seção retangular de 5,2m de largura por 5,8m de altura, o comprimento de 204m, pilares com altura máxima de 20m espaçados a cada 30m e capacidade de 99 m³/s. A transição da seção trapezoidal do canal para a seção retangular do aqueduto é feita ao longo de 52m de extensão tanto a montante quanto à jusante.

O Canal Angico foi construído como uma alternativa executiva ao Túnel Angico, a seção hidráulica do canal possui geometria característica trapezoidal com largura de 6,0m na base, taludes laterais com inclinação de 1V:1,5H e altura da seção variando de 5,5m a 6,0m. A seção do canal foi projetada para a vazão máxima de 99 m³/s, com declividade do trecho de 10cm/km (0,01%). Com o intuito de minimizar perdas de água, a seção hidráulica do canal é revestida por uma geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) texturizada em ambas as faces, com espessura de 1,0mm, ou por uma geomembrana de policloreto de vinila (PVC), também com 1,0mm de espessura, acoplada a um geotêxtil não tecido em uma das faces. A ancoragem da geomembrana é executada em uma trincheira escavada no topo dos taludes do canal, sendo esta preenchida com solo-cimento compactado.

Aqueduto Mari: projetado em concreto armado composto por duas células de seção retangular de 5,2m de largura por 5,8m de altura, comprimento de 270m, pilares com altura máxima de 21m espaçados a cada 30m e capacidade de 99 m³/s. A transição da seção trapezoidal do canal para a seção retangular do aqueduto é feita ao longo de 52 m de extensão tanto a montante quanto à jusante.

Aqueduto Terra Nova, construído em concreto armado composto por duas células de seção retangular de 5,2m de largura por 5,8m de altura, comprimento de 179m, pilares com

altura máxima de 8m espaçados a cada 30m e capacidade de 99 m³/s. A transição da seção trapezoidal do canal para a seção retangular do aqueduto é feita ao longo de 52m de extensão tanto a montante quanto à jusante.

Reservatório Terra Nova, é formado por barragem em enrocamento com núcleo argiloso, com altura máxima de 20,00m e comprimento de crista de 2.389 m. Apresenta área de inundação de 2,20 km², volume útil de 2,60 milhões de m³ e NA normal 354,04m, sendo dotado de vertedor de soleira livre com 160m de comprimento. Este reservatório será dotado uma tomada d'água para uso difuso, composta por duas válvulas dispersoras totalizando uma vazão de 2 m³/s.

Depois de passar pelo reservatório Terra Nova e ao se aproximar da estação de bombeamento EB-II o canal sofre mudança de geometria configurando uma transição, onde ao longo de 83m a base do canal aumenta gradualmente até a largura de 70m, iniciando o forebay de montante, que é destinado a absorver as oscilações decorrentes da operação do sistema de recalque e configurar a aproximação ao conjunto de bombas, funcionando como câmara de carga da elevatória. O forebay tem 70m de base e 181m de comprimento.

Chegando a estação de bombeamento EB-II cuja função é elevar os 99 m³/s captados da cota 353,22m para a cota 408,32m, em níveis normais, vencendo um desnível geométrico de 55,10m. A estação tem 68,0 MW de potência total e será munida de nove conjuntos moto-bombas, dos quais um é reserva, e quatro linhas de recalque.

Após o recalque o deságue é realizado no forebay de jusante, cujas dimensões são iguais ao de montante e se estende por 181m. A partir deste ponto inicia-se a transição de saída em que a base da seção diminui gradativamente de 70m para 6m de largura ao longo de 84m.

O trecho seguinte evolui até a terceira estação de bombeamento EB-III em uma extensão aproximada de 28 km e suas obras características são apresentadas abaixo:

Logo após a estação de bombeamento III, tem-se início um canal trapezoidal, o qual foi construído com base de 6,0m, taludes laterais de 1V:1,5H, altura de 6,0m, lâmina de água de 5,5m e revestido em concreto. A partir do reservatório Mangueira, onde há uma derivação de 10 m³/s para o Trecho VI, a seção do canal é modificada pois passa a aduzir 89 m³/s, ficando com 6,00 m de base, 5,70m de altura e lâmina d'água de 5,00m.

Reservatório Serra do Livramento, formado por barragem em enrocamento com núcleo argiloso, com altura máxima de 27,50m e comprimento de crista de 3.097m. Apresenta área de inundação de 1,57 km², volume útil de 14,15 milhões de m³ e NA normal 408,07m, sendo dotado de vertedor de soleira livre com 160m de comprimento. Este reservatório possuirá

estrutura de controle em sua saída para o canal de jusante, composta por quatro comportas e de uma tomada d'água para uso difuso.

Aqueduto Salgueiro, construído em concreto armado composto por duas células de seção retangular de 5,2m de largura por 6,5m de altura, comprimento de 25m, pilares com altura máxima de 24m espaçados a cada 30m e capacidade de 99 m³/s. A transição da seção trapezoidal do canal para a seção retangular do aqueduto é feita ao longo de 52m de extensão tanto a montante quanto à jusante.

Reservatório Mangueira: formado por barragem em enrocamento com núcleo argiloso, com altura máxima de 26,40m e comprimento de crista de 1.018m. Apresenta área de inundação de 3,20 km², volume útil de 11,50 milhões de m³ e NA normal 405,11 m, sendo dotado de vertedor de soleira livre com 160m de comprimento.

Logo após passar pelo reservatório Mangueira e ao se aproximar da estação de bombeamento EB-III o canal sofre mudança de geometria configurando uma transição, onde ao longo de 118m a base do canal aumenta gradualmente até a largura de 70 m, iniciando o forebay de montante, que é destinado a absorver as oscilações decorrentes da operação do sistema de recalque e configurar a aproximação ao conjunto de bombas, funcionando como câmara de carga da elevatória. O forebay tem 70 m de base e 275,9m de comprimento.

Segue-se a estação de bombeamento EB-III cuja função é elevar os 89 m³/s captados da cota 404,45m para a cota 490,06m, em níveis normais, vencendo um desnível geométrico de 85,5m. A estação tem 100,0 MW de potência total e será constituída de nove conjuntos moto-bombas, dos quais um é reserva, e quatro linhas de recalque.

O deságue é feito após o recalque em um canal de saída com 35m de largura e 160m de extensão, até um pequeno reservatório formado por um dique de enrocamento com núcleo argiloso, com 652,0m de comprimento de crista e 31,20m de altura máxima, que é interligado ao reservatório Negreiros através de um canal de 35m de largura e 658m de comprimento.

O trecho seguinte desenvolve-se até o reservatório Jatí num total aproximado de 60 km e suas obras específicas são apresentadas a seguir:

Canal trapezoidal, totalizando aproximadamente 42 km, o canal foi construído com 6,0m de base, 5,70m de altura, taludes laterais de 1V:1,5H, altura de 6,0m, lâmina de água de 5,00m e revestido em concreto.

Reservatório Negreiros, constituído por dois barramentos, apresenta área de inundação de 2,49 km², volume útil de 16,00 milhões de m³ e NA normal 493,83m. É composto por um dique em enrocamento com núcleo argiloso, com altura máxima de 23,30m e comprimento de

crista de 412m, e um barramento em concreto compactado a rolo, com altura máxima de 36,80m e comprimento de crista de 229m, dotado de vertedor de soleira livre com 160m de comprimento. Este reservatório será dotado de estrutura de controle em sua saída para o canal de jusante, composta por quatro comportas e de uma tomada d'água para uso difuso, composta por duas válvulas dispersoras totalizando uma vazão de 2 m³/s.

Reservatório Milagres, constituído por barragem principal em enrocamento com núcleo argiloso, com altura máxima de 36,40m e comprimento de crista de 816m e por um dique também em enrocamento com núcleo argiloso, com altura máxima de 26,80m e comprimento de crista de 308m. Apresenta área de inundação de 11,35 km², volume útil de 70,00 milhões de m³ e NA normal 490,83m, sendo dotado de vertedor de soleira livre com 160 m de comprimento. Este reservatório é composto de estrutura de controle em sua saída para o canal de jusante, composta por quatro comportas e de uma tomada d'água para usos quaisquer.

Túnel Milagres-Jatí, construído em seção arco retângulo com variável e comprimento de 1.512m, composto por piso revestido em concreto e paredes em rocha sem revestimento, com tratamento em concreto projetado e tirantes. Tanto no emboque como no desemboque, ao longo de 50m de extensão, a seção terá revestimento em concreto estrutural com 0,30 m de espessura. As transições, a montante e a jusante dos portais do túnel, se dão ao longo de 36,0m de extensão.

Galeria Milagres, construída em concreto armado composta por duas células de seção retangular de 4,9m de largura por 6,0m, com comprimento de 376 metros e capacidade de 89m³/s.

Reservatório Jatí, constituído por barragem homogênea em solo, com altura máxima de 57,00m e comprimento de crista de 1.704m. Apresenta área de inundação de 1,35 km², volume útil de 25,00 milhões de m³ e NA normal 486,72m, sendo dotado de vertedor de soleira livre com 160m de comprimento. Este reservatório será dotado de válvulas dispersoras como estrutura de controle em sua saída para o reservatório Atalho, sendo prevista a implantação de uma pequena UHE pertencente ao Trecho II.

A seguir, é apresentado um quadro (Figura 10) com informações resumidas sobre cada barragem existente no Eixo Norte.

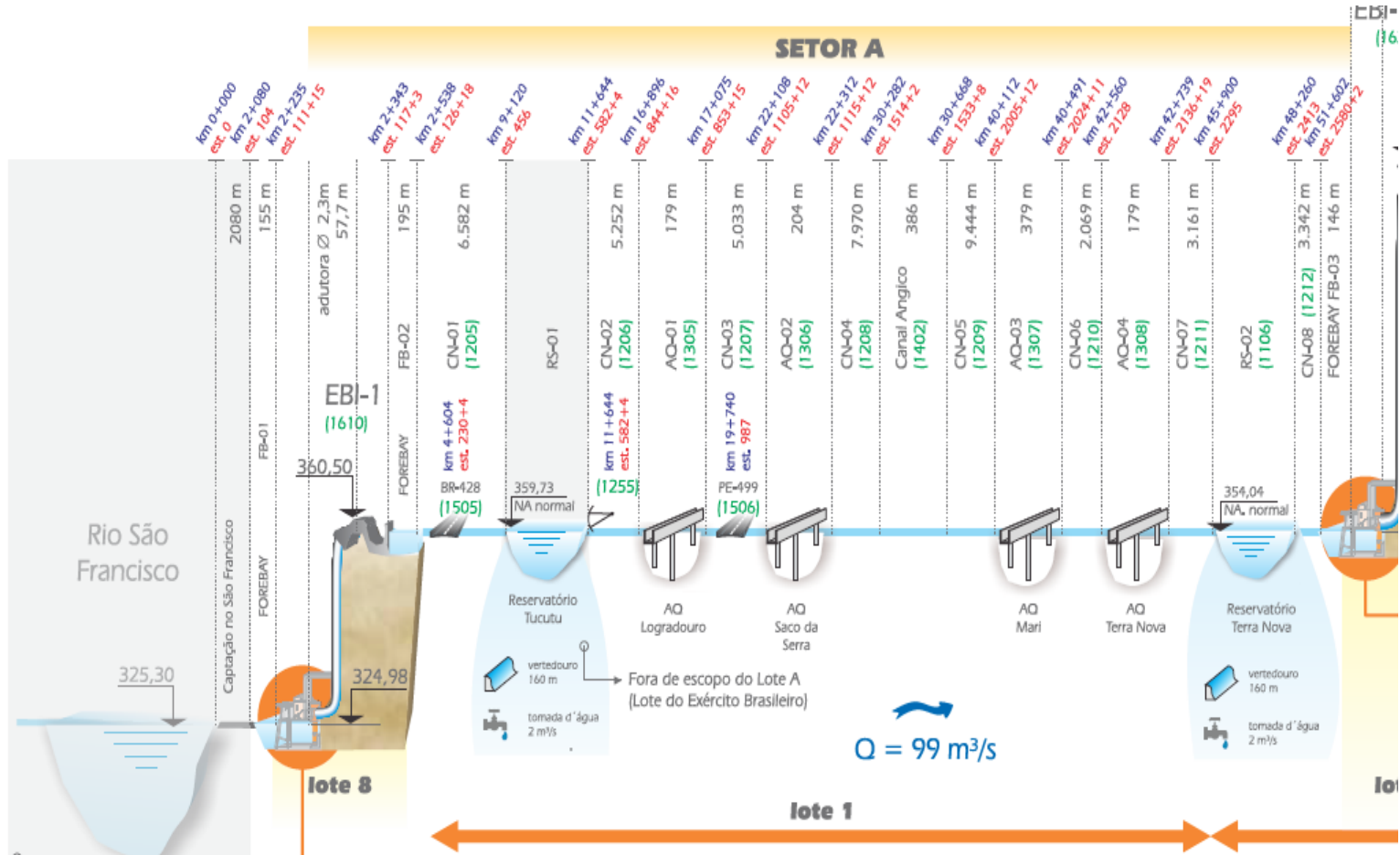
Figura 10 - Resumo das Barragens Eixo Norte

Barragens										
Descrição			Tipo	L ^{Total da} Crista	H Máxima	Cota da Crista	NA Normal	NA Normal operacional	NA Máx. Máx.	A Drenagem
Reservatório			m	m	m	m	m	m	m	km ²
RS02	Terra Nova		HOM	2331	10,90	357,5	354,04	354,55	355,64	23,3
RS03	Serra do Livramento		ENA	2944	25,7	410,5	408,04	408,04	409,41	2,5
RS04	Mangueira		ENA	1184	27,3	407,7	405,08	405,46	406,56	32,4
RS05	Negreiros	Dique	ENA	423	23,0	496,4	494,00	494,06	495,22	12,2
		Barragem	CCR	246	36,6	496,4	494,00	494,00	495,22	
RS06	Milagres	Barragem	ENA	1050	39,0	493,6	491,09	491,09	491,89	83,5
		Dique	ENA	368,5	28,0	493,6	491,12	491,12	491,91	

Fonte: ENGECORPS/HARZA, 2012.

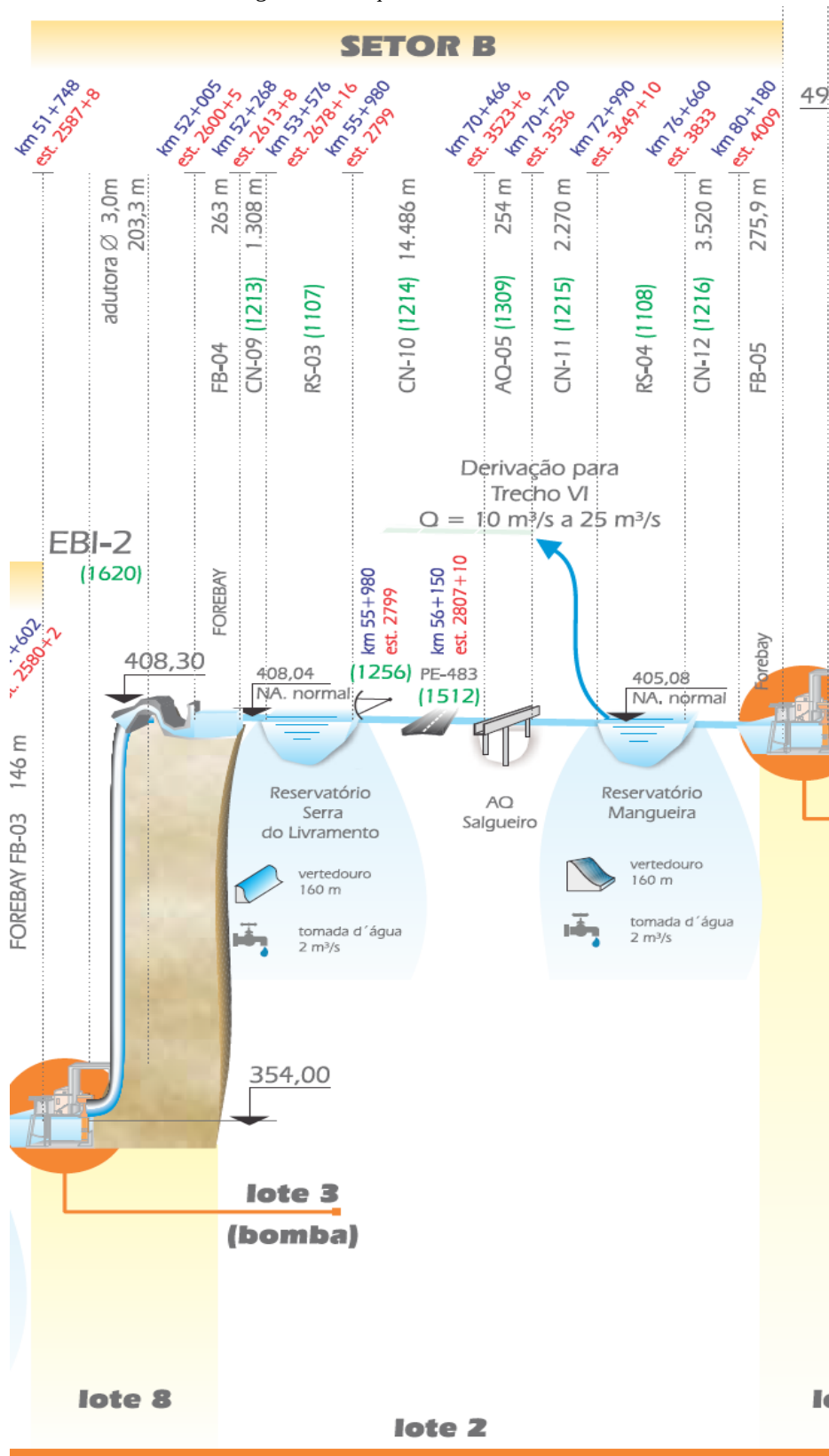
As obras do Eixo Norte são resumidas nos esquemas mostrados abaixo, de acordo com o relatório executivo da Engecorps, empresa responsável pela execução do trecho (Figuras 11, 12, 13).

Figura 11 - Esquema do Setor A



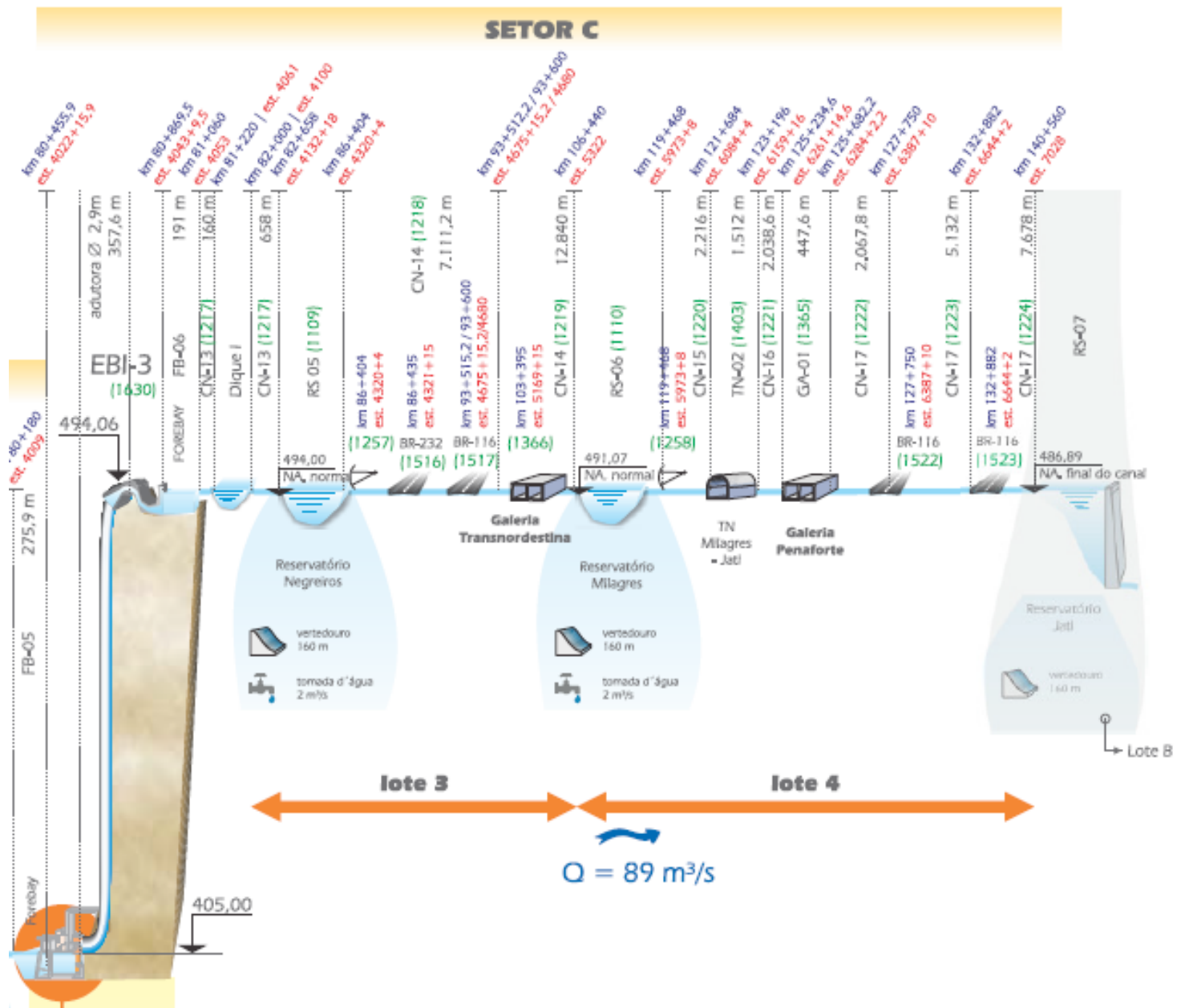
Fonte: ENGECORPS/HARZA, 2012.

Figura 12 - Esquema do Setor B



Fonte: ENGECORPS/HARZA, 2012.

Figura 13 - Esquema do Setor C



Fonte: ENGECORPS/HARZA, 2012.

2.6 EIXO LESTE

O sistema adutor do Projeto de Integração do São Francisco, chamado de Eixo Leste – Trecho V foi projetado com o objetivo de aduzir águas do rio São Francisco para regiões semiáridas dos estados de Pernambuco e Paraíba. Além dos aproveitamentos em outras bacias hidrográficas dos dois estados, estão previstas captações dentro da bacia do rio São Francisco, para atendimento às demandas ao longo do desenvolvimento do sistema.

O Eixo Leste do PISF (Figura 14), foi desenvolvido a nível de projeto básico pela FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais, entre os anos de 2000 e 2001. Com aproximadamente 217 km de extensão, o Eixo Leste se estende desde a sua captação no reservatório de Itaparica, no município de Floresta, em Pernambuco, até o seu deságue no reservatório de Poções, município de Monteiro, na Paraíba. Uma derivação do Eixo Leste, denominada Ramal do Agreste – Trecho VII, com captação no reservatório de Barro Branco e se desenvolvendo até o reservatório Ipojuca, foi pensada com a finalidade de aduzir águas para o atendimento da região do Agreste Pernambucano.

Figura 14 - Arranjo geral do Eixo Leste



Fonte: ENGEORPS/HARZA, 2012.

O sistema adutor do Eixo Leste é formado por um conjunto de obras hidráulicas estrategicamente distribuídas ao longo do seu desenvolvimento, de acordo com as condicionantes topográficas e geotécnicas regionais, cujas funções específicas e interativas asseguram o transporte de vazões pré-definidas desde a captação no rio São Francisco até os portais de entrega de água aos locais de aproveitamento. Esse conjunto de obras e suas funções no sistema de adução são descritos a seguir:

✓ **Canal de Aproximação**

Possui o papel de conduzir, de forma gravitacional, as águas captadas no reservatório de Itaparica até a primeira estação de bombeamento do sistema (EBV-1).

✓ **Estações de Bombeamento**

Estão localizadas em sítios onde é imprescindível o recalque das águas de um patamar topográfico, a outro de cota mais elevada. No seu conjunto, as seis estações de bombeamento do Eixo Leste, vencem um desnível de 300,00m desde a captação até o deságue do sistema. A montante e a jusante de cada estação foram projetadas duas câmaras de carga, chamadas de forebays, com a finalidade de reduzir as oscilações de nível nas operações de parada e partida das bombas.

As seis estações de bombeamento do Eixo Leste (EBV-1 a EBV-6) estarão equipadas com quatro conjuntos moto-bombas, sem unidade de reserva. As estações EBV-1, EBV-2, EBV-3 e EBV-4 têm capacidade total de bombeamento de 28,00 m³/s, ou seja, 7,00m³/s por bomba. As estações EBV-5 e EBV-6 têm capacidade total de 18,00 m³/s, sendo, portanto, de 4,50 m³/s a vazão de cada bomba. As vazões recalçadas pelas estações de bombeamento são conduzidas por duas adutoras de aço até a estrutura de descarga situada no forebay de jusante de cada estação.

✓ **Barragens**

Foram planejadas para as ocasiões onde a transposição dos rios pelo sistema adutor em aqueduto era menos viável em termos econômicos. Os reservatórios dessas barragens, ligados por segmentos de canais, têm a função hidrodinâmica de reduzir os níveis d'água para jusante nas paradas das estações de bombeamento e servirem de compensação para alimentação do sistema nessas ocasiões. As águas de contribuição das bacias hidrográficas dessas barragens são aproveitadas no sistema de adução. No Eixo Leste, Lote C, estão projetadas 12 barragens:

Areias, Braúnas, Mandantes, Salgueiro Muquém, Cacimba Nova, Bagres, Copiti, Moxotó, Barreiro, Campos e Barro Branco.

No Lote D, para otimizar o sistema adutor foram criados reservatórios ao longo do traçado, denominados de reservatórios de compensação, que fornecem água ao sistema, mantendo-o em funcionamento no período de paralisação de três horas diárias (horário de pico), sem grandes oscilações. Assim, regularizam diariamente as vazões, compensando as paradas do sistema de bombeamento no horário de pico.

✓ **Canais de Condução**

Carreiam as águas de forma gravitacional de uma estação de bombeamento a outra passando pelos reservatórios de compensação das barragens. Têm seção trapezoidal, são impermeabilizados com geomembrana e revestidos com placas de concreto simples. Os taludes externos dos trechos em aterro são protegidos com transição e enrocamento fino. As bermas dos canais foram projetadas de forma a proporcionar o trânsito de veículos para as operações de manutenção.

De todas as obras necessárias para realizar a transposição de águas, os canais são a solução mais extensamente empregada, totalizando mais de 100 km divididos em 17 segmentos. Esses segmentos são separados pelas diversas estruturas que compõem o sistema, tais como barragens, aquedutos, túneis, estações de bombeamento e galerias.

Desse modo, são definidos os 17 segmentos de canais conforme o Quadro 1. Nesse mesmo quadro são apresentadas as principais características de cada segmento.

Quadro 1 - Segmentos de Canais

Descrição		Estaca Início	Estaca Fim	Extensão (m)	Vazão máxima (m ³ /s)	Geometria			
WBS	local					Base (m)	Altura (m)	inclinação do talude (V:H)	altura de mureta (m)
1205	CN01	0126+18	0456+00	6.582	99	6,0	5,5 a 6,0	1:1,5	0,7 a 1,1
1206	CN02	0582+04	0844+16	5.252	99	6,0	5,5 a 6,0	1:1,5	0 a 0,5
1207	CN03	0853+15	1105+12	5.033	99	6,0	5,5 a 6,0	1:1,5	0 a 0,5
1208	CN04	1115+12	1514+02	7.970	99	6,0	5,5 a 6,0	1:1,5	0 a 0,5
1209	CN05	1533+08	2005+12	9.444	99	6,0	5,5 a 6,0	1:1,5	0 a 0,5
1210	CN06	2024+11	2128+00	2.069	99	6,0	5,5	1:1,5	0,5
1211	CN07	2136+19	2295+00	3.161	99	6,0	5,5 a 6,0	1:1,5	0,3 a 0,7
1212	CN08	2413+00	2580+00	3.342	99	13	5,5 a 9,4	1:1,5 a 4:1	0
1213	CN09	2613+08	2678+16	1.308	99	6,0	5,5	1:1,5	1,4
1214	CN10	2799+00	3523+06	14.486	99	6,0	5,5 a 6,0	1:1,5	0 a 0,7
1215	CN11	3536+00	3649+10	2.270	99	6,0	5,5 a 6,0	1:1,5	0,7 a 1,1
1216	CN12	3833+00	4009+00	3.530	89	13	8,8	1:1,5 a 4:1	0
1217	CN13	4100+00	4132+18	818	89	35	7,4	1:1,5 a 4:1	0
1218 e 1219	CN14	4320+04	5322+00	19.948	89	6,0	5,2 a 5,7	1:1,5	0 a 1,3
1220	CN15	5973+08	6084+04	2.216	89	13	8,7	1:1,5 a 4:1	0
1221	CN16	6159+16	6261+15	2.038	89	6,0	5,7	1:1,5	0,8
1222, 1223 e 1224	CN17	6284+02	7028+00	14.878	89	6,0	5,2 a 5,7	1:1,5	0,4 a 1,1

Fonte: ENGECORPS/HARZA, 2012.

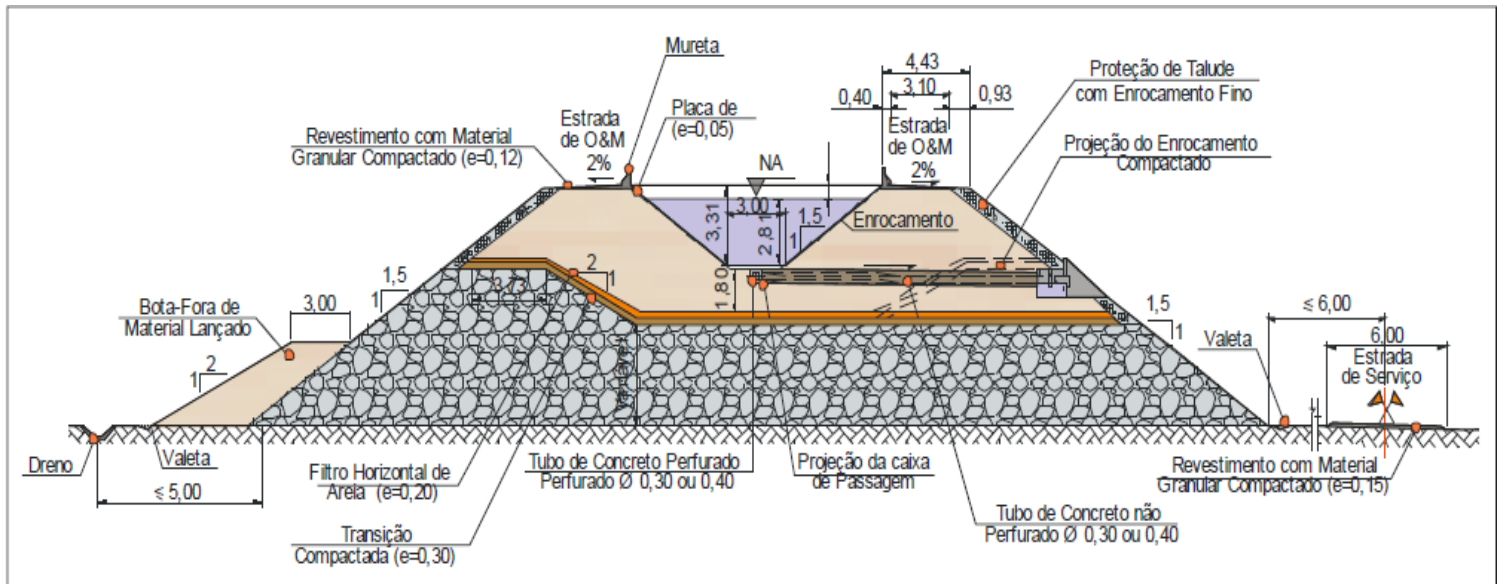
Os canais foram planejados para implantação em três casos típicos: em aterro, em corte ou em seção mista. A sua seção transversal foi definida no Projeto Básico e mantida no Projeto Executivo, segundo os critérios de cálculo da seção hidráulica necessária para adução em regime permanente e transitório. A seguir, são expostas as aplicações da seção transversal adotada nas diversas situações típicas de implantação.

Canal em aterro, no Lote C, onde a seção transversal trapezoidal do canal tem base acabada de 6,0 m de largura e altura variável entre 5,2 e 6m com taludes com inclinação interna e externa de 1V:1,5H. Para alturas de taludes externos superiores a 12m, foram previstas bermas intermediárias de 3 m de largura com declividade transversal para o bordo externo. Nos taludes internos é prevista a instalação de geomembranas com revestimento em concreto de espessura 5cm. Os taludes externos são protegidos com enrocamento. Ver Figura 15.

Já os canais em aterros do Lote D (Figura 15) foram projetados aduzir a vazão máxima de 18 m³/s. Possuem seção transversal trapezoidal, taludes laterais com inclinação 1(V):1,5(H),

largura da base de 3,0 m, altura da lâmina d'água de 2,81 m, bordo livre de 0,50 m e velocidade d'água de 0,89 m/s operando com a vazão máxima.

Figura 15 - Seção Transversal do Canal em Aterro



Fonte: ECOPLAN-SKILL, 2013.

A largura da crista do talude adotada foi de 5,0 m, incluindo o enrocamento de proteção (1,0 m na horizontal), e revestida com cascalho, de maneira a possibilitar o tráfego de maquinário durante as obras e posterior acesso de veículos de operação e manutenção.

O canal em corte conserva a mesma seção do canal em aterro, possuindo taludes em corte, acima da seção hidráulica, escavados em solo de 1ª categoria, com inclinação de 1V:2H e protegidos com uma camada de enrocamento, com largura de 1,0m, medida na horizontal. Nas bermas implantadas entre as camadas de solo, também de 1ª categoria e saprolito, de 2ª categoria.

Os taludes de escavações em saprolito, acima da seção hidráulica, devem ter inclinação de 2V:1H, e proteção eventual com geogrelhas e grampos.

✓ Muretas

São obras de proteção que se expandem ao longo de trechos específicos de canais, determinados pelos estudos hidrodinâmicos, com o objetivo de acomodar as ondas decorrentes dos transientes hidráulicos gerados quando se verifica variações de nível em decorrência das paradas das estações de bombeamento e elevação dos níveis nos reservatórios pela contribuição

das chuvas intensas nas suas bacias. A sobre-elevação dos níveis nas paradas de longo prazo do sistema adutor é igualmente contida por essas muretas.

✓ **Drenagem Interna dos Canais**

Representa um dispositivo de segurança dos canais, situado sob a geomembrana de impermeabilização, com a finalidade de fazer a captação lateral (fingers) e do fundo dos canais (tapete regularizador drenante) das águas contidas nos maciços (aterros e fraturas das rochas e solos dos cortes), conduzindo-as para uma tubulação que se desenvolve no fundo e ao longo do sistema, com deságue em pontos determinados.

Evita a ação de sub-pressões sobre as paredes e fundo dos canais e possibilita a identificação de eventuais rompimentos das mantas impermeabilizantes.

✓ **Drenagem Lateral e Transversal**

São as tradicionais obras de coleta e condução das águas de chuva que se desenvolvem paralelamente a céu aberto (valetas) e transversalmente sob os aterros (bueiros). No caso dos taludes remanescentes dos grandes cortes das estações de bombeamento e canais, foram projetadas valetas, caixas e escadas de dissipação que captam e conduzem as contribuições para o sistema natural ou artificial de drenagem.

✓ **Overchutes**

São obras de concreto armado (aquedutos), elaboradas com o objetivo de proporcionar o escoamento de drenos naturais sobre a seção dos canais, nas situações especiais em que os talvegues cruzam, em cotas mais elevadas, o sistema de canais artificiais projetado.

✓ **Estruturas de Controle**

São obras de concreto armado projetadas com dois vãos e equipadas com comportas tipo enscadeira e tipo segmento, que funcionam como tomadas d'águas do canal nos reservatórios e como estrutura de controle dos níveis nas paradas programadas e ocasionais do sistema adutor.

✓ **Aquedutos**

São um tipo especial de canal, o qual se assemelha a uma ponte de concreto armado, projetados com a finalidade de transposição dos grandes talvegues ou rodovias pelo sistema

adutor, quando a solução se mostra mais econômica. O Eixo Leste contempla cinco aquedutos, três com vazão de 28,00 m³/s (BR 316, Jacaré e Caetitu) e dois com vazão de 18,00 m³/s (Branco e Barreiro).

✓ **Estradas de Serviço**

Desenvolvem-se paralelamente, de um dos lados e ao longo de todo o sistema adutor, na maior parte em greide colado, com revestimento primário e passando em aterro sobre os bueiros dos canais. Os acessos às estações de bombeamento serão feitos através de estradas asfaltadas.

✓ **Pontes e Passarelas**

Foram projetadas com o objetivo de preservar o tráfego de veículos, pessoas e animais nos cruzamentos do sistema adutor com a rede regional de estradas e caminhos.

✓ **Túneis**

Foram concebidos para permitir a passagem do sistema adutor sob as grandes elevações topográficas, onde a solução de passagem através de cortes e a sobre-elevação das águas por bombeamento se mostra mais onerosa. No Eixo Leste existe apenas um túnel, o de Monteiro.

De acordo com a concepção do Projeto Básico, o túnel previsto no Eixo Leste, denominado Monteiro, possui extensão total de 6,519 km. Na fase de exposição foram estudados diferentes traçados do sistema adutor a partir do emboque do túnel, visando reduzir a extensão do túnel e otimizar o sistema, bem como minimizar os impactos ambientais na várzea do riacho Mulungú.

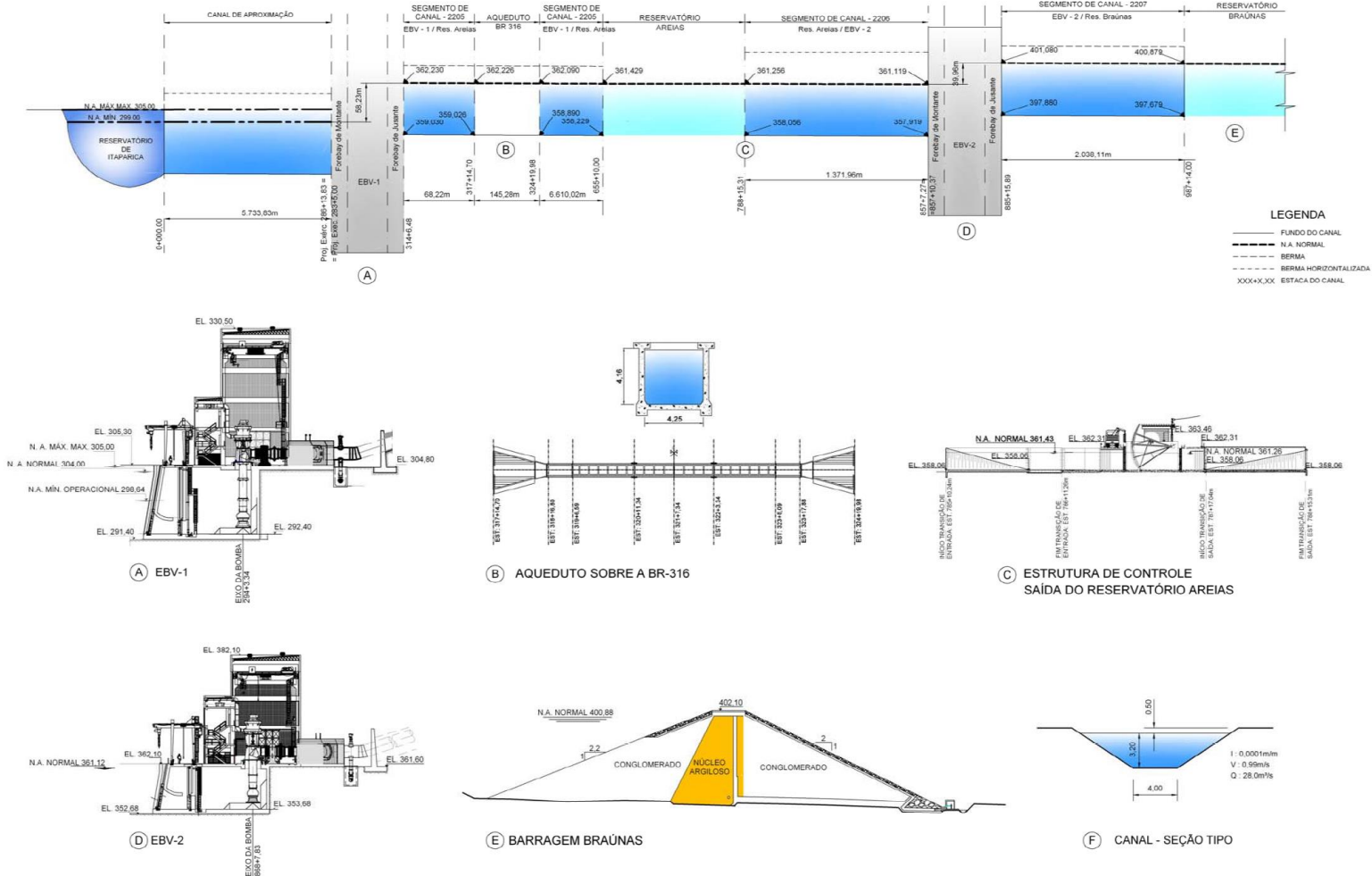
O túnel Monteiro foi projetado com uma seção arco-retângulo com 5,2 m de base, altura de 2,6 m e raio do arco de 2,6 m. A altura da lâmina d'água é de 3,91 m (vão livre de 1,29 m – parte superior do arco), enquanto que a declividade longitudinal é de 0,0004 m/m.

As Figuras 16, 17, 18 e 19, a seguir representam um esquema com todas as obras que o Eixo Leste contempla.

Figura 16 - Lote 09 (Parte I)

LOTE 09 DE OBRA (PARTE I)

Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional Projeto Executivo do Lote "C"



NOTAS

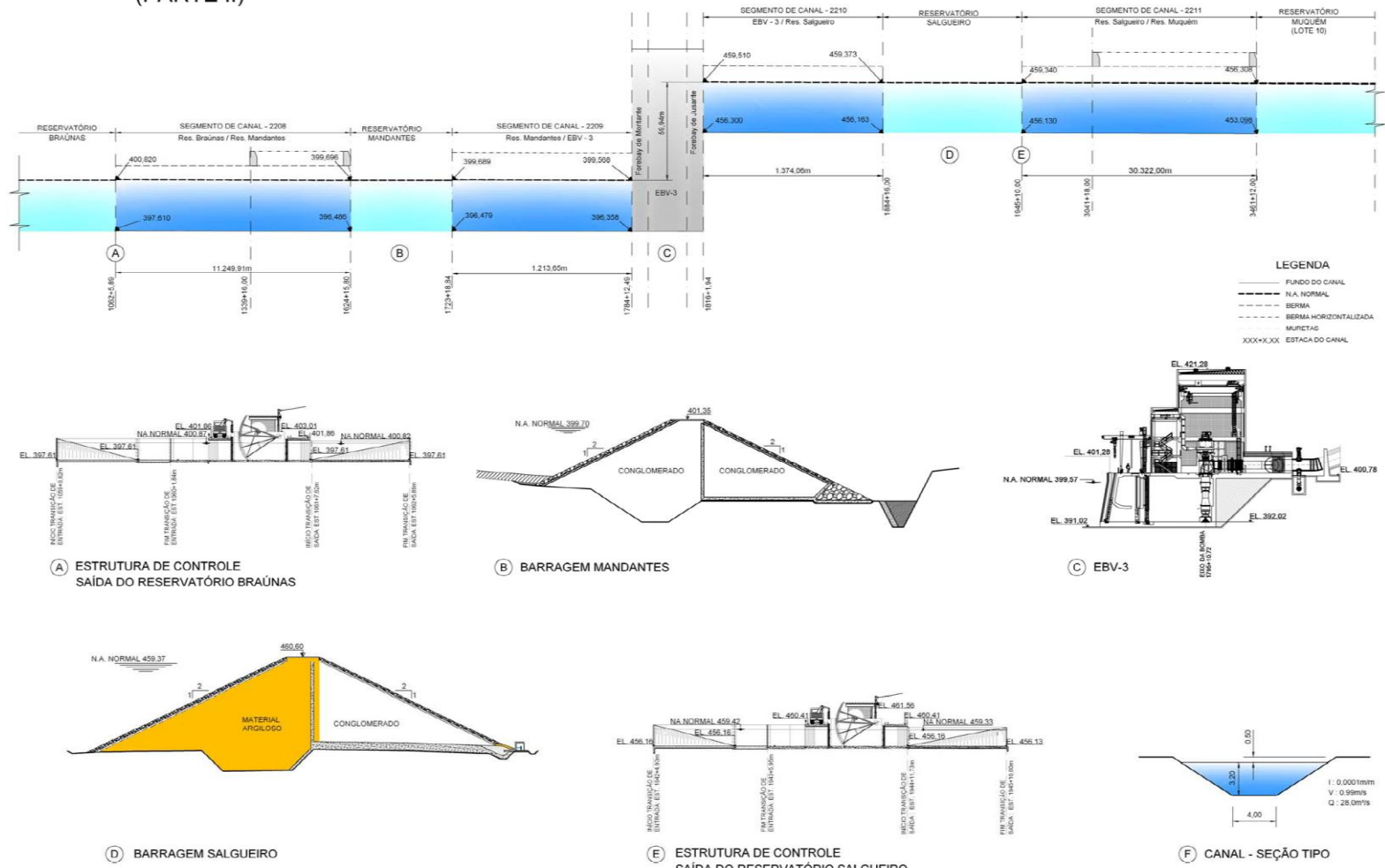
- 1 - AS ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO EBV-1 E EBV-2 PERTENCEM AO LOTE 13 DE OBRAS
- 2 - O CANAL DE APROXIMAÇÃO ATÉ O INÍCIO DO FOREBAY DE MONTANTE DA EBV-1 E O RESERVATÓRIO AREIAS NO EIXO LESTE FAZEM PARTE DO CONVÊNIO DO MI COM O DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO DO EXÉRCITO

Fonte: Consórcio Techne-Projete-BRLi, 2013.

Figura 17 - Lote 09 (Parte II)

LOTE 09 DE OBRA
(PARTE II)

Projeto de Integração do Rio São Francisco com
Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional
Projeto Executivo do Lote "C"



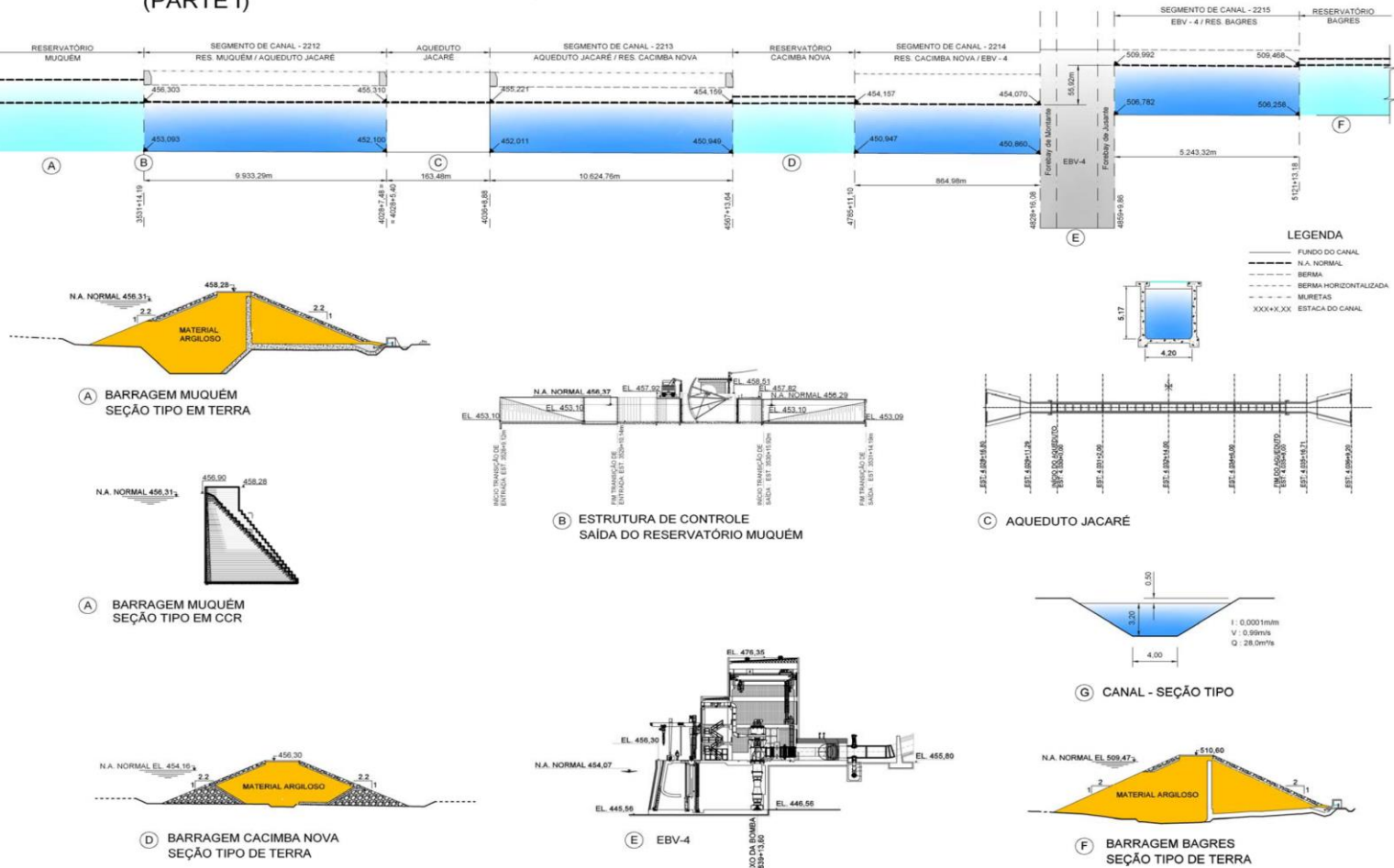
NOTAS
1 - A ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBV-3 PERTENCE AO LOTE 13 DE OBRAS

Fonte: Consórcio Techne-Projete-BRLi, 2013.

Figura 18 – Lote 10 (Parte I)

**LOTE 10 DE OBRA
(PARTE I)**

**Projeto de Integração do Rio São Francisco com
Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional
Projeto Executivo do Lote "C"**



NOTAS

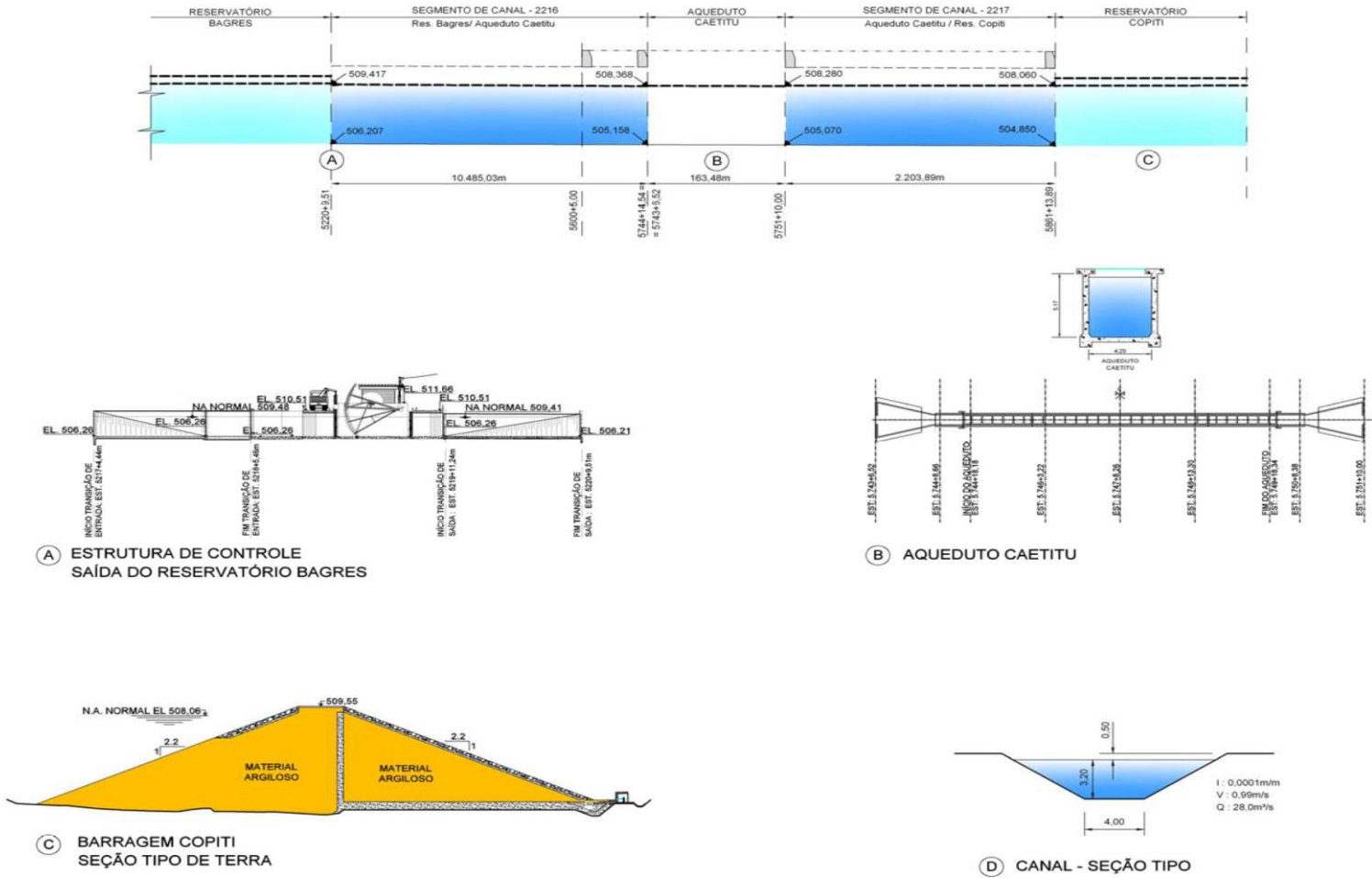
1 - A ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBV-4 PERTENCE AO LOTE 13 DE OBRAS

Fonte: Consórcio Techne-Projete-BRLi, 2013.

Figura 19 - Lote 10 (Parte II)

LOTE 10 DE OBRA (PARTE II)

Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional Projeto Executivo do Lote "C"



Fonte: Consórcio Techne-Projete-BRLi, 2013.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO

A partir de estudos de viabilidade ambiental e econômica, foram projetadas as estações elevatórias que compõem o sistema hidráulico da transposição, pois muitas vezes, a construção de aquedutos era inviável e acarretaria em gastos exorbitantes. Desta forma, as estações elevatórias foram criadas para vencer os empecilhos naturais que estivessem no caminho da transposição, cumprindo o papel de levar a água de forma intermitente às bacias receptoras.

Sendo assim, ao longo de toda a extensão da transposição do Rio São Francisco, foram construídas 9 estações elevatórias (três no Eixo Norte e seis no Eixo Leste) para conseguir vencer os desníveis geométricos ao longo do sistema adutor e fazer com que a água chegue ao seu destino final com qualidade e sem interrupção. A Figura 19 a seguir ilustra como funciona uma estação elevatória.

No Lote C do Eixo Leste, existem quatro estações de bombeamento (EBV-1 a EBV-4), com capacidade total de bombeamento de 28 m³/s, sendo cada bomba responsável pelo bombeamento de 7 m³/s, reconstituindo a vazão retirada inicialmente do reservatório de Itaparica.

As Estações de Bombeamento são dotadas com bombas do tipo, semi-axial, eixo vertical de poço úmido, com acionamento direto por motor elétrico síncrono, 6,9kV, 60Hz, através de acoplamento flexível. Cada estação de bombeamento possui quatro grupos motor-bombas, e na primeira etapa, estão instalados apenas dois conjuntos. A operação nominal presume o funcionamento conjunto, em paralelo, de duas bombas, abastecendo um único conduto.

No recalque de cada grupo moto-bomba foi construído um bloco de ancoragem, por solicitação do fabricante da bomba, para suportar todos os esforços provenientes da adutora. Entre o flange de recalque da bomba e o flange da tubulação engastada no bloco, há uma junta para evitar a transmissão de esforços. A jusante do bloco de ancoragem está instalada uma válvula de retenção de fechamento rápido e suave, e uma válvula de bloqueio, tipo borboleta. Esta válvula operará completamente aberta e será fechada somente para permitir a manutenção da bomba e da válvula de retenção instalada a montante. Entre as duas válvulas está prevista a instalação de um acoplamento rígido para permitir a montagem e desmontagem das válvulas.

Figura 20 - Estação Elevatória



Fonte: Matsuki, 2015.

Já o Lote D do Eixo Leste, as estações EBV-5 e EBV-6 têm capacidade total de $18,00 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo cada bomba responsável por uma vazão de $4,50 \text{ m}^3/\text{s}$. As vazões recalçadas pelas estações de bombeamento são conduzidas por duas adutoras de aço até a estrutura de descarga situada no *forebay* de jusante de cada estação.

Os conjuntos motor-bomba e os instrumentos relacionados das estações EBV-5 e EBV-6 são compostos de quatro motores síncronos, trifásicos, de montagem vertical, que acionam bombas tipo vertical poço úmido, partida suave *soft starter*, com potência nominal de 2.200 kW, tensão nominal de 6,9 kV, frequência de 60 Hz e rotação nominal de 450 rpm.

Para a elaboração do presente trabalho, foi realizado um estudo minucioso de todo o empreendimento, a fim de conhecer todas as obras que constituem a transposição, suas áreas, volumes, comprimentos, suas diversas seções, as particularidades de cada trecho, o

funcionamento das estações elevatórias, para desta forma prever o volume de água total que este empreendimento iria transportar ao longo do seu percurso, para em seguida, obter o tempo necessário para a água desaguar em Monteiro – PB.

Primeiramente, foram contabilizados os volumes referentes ao Eixo Norte, mostrados na Tabela 1, de todos os canais, adutoras, barragens, túneis, canais de aproximação, para que, com o volume total de água, pudéssemos estimar de forma coerente o tempo necessário para seu deságue no destino final.

Em seguida, foram realizados os mesmos estudos para o Eixo Leste, mostrados na Tabela 2, e desta forma, determinado o volume de água que este trecho irá possuir, levando em consideração todas as obras ao longo do seu caminho. De posse das especificações de cada estação de bombeamento, como a quantidade de bombas, a vazão bombeada por cada uma, o número de horas de funcionamento por dia, e o volume total a ser transportado, pode-se prever o volume de água transportado para diversas situações, de acordo com a quantidade de bombas instalas e em operação.

No Eixo Norte, cada uma das oito bombas instaladas nas estações elevatórias EB-I e EB-II, possuem vazão de bombeamento de 12,375 m³/s e funcionam 21 horas por dia. A Tabela 3, a seguir, mostra a simulação do volume bombeado de acordo com a quantidade de bombas em operação e com sua capacidade. Já a estação elevatória EB-III, possui oito bombas com vazão de bombeamento de 11,12 m³/s e funcionam 21 horas por dia. A Tabela 4, a seguir, mostra os volumes bombeados de acordo com a quantidade de bombas em operação e com sua capacidade.

Tabela 1 - Descrição das áreas e volumes do Eixo Norte

TRECHO I - EIXO NORTE					
Estaca início	Estaca fim	Comprimento (m)	OBRA	Volume (m³)	Área (m²)
0	104	2080	-		
104	111 + 15	155	Forebay 1	12.148,13	78,38
111 + 15	117 + 3	57,7	Adução		
117 + 3	126 + 18	195	Forebay 2	15.283,13	78,38
126 + 18	456	6582	Canal 01	515.864,25	78,38
456	582 + 4	2524	Reservatório de Tucutu	6.610.000,00	2.720.000,00
582 + 4	844 + 16	5252	Canal 02	411.625,50	78,38
844 + 16	853 + 15	179	Aqueduto Logradouro	5.398,64	30,16
853 + 15	1105 + 12	5033	Canal 03	394.461,38	78,38
1105 + 12	1115 + 12	204	Aqueduto Saco da Serra	6.152,64	30,16
1115 + 12	1514 + 2	7970	Canal 04	624.648,75	78,38
1514 + 2	1533 + 8	386	Canal Angico	30.252,75	78,38
1533 + 8	2005 + 12	9444	Canal 05	740.173,50	78,38
2005 + 12	2024 + 11	379	Aqueduto Mari	11.430,64	30,16
2024 + 11	2128	2069	Canal 06	162.157,88	78,38
2128	2136 + 19	179	Aqueduto Terra Nova	5.398,64	30,16
2136 + 19	2295	3161	Canal 07	247.743,38	78,38
2295	2413	2360	Reservatório Terra Nova	4.480.000,00	1.710.000,00
2413	2580 + 2	3342	Canal 08	421.338,01	327,44
2580 + 2	2587 + 8	146	Forebay 3	11.442,75	78,38
2587 + 8	2600 + 5	203,3	Adução		
2600 + 5	2613 + 8	263	Forebay 4	20.612,63	78,38
2613 + 8	2678 + 16	1308	Canal 09	102.514,50	78,38
2678 + 16	2799	2404	Reservatório Serra do Livramento	3.430.000,00	1.540.000,00
2799	3523 + 6	14486	Canal 10	1.135.340,25	78,38
3523 + 6	3536	254	Aqueduto Salgueiro	8.188,96	32,24
3536	3649 + 10	2270	Canal 11	177.911,25	78,38
3649 + 10	3833	3670	Reservatório Mangueira	6.340.000,00	2.990.000,00
3833	4009	3520	Canal 12	864.499,86	422,40
4009	4022 + 15,9	275,9	Forebay 5	21.623,66	78,38
4022 + 15,9	4043 + 9,5	357,6	Adução		
4043 + 9,5	4053	191	Forebay 6	14.969,63	78,38
4100	4132 + 18	818	Canal 13	815.894,40	654,90
4061	4100	780	Dique		
4132 + 18	4320 + 4	3746	Reservatório Negreiros	4.610.000,00	2.190.000,00
4320 + 4	5322	19948	Canal 14	1.431.468,48	71,76
5322	5973 + 8	13028	Reservatório Milagres	19.590.000,00	8.650.000,00
5973 + 8	6084 + 4	2216	Canal 15	502.223,16	415,43
6084 + 4	6159 + 16	1512	Túnel Milagres - Jati	1.512,00	226,64
6159 + 16	6261 + 15	2038,6	Canal 16	169.071,29	82,94
6261 + 14,6	6284 + 2,2	447,6	Galeria Penaforte	37.121,71	82,94
6284 + 2	7028	14878	Canal 17	1.067.645,28	71,76
7028			Reservatório Jati	2.560.000,00	140.000,00
Total:				57.606.116,99	

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 2 - Descrição das áreas e volumes do Eixo Leste

TRECHO II - EIXO LESTE					
Estaca início	Estaca fim	Comprimento (m)	OBRA	Volume (m³)	Área (m²)
0	0	2.080,00	Reservatório de Itaparica		-
0	286 + 13,83	5.733,83	Canal de Aproximação I	190.821,86	33,28
286 + 13,83	314 + 6,48	217,00	Forebay 1 e EBV - I	7.221,76	33,28
314 + 6,48 / 324 + 19,98	317 + 14,70 / 655 + 10	6.678,24	Canal 2205	222.251,83	33,28
317 + 14,70	324 + 19,98	145,28	Aqueduto BR 316	2.568,55	17,68
655 + 10	788 + 15,31	-	Reservatório Areias	6.250.000,00	1.450.000,00
788 + 15,31	857 + 7,27	1.371,96	Canal 2206	45.658,83	33,28
857 + 7,27	885 + 15,89	163	Forebay 2 e EBV - II	5.424,64	33,28
885 + 15,89	987 + 14,00	2.038,11	Canal 2207	67.828,30	33,28
987 + 14	1062 + 5,89	-	Reservatório Braúnas	14.200.000,00	1.130.000,00
1062 + 5,89	1624 + 15,80	11.249,91	Canal 2208	374.397,00	33,28
1624 + 15,80	1723 + 18,84	-	Reservatório Mandantes	2.600.000,00	740.000,00
1723 + 18,84	1784 + 12,49	1.213,65	Canal 2209	40.390,27	33,28
1784 + 12,49	1816 + 1,94	252,00	Forebay 3 e EBV - III	8.386,56	33,28
1816 + 1,94	1884 + 16,00	1.374,06	Canal 2210	45.728,72	33,28
1884 + 16,00	1945 + 10,00	-	Reservatório Salgueiro	5.250.000,00	1.000.000,00
1945 + 10,00	3461 + 12,00	30.322,00	Canal 2211	1.009.116,16	33,28
3461 + 12,00	3531 + 14,19	-	Reservatório Muquém	2.850.000,00	860.000,00
3531 + 14,19	4028 + 7,48	9.933,29	Canal 2212	330.579,89	33,28
4028 + 7,48	4036 + 8,88	163,48	Aqueduto Jacaré	3.549,80	21,714
4036 + 8,88	4567 + 13,64	10.624,76	Canal 2213	353.592,01	33,28
4567 + 13,64	4785 + 11,10	-	Reservatório Cacimba Nova	1.850.000,00	600.000,00
4785 + 11,10	4828 + 16,08	864,98	Canal 2214	28.786,53	33,28
4828 + 16,08	4859 + 9,86	214,00	Forebay 4 e EBV - IV	7.121,92	33,28
4859 + 9,86	5121 + 13,18	5.243,32	Canal 2215	174.497,69	33,28
5121 + 13,18	5220 + 9,51	-	Reservatório Bagres	2.500.000,00	890.000,00
5220 + 9,51	5744 + 14,54	10.485,03	Canal 2216	348.941,80	33,28
5744 + 14,54	5751 + 10,00	163,48	Aqueduto Caetitu	3.549,80	21,714
5751 + 10,00	5861 + 13,89	2.203,89	Canal 2217	73.345,46	33,28
5861 + 13,89	6000 + 10	-	Reservatório Copiti	2.900.000,00	750.000,00
6000 + 10	7389 + 15	28.380,00	Canal 2218	575.380,38	20,27
7389 + 15	7397 + 5	150,00	Aqueduto Branco	1.616,70	10,778
7397 + 5	7550	3.020,00	Canal 2219	61.227,93	20,27
7550	7560	200,00	Aqueduto Barreiros	2.155,60	10,78
7560	7880 + 10	6.390,00	Canal 2220	129.551,82	20,27
7880 + 10	8031	-	Reservatório Moxotó	1.250.000,00	540.000,00
8031	8185 + 10	3.090,00	Canal 2221	62.647,12	20,27
8185 + 10	8209	470,00	Forebay 5 e EBV - V	9.528,85	20,27
8209	8334 + 1	2.501,00	Canal 2222	50.705,65	20,27
8334 + 1	8416	-	Reservatório Barreiro	750.000,00	280.000,00
8416	8498 + 14,25	1.667,00	Canal 2223	33.797,01	20,27
8498 + 14,25	8541	845,75	Forebay 6 e EBV - VI	17.146,86	20,27
8541		5.943,00	Canal 2224	120.489,27	20,27
		-	Reservatório Campos	400.000,00	530.000,00
	9132	5.047,00	Canal 2225	102.323,64	20,27
9132	9167	-	Reservatório Barro Branco	600.000,00	1.210.000,00
9167	9652 + 5	9.720,00	Canal 2226	197.064,74	20,27
9652 + 5		6.519,00	Túnel Monteiro	308.479,08	47,32
		9.240,00	Canal 2227	187.333,15	20,27
		4.000,00	Adutora Monteiro	64.000,00	16,00
TOTAL:				46.667.207,19	

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 3 - Volume Bombeado 1, Eixo Norte

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO (EBI - EBII)				
Número de Bombas	Nº de horas de funcionamento	Q/bomba (m³/s)	Volume/bomba (m³)	Volume total (m³)
1	21	12,375	935550	935.550
2	21	12,375	935550	1.871.100
3	21	12,375	935550	2.806.650
4	21	12,375	935550	3.742.200
5	21	12,375	935550	4.677.750
6	21	12,375	935550	5.613.300
7	21	12,375	935550	6.548.850
8	21	12,375	935550	7.484.400

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 4 - Volume Bombeado 2, Eixo Norte

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO (EBIII)				
Número de Bombas	Nº de horas de funcionamento	Q/bomba (m³/s)	Volume/bomba (m³)	Volume total (m³)
1	21	11,12	840672	840.672
2	21	11,12	840672	1.681.344
3	21	11,12	840672	2.522.016
4	21	11,12	840672	3.362.688
5	21	11,12	840672	4.203.360
6	21	11,12	840672	5.044.032
7	21	11,12	840672	5.884.704
8	21	11,12	840672	6.725.376

Fonte: Autor, 2017.

No Eixo Leste, Todas as seis estações de bombeamento (EBV-1 a EBV-6) estarão equipadas com quatro conjuntos motor-bombas, sem unidade de reserva. As estações EBV-1, EBV-2, EBV-3 e EBV-4 têm capacidade total de bombeamento de 28,00 m³/s, ou seja, 7,00m³/s por bomba. As estações EBV-5 e EBV-6 têm capacidade total de 18,00 m³/s, sendo, portanto, de 4,50 m³/s a vazão de cada bomba. As vazões recalçadas pelas estações de bombeamento são conduzidas por duas adutoras de aço até a estrutura de descarga situada no forebay de jusante de cada estação.

O Quadros 5 e 6, a seguir, detalham o volume de água bombeado por cada bomba durante as vinte e uma horas de funcionamento por dia, como também, o volume bombeado caso todas as bombas estivessem em operação conjuntamente.

Tabela 5 - Volume Bombeado 1, Eixo Leste

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO (EBV-1 a EBV-4)				
Número de Bombas	Nº de horas de funcionamento	Q/bomba (m³/s)	Volume/bomba (m³)	Volume total (m³)
1	21	7,0	529200	529.200
2	21	7,0	529200	1.058.400
3	21	7,0	529200	1.587.600
4	21	7,0	529200	2.116.800

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 6 - Volume Bombeado 2, Eixo Leste

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO (EBV-5 e EBV-6)				
Número de Bombas	Nº de horas de funcionamento	Q/bomba (m³/s)	Volume/bomba (m³)	Volume total (m³)
1	21	4,5	340200	340.200
2	21	4,5	340200	680.400
3	21	4,5	340200	1.020.600
4	21	4,5	340200	1.360.800

Fonte: Autor, 2017.

De posse dessas informações, foi possível estimar em quanto tempo o volume total bombeado iria levar para chegar à última obra de cada trecho, de acordo com a quantidade de bombas em operação.

As Tabelas 7, 8 e 9, a seguir ilustram esses cenários, tanto para o Eixo Norte quanto para o Eixo Leste.

Tabela 7 - Previsão do tempo de bombeamento 1

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO (EBI e EBII) - EIXO NORTE			
Número de Bombas	Volume Bombeado (m³/dia)	Volume total a ser bombeado (m³)	Tempo para bombeamento (dias)
1	935.550	57.606.116,99	61,57459996
2	1.871.100	57.606.116,99	30,78729998
3	2.806.650	57.606.116,99	20,52486665
4	3.742.200	57.606.116,99	15,39364999
5	4.677.750	57.606.116,99	12,31491999
6	5.613.300	57.606.116,99	10,26243333
7	6.548.850	57.606.116,99	8,796371423
8	7.484.400	57.606.116,99	7,696824995

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 8 - Previsão do tempo de bombeamento 2

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO (EBIII) - EIXO NORTE			
Número de Bombas	Volume Bombeado (m³/dia)	Volume total a ser bombeado (m³)	Tempo para bombeamento (dias)
1	840.672	57.606.116,99	68,52389159
2	1.681.344	57.606.116,99	34,26194579
3	2.522.016	57.606.116,99	22,8412972
4	3.362.688	57.606.116,99	17,1309729
5	4.203.360	57.606.116,99	13,70477832
6	5.044.032	57.606.116,99	11,4206486
7	5.884.704	57.606.116,99	9,78912737
8	6.725.376	57.606.116,99	8,565486449

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 9 - Previsão do tempo de bombeamento 3

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO (EBV-1 a EBV-4) - EIXO LESTE			
Número de Bombas	Volume Bombeado (m³/dia)	Volume total a ser bombeado (m³)	Tempo para bombeamento (dias)
1	529.200	46.667.207,19	88,18444292
2	1.058.400	46.667.207,19	44,09222146
3	1.587.600	46.667.207,19	29,39481431
4	2.116.800	46.667.207,19	22,04611073

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 10 - Previsão do tempo de bombeamento 4

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO (EBV-5 E EBV-6) - EIXO LESTE			
Número de Bombas	Volume Bombeado (m³/dia)	Volume total a ser bombeado (m³)	Tempo para bombeamento (dias)
1	340.200	46.667.207,19	137,1758001
2	680.400	46.667.207,19	68,58790005
3	1.020.600	46.667.207,19	45,7252667
4	1.360.800	46.667.207,19	34,29395002

Fonte: Autor, 2017.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As obras da transposição do Rio São Francisco estão em fase de acabamento, onde alguns trechos já foram concluídos e liberados, porém outros ainda se encontram em fase final e estão previstos para serem entregues até o final de 2017.

Já se passaram dez anos desde o início das obras, em 2007, no segundo mandato do governo Lula. A previsão inicial de que toda a transposição já estaria concluída em 2012 foi prorrogada, e agora, após cinco anos ainda há obras a serem concluídas. Inicialmente, o empreendimento iria custar R\$ 4,5 bilhões, porém hoje o orçamento total já chega a quase R\$ 10 bilhões.

O Nordeste brasileiro está passando por uma das maiores secas já vistas na história do Brasil, Campina Grande, em especial, está em situação crítica pois o açude de Boqueirão, que abastece a cidade encontra-se em seu volume morto, o qual se refere à uma parcela de água que não deve ser usada por possuir muitas substâncias tóxicas ao ser humano.

O atraso das obras na transposição gera aflição nos moradores do nordeste brasileiro porque a situação da seca está cada mais grave, sem chuvas, desta forma, a transposição é vista como única solução para solucionar este impasse.

Sendo assim, observando o cenário em que se encontra o empreendimento, pode-se concluir que o mesmo ainda não está operando em sua capacidade máxima, ou seja, o tempo em que a água está levando para chegar aos seus destinos finais está sendo maior do que previsto na elaboração do projeto inicial, tendo em vista o fato de as estações elevatórias estarem operando com apenas duas bombas e em caráter meramente experimental.

Isso acarreta numa redução na vazão bombeada por cada estação elevatória, e conseqüentemente uma redução no volume de água a ser transportado através de todas as obras que englobam o empreendimento.

Sendo assim, o tempo em que a água deveria levar para chegar até o seu destino final está com um atraso significativo pois as estações elevatórias não estão operando na sua capacidade prevista no projeto inicial.

Espera-se que até o final deste presente ano de 2017, as obras sejam concluídas e com isso, que as estações elevatórias comecem a trabalhar na sua capacidade máxima, cumprindo a sua função inicialmente projetada e solucionado o problema da seca no nordeste brasileiro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONSÓRCIO TECHNE-PROJETEC-BRLi. **Projeto Executivo do Lote C - Eixo Leste: RELATÓRIO FINAL DOS PROJETOS EXECUTIVOS DAS ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO EBV-1, EBV-2, EBV-3 E EBV-4.** Recife, 2013. 272 p.

G1. **Desertificação ameaça 94% das terras na Paraíba e é irreversível, diz Insa.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2017/04/desertificacao-ameaca-94-das-terras-na-paraiba-e-e-irreversivel-diz-insa.html>>. Acesso em: 10 maio 2017.

CONSÓRCIO ECOPLAN-SKILL. **Relatório do Projeto Executivo das Estações de Bombeamento: Elaboração do Projeto Executivo da Primeira Etapa de Implantação do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. Lote D.** Porto Alegre, 2013. 140 p.

ENGECORPS. **PROJETO EXECUTIVO - EIXO NORTE - LOTE A: Relatório Final do Projeto Executivo das Estações de Bombeamento.** Barueri, 2012, 191 p.

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS (FUNCATE). **Projeto Básico: Projeto de Transposição de águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Trecho V – Eixo Leste, R5 – Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomas de Usos Difusos, Túnel, Estruturas de Controle.** Brasília, 2001, 21 p.

MATSUKI E. **Transposição do São Francisco usa gravidade e bombeamento para levar água a 12 milhões.** Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/tecnologia/2015/09/saiba-como-funciona-obra-de-transposicao-do-rio-sao-francisco>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO (PE). Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/mochilao/projeto-de-integracao-do-rio-sao-francisco-pe>>. Acesso em: 09 maio 2017.

G1. **Nordeste em emergência: histórias de uma seca sem fim.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/nordeste-em-emergencia-historias-de-uma-seca-sem-fim.ghml>>. Acesso em: 10 maio 2017.

