

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de
Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena

Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof^o Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia sanitária e ambiental: recursos hídricos e tratamento de água 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia sanitária e ambiental: recursos hídricos e tratamento de água 3 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0728-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.287220911>

1. Engenharia sanitária e ambiental. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Engenharia sanitária e ambiental: Recursos hídricos e tratamento de água 3” é constituído por cinco capítulos de livro que tratam da disponibilidade, qualidade e principais uso de recursos hídricos para fins potáveis ou não por todos os segmentos da sociedade.

O primeiro capítulo apresenta um estudo no qual se discute a importância do monitoramento constante em relação à segurança de barragens para armazenamento de rejeitos provenientes de atividades de mineração e/ou recursos hídricos, bem como a descrição de todas as legislações nacionais existentes e vigentes no território brasileiro. O capítulo 2 se propôs a apresentar um estudo de comparação de cálculos de vazões por meio do uso do Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler (ADCP) em modo estático e o método de máxima entropia M em rios brasileiros monitorados pela Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN presentes no estado da Bahia e Sergipe.

O terceiro capítulo avaliou a importância da captação de água de chuva, bem como a sua utilização para reduzir à necessidade básica de populações que não possuem acesso a água para fins potáveis ou não, bem como a redução de etapas de tratamento de água que geraria economia para a população beneficiada. O capítulo 4 analisou os diferentes impactos provenientes do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) em relação ao canal Acauã-Araçagi, bem como estimar as tarifas de água a ser cobrada pela população beneficiária deste adutor com vazão máxima de 10 m³/s e uma extensão de 112 km, utilizando-se testes simulatórios com o ModSIM P32.

Por fim, o quinto capítulo apresenta uma proposta de utilização da argila como adsorvente para a forma mais tóxica do arsênio presente em concentrações traços e/ou ultra-traços em diferentes compartimentos aquáticos a partir da aplicação de um dispositivo de extração miniaturizado em ponteira descartável.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

CAPÍTULO 1	1
ÍNDICE SUSTENTÁVEL AMBIENTAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS - ISASB	
Maria Bernardete Guimarães	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209111	
CAPÍTULO 2	13
PARÂMETRO M DE ENTROPIA PARA DISTRIBUIÇÕES DE VELOCIDADES EM RIOS DO NORDESTE BRASILEIRO	
George Rodrigues de Sousa Araújo	
André Luiz Andrade Simões	
Rodrigo de Melo Porto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209112	
CAPÍTULO 3	31
APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS METEÓRICAS COMO CONTRIBUIÇÃO PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO À ÁGUA POTÁVEL E A RESILIÊNCIA AOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	
Gabriela Cadete Souza	
Herlane Costa Calheiros	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209113	
CAPÍTULO 4	38
GESTÃO DAS ÁGUAS TRANSPOSTAS PELO PROJETO SÃO FRANCISCO - PISF/ EIXO LESTE: IMPACTOS SOBRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E ESTIMATIVAS DAS TARIFAS DE ÁGUA PARA O CANAL ACAUÃ-ARAÇAGI, LOCALIZADO NO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA	
Cícero Aurélio Grangeiro Lima	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209114	
CAPÍTULO 5	51
USO DE UM DISPOSITIVO MINIATURIZADO PARA REMOÇÃO DE ARSÊNIO EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO ARGILA EXPANDIDA COMO ADSORVENTE DE EXTRAÇÃO	
Luciano Alves da Silva	
Bruno Elias dos Santos Costa	
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua	
Nivia Maria Melo Coelho	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209115	
SOBRE O ORGANIZADOR	65
ÍNDICE REMISSIVO	66

GESTÃO DAS ÁGUAS TRANSPOSTAS PELO PROJETO SÃO FRANCISCO - PISF/ EIXO LESTE: IMPACTOS SOBRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E ESTIMATIVAS DAS TARIFAS DE ÁGUA PARA O CANAL ACAUÃ-ARAÇAGI, LOCALIZADO NO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA

Data de aceite: 01/11/2022

Cícero Aurélio Grangeiro Lima

Doutor em Recursos Naturais,
Especialista em Infraestrutura Sênior do
Ministério do Desenvolvimento Regional
Cabedelo-PB/Brasil

RESUMO: Trata-se de análises dos impactos decorrentes do aporte da vazão do Eixo Leste do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) sobre as disponibilidades do canal Acauã-Araçagi e, estimativas das tarifas de água a ser cobrada aos usuários deste sistema adutor. Principal obra hídrica da Paraíba, o canal, concebido em concreto, seção trapezoidal e capacidade para vazão máxima de 10 m³/s, inicia-se no reservatório Acauã, no baixo curso do rio Paraíba, estendendo-se por 112 km até alcançar o leito do rio Araçagi, na bacia de mesmo nome. Neste estudo foram realizadas simulações utilizando-se o modelo ModSIM P32 para avaliações das disponibilidades hídricas para o canal, nos cenários sem e com a transposição das águas do São Francisco. No cenário com transposição considerou-se um aporte hídrico inicial do projeto de 0,5 m³/s, com

acréscimo anual de mesmo valor, até o limite da vazão firme de 4,2 m³/s estabelecido para o referido eixo. Os impactos sobre os valores dos Custos Médios da Água e das Tarifas de Água foram analisados para as situações demandas para o canal de 0,2 m³/s e de 0,5 m³/s, por meio de cálculos do Valor Presente Líquido (VPL) aplicado para taxa de retorno de 12% a.a. e horizonte de projeto de 30 anos. A variação dos custos operacionais e das Tarifas de Água, em função das vazões aduzidas, mostrou a importância de um planejamento prévio das demandas que serão requeridas por parte dos estados beneficiados pelo PISF. Estes estados devem estar, até a entrada em operação do sistema, com suas entidades operadoras de suas infraestruturas hídricas instaladas e operantes, com seus sistemas de cobrança implantados e os valores tarifários definidos, de forma a garantir ressarcimento à Operadora Federal, os custos operacionais relativos ao atendimento das vazões demandadas.

PALAVRAS-CHAVE: Transposição, outorga de uso da água, custos operacionais.

ABSTRACT: These are analyses of the impacts resulting from the contribution of the flow of the Eastern Axis of the São Francisco river basin and Northern Northeast river basins Integration Project (PISF) on the availability of the Acauã-Araçagi channel and estimates of the water tariffs to be charged to users of this adductor system. The channel is designed in concrete, trapezoidal section and capacity for maximum flow of 10 m³/s. It starts in the Acauã reservoir, on the low course of the Paraíba River, extending for 112 km to the Araçagi River. In this paper, simulations were performed using the ModSIM P32 model to evaluate the water availability for the canal, in the scenarios without and with of the water of the São Francisco river. In the scenario with transposition, an initial water contribution of the project of 0.5 m³/s was considered, with an annual increase of the same value, up to the limit of the firm flow rate of 4.2 m³/s established for the said axis. The impacts on the values of the Average Water Costs and Water Tariffs were analyzed for the situations demands for the channel of 0.2 m³/s and 0.5 m³/s, through calculations of the Valor Presente Líquido (LPV) applied for a return rate of 12% a.a. and project horizon of 30 years. The variation in operating costs and water tariffs, due to the flows inducted, showed the importance of prior planning of the demands that will be required by the states benefited by the PISF. These states must be, until the system has come into operation, with their operating entities of their installed and operating water infrastructures, with their collection systems deployed and the tariff values defined, in order to guarantee reimbursement to the Federal Operator, the operational costs related to meeting the required flows.

KEYWORDS: Transposition, granting water use, operating costs.

INTRODUÇÃO

O Projeto de Integração de Águas do Rio São Francisco com Bacias do Nordeste Setentrional (PISF) prevê uma entrada de água, via leito natural do rio Paraíba até atingir o açude Poções no município de Monteiro. A adução terá uma parcela de 4,2 m³/s de vazão firme e 5,8 m³/s de vazão flutuante a ser disponibilizada, dependendo das condições hídricas do reservatório de Sobradinho. Dentre as regiões que serão beneficiadas pelo referido eixo, situam-se: o Cariri, o Curimataú e o Seridó, nas quais é observado o maior problema concernente ao abastecimento de água do Estado da Paraíba, e onde está inserido o município com menor índice pluviométrico do Brasil: Cabaceira, com uma média anual em torno de 300 mm.

A escassez de água é agravada pelo déficit crônico do balanço hídrico regional, que envolve a pluviometria e a evaporação. O clima tropical, com elevada temperatura e alta insolação, ocasiona taxa de evaporação de até 2.500 mm ao longo do ano, estabelecendo sempre a uma situação de escassez hídrica na região. O manejo das reservas hídricas é refém da incerteza quanto à afluência hídrica para o próximo período de chuva. Dessa maneira, a operação dos reservatórios é limitada em função da necessidade de se armazenar água como garantia para anos vindouros, quando poderá ou não haver uma

recarga hídrica.

No contexto de distribuição das águas transpostas pelo Eixo Leste do PISF no rio Paraíba, foi projetado o canal Acauã-Araçagi, partindo do reservatório Acauã, no baixo Curso do rio Paraíba, estendendo-se por 112 km estendendo-se até alcançar o reservatório Araçagi, na bacia do rio Mamanguape. Com capacidade para transportar até 10 m³/s tem por finalidades: abastecimento humano de 33 municípios situados na Zona da Mata e no Agreste paraibano, com população estimada em 590 mil habitantes e demanda de 0,938 m³/s estimada para 2035), dessedentação animal e irrigação de uma área potencial de 16 mil hectares.

Com objetivos de avaliar a sustentabilidade hídrica e de estimar as respectivas tarifas de água a serem cobradas aos usuários do canal adutor, com vista ao ressarcimento dos custos à Operadora Federal, foram realizadas simulações do sistema hídrico do rio Paraíba para os cenários sem e com incremento das vazões aduzidas pelo Eixo Leste/PISF, considerando duas situação de demandas hídricas a serem atendidas pelo referido canal.

O EIXO LESTE DO PISF

O Eixo Leste do Projeto de Integração do rio São Francisco com bacias do Nordeste Setentrional (PISF) inicia-se com a captação no reservatório de Itaparica, em Floresta, no estado de Pernambuco até desaguar no açude Poções, em Monteiro, no estado da Paraíba. A interligação do Eixo Leste do PISF com a Paraíba se dará através de uma derivação do reservatório Barro Branco (trecho V), passando pelo portal de entrega de água (PB01L), na divisa dos estados da Paraíba e Pernambuco, até desaguar no açude Poções, na bacia hidrográfica do rio Paraíba (Lima, 2011). Com extensão aproximada de 290 km, desnível geométrico de 304 m e capacidade para transportar a vazão máxima de 28 m³/s, tem como objetivo principal atendimento às demandas hídricas das bacias do rio Paraíba e dos rios Moxotó e Ipojuca, no estado de Pernambuco (FUNCATE, 2001). O eixo é composto por: 13 barragens, 211 km de segmentos de canal em concreto, seção trapezoidal, 2,5 km de aquedutos e 22,5 km de túnel (figura 1).

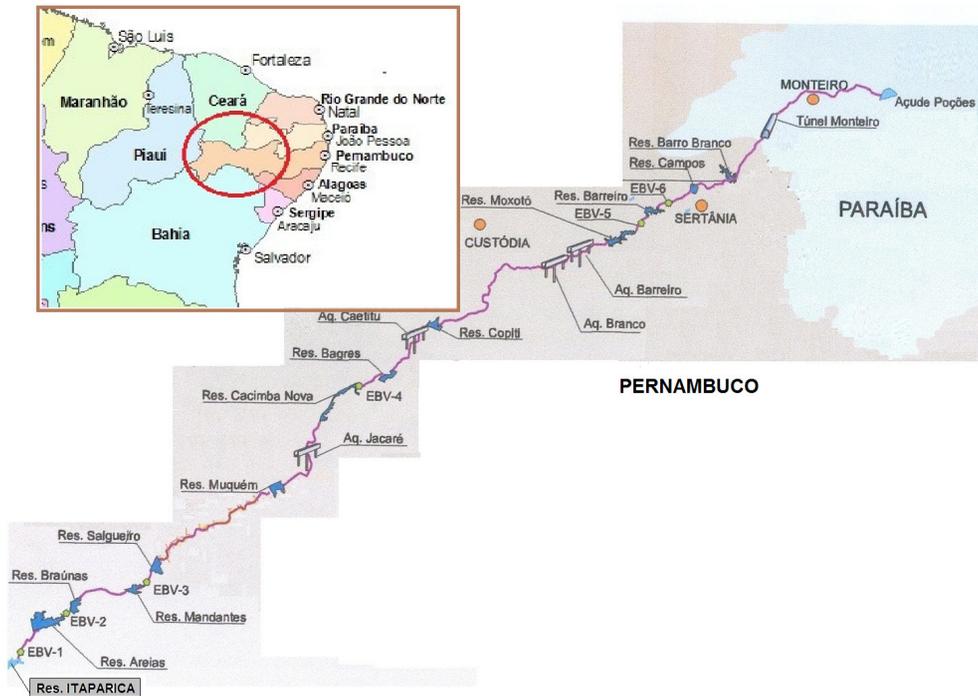


Figura 1 – Integração do Eixo Leste/PISF com o rio Paraíba

O SISTEMA HÍDRICO ESTUDADO

A Bacia do Rio Paraíba

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba, localizada ente as latitudes $6^{\circ}51'31''$ e $8^{\circ}26'21''$ Sul e as longitudes $34^{\circ}48'35''$ e $37^{\circ}2'15''$ a Oeste de Greenwich é a segunda maior do Estado da Paraíba, abrangendo uma área de 20.071,82 Km², que representa 38% do território e uma população de 1.828.178 habitantes, correspondente a 52% da população total. Considerada uma das bacias mais importantes do semi-árido nordestino, ela é composta pela sub-bacia: Taperoá, Alto Paraíba, Médio Paraíba e Baixo Paraíba, a jusante do reservatório Acauã até sua foz no oceano Atlântico.

Em termos de climatologia, de acordo com a classificação de Köppen, a região do Alto Curso do Rio Paraíba possui clima do tipo BSw^{h'} (semi-árido quente) e do Baixo Curso do Rio Paraíba vigora o clima do tipo Aw' (úmido). A vegetação natural predominante é caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia na região do Alto e Médio cursos. Na região do Baixo Curso existem algumas áreas com a vegetação nativa da Mata Atlântica e ecossistemas associados. As precipitações médias anuais variam de 400 mm, na região do Alto Paraíba até 1700 mm na região do Baixo Paraíba. A evaporação média anual varia entre 1.300 mm e 2.500 mm. Os solos mais representativos são: Bruno não Cálcico, Litólico, Solonetz Solodizado, Regossolo e Cambissolo.

canal, por meio de entrega da vazão firme de 4,2 m³/s no reservatório Poções. A modelagem deste sistema hídrico está mostrado na Figura 3.

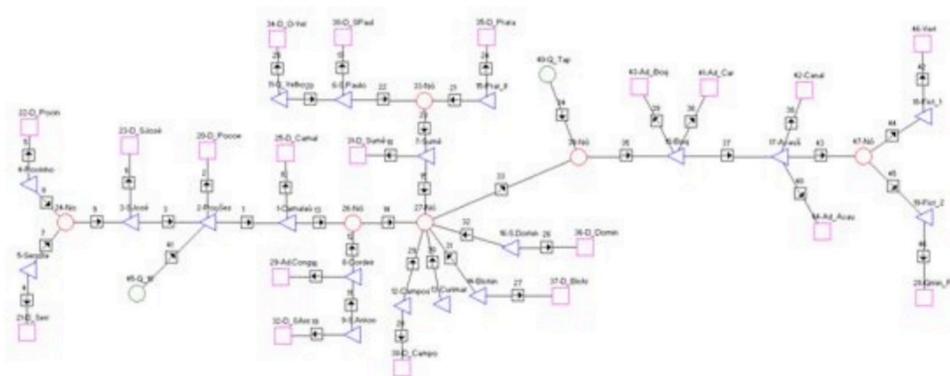


Figura 3 – Esquema para simulação do sistema hídrico do rio Paraíba

As estimativas dos custos da água decorrentes dos aportes hídricos para o canal adutor tiveram como referência os custos operacionais relativos à formulação do sistema tarifário do PISF (FGV, 2005), base para as emissões da Outorga de uso da água (ANA, 2005a) e do CERTOH do empreendimento (ANA, 2005b). As estimativas e suas implicações sobre as tarifas de água, a serem cobradas dos usuários do canal adutor, contemplaram os três conjuntos de valores dos custos operacionais: custos fixos, custos variáveis e BDI da Operadora Federal (Lima, 2013). As mesmas foram obtidos por meio do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL).

$$VPL = \sum [(REC - CO) / (1 + i)^n] \quad (1)$$

Em que:

- VPL – Valor Presente Líquido (US\$);
- REC – Receitas auferidas da cobrança pelo uso da água (US\$);
- CO – Custos operacionais envolvidos nos sistemas hídricos (US\$);
- i – Taxa de retorno (%); e
- n - Horizonte de projeto (anos)

Os Custos Médios da Água (CMA) foram definidos como a relação ente os custos totais operacionais do sistema hídrico estudado (PISF, sistema hídrico do rio Paraíba e canal Acauã/Araçagi) e as vazões disponibilizadas ao sistema hídrico estudado, mostrado na Figura 2. A Tarifa de Água (TA) foi definida como o menor valor para obtenção do VPL positivo, considerando o horizonte de projeto igual a 30 anos e taxa de retorno de 12% a.a.

Cenário sem a transposição (C1)

No cenário sem aporte hídrico, as simulações do sistema hídrico do rio Paraíba foram realizadas priorizando as demandas de abastecimento dos reservatórios integrantes do mesmo, inclusive, a vazão ecológica à jusante do reservatório Acauã, estabelecida em 0,5 m³/s. As vazões máximas disponibilizadas para o canal adutor foram obtidas por meio de simulações com a série de 56 anos de vazão pseudo-histórica. Não foram considerados aportes hídricos de outras sistemas para o canal. Para as estimativas das tarifas de água somente os custos de operação e de manutenção do canal foram analisadas, considerando uma taxa de incremento anual de 5%. O custo relativo à gestão a Operadora Estadual não foi considerado, pois a mesma não havia sido definida oficialmente.

Cenário com a transposição (C2)

No cenário com a transposição, as simulações do sistema hídrico estudado foram realizadas com periodicidade anual, considerando aportes hídricos do PISF, iniciando com a vazão de 0,5 m³/s e incremento anual de mesmo valor, até atingir a vazão firme a ser fornecida pelo Eixo Leste para a bacia do rio Paraíba, igual a 4,2 m³/s. Os valores das tarifas a serem praticados, para o ressarcimento dos custos à operadoras Federal, foram obtidos por meio do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL). Sobre os custos operacionais do canal adutor foram adicionados: os custos de operação e manutenção, gestão, outorga e energia, relativos as disponibilizações das vazões requeridas.

Para cada vazão disponibilizada pelo PISF ao sistema hídrico estudado foram obtidas as vazões máximas disponibilizadas pelo reservatório Acauã para o atendimento as demandas do canal Acauã-Araçagi. Nas simulações foram consideradas as perdas hídricas em trânsito, entre os reservatórios Poções (entrada da vazão transposta) e Acauã (tomada d'água do canal adutor), para obtenção das respectivas vazões a serem bombeadas pelo projeto.

Os custos relativos a demanda e ao consumo de energia foram obtidos considerando o bombeamento de 21 horas, em dias úteis, e de 24 horas nos finais de semana e feriados, utilizando-se as tarifas “fora de ponta”. Os valores praticados neste estudo foram: 3.25 US\$/Kw e 73.63 US\$/Mwh, para as tarifas de demanda e consumo, respectivamente.

Os custos relativos ao processo de disponibilização das vazões do Eixo Leste para o sistema estudado foram repassados para o cálculo das tarifas de água para o canal adutor, proporcionalmente ao ganho de vazão, conforme apresentado na Equação 2.

$$CEC = (GCQ_{disp} / QP_{disp}) \times CTE \quad (2)$$

Em que:

CEC – Custo relativo ao consumo de energia para o canal;

GCQ_{disp} – Ganho de vazão para o canal, com e sem o aporte hídrico da transposição;

QP_{disp} – Vazão disponibilizada pelo PISF para o sistema hídrico do rio Paraíba; e
CTE – Custo total de energia para bombeamento da Q_{firme} do PISF para o sistema

PB.

Neste estudo, o custo relativo à outorga foi obtido proporcionalmente à vazão firme máxima a ser disponibilizada para o estado da Paraíba, cujo valor definido para o Eixo Leste/PISF foi de US\$ 1,107.87 por ano. Para ambos os cenários, também foram realizadas simulações considerando a situação de aumento da demanda de 0,2 m³/s (S1) para 0,5 m³/s (S2), com incrementos anuais de mesmos valores. Foram realizadas análises dos impactos sobre os custos médios da água e sobre a tarifa de água a ser praticada aos usuários do canal adutor para as duas situações de demanda.

ANÁLISES DOS RESULTADOS

No cenário sem a transposição (C1), a vazão máxima disponibilizada pelo reservatório Acauã para o canal adutor foi de 0,95 m³/s, que corresponde à vazão regularizada com 100% de garantia. No Quadro 1 estão os valores obtidos dos Custos Médios da Água (CMA), das Tarifas de Água (TA) e os horizontes de atendimento das demandas pelo canal, nas duas situações estudadas. Na situação de demanda S1, o horizonte de atendimento foi de 2 anos e a tarifa de água foi inferior em 0.007 US\$/m³ (18,5%), em relação a situação S2, cujo horizonte obtido foi de 5 anos. Este resultado mostra que, neste cenário, quanto mais rápida for utilizada a vazão disponibilizada pelo reservatório Acauã para o canal adutor, menor será o valor da tarifa de água. Este fato é decorrente das maiores receitas auferidas com a cobrança da água, devido a vazão ser consumida no menor horizonte de atendimento a demanda.

Demanda (canal)	Vazão (m ³ /s)	Valores (US\$/m ³)		Horizonte (Ano)
		CMA	TA	
S1	0,20	0.0385	0.0376	5
S2	0,50	0.0385	0.0306	2

Quadro 1. Custo Média da Água e Tarifas de Água para as situações de demandas S1 e S2

No Quadro 2 estão mostrados os custos operacionais envolvidos na disponibilização dos aporte hídricos do PISF ao sistema estudado, envolvidos nas análises dos impactos sobre os valores dos custos médios da água e da tarifa de água, para as duas situações de demanda no cenário com a transposição (C2).

Item dos custos	Custos operacionais médios anuais			
	S1 (mi US\$)	S1 (%)	S2 (mi US\$)	S2 (%)
Operação e manutenção (canal Acauã-Araçagi)	1.153	15,7%	1.153	9,6%
Operação e manutenção (reservatórios-PB)	0.045	0,6%	0.064	0,5%
Operação e manutenção (infraestrutura-PISF)	1.967	26,7%	2.802	23,2%
Gestão (PISF)	0.047	0,6%	0.080	0,7%
Demanda de energia	0.218	3,0%	0.369	3,1%
BDI da Operadora Federal	0.335	4,5%	0.487	4,0%
Outorga de uso da água	0.206	2,8%	0.350	2,9%
Consumo de energia	3.032	41,2%	6.028	50,0%
Taxa da Operadora Federal	0.364	4,9%	0.723	6,0%
Total	7.367	100,0%	12,057	100,0%

Quadro 2. Custos operacionais anuais da infraestrutura do sistema hídrico para as situações de demandas S1 e S2.

Os dados mostram que os maiores custos operacionais da infraestrutura dos sistemas hídricos envolvidos no estudo estão relacionados ao consumo de energia, com valores anuais de 3.032 milhões de dólares e de 6.028 milhões de dólares, correspondente aos percentuais 41,2% e de 50% dos custos totais, para as situações de demandas S1 e S2, respectivamente.

Para as vazões disponibilizadas pelo PISF, variando de 0,5 m³/s, com incremento anual de mesmo valor até a vazão firme de 4,2 m³/s, foram obtidos os valores dos Custos Médios da Água (CMA) e das Tarifas de Água (TA) correspondentes a situação de demanda do canal S1 (0,20 m³/s). Os valores estão apresentados no Quadro 3.

Os custos médios da água diminuíram e as tarifas de água aumentaram com os acréscimos das vazões disponibilizadas pelo PISF. Até a vazão disponibilizada pelo projeto de 1,5 m³/s, os valores das tarifas de água foram inferiores aos custos médios da água. Para a vazão disponibilizada igual a 2,0 m³/s, o custo médio da água e da tarifa de água apresentaram a menor diferença de valores, igual a US\$ 0.003. Também se observa que, para a referida vazão, os valores CMA e TA, bem como a relação entre custo de bombeamento e os custos operacionais, foram os que mais se aproximaram dos valores médios da série de vazão disponibilizada pelo projeto. Este fato pode ser indicativo de que a partir desta vazão, os custos relacionados ao consumo de energia (Quadro 2) passaram a ser preponderantes sobre os demais custos operacionais do sistema hídrico estudado.

Vazão disponibil. (m³/s)		Ganho Q _{disp} (m³/s)		Volume disponibil.	Custo total	CMA	Tarifa	(C.bomb. / C.total)
PISF	Canal	(Canal – PISF)	Canal	(Hm³)	(mi US\$/ano)	(US\$/m³)	(US\$/m³)	(%)
0,50	1,31	0,36	---	14,418	2.826	0.196	0.064	22,4
1,00	1,45	0,50	0,14	28,836	3.779	0.131	0.078	31,9
1,50	1,61	0,66	0,16	43,254	4.927	0.114	0.094	39,0
2,00	1,78	0,83	0,17	57,672	6.201	0.108	0.111	44,1
2,50	1,92	0,97	0,14	72,090	7.395	0.103	0.125	48,2
3,00	2,01	1,06	0,09	86,508	8.396	0.097	0.140	51,8
3,50	2,14	1,19	0,13	100,926	9.624	0.095	0.156	54,5
4,20	2,42	1,47	0,28	121,111	11.861	0.098	0.181	56,8
Média						0.118	0.119	43,6

Quadro 3. Vazões disponibilizadas pelo PISF e respectivos CMA e TA para situação (S1)

Neste cenário foram também analisados, para cada aporte hídrico do PISF, os aumentos dos valores das tarifas de água e dos custos relativos aos ganhos de vazão disponibilizada pelo canal adutor, na situação de demanda S1. Os resultados no quadro 4 mostram que, para o incremento de 1 m³/s na vazão disponibilizada do canal adutor custará aproximadamente 7.920 mi US\$ por ano. Para o bombeamento da vazão firme estabelecida para o Eixo Leste (4,2 m³/s), que proporcionará ao referido canal adutor um ganho de vazão de 1,47 m³/s, custará anualmente o valor de 11.861 mi US\$, não incluídos os custos relativos aos serviços da Operadora Estadual. Observa-se ainda que, para a vazão disponibilizada pelo PISF de 2,5 m³/s, a relação custos operacionais totais e ganho de vazão disponibilizada apresentou o valor mais próximo da média da série de vazão, igual a 7.623 mi US\$ por ano.

Q _{disp} PISF	Ganho Q _{disp}	Custos Totais	Custos/Ganho (Q _{disp})	Valor da tarifa (S1)	Aumento da tarifa		Tarifa (C2-C1)
(m³/s)	(m³/s)	(mi US\$/m³/s)	(mi US\$ ano / m³/s)	(US\$/m³)	(US\$/m³)	(%)	(US\$/m³)
0,5	0,36	2.826	7.850	0.064	---	---	0.026
1,0	0,50	3.779	7.559	0.078	0.015	22,8	0.041
1,5	0,66	4.927	7.465	0.094	0.016	20,6	0.057
2,0	0,83	6.201	7.471	0.111	0.017	17,8	0.074
2,5	0,97	7.395	7.623	0.125	0.014	12,4	0.087
3,0	1,06	8.396	7.921	0.140	0.015	12,3	0.103
3,5	1,19	9.624	8.087	0.156	0.015	10,8	0.118
4,2	1,47	11.861	8.068	0.181	0.025	16,1	0.143

Média	6.876	7.755	0.119	0.017	16,1	0.081
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-------------	--------------

Quadro 4. Valores das tarifas e dos custos unitários da vazão disponibilizada pelo canal

O menor aumento do valor da tarifa, em termos absolutos, foi observado quando se aumentou a vazão disponibilizada de 2,0 m³/s para 2,5 m³/s, com o valor igual a 0.014 US\$/m³. Entretanto, em termos percentuais, a menor variação foi observada entre as vazões disponibilizadas: 3,0 m³/s e 3,5 m³/s, com valor igual a 10,8%. Em termos de valores médios, correspondentes ao aumento da tarifa de água para o canal, observa-se que o valor absoluto obtido para a vazão disponibilizada de 2,0 m³/s se aproxima da média e, o valor médio percentual de aumento da tarifa (16,1%) foi observado para a vazão 4,2 m³/s, que corresponde a máxima disponibilizada pelo Eixo Leste do PISF.

No Quadro 5 estão apresentados os valores obtidos para os Custo Média da Água (CMA), para as Tarifas de Água (TA), os respectivos horizontes de atendimento para as duas situações de demandas do canal Acauã-Araçagi, no cenário com a transposição (C2).

Demanda (canal)	Vazão (m ³ /s)	Valores (US\$/m ³)		Horizonte (Ano)
		CMA	TA	
S1	0,20	0.0979	0.1806	13
S2	0,50	0.0995	0.1152	5

Quadro 5. Custo Média da Água e Tarifas de Água para as situações de demandas S1 e S2

Os resultados mostram que o aumento da vazão do canal em 0,30 m³/s, na situação de demanda S2, causou um acréscimo de 1,6% no valor dos Custos Médios da Água, e um decréscimo de US\$ 0.0655 (36%) no valor da Tarifa de Água, em relação a situação de demanda S1. Outra observação importante, refere-se a diferença significativa entre os valores da TA e dos CMA, na medida em que maiores vazões foram disponibilizadas pelo PISF para o canal adutor. Este fato é decorrente das próprias definições destes parâmetros. Enquanto o valor dos CMA está associado aos custos operacionais e aos volumes a serem disponibilizados pelo projeto, a TA está relacionada aos custos operacionais do projeto e das infraestruturas hídricas internas dos estados beneficiados pelo projeto, no caso, o Estado da Paraíba. Neste cenário, assim como observado no cenário sem a transposição (C1), os resultados mostraram que menores valores da Tarifa de Água (TA) foram obtidos para menor horizonte de atendimento as demandas do canal Acauã-Araçagi. No sistema estudado, redução do horizonte de 13 anos para 5 anos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No cenário sem transposição (C1), as disponibilidades hídricas do canal, a partir

da vazão regularizada do açude Acauã, não teve grandes impactos sobre os valores dos CMA e das TA, os quais se mantiveram muito próximos. Este fato está associado aos menores horizontes de atendimento as demandas do canal adutor e, principalmente, por não incluírem os custos de energia para o bombeamento das vazões do PISF. No cenário com aporte hídrico do PISF (C2), os resultados mostram que, para o incremento de 1 m³/s na vazão disponibilizada pelo canal adutor custará aproximadamente 7.920 mi US\$ por ano. A vazão firme estabelecida para o Eixo Leste (4,2 m³/s), que proporcionará ao canal adutor um ganho de vazão de 1,47 m³/s, custará anualmente o valor de 11.861 mi US\$, não incluídos os custos relativos à gestão da infraestrutura hídrica pela Operadora Estadual. Neste cenário, os valores dos CMA e da TA foram próximos na média da série de vazões disponibilizadas pelo Eixo Leste do PISF. Nos dois cenários estudados, os resultados mostraram que quanto mais rápida for utilizada a vazão disponibilizada pelo projeto ao canal adutor, menor será o valor da Tarifa de Água. Este fato é decorrente das maiores receitas auferidas com a cobrança da água, devido a vazão ser consumida no menor horizonte de atendimento à demanda. A variação dos valores das Tarifas de Água, em função das vazões aduzidas do PISF, mostrou a importância de um planejamento prévio das demandas que serão requeridas por parte dos estados beneficiados pelo projeto. Neste estudo, ressalta-se a importância de que, até a entrada em operação do canal adutor, o Estado da Paraíba deve estar com suas entidades operadoras de suas infraestruturas hídricas instaladas e operantes, com seus sistemas de cobrança implantados e com os valores tarifários definidos, de forma a garantir o ressarcimento à Operadora Federal, os custos operacionais relativos ao atendimento das vazões demandadas do projeto.

REFERÊNCIAS

ANA (2005a). Agência Nacional de Águas. Resolução nº 411, de 22 de setembro de 2005. Brasília – DF. Brasil.

ANA (2005b). Agência Nacional de Águas. Resolução nº 412, de 22 de setembro de 2005. Brasília – DF. Brasil.

LABADIE, J. W. et al. (1989). MODSIM: *Modelo de Rede de Fluxo para Simulação de Bacias Hidrográficas*. São Paulo, LabSid – EP-USP, São Paulo-SP.

LIMA, C. A. G (2011). “Plano para a integração do Eixo Leste do Projeto São Francisco com Bacias do Estado da Paraíba”, Maceió - AL, Nov. 2011.

Lima, C.A.G (2013). “Modelo de Gestão para o Projeto de Integração do Rio São Francisco e os Custos Médios da Água. Estudo de Caso: Eixo Leste”, Bento Gonçalves - RS, Nov. 2013.

FGV (2005). Fundação Getúlio Vargas. Revisão e Atualização dos Estudos de Rateio dos Custos Operacionais do Projeto de integração da Bacia do Rio São Francisco (PISF) entre os Estados Receptores. Relatório 2, Versão Final. Brasília, DF. Brasil.

FUNCATE (2001). Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais. Projeto de Transposição de Águas do rio São Francisco Para o Nordeste Setentrional; Trecho V – Eixo Leste. R1 - Descrição do Projeto. São José dos Campos – SP, 53p.

A

- Absorbância 56, 57, 61
Adsorção 53, 54, 57, 58, 62, 63
Adsorvente 2, 51, 53, 54, 55, 57, 58, 59
Afluência hídrica 39
Água potável 31, 32, 33, 35, 36, 37
Águas atmosféricas 32
Águas meteóricas 31, 32, 34, 36
Águas pluviais 31, 34, 36
Água tratada 31, 32, 33, 34, 36
Analito 54
Argila 2, 51, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 62
Arsênio 2, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63

B

- Bacia do Rio Paraíba 41
Barragens 2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 40

C

- Cloração 35
Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) 3, 7

D

- Desinfecção 34, 35
Dessorção 51, 57, 58, 59

E

- Ecosistema aquático 51
Entropia M 2, 13
Escassez hídrica 39
Espectrometria de Absorção Atômica por Chama com Geração de Hidretos (HG-AAS) 55
Estações fluviométricas 14, 15, 16, 17

F

- Fundo de Emergência Internacional das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) 33

I

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) 33

Índice de Segurança de Barragens (ISB) 4, 10, 11

Índice de Sustentabilidade Ambiental de Segurança de Barragens (ISASB) 4

J

Jusante 1, 4, 9, 11, 24, 41, 44

L

Lâmpada de catodo oco 55

M

Mananciais 32

Medição de vazão 13, 15, 16, 17, 28, 30

Micro-organismos 35

Montante 2, 4, 8, 9, 10, 24

O

Organização das Nações Unidas (ONU) 33

Organização Mundial da Saúde (OMS) 32, 33, 53

P

Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler (ADCP) 2

Plano de Ação de Emergência 2, 8

Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) 1, 2, 7, 11

Projeto de Integração do rio São Francisco 2, 38

R

Recursos hídricos 1, 2, 1, 3, 7, 8, 11, 12, 13, 29, 30, 42, 52, 62

Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) 2, 13, 14

Remediação 51, 53, 65

S

Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) 2

Sistema público de abastecimento de água 35

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br