

## VIABILIDADE ECONÔMICA DA ADUÇÃO SUBAQUÁTICA DE RIOS EM AMBIENTES COSTEIROS SEMI-ÁRIDOS: ESTUDOS DE CASO

DANIEL ALBIERO<sup>1</sup>, MARCO ANTÔNIO DOMINGUES DA SILVA<sup>2</sup>, RAFAELA PAULA MELO<sup>3</sup>,  
ANGEL PONTIN GARCIA<sup>4</sup>, LEONARDO DE ALMEIDA MONTEIRO<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Professor em Engenharia Agrícola, DENA-CCA-UFC, 085 3366 9763, [daniel.albiero@gmail.com](mailto:daniel.albiero@gmail.com)

<sup>2</sup> Bacharel em Ciências Náuticas, MACAPA PILOTS, 085 3366 9763, [domingues83@hotmail.com](mailto:domingues83@hotmail.com)

<sup>3</sup> Professora em Engenharia Agrícola, DDR-UNILAB, 085 3366 9763, [rafinha2708@gmail.com](mailto:rafinha2708@gmail.com)

<sup>4</sup> Professor em Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP, 085 3366 9763, [angel.garcia@feagri.unicamp.br](mailto:angel.garcia@feagri.unicamp.br)

<sup>5</sup> Professor em Engenharia Agrícola, DENA-CCA-UFC, 085 3366 9763, [aiveca@ufc.br](mailto:aiveca@ufc.br)

Apresentado no  
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018  
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** O fornecimento de água bruta para os habitantes das metrópoles não é um problema trivial, envolve muitos desafios, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade desta água. Quando estas metrópoles estão localizadas na região semi-árida, esse desafio leva proporções enormes e em muitas situações, não há soluções sustentáveis, especialmente nos tempos de mudança climática global. Uma hipótese para tentar mitigar esse problema nas cidades costeiras é a adução submarina dos rios. O objetivo deste trabalho é propor a realização da captação de água potável na foz dos grandes rios, perto das regiões semi-áridas. Esta água seria conduzida por uma tubulação que ficaria abaixo do nível da água e seguiria a rota do litoral, a energia para mover a água seria fornecida pela bomba hidráulica axial embutida na tubulação por motores elétricos refrigerados a água impulsionados pela energia gerada a partir de turbinas eólicas no exterior. Foram feitas estimativas para a quarta metrópolis em regiões semi-áridas: Fortaleza-Brasil, Dalian-China, Tel Aviv-Israel e Gaza-Palestina, foi possível calcular a viabilidade econômica através do Valor Presente, taxa interna de retorno e retorno. Este documento demonstrou que a gestão do abastecimento de água para consumo humano através da adução submarina de rios pode ser alcançada com depuração real de qualquer déficit no volume de água que, devido à mudança climática global, está se tornando mais freqüente.

**PALAVRAS-CHAVE:** suprimento de água, região semiárida, dimensionamento tubulação

### ECONOMIC FEASIBILITY OF UNDERWATER ADDUCTION OF RIVERS IN SEMIARID COASTAL ENVIRONMENTS: CASE STUDIES

**ABSTRACT:** The supply of raw water to the inhabitants of metropolises is not a trivial problem, involves many challenges, both in terms of quantity and quality of this water. When these metropolises are located in region semiarid this challenge takes enormous proportions and in many situations, there are not sustainable solutions, especially in global climate change times. One hypothesis to try to mitigate this problem in coastal cities is underwater adduction of rivers. The objective this paper is propose to make the abstraction of drinking water in the mouths of great rivers near the semi-arid regions. This water would be led by a pipeline that would be below water level and would follow the route of the seacoast, the energy to move the water would be supplied by axial hydraulic pump embedded in the pipeline by water-cooled electric motors driven by the energy generated from wind turbines offshore. Estimates have been made for the fourth metropolises in semi-arid regions: Fortaleza-Brazil, Dalian-China, Tel Aviv-Israel, and Gaza-Palestine, it was possible to calculate economic viability through the Present Worth Value, internal rate of return and payback. This paper proved that the management of the water supply for human consumption through underwater adduction of rivers can be achieved with real clearance for any deficits in the volume of water that due to global climate change are becoming more frequent.

**KEYWORDS:** water supply, semiarid region, dimensioning pipeline.

## INTRODUÇÃO:

Um grande problema para as populações humanas em ambientes semiáridos é a escassez de água para consumo doméstico. Em média uma pessoa precisa de 200 litros de água (Heller e Pádua, 2006) por dia para satisfazer suas necessidades básicas (alimentação e bebida). Este volume de água por pessoa representa grande dificuldade para ser obtido em ambientes onde a média de precipitação anual é baixa, menor do que 800 mm, valor que caracteriza o ambiente semiárido (MI, 2005). Esta dificuldade é ainda mais premente, quando se considera que os cursos d'água que existem nestes ambientes não são permanentes, mas passam por períodos sem fluxo e que a probabilidade de ocorrência de um período de seca é maior do que 60% (MI, 2005).

Basicamente, o funcionamento de um sistema de abastecimento de água consiste da captação de água de mananciais, tratamento da água em Estações de Tratamento de Água, armazenamento e distribuição ao consumidor. Há casos em que a água captada não necessita de tratamento, (Soler et al., 2015). Este sistema de suprimento de água é muito sensível às mudanças climáticas que estão aumentando a frequência e a severidade de eventos extremos, tais como secas, ciclones, chuva muito intensa, enchentes, ondas de calor, extremo frio e incêndios, todos estes efeitos podem potencialmente impactar na qualidade das águas, afetando principalmente a captação da água, o desempenho dos sistemas de tratamento e a quantidade de água armazenada nos reservatórios (Khan et al., 2015).

Na tentativa de contribuir com uma proposta inovadora, este trabalho propõe como solução para o abastecimento de água de metrópoles em ambientes costais semiárido: a adução subaquática de rios. A idéia é fazer a captação de água potável na foz de grandes rios próximos as regiões semiáridas, esta água seria conduzida por uma adutora que ficaria abaixo do nível d'água e acompanharia o traçado da costa marinha, a energia para mover a água seria fornecida por bombas hidráulica axiais embutidas na adutora, sendo potenciadas por motores elétricos refrigerados a água, com fonte de energia proveniente de turbinas eólicas off-shore.

## MATERIAL E MÉTODOS:

Foram escolhidas quatro regiões metropolitanas para se estimar a viabilidade do sistema proposto: Fortaleza – Brasil; Tel Aviv/Gaza – Israel/Palestina e Dalian - China. Os rios utilizados como fonte de água potável foram o Parnaíba no Brasil; o Nilo no Egito e o Huanghe na China. Todas as captações foram alocadas na foz dos respectivos rios. Os dados das regiões metropolitanas são apresentados na Tabela 1 e as características dos rios na Tabela 2.

Tabela 1. Regiões Metropolitanas escolhidas.

Nome da Metrópole	Número de Municípios	Área (km <sup>2</sup> )	Número de Habitantes (mil pessoas)	Demanda de Água* (m <sup>3</sup> /s)
Fortaleza <sup>a</sup>	19	7,440	3,985	9.34
Tel Aviv <sup>b</sup>	254	1,516	3,713	8.59
Gaza <sup>c</sup>	5	365	1,850	4.28
Dalian <sup>d</sup>	10	12,584	5,943	13.75

<sup>a</sup> IPECE (2016);

<sup>b</sup> CBS (2016);

<sup>c</sup> PCBS (2016);

<sup>d</sup> DMBS (2016).

\*Considerando consumo de 0,2 m<sup>3</sup>/pessoa/dia (Heller and Padua, 2006).

Tabela 2. Características dos Rios escolhidos.

Nome do Rio	Velocidade da Corrente* (m/s)	Sólidos Suspensos <sup>#</sup> (g/L)	Turbidez (max-min) <sup>&amp;</sup> (NTU)	Vazão Média <sup>%</sup> (m <sup>3</sup> /s)
Parnaíba <sup>1</sup>	1.00	0.34	(150-5)	763
Nilo <sup>2</sup>	1.48	1.80	(100-20)	2,830
Huanghe <sup>3</sup>	2.20	3.34	(200-150)	1,997

O diagrama esquemático da linha de adução subaquática para a metrópole de Fortaleza-Brasil é apresentado na Figura 9.

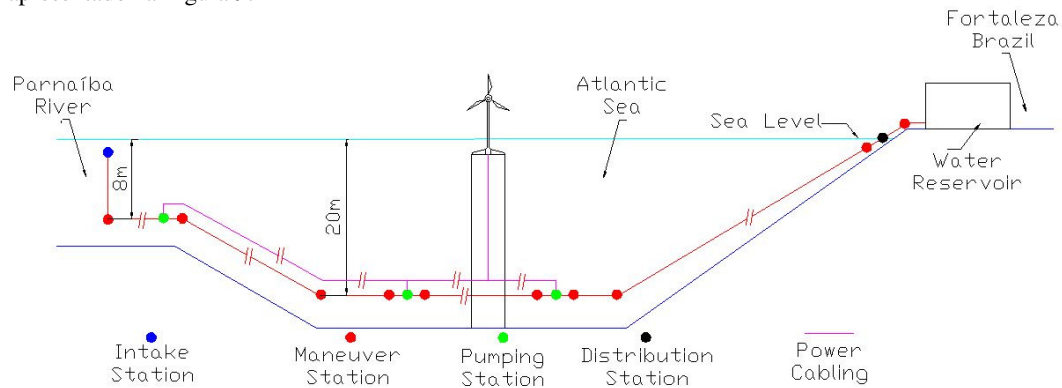


FIGURA 1. Diagrama esquemático da adutora subaquática para Fortaleza-Brasil.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema foi dimensionado e projeto, os dados de custo foram encontrados na literatura e no mercado. Com estes encaminhamentos foi conceituado o sistema e realizada a estimativa econômica.

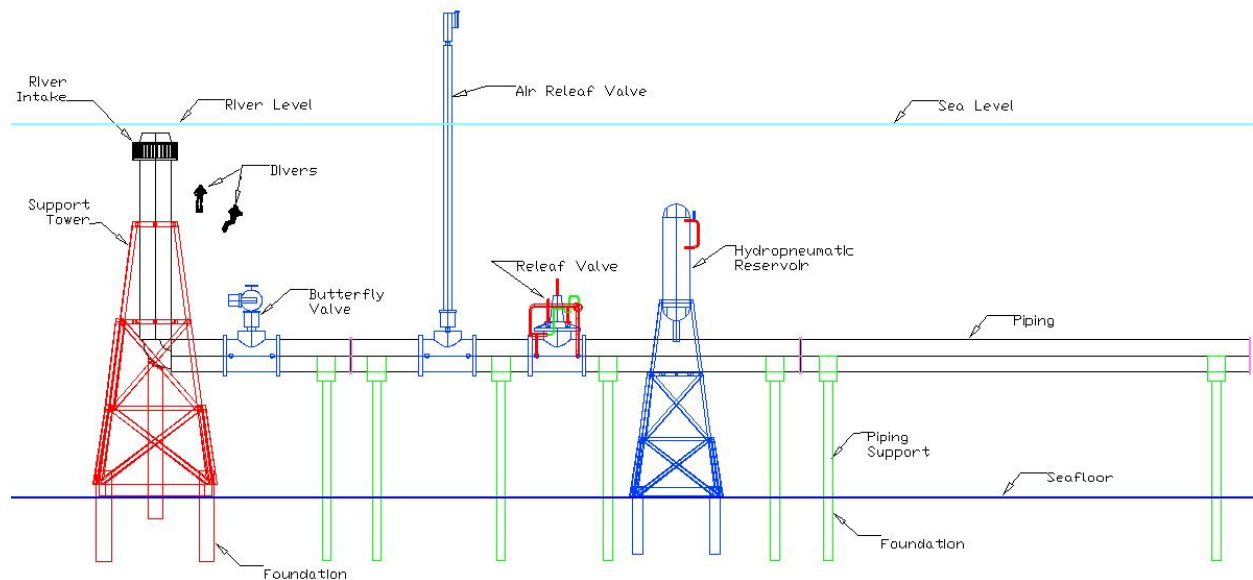


FIGURA 2. Estação de admissão do sistema de adução subaquático.

TABELA 1. Avaliação da Viabilidade Econômica para as adutoras.

Adutora	Custo Investimento (US\$)	Custo Manutenção Anual (US\$)	Vida Útil (anos)	Consumo de Água Anual (m <sup>3</sup> )	Valor Água Bruta Anual (US\$)	Depreciação anual (US\$)	Mínimum Attractive Rate Return (%)	Taxa Interna Retorno (%)	Valor Presente Líquido (US\$)	Payback (anos)
Parnaíba/Fortaleza	195,161,081.00	325,268.46	30	293,284,800	10,429,207.49	6,505,369.00	10.4	-	-162,337,828.67	54,23
Nile/Tel Aviv-Gaza	222,434,456.80	370,724.10	30	405,868,320	142,053,912.00	7,414,482.00	10.4	60.36	1,002,256,464.22	1.65
Huanghe/Dalian	173,899,040.40	289,831.10	30	433,620,000	34,255,980.00	5,579,635.00	10.4	16.01	83,040,559.03	6.17

A proposta das adutoras subaquáticas de rios possibilita uma nova ferramenta para os sistemas gerenciamento ambiental de abastecimento de água. Segundo EPA (2016) an environmental management system (EMS) is a set of processes and practices that enable an organization to reduce its environmental impacts and increase its operating efficiency. O projeto completo pode ser acessado em Albiero et al. (2018).

## **CONCLUSÕES:**

As adutoras subaquáticas de rios possibilitam uma nova forma de lutar contra as adversidades naturais das secas nas regiões metropolitanas em ambientes semiáridos. Os processos e práticas a elas atrelados podem diminuir ou até eliminar a vulnerabilidade das populações destas metrópoles em relação a falta d'água. Assim o gerenciamento do abastecimento de água para consumo humano pode ser realizado com substancial folga para eventuais déficits em volume d'água que devido as mudanças climática mundiais são cada vez mais frequentes.

## **REFERÊNCIAS:**

ALBIERO, D.; DOMINGUES DA SILVA, M.A.; MELO, R.P.; PONTIN GARCIA, A.; CASTRO PRACIANO, A.; BELEM FERNANDES, F.R.; DE ALMEIDA MONTEIRO, L.; CHIODEROLI, C.A.; OLIVEIRA DA SILVA, A.; DELFINO BARBOSA FILHO, J.A. Economic Feasibility of Underwater Adduction of Rivers for Metropolises in Semiarid Coastal Environments: Case Studies. *Water* **2018**, *10*, 215.

CBS-Central Bureau of Statistics, 2016. Society and Population. <http://www.cbs.gov.il/>

DMBS-Dalian Municipal Bureau of Statistics.Dalian, 2016. Statistics. <http://www.stats.dl.gov.cn>

HELLER, L., PÁDUA, L., 2006. Abastecimentos de água para consumo humano. Editora da UFMG, Belo Horizonte, Brazil.

EPA, 2016. Environment Management System. <https://www.epa.gov/ems>.

IPECE-Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2016. Anuário Estatístico do Ceará. <http://www.ipece.ce.gov.br/>

KHAN, S. J., DEERE, D., LEUSCH, F. D. L., HUMPAGE, A., JENKINS, M., CUNLIFFE, D., 2015. Extreme weather events: Should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles? *Water Research*. 85, 124-134.

MI-MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL E DO MEIO AMBIENTE, 2005. Nova delimitação do semiárido brasileiro. <http://www.mi.gov.br>

SOLER, M., TOLEDO, F. M. B., SANTOS, M. O., ARENALES, M. N., 2015. Otimização dos custos de energia elétrica na programação da captação, armazenamento e distribuição de água. *Production*. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.146113>.