



**Grupo de Estudo de Geração Térmica-GGT**

**ENERGIA TÉRMICA OCEÂNICA - A POSSIBILIDADE DE GERAR ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO GRADIENTE TÉRMICO DO MAR NA COSTA CEARENSE**

**DIEGO PINHEIRO DE ALMEIDA(1);  
EPE(1);**

**RESUMO**

Este trabalho examina a possibilidade de geração de energia elétrica a partir da energia térmica dos oceanos disponível na termoclina da costa cearense. Foi definida a região de interesse, levantados os dados batimétricos da região e histórico de temperaturas a diferentes profundidades. A partir desses dados elaborou-se o gradiente térmico marinho dos pontos disponíveis e em especial da região com profundidade de 1.000 m, e, tendo esses parâmetros como dados de entrada simulou-se a geração energética líquida de uma usina termoclina, ou OTEC, para duas vazões de captação de água quente. Os resultados indicam a aptidão desse trecho da costa brasileira para geração termoclina.

**Palavras-Chave:** Energia dos oceanos, termoclina, gradiente térmico, conversão de energia térmica dos oceanos, Ceará, potencial energético marinho brasileiro.

**1. Introdução**

A possibilidade de gerar energia elétrica a partir do gradiente térmico do mar, em inglês *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC)<sup>1</sup>, foi fisicamente demonstrada pelo engenheiro Georges Claude nos anos 30 do século XX quando implementou uma pequena usina experimental em Cuba. O requisito fundamental para a realização termodinâmica é a diferença térmica ao redor de 20° C entre temperaturas de água quente e de água fria, desigualdade que se manifesta conforme profundidade marinha. Realizou-se uma primeira avaliação da existência do potencial da energia termoclina na zona econômica exclusiva da costa cearense, considerando a batimetria de alto mar e a disponibilidade térmica.

**2. Materiais e Métodos**

Para realizar este trabalho, além do material técnico-científico que fundamenta a conversão térmica da energia dos oceanos, foi necessária a colheita de material técnico relativo à batimetria submarina e coleta de dados de longo prazo de temperatura de águas marítimas a diferentes.

**3. Área de Estudos e seleção do trecho da costa Cearense**

**a. Área de Interesse Geral**

---

<sup>1</sup> Conversão da energia térmica do oceano (livre tradução).

A área de interesse para avaliação do potencial de energia termoclina seguiu aquela definida na Zona Econômica Exclusiva, conforme a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, celebrada em Montego Bay, Jamaica, em 1982: faixa que se estende das doze às duzentas milhas marítimas, contadas a partir das linhas de base que servem para medir a largura do mar territorial.

### b. Dados de Temperatura da costa brasileira

As primeiras informações sobre áreas propícias de geração de energia termoclina podem ser obtidas no Atlas Costeiro do IBGE (2011), cujas figuras 1 e 2, mostram a costa norte-nordeste marítima brasileira como propícia para exploração da energia Termoclina devido a alta temperatura de suas águas superficiais.

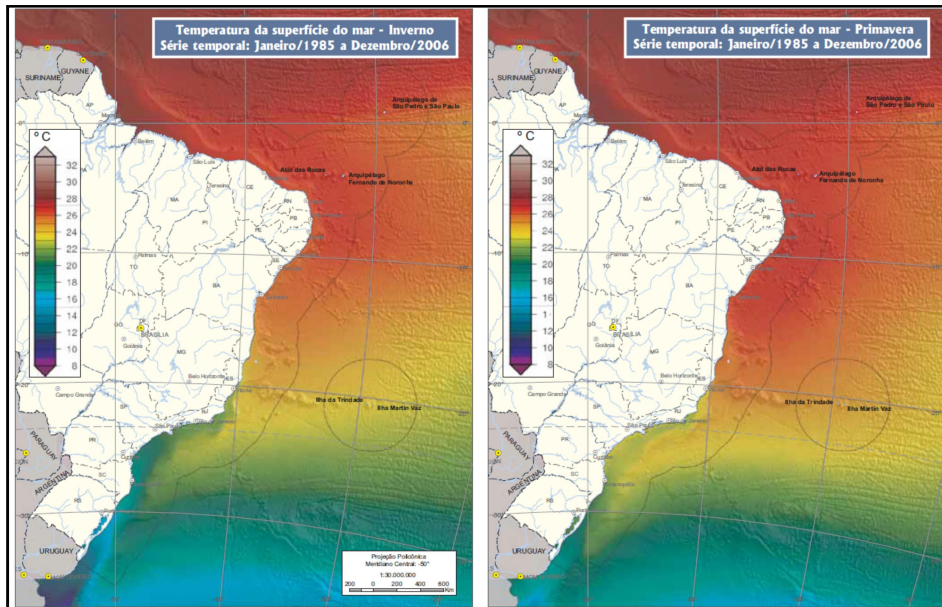


Figura 1 - IBGE (2011)

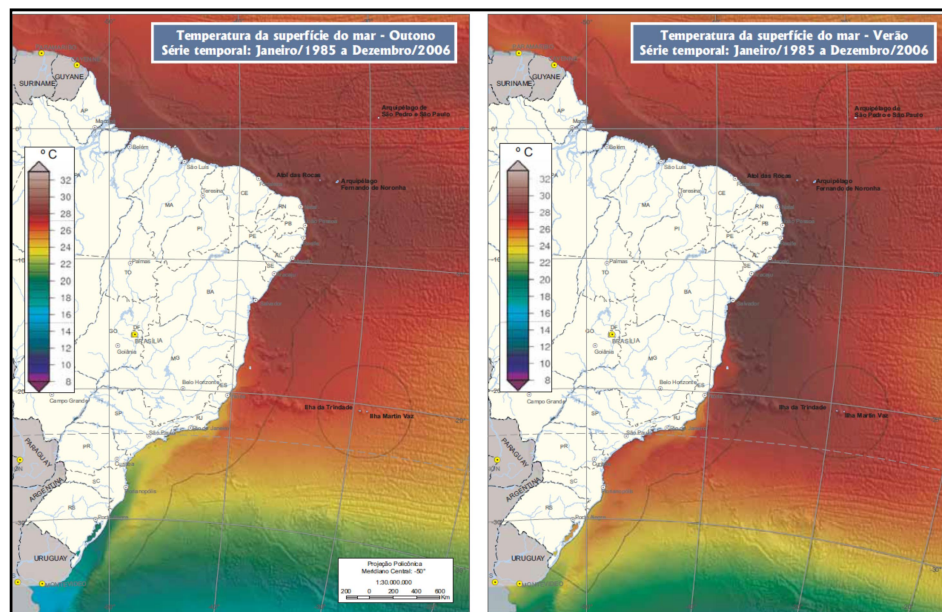


Figura 2 - IBGE (2011)

Selecionada a costa cearense para o exame do potencial de geração de energia termoclina, seguiram-se as seguintes tarefas:

- Examinar a batimetria submarina da região em busca de regiões propícias;

- Elaborar gradiente térmico dos pontos de temperatura oceânica;
- Estimar produção energética da termoclina.

#### i. Região de Interesse e Batimetria

A figura 3 reproduz parte da costa nordestina brasileira com três regiões hachuradas em cores distintas indicando em azul o Mar Territorial Brasileiro, em rosa-claro, a Zona Contígua e em amarelo, a Zona Econômica Exclusiva.

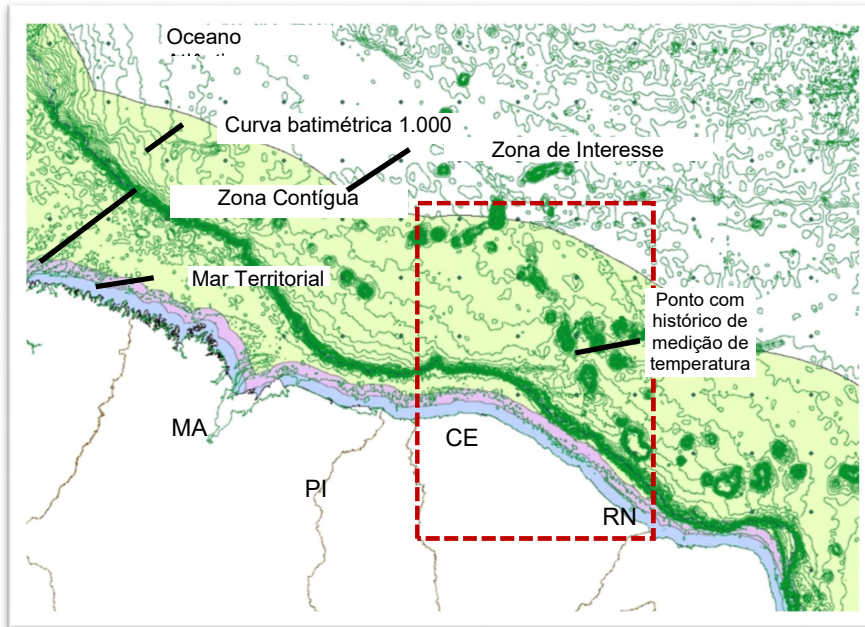


Figura 3 – Zona da Costa cearense de interesse estudos com pontos de temperatura, elaborado pelo autor.

Os paralelos de estudo da costa cearense são: 4,8°S a 0,5°N e 41,3°O a 37,2°O. A batimetria base da região costeira brasileira é a obtida no sítio da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e estende-se por toda área de interesse, indo mesmo além das 200 milhas marítimas da Zona Econômica Exclusiva. A figura 3 traz a batimetria marinha do interesse deste trabalho e destaca, a linha de profundidade de 1.000 m, cota em que a diferença térmica de 20°C em relação à temperatura superficial costuma ser atingida.

#### ii. Dados de temperatura do National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA

A seleção da região de estudos direcionou a coleta de pontos para elaboração do gradiente térmico na região da costa cearense. Um total de 16 Pontos com dados processados de temperatura, com distribuição espacial de 1° de precisão pelo período de 1955-2012, foram coletados no sítio<sup>2</sup> do NOAA. Esses pontos podem ser vistos na figura 3. Embora NOAA disponha de dados em precisão de 1/2° e 1/4°, destaca-se que a homogeneidade da região permitiu a simplificação da precisão quanto aos dados de temperatura, não sendo razoável detalhar a temperatura de forma granularizadamente.

#### 4. Gradiente Térmico da Costa Cearense

Os dados de temperatura foram coletados do sítio do NOAA e referem-se à média anual do período de 1955-2012, com posição de coordenadas equidistantes de 1° entre si. A partir da relação profundidade temperatura compôs-se o gradiente térmico de todos os pontos selecionados, mostrados na figura 4.

<sup>2</sup> <https://www.nodc.noaa.gov/>

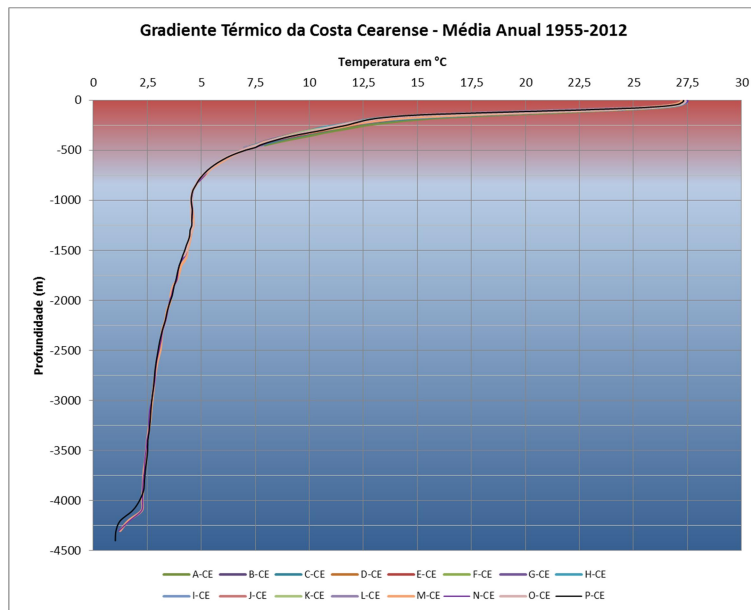


Figura 4 – Gradiente Térmico dos pontos com 1° de localização

Como se pode ver, o decaimento térmico dos dezesseis pontos se dá a taxas muito próximas entre si, e, embora em alguns desses pontos não se alcance a diferença térmica de 20°C, tida como ideal para geração de energia, tal limitação se deve a limites de profundidade, constatadas quando do exame da batimetria submarina. O exame do gradiente térmico para os pontos que alcançam grandes profundidades e, mesmo para os limitados pelo leito marinho, mostra a aptidão desse trecho da costa brasileira para aproveitamento energético mais vantajoso que noutros locais do globo, pois a literatura indica que a diferença térmica de 20°C é alcançada somente em profundidades de aproximadamente 1.000 m, enquanto na costa cearense, à profundidades de aproximadamente 500 m, tal desigualdade já é efetivamente alcançada. No intuito de mantermos o parâmetro de 1.000 m de profundidade utilizado em estudos da matéria selecionamos os pontos (M, N, O e P) com dados de temperatura média anual nessa cota e dispusemos sua estatística descritiva, figura 5.

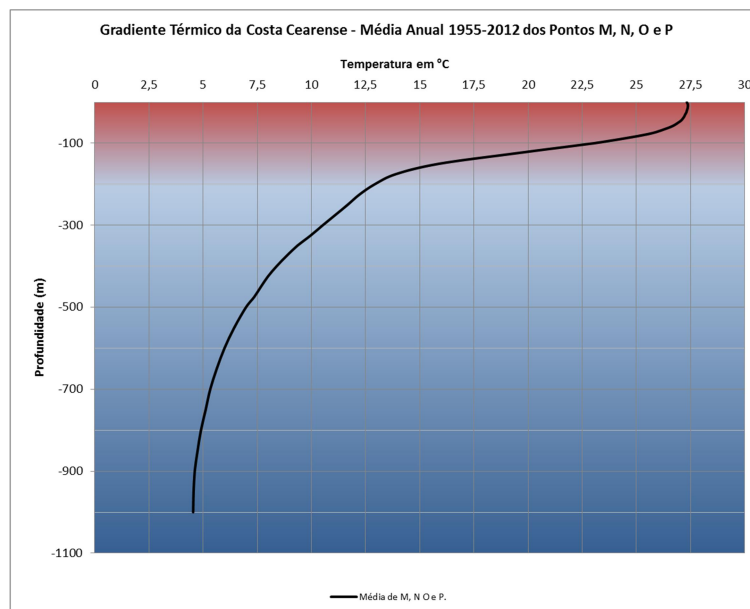


Figura 5 - Termoclina de trecho da ZEE cearense

## 5. Estimativas de Geração de Energia Elétrica

Dispondo dos dados de temperatura de água quente e fria dessa região marítima, passamos à tarefa de avaliar sua disponibilidade para produção energética via modelo de geração de energia utilizado por Nihous (2005). Este

modelo, figura 6, reproduz a conversão termodinâmica da energia termoclina em uma usina do tipo ciclo fechado, tendo a amônia como fluido de trabalho. À exceção dos valores de temperatura da água quente e fria de captação, os demais parâmetros técnicos do simulador são os mesmos utilizados por aquele estudioso.

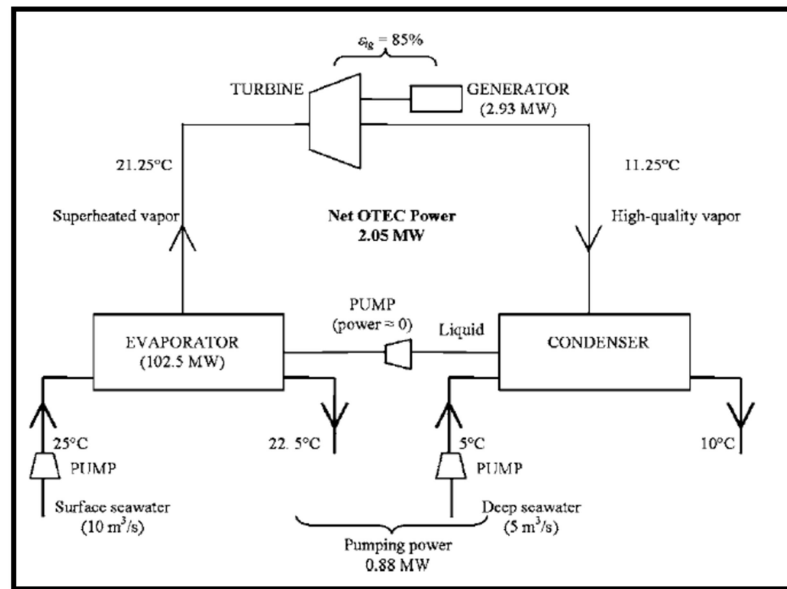


Figura 6 - Nihous GC. An order-of-magnitude estimate of Ocean Thermal Energy Conversion resources (2005)

#### a. Geração de energia média ao longo do ano para diferentes volumes de captação.

Foi simulada a geração líquida de energia utilizando, como dados de entrada o valor médio anual de temperatura longo do período 1955-2012. A temperatura da água quente de captação é aquela disposta à profundidade de -20 m, já a profundidade de captação da água fria para o ponto é de -1.000 m. A faixa de variação da captação de vazão de água quente vai de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para a captação da água fria, dois valores foram examinados:  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ . A figura 7 dispõe o gráfico de geração para diferentes combinações de vazões de captação de água quente e de vazões de água fria.

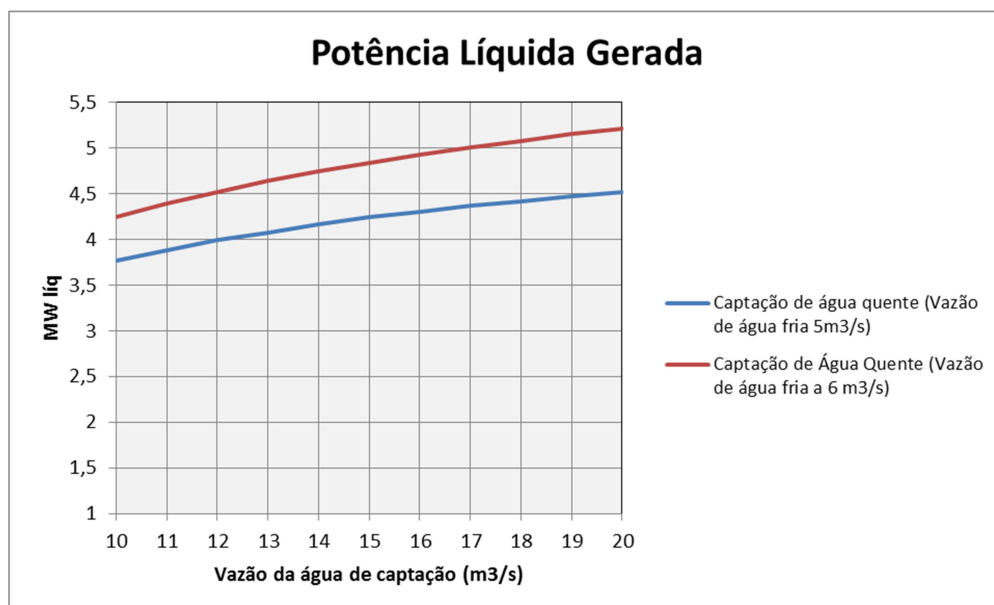


Figura 7 - Geração anual média

A região cearense, quando comparado com os dados utilizados e alcançados por Nihous (2005), mostra desempenho de geração de energia elétrica superior de 29% para a captação de água fria de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  e de 45% superior quando a captação ode água fria é de  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ .



## 6. Possíveis modalidades de Usinas

Confirmada a possibilidade de geração energética a partir do mar da costa cearense, sua eventual exploração seria possível por pelo menos dois modos. Na região próxima a linha batimétrica de 1.000 m, aproximadamente 60 km da costa, se poderiam instalar usinas isoladas em alto mar com transmissão da energia gerada por cabos submarinos e conexão à rede elétrica continental. O conceito desse tipo de usina, figura 8, já foi explorado por grandes fabricantes, sendo inclusive objeto de proposta para Porto Rico, no Caribe.

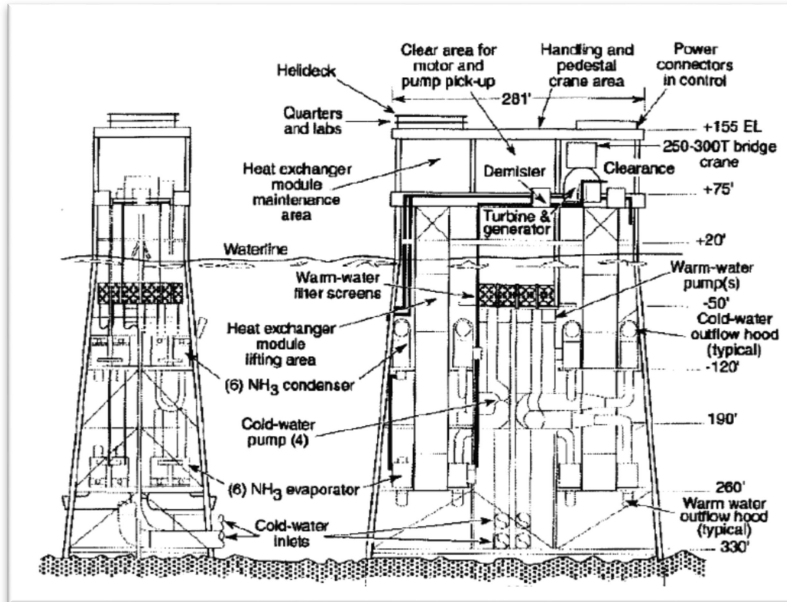


Figura 8 - Usina conceito GE proposta para Porto Rico.

Outra opção seria usinas do tipo plataforma de petróleo, *offshore OTEC* na figura 9, a transmissão de energia também seria por meio de cabos submarinos.

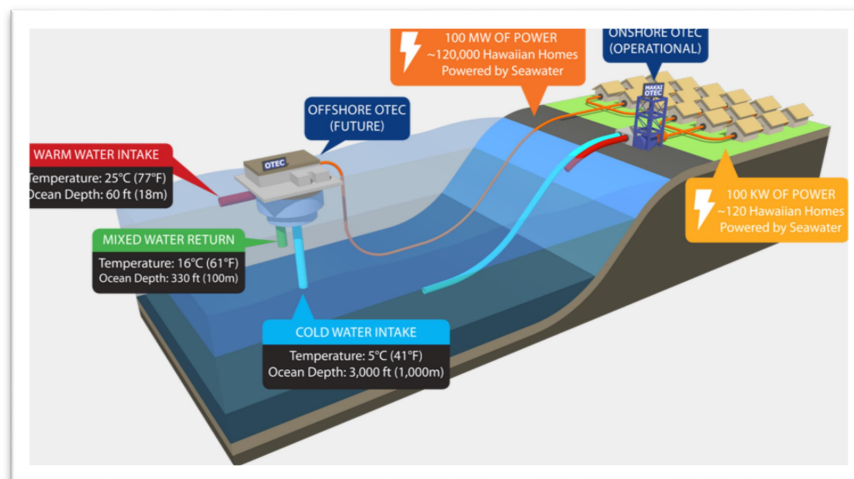


Figura 9 – Tipos de usinas de Conversão de Energia Térmica Oceânica, <https://www.makai.com/ocean-thermal-energy-conversion/>

Devido à batimetria da região costeira cearense, não se considerou razoável a implantação de usinas termoclinais instaladas na costa propriamente, pois se exigiriam dutos de adução e restituição muito longos, o que acarreta perdas hidráulicas e energéticas que interfeririam decisivamente a viabilidade técnica e consequentemente econômica do projeto.

## 7. Considerações Finais

O levantamento da temperatura média anual indica aptidão do mar da costa cearense em todo limite da Zona Econômica Exclusiva para geração de energia. Uma das qualidades deste recurso energético é a desigualdade térmica de 20° C que é usualmente alcançada somente a profundidades superiores a 1.000 m, o que indica redução de perdas energéticas devido à redução de perdas hidráulicas e gasto energético com a própria captação das massas d'água envolvidas. A batimetria da região indica que as linhas de profundidade de 500 m e 1.000 m encontram-se em razoável distância da costa, aproximadamente 60 km, um desafio para a engenharia de transmissão de energia elétrica, porém de feito alcançável, visto exemplo da indústria petrolífera e eólica *off-shore*. Uma última consideração é a de que, hoje, o aproveitamento energético a partir da termoclina é algo na fronteira da engenharia de energia e pode ser um bom tema para a engenharia brasileira. Cabe agora levantar as experiências de usinas construídas e produzir os primeiros índices de valor econômico da energia gerada.

## 8. Referências Bibliográficas

1. Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil / IBGE, Diretoria de Geociências. - Rio de Janeiro : IBGE, 2011.
2. Locarnini, R. A., A. V. Mishonov, J. I. Antonov, T. P. Boyer, H. E. Garcia, O. K. Baranova, M. M. Zweng, C. R. Paver, J. R. Reagan, D. R. Johnson, M. Hamilton, and D. Seidov, 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 73, 40 pp.
3. Relatório de conclusão do projeto batimetria. Acordo de Cooperação Técnica entre a CPRM e a ANP. (2013).
4. Boyer, T.P., J. I. Antonov, O. K. Baranova, C. Coleman, H. E. Garcia, A. Grodsky, D. R. Johnson, R. A. Locarnini, A. V. Mishonov, T.D. O'Brien, C.R. Paver, J.R. Reagan, D. Seidov, I. V. Smolyar, and M. M. Zweng, 2013: World Ocean Database 2013, NOAA Atlas NESDIS 72, S. Levitus, Ed., A. Mishonov, Technical Ed.; Silver Spring, MD, 209 pp., <http://doi.org/10.7289/V5NZ85MT>
5. Mega L. Syamsuddina, Adli Attamimib, Angga P. Nugrahhab, Syahrir Gibranb, Anisah Q. Afifahb, Nindita Orianab. OTEC Potential in The Indonesian Seas..
6. Sinuhajia, Adrian Rizki. Potential Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) in Bali..
7. Nihous, Gérard C. An Order-of-Magnitude Estimate of Ocean Thermal Energy Conversion Resources.
8. Andrea Devis-Morales, Raúl A. Montoya-Sánchez, Andrés F. Osorio, Luis J. Otero-Díaz. Ocean thermal energy resources in Colombia.
9. Souza, Roberto Valente de. O potencial energético do gradiente térmico na plataforma continental do sul do Brasil. (2014) Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
10. Shylesh Muralidharan, Assessment of Ocean Thermal Energy Conversion. MIT. 2012.

## 9. DADOS BIOGRÁFICOS



### **DIEGO PINHEIRO DE ALMEIDA**

**Engenheiro Eletricista, UFC (2007). Especialista em Engenharia elétrica UERJ (2012). Mestrando em Políticas Públicas pelo Instituto de Economia da UFRJ. Analista de Pesquisa Energética da EPE desde 2007.**