



Rio Grande, Fevereiro de 2014

Agradecimentos

Primeiramente à minha mãe por todo o amor e apoio incondicional durante toda minha vida, pelos importantes conselhos que indicaram a trajetória a ser seguida, e aos meus familiares pelo incentivo e boas energia direcionadas.

Ao Prof. Dr. Wiliam Correa Marques, que aceitou ser meu orientador, perante uma idéia de cunho próprio e de difícil estado da obra da arte, demonstrando ter amplo conhecimento sobre os assuntos abordados e problemas enfrentados durante a execução deste trabalho. Destaque para seu humor inmensurável, acessibilidade e pelos ótimos momentos de convivência.

A todos do grupo do Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina, por proporcionarem o mais leve e agradável ambiente de trabalho da FURG, com descontração ímpar, não esquecendo do Eduardo de Paula Kirinus e Pedro Veras Guimarães por toda a ajuda e força dispensada nas horas mais difíceis, decisivas na conclusão deste estudo.

Aos meus amigos, em especial Pablo Dias da Silva e Daniel Dias da Silva, que não importava a época, estresses e tensões, sempre estavam lá para me apoiar de todas as formas possíveis.

Um agradecimento especial à minha namorada, mulher, amiga, Mariana, companheira durante estes 2 anos, ajudando-me em todos os momentos de adversidade e incentivando-me a transpor os árduos instantes.

Albert Einstein

Resumo

O Potencial Energético do Gradiente Térmico na Plataforma Continental do Sul do Brasil.

O crescimento da demanda energética, prevista para a metade do século XXI, com números embasados no crescimento demográfico e de consumo dos países em desenvolvimento, sugere a busca por fontes energéticas renováveis e de menor impacto ao meio ambiente, conforme os tratados da política internacional. Portanto, o fornecimento de energia suplementar se torna vital nas sociedades modernas e sua extensão até o mar tem se constituído uma recente preocupação do ponto de vista enérgico e ecológico. Várias formas de conversão de energia foram desenvolvidas no decorrer dos anos, com destaque para a energia dos gradientes térmicos. A Plataforma Continental Sul do Brasil (PSCB) possui alta variabilidade espacial e temporal nos campos de temperatura, de forma que existe a necessidade de uma análise das regiões de maior potencial energético com respeito ao gradiente vertical de temperatura.

Neste estudo, foram utilizados dados do modelo OCCAM com uma grade de resolução horizontal de $0,25^\circ$ e resolução vertical de 66 níveis, distribuídos ao longo de um sistema de coordenadas vertical. Foram utilizadas imagens de temperatura superficial do mar (TSM) obtidas a partir do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de forma a realizar a validação dos dados do modelo OCCAM. A análise da média dos dados do modelo indicou um sítio energético de maior viabilidade devido ao padrão médio do gradiente térmico de aproximadamente $0,17 \frac{^\circ C}{m}$ ao longo da coluna vertical (545 m de profundidade) no oceano. Neste local, foram coletados os dados, e aplicados a um módulo de conversão de energia térmica dos oceanos que vem sendo desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande - FURG. A região de estudo demonstrou possuir um local com ótimo potencial energético, onde a produção máxima de energia pode alcançar $111,9 MW$, associada com um padrão variabilidade temporal dominante de 12 meses. Este sítio energético demonstra maior eficiência durante o período de verão e outono ao longo dos anos e sua média para todo o período é de $94,3 MW$.

Neste estudo, duas correntes: Corrente do Brasil (CB) e a Contra Corrente Costeira (CCC), com águas de origem tropical e subantártica com aportes continentais, respectivamente, tem alta correlação com os valores dos gradientes térmicos e com os significativos eventos de conversão energética. O sítio energético demonstrou alta estabilidade à sazonalidade e à gama de eventos meteorológicos e oceanográficos, de forma que pode ser qualificado como uma fonte suplementar a matriz energética do país para um futuro próximo.

Palavras-Chave: Gradiente térmico, Energia Térmica, OTEC, Sazonalidade, OCCAM.

Energy Budget of Thermal Gradient in the Southern Brazilian Shelf.

The growth in energy demand foreseen for mid-century, with numbers expected on the basis of population growth and consumption in the developing countries, suggests the search for renewable and low-environmental impact energy sources. Therefore, the provision of additional energy is needed in modern societies and the possibility to extent valuable energy conversion zones to the sea has been a recent concern under energetic and ecological policies. Several methods of energy conversion have been developed over the years, especially the energy from thermal gradients. The Southern Brazilian Shelf (SBS) has high spatial and temporal variability in temperature fields. This condition indicates the need for analysis to delineate areas of higher energetic potential associated with the vertical temperature gradient.

In this study, data from the OCCAM model were used with a grid of horizontal resolution of 0.25° , and vertical resolution of 66 levels spread over a system of vertical coordinates. Images of SST derived from AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) on board the NOAA series satellites were used in order to carry out the validation of the numerical results. Through the mean analysis of the numerical results was possible to find out the most suitable place for the usage of Oceanic Thermal Energy Conversion (OTEC). In this region, the average thermal gradient of $0.17 \frac{^\circ C}{m}$ was observed along the vertical column (545 m depth) of sea. At this site, the data were collected and applied to a power conversion module, under development at Universidade Federal do Rio Grande - FURG, with a theoretical OTEC.

The studied site hinder great energy potential, where the maximum output power can reach $111.9MW$, associated with dominant temporal variability of 12 months. This site presented high efficiency associated with the period of summer and fall over those years, and the average power conversion through this period was $94.3MW$. The meeting of two currents: the Brazil Current (BC) and the Counter Coastal Current (CCC), with Tropical waters and Subantarctic origin of continental inputs, respectively, are highly correlated with the values of thermal gradient and significant energy conversion. The energy site have showed high stability through the seasons and also through meteorological and oceanographic events, qualifying this energy source as a viable source for the brazilian energetic matrix in the near future.

Keywords: Thermal Gradient, Thermal Energy, OTEC, Seasonality, OCCAM.

4.2	Localização da Usina OTEC	38
4.2.1	Instalação no Continente	38
4.2.2	Instalação na Plataforma Continental	40
4.2.3	Instalação Flutuante	42
4.3	Propósito dos Tipos de Localização da Usinas OTEC	44
4.4	Informações Pretéritas da Usina OTEC até os Dias Atuais	45
4.4.1	Brasil (Projeto Cabo Frio)	52
5	Materiais e Métodos	54
5.1	Dados e Métodos Utilizados no Trabalho	55
5.2	Dados Superficiais da Temperatura do Mar	55
5.3	Dados Tridimensionais da Temperatura do Mar	57
5.4	Tratamento e Validação dos Dados do Modelo	58
5.5	Módulo de Conversão de Energia	59
5.5.1	Fluido de Trabalho e Trocadores de Calor	59
5.5.2	Ciclo Padrão para Fins de Modelagem	60
5.6	Descrição dos Métodos Empregados na Validação e Análise dos Resultados	67
6	Validação dos resultados	69
7	Resultados e Discussões	82
7.1	Análise do gradiente térmico na PCSB	82
7.2	Sítios de conversão	88
7.3	Conversão de energia na usina OTEC	94
7.3.1	Análise da Variabilidade Temporal - Escalas Anual e Interanual	95

O Potencial Energético do Gradiente Térmico na Plataforma Continental do Sul do Brasil.

7.3.2	Análise da Variabilidade temporal - Variação de Longo Período	100
7.3.3	Conversão Energética - Variabilidade Mensal e Sazonal	104
8	Conclusões	108
9	Limitações do Estudo e Sugestões para Trabalhos Futuros	114
9.1	Limitações do Estudo	114
9.2	Sugestões de Trabalhos Futuros	117
10	Produção Científica de 2012-2013	120
10.1	Trabalhos em congressos - Resumos	120
10.2	Artigos	126
10.3	Trabalhos em congressos - Apresentações	130
10.4	Outros	136
10.5	Premiação	138
11	Referências	139

Lista de Figuras

1.1	Potencial das Energias Utilizáveis do Oceano: 1- Gradiente Térmico; 2- Gradiente de Salinidade; 3 - Correntes Marinhas; 4 - Marés; 5 - Ondas. Obtido com dados de (Silva, 1978)	18
1.2	Esquema representativo dos subsistemas de uma usina OTEC: I - Usina de força; II - Sistema de tubulação de água; III - Sistema de transferência da energia produzida ; IV - Sistema de controle de posição; V - Plataforma de sustentação [Adaptado de http://coastalmanagement.noaa.gov/otec/otecrdda].	21
2.1	Plataforma Continental do Sul do Brasil, sua batimetria ,com isóbata de 545 m, e cidades utilizadas como referência nos resultados.	23

2.2	<i>Correntes marinhas superficiais e massas de água no inverno (a) e verão (b). CB: Corrente do Brasil; CM: Corrente das Malvinas; CP: Corrente da Patagônia; CCB/CRG: Corrente Costeira do Brasil ou Corrente do Rio Grande; AT: Água Tropical; ASA: Água Subantártica; ASAP: Água Subantártica da Plataforma; APP: Água da Pluma do Rio da Prata; ASTP: Água Subtropical da Plataforma. [Fonte: (Möller et al., 2008)].</i>	25
4.1	<i>Esquema do Ciclo fechado [Adaptado de http://www.otecnews.org/].</i>	33
4.2	<i>Trocadores clássicos de calor em uma usina OTEC real [Adaptado de http://www.oteci.com/otec-at-work/otec-concept-gallery].</i>	34
4.3	<i>Esquema do Ciclo aberto [Adaptado de http://www.otecnews.org].</i>	36
4.4	<i>Usina do Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA) em Kealohe Point, Hawaii Ocean Science and Technology Park. (a) Vista superior do Hawaii; (b) Pontal da ilha Kealohe Point; (c) Vista aérea do pier de pesquisa Makai; (d) Instalação da tubulação de captação de água quente; (e) Fixação da tubulação de água quente no pier; (f) Instalação da tubulação de comunicação com a usina no continente; (g) Vista aérea da tubulação de coleta de água fria; (h) Trocadores de calor da usina de Makai (i) Vista aérea da usina Makai [Adaptado de http://www.makai.com/images/].</i>	39

4.5	Sistema OTEC instalado na plataforma continental. (a) Esquema demonstrativo da usina fixada na plataforma continental[adaptado de Ciência Viva (2004)]; (b) Figura ilustrativa da usina OTEC, com um corte frontal para demonstrar onde estão posicionadas as turbinas e o gerador [Fonte: http://www.makai.com/images].	41
4.6	Sistema OTEC Flutuante. (a) Mini OTEC ;(b) Esquema demonstrativo da usina flutuante; [Fonte: http://www.otecnews.org/].	43
4.7	(a) Instalação de um tubo de captação de água fria do mar (CWP) para teste da usina OTEC de Claude na baía de Matanzas, Cuba 1928 [adaptado de (Gauthier, 2006)]; (b) Instalação de um tubo de captação de água fria do mar (CWP) 1978 [Fonte: http://www.otecnews.org/].	47
6.1	Média sazonal do verão para a temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM	71
6.2	Correlação linear, obtida com base nos dados independentes (TSM NOAA média sazonal verão) e dependentes (Camada superficial do OCCAM média sazonal verão).	72
6.3	Média sazonal do outono para a temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM	73
6.4	Correlação linear, obtida com base nos dados independentes (TSM NOAA média sazonal outono) e dependentes (Camada superficial do OCCAM média sazonal outono).	74

6.5	<i>Média sazonal do inverno para a temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM</i>	<i>75</i>
6.6	<i>Correlação linear, obtida com base nos dados independentes (TSM NOAA média sazonal inverno) e dependentes (Camada superficial do OCCAM média sazonal inverno).</i>	<i>76</i>
6.7	<i>Média sazonal da primavera para a temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM</i>	<i>77</i>
6.8	<i>Correlação linear, obtida com base nos dados independentes (TSM NOAA média sazonal primavera) e dependentes (Camada superficial do OCCAM média sazonal primavera).</i>	<i>78</i>
6.9	<i>Média anual da temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM</i>	<i>79</i>
6.10	<i>Correlação linear, obtida com base nos dados independentes (TSM NOAA média anual) e dependentes (Camada superficial do OCCAM média anual).</i>	<i>80</i>
7.1	<i>Gradientes térmicos médios para todos os meses de: (a) Dezembro; (b) Janeiro; (c) Fevereiro; (d) Março; (e) Abril e (f) Maio, de 1990 a 2004.</i>	<i>85</i>
7.2	<i>Gradientes térmicos médios dos meses de: (a) Junho; (b) Julho; (c) Agosto; (d) Setembro ; (e) Outubro e (f) Novembro, de 1990 a 2004. . .</i>	<i>86</i>

7.3	<i>Média sazonal representando as estações do: Verão (a); Outono (b); Inverno (c); Primavera (d) (entre 1990 e 2004) e as cidades de referência: (Paranaguá-Pr; São Francisco do Sul-SC; Florianópolis-SC; Jaguaruna-sc).</i>	87
7.4	<i>Gradiente térmico anual, sítio de conversão energética e as cidades de referência: (Paranaguá-Pr; São Francisco do Sul-SC; Florianópolis-SC; Jaguaruna-SC)</i>	89
7.5	<i>Quadro sintético dos principais fenômenos da costa sudeste-sul [adaptado de Castro et al. (2006)]</i>	91
7.6	<i>Ampliação do sítio de conversão e ponto de extração de dados.</i>	92
7.7	<i>Perfil vertical de temperatura no ponto de extração de dados no sítio de energia.</i>	93
7.8	<i>Eficiências e potências em função da profundidade no ponto de extração de dados no sítio de energia.</i>	93
7.9	<i>Série temporal da temperatura da superfície do mar no ponto de extração de dados.</i>	95
7.10	<i>Série temporal da temperatura da fundo do mar no ponto de extração de dados.</i>	96
7.11	<i>Série temporal da eficiência da usina OTEC no ponto de extração de dados.</i>	96
7.12	<i>Série temporal da potência da usina OTEC no ponto de extração de dados.</i>	97

Lista de Tabelas

5.1 Profundidade em metros dos níveis do modelo (obtida através da variável profundidade dos dados da OCCAM) 57

Lista de Símbolos

ε_{otec}	Eficiência da usina OTEC padrão otimizada (adimensional)
ε_{tg}	Eficiência da Turbina-gerador (adimensional)
ε_{evapo}	Eficiência do evaporador (adimensional)
ε_{conde}	Eficiência do condensador (adimensional)
ΔT	Diferença de temperatura entre a água fria e quente (K)
T_h	Temperatura de entrada da água do mar quente (K)
T_c	Temperatura de entrada de água fria (K)
$\dot{Q}_h$	Fluxo de calor para o sistema via evaporador (w)
$\dot{m}_h$	Vazão mássica de água quente ($\frac{kg}{s}$)
$\dot{m}_c$	Vazão mássica de água fria ($\frac{kg}{s}$)
T_{hin}	Temperatura de entrada da água do mar quente ($^{\circ}C$)
T_{hout}	Temperatura de saída de água do mar quente ($^{\circ}C$)
C_{Ph}	Calor específico da água quente ($\frac{J}{kg^{\circ}C}$)
$\dot{Q}_c$	Fluxo de calor do sistema para o condensador (W)
T_{cin}	Temperatura de entrada da água fria ($^{\circ}C$)
T_{cout}	Temperatura de saída de água fria ($^{\circ}C$)
C_{Pc}	Calor específico da água fria ($\frac{J}{kg^{\circ}C}$)
$\dot{v}_h$	Vazão de água quente bombeada ao evaporador (m^3)
$\dot{v}_c$	Vazão de água fria bombeada ao condensador (m^3)
ρ_{hm}	Densidade média da água quente de entrada e saída ($\frac{kg}{m^3}$)
ρ_{cm}	Densidade média da água fria de entrada e saída ($\frac{kg}{m^3}$)
$\dot{m}_h$	Fluxo de água quente utilizada pelo evaporador ($\frac{kg}{s}$)
$\dot{m}_c$	Fluxo de água fria usada pelo condensador ($\frac{kg}{s}$)
A	Coefficiente da equação do calor específico (adimensional)
B	Coefficiente da equação do calor específico (adimensional)
C	Coefficiente da equação do calor específico (adimensional)
D	Coefficiente da equação do calor específico (adimensional)
S	Salinidade média da região de estudo (PSU)
T_{hm}	Temperatura média da água quente de entrada e saída ($^{\circ}C$)
T_{cm}	Temperatura média da água fria de entrada e saída ($^{\circ}C$)
$\dot{E}_{el}$	Potência elétrica disponível após um ciclo de funcionamento (W)
$\dot{E}_{el}$	Potência elétrica líquida obtida após um ciclo de funcionamento (W)
$\dot{E}$	Potência Liberada pela Usina ($J/s = W$)

OCCAM	Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling
OIA	Offshore Infrastructure Associates
OTEC	Ocean Thermal Energy Conversion
PCC	Plataforma Continental Catarinense
PCSB	Plataforma Continental Sul Brasileira
PDE	Plano de Desenvolvimento Energético
PNE	Plano Nacional de Energia
PODAAC	Physical Oceanography Distributed Active Archive Center
RSMAS	University of Miami's Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science
S	Sul
SE	Sudeste
SERI	Solar Energy Research Institute
SOI	Southern Oscillation Index
SW	Sudoeste
TSM	Temperatura da Superfície do Mar

Introdução

A moderna sociedade industrial exige uma infraestrutura apropriada com constituição de um sistema energético confiável para seu estabelecimento, considerando o desenvolvimento de técnicas de aproveitamento dos sistemas energéticos naturais e renováveis (Branco, 2004; Olivia and Giansanti, 1999).

Portanto, o fornecimento de energia suplementar se torna vital nas sociedades mo-

dermas, sua extensão até o mar tem se constituído uma recente preocupação (Neshiba, 1987; Skinner and Turekian, 1988; Thurman and Trujillo, 2004) e uma necessidade do ponto de vista energético e ecológico.

O crescimento da demanda energética prevista para a metade do século XXI, com números previstos na base do crescimento demográfico e de consumo dos países em desenvolvimento, sugere a busca por fontes energéticas renováveis e de menor impacto ao meio ambiente, conforme os tratados da política internacional.

No Brasil, mais de 90 % da matriz energética é proveniente das fontes convencionais citadas. Os dados brasileiros do último Balanço Energético Nacional (BEN) de 2012 (referente ao ano de 2011), indicam que a demanda interna de energia foi de 272,2 Milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo (MTEP), com uma oferta interna de 228,7 MTEP e uma diferença de 44,5 MTEP entre demanda e oferta (EPE, 2012a).

A projeção do consumo de energia elétrica foi realizada de forma desagregada por subsistema elétrico e por classe de consumo, sendo considerados parâmetros e indicadores típicos do mercado de eletricidade, levando em conta as premissas demográficas, macroeconômicas, setoriais, de autoprodução e de eficiência energética. A metodologia utilizada, tanto nas projeções do consumo quanto nas referentes à carga de energia, está descrita detalhadamente em uma nota técnica específica da Empresa de Pesquisas Energéticas, vinculada ao Ministério de Minas e Energia (EPE, 2012b).

As premissas econômicas e demográficas adotadas no Plano de Desenvolvimento Energético (PDE 2021), correspondente à projeção do consumo total de energia elétrica, resultaram em um crescimento continuado do consumo per capita de eletricidade. Este consumo registra expansão em torno de 52 % no período de 2011-2021(EPE, 2012b).

Como a matriz implementada em nosso país é a convencional, pode ser observado que o caminho mais fácil seria de aumento da extração destes recursos, porém existem

aspectos não totalmente comprovados quanto ao dano que estes combustíveis causariam ao meio ambiente. Sobretudo, o mais importante aspecto a ser verificado é que estes recursos são findáveis e sua reposição não estaria dentro da escala evolutiva de tempo.

O clamor do aumento da oferta de energia e da diversificação da matriz energética fazem com que novas escolhas sejam pautadas no revés ecológico. Este contexto leva a recursos não explorados e abundantes nos oceanos, que seguem como guia da necessidade de estudos neste sentido.

1.1 Energia dos Oceanos

As agências mundiais de energia fizeram um levantamento das energias utilizáveis, sendo de grande representatividade as reservas energéticas dos oceanos, classificadas pelo seu potencial aproximado na ordem de (Silva, 1978):

- **1** - A exploração do gradiente térmico entre superfície e fundo: $4 \times 10^{10} MW$;
- **2** - A exploração do gradiente de salinidade : $1.4 \times 10^9 MW$;
- **3** - A exploração de correntes marinhas: $5 \times 10^6 MW$;
- **4** - A exploração das marés: $2.7 \times 10^6 MW$;
- **5** - A exploração das ondas: $2.5 \times 10^6 MW$.

O oceano é mais comumente identificado por suas energias mecânicas, entretanto existe uma superioridade do potencial térmico sobre o mecânico (Figura 1.1). Os oceanos são um grande reservatório de calor, visto que a energia mecânica dissipada no oceano, sob diversas formas, é no máximo da ordem de um milésimo da energia abandonada pelo mar à atmosfera, sob a forma de calor latente de evaporação.

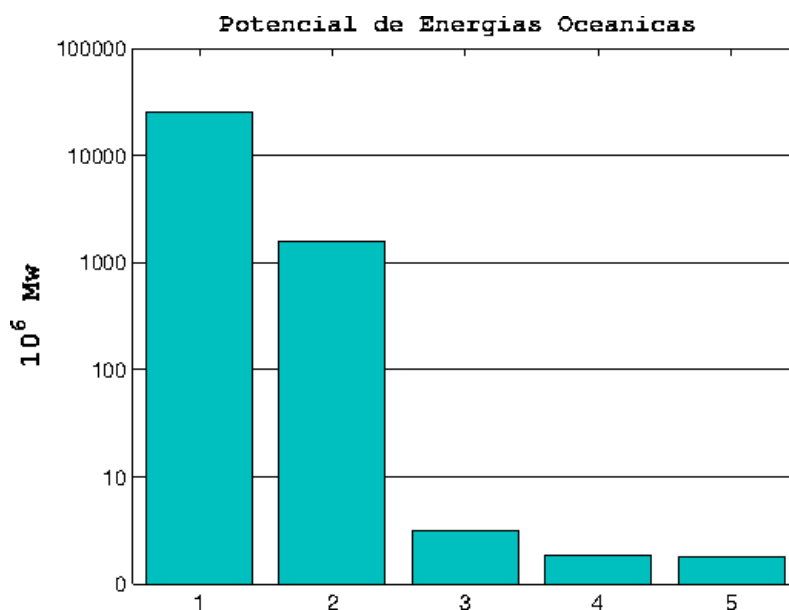


Figura 1.1: *Potencial das Energias Utilizáveis do Oceano: 1- Gradiente Térmico; 2- Gradiente de Salinidade; 3 - Correntes Marinhas; 4 - Marés; 5 - Ondas. Obtido com dados de (Silva, 1978)*

O potencial mecânico é um subproduto fraco até mesmo quando comparado com o fluxo térmico, proveniente das camadas profundas do globo. É importante ainda ressaltar que os primeiros metros da camada superficial do oceano armazenam mais energia solar que toda atmosfera, embora mais de 76 % das massas oceânicas estejam a uma temperatura inferior a 4 °C (Silva, 1978).

1.2 Gradiente Térmico dos Oceanos

Nos oceanos, ocorre uma típica distribuição vertical permanente de temperatura onde a agitação das ondas e outros efeitos, como a ação dos ventos, podem distribuir o calor desde a superfície até maiores profundidades. Estes efeitos criam uma camada superficial de maiores temperaturas, com espessuras que podem variar entre 50 e 200 metros.

As camadas mais profundas permanecem frias e o oceano pode ser considerado como uma reserva de energia térmica disponível, constituída de energia solar armazenada. Por receberem quantidades maiores de energia solar, as zonas tropical e equatorial armazenam a maior parte da energia térmica, porém outras zonas do globo podem apresentar tais reservas, as quais são associadas aos seus regimes de circulação oceânica característicos.

Esta diferença de temperatura entre a camada superficial oceânica (aquecida pela radiação solar) e a camada adjacente ao fundo oceânico é chamada de gradiente térmico. Este padrão de distribuição de temperatura é responsável pela estabilidade térmica nos oceanos, onde existe uma massa de água superficial menos densa (circulação superficial controlada pelo vento), continuamente aquecida. Esta camada de água normalmente tem temperaturas médias superiores a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A água desta camada não se mistura de maneira efetiva com as águas frias profundas, que são mais densas (circulação termohalina) e possuem temperaturas próximas de 3 a 4 °C. Desta forma, o oceano é como uma grande máquina térmica, na qual a água funciona como fluido de trabalho (Silva, 1978).

1.3 Conversão da Energia Térmica Oceânica

A ideia de conversão de energia é baseada nas leis da Termodinâmica com uma máquina térmica, adaptada ao ambiente marinho. Assim uma "Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)" tem como base a segunda lei da Termodinâmica, estabelecida por Clausius em 1850 e Kelvin em 1851. Um sistema OTEC é basicamente uma máquina térmica na qual a fonte quente é a água superficial do oceano e a fonte fria é a água mais profunda (Vega, 1999).

Um fluido de trabalho é vaporizado pela fonte quente, enquanto a fonte fria o resfria até que ocorra sua condensação. Durante o ciclo, o trabalho mecânico do fluido é utilizado para gerar energia elétrica pelo acionamento de uma turbina. De acordo com Avery and Wu (1994), um sistema OTEC apresenta os seguintes subsistemas (Figura 1.2):

- **I** - Uma máquina térmica ou usina de força, incluindo permutadores de calor, turbinas, geradores elétricos, bombas de água e fluido de trabalho, tubulações associadas e controles;
- **II** - Um sistema de tubulação de água, que inclui um tubo de água fria (Cold Water Pipe - CWP), através do qual a mesma é trazida de uma grande profundidade até a superfície. Além de entrada de água quente (Hot Water Pipe - HWP), tubos de saída e escape dos fluidos utilizados no ciclo;
- **III** - Um sistema de transferência para carregar energia produzida no oceano para consumidores no continente, tanto na forma de eletricidade, bem como, na forma de combustível;
- **IV** - Um sistema de controle de posição, incluindo equipamentos de propulsão e ancoramento, controles e sistemas de potência de reserva;
- **V** - Uma plataforma para sustentar a usina de força, sistemas de tubulações, equipamentos de embarcação auxiliar, acomodações para os técnicos operacionais, junto com equipamentos de segurança e outros requisitos de habitabilidade.

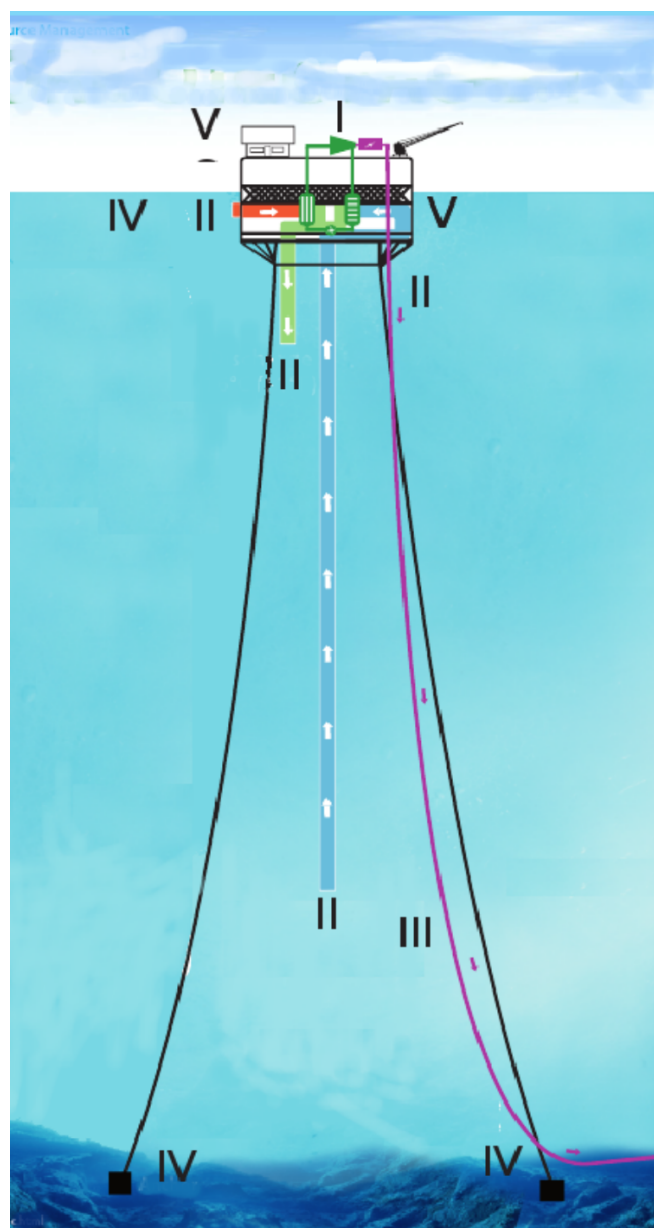


Figura 1.2: Esquema representativo dos subsistemas de uma usina OTEC: I - Usina de força; II - Sistema de tubulação de água; III - Sistema de transferência da energia produzida ; IV - Sistema de controle de posição; V - Plataforma de sustentação [Adaptado de <http://coastalmanagement.noaa.gov/otec/otecrdda>].

Região de Estudo

O clima da região, de acordo com Satyamurty et al. (1998), pode ser caracterizado como clima subtropical úmido. A localização é um fator altamente relevante, devido à circulação atmosférica regional costeira e a passagem de frentes frias, as quais podem ser caracterizadas como massas de ar frio, alta pressão e baixa temperatura.

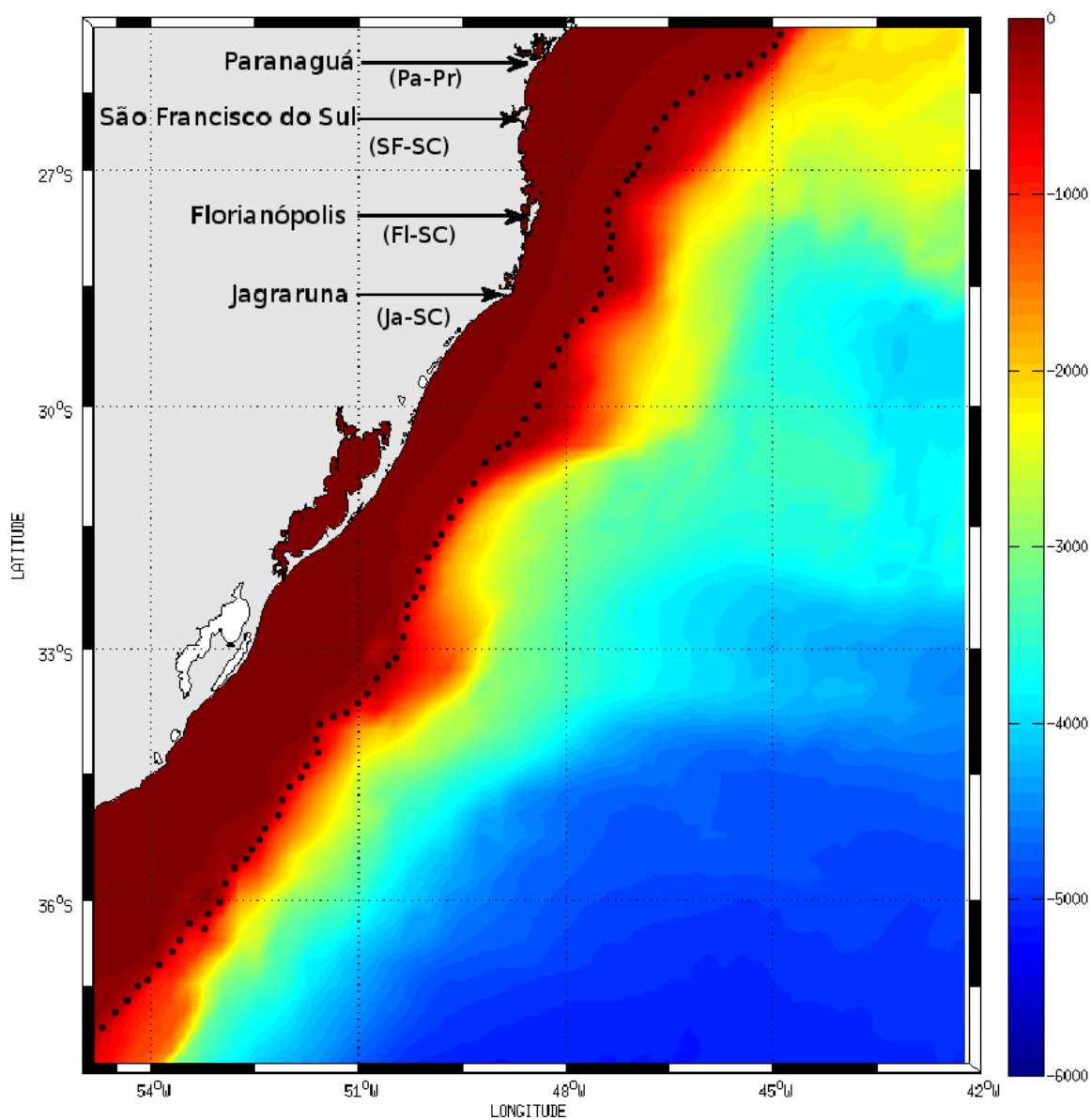


Figura 2.1: *Plataforma Continental do Sul do Brasil, sua batimetria ,com isóbata de 545 m, e cidades utilizadas como referência nos resultados.*

No Brasil, as frentes frias ocorrem o ano todo (Braga and Krusche, 2000) e influenciam significativamente a região de estudo, sendo responsáveis pelo aumento das chuvas, principalmente no sul do país. Sobretudo, esta região é caracterizada por ser frontogênica, ou seja, propensa à formação ou intensificação de sistemas frontais (Mattos, 1987).

Os ventos na região são relacionados à ação de dois sistemas meteorológicos: o anticiclone do Atlântico Sul, que gera sobre a área uma circulação de ventos de Nordeste (NE), durante a maior parte do ano (Braga and Krusche, 2000), e os ciclones e anticiclones de origem polar, que se propagam para regiões de baixas latitudes, gerando ventos de Sul (S), Sudoeste (SO) e Sudeste (SE).

A ação dos ventos sobre a superfície do mar influencia a circulação costeira assim como a formação de ondas que se propagam desde as regiões profundas até a zona costeira (Krusche et al., 2003). Estes processos intensificam a mistura entre a camada superior mais quente e a zona de termoclina.

A PCSB possui uma dinâmica complexa influenciada pela ação dos ventos, circulação baroclínica e correntes costeiras (Castro et al., 2006; Marques et al., 2009a; Möller et al., 2008). Alterações no padrão de temperatura ao longo da plataforma e talude continental, em diferentes escalas de tempo, podem ser associados à variabilidade espaço-temporal da corrente do Brasil (Castro et al., 2006; Ciotti et al., 1995; Möller et al., 2008) (Figura 2.2).

O fenômeno relacionado que afeta mais significativamente as características das massas de água é a ressurgência costeira, oriunda da ação do vento NE na PCSB. O movimento de ascensão de águas mais profundas e mais frias até a superfície do mar ocasiona um aporte de uma massa de água fria e rica em sais minerais.

Esta massa de água escoar na direção norte da costa da Argentina, sobre a plataforma

continental e o talude, até encontrar a Corrente do Brasil (CB) na região da convergência subtropical (Castro et al., 2006; Podesta et al., 1991).

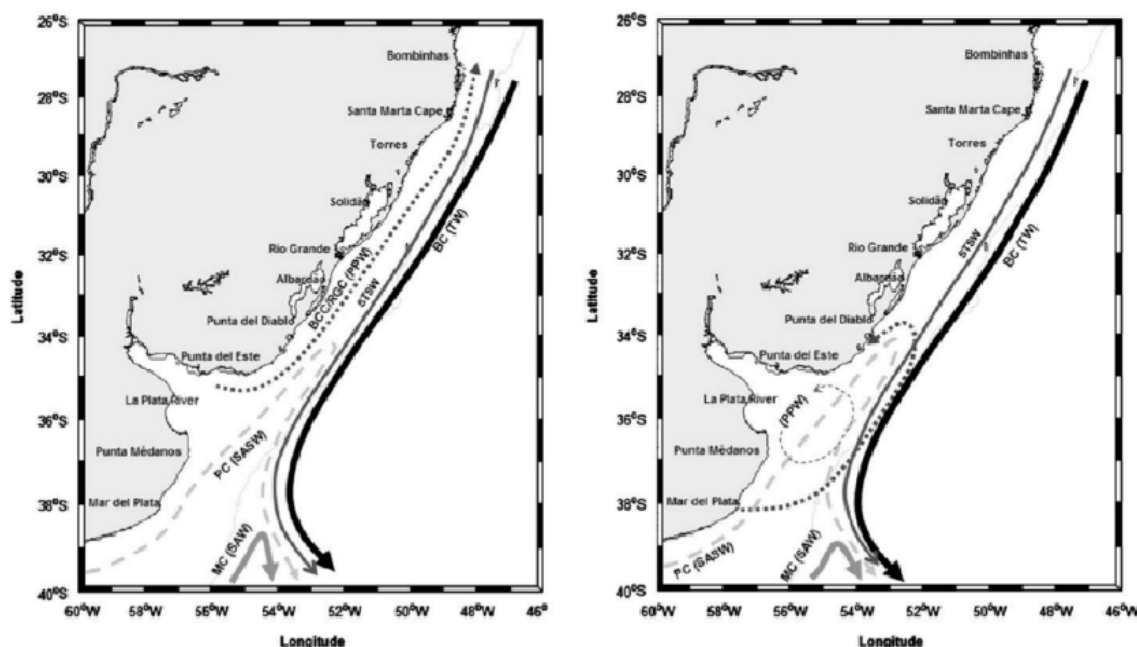


Figura 2.2: Correntes marinhas superficiais e massas de água no inverno (a) e verão (b). CB: Corrente do Brasil; CM: Corrente das Malvinas; CP: Corrente da Patagônia; CCB/CRG: Corrente Costeira do Brasil ou Corrente do Rio Grande; AT: Água Tropical; ASA: Água Subantártica; ASAP: Água Subantártica da Plataforma; APP: Água da Pluma do Rio da Prata; ASTP: Água Subtropical da Plataforma. [Fonte: (Möller et al., 2008)].

A CB, quente e salina, flui para o sul, margeando o talude continental até encontrar, em aproximadamente $36^{\circ}S$, a Corrente da Malvinas (CM), de águas mais frias. Ambas correntes são, então, defletidas para fora da costa (Gordon, 1989). Esta é a região onde ocorre a Confluência Brasil-Malvinas (CBM).

Segundo Chelton et al. (1990), esta é considerada uma das áreas mais energéticas do mundo. Sua caracterização se pronuncia por fortes gradientes termohalinos e intensa atividade de mesoescala (Gordon, 1981); (Cheney et al., 1983) (Figura 2.2).

O encontro destas duas correntes, com auxílio dos ventos predominantes de oeste,

dão origem à Corrente do Atlântico Sul (CAS) (Figura 2.2), e caracterizam a região de estudo como de grande variabilidade sazonal dos parâmetros de superfície marinha, principalmente da temperatura da superfície do mar (Wainer et al., 2000).

A circulação na plataforma regional mostra propriedades intrínsecas relacionadas, em particular, com a saída da água doce do complexo Lagoa dos Patos-Lagoa Mirim e Rio da Prata (Ciotti et al., 1995). As águas costeiras provenientes do estuário do Rio da Prata, tendem a se propagar para o norte sobre a plataforma continental (Zavialov et al., 1998).

Por outro lado, a descarga da Lagoa dos Patos forma plumas de média escala que são fortemente influenciadas pela ação dos ventos (Marques et al., 2009b, 2010a,c) (Figura 2.2). Devido à descarga continental da Lagoa dos Patos e Rio da Prata, além da invasão da água subantártica no inverno, o ciclo sazonal de temperatura da superfície do mar apresenta grande amplitude, podendo ultrapassar $10^{\circ}C$ (Castro et al., 2006).

Desta forma podemos descrever segundo Rezende (2003) uma síntese das massas de águas presentes na PCSB:

- (1) Água Costeira (AC) decorre da mistura entre águas costeiras de origem continental e as águas de plataforma. Esta massa de água é caracterizada por valores de salinidade baixos e sua extensão sobre a plataforma é controlada, principalmente, pela vazão do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos, com máximo efluxo durante inverno-primavera (Lentini, 1997);
- (2) Água Tropical (AT) flui para *S/SW* na camada superficial da CB (0 – 200m), ao longo do talude continental e próximo à quebra da plataforma continental. A AT é definida por temperatura e salinidade superiores a 20°C e 36,4, respectivamente (Miranda, 1982);

águas com baixa salinidade para norte a partir do estuário, são altamente relacionadas à ocorrência do ENOS e têm implicações diretas sobre os ecossistemas locais.

Durante os anos de El Niño (La Niña), a precipitação e as descargas do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos aumentam (reduzem), respectivamente. Os autores, no entanto, chamam a atenção para o fato de que incursões, mais para o norte das águas do Rio da Prata, ocorrem paradoxalmente durante anos de La Niña.

Contudo, os mesmos ainda atribuem este fato à predominância dos ventos de quadrante sul, os quais impelem as águas mais para norte, ainda que as descargas do Rio da Prata sejam menores durante estes períodos. Campos et al. (2008) sugerem que, além da salinidade, os campos de TSM do Atlântico Sul também podem responder à variabilidade climática, associada ao fenômeno ENOS.

Campos et al. (1999), por exemplo, encontraram um pico de alta coerência entre a anomalia de temperatura na superfície do mar (ATSM) e o índice de Oscilação Sul (Southern Oscillation Index - SOI) no período de 1,5 anos, com o SOI antecedendo a ATSM em alguns meses.

Lentini et al. (2001) também buscaram relacionar o ENOS com anomalias de TSM, se propagando na região da plataforma continental e talude (profundidades menores que 1000 m) na América do Sul sobre as Águas do Atlântico Sul (ATS). Os autores usaram dados de sensores remotos entre os anos de 1982 e 1994 para as latitudes de 22° S e 42° S, reportando para o período a presença de 20 anomalias de TSM (13 frias e 7 quentes), ocorrendo imediatamente após eventos ENOS.

Este fato parece dar suporte à hipótese de que águas anormalmente frias ou quentes, sobre a plataforma continental e talude, se deslocariam para norte desde a Argentina até o Brasil em períodos de até um ano após os eventos de El Niño (La Niña). A relação entre TSM no ATS e eventos ENOS foi também analisada por Severeov et al. (2004).

Com base em 13 anos de dados de TSM, os autores relacionaram os eventos de El Niño (La Niña) a uma diminuição ou aumento da TSM sobre a CM, simultaneamente a um aumento (diminuição) da TSM sobre a CB, respectivamente. Embora não reportado no trabalho de Severeov et al. (2004), os resultados destes autores sugerem uma relação entre o gradiente meridional de TSM na região da CBM e os episódios ENOS.

Tendo em vista a alta variabilidade associada à circulação costeira na PCSB, se faz necessário um estudo da distribuição dos gradientes térmicos com a finalidade de investigar o potencial energético relativo e os aspectos relacionados a sua variabilidade espaço-temporal.

3.1 Objetivo Geral

3.1.1 Objetivos Específicos

- 30

nas zonas de altos gradientes térmicos, assim como mensurar valores médios para a conversão de energia.

3.2 Estrutura do Trabalho

O **Capítulo 1** apresenta a introdução do trabalho, destacando a importância das pesquisas na área de energias renováveis; a descrição dos fatores hidrodinâmicos e físicos que controlam a dinâmica da região, além dos objetivos deste estudo.

O **Capítulo 2** mostra a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho; a descrição das particularidades da energia, foco do estudo; os aspectos relativos à tecnologia e implementação dos sistemas periféricos; as fontes de dados utilizados e as ferramentas aplicadas à análise dos resultados; além do módulo de conversão de energia e suas equações constitutivas.

O **Capítulo 3** tem como foco apresentar a validação dos resultados para o campo de temperatura da superfície do mar, provenientes do modelo numérico utilizado, obtidos e analisados nesta pesquisa.

O **Capítulo 4** apresenta os resultados dos sítios de conversão de energia, definidos a partir das regiões de gradientes térmicos significativos, além dos resultados obtidos para a quantificação do potencial energético do gradiente térmico. Os resultados da variabilidade espacial e temporal da conversão energética também são evidenciados nesta seção.

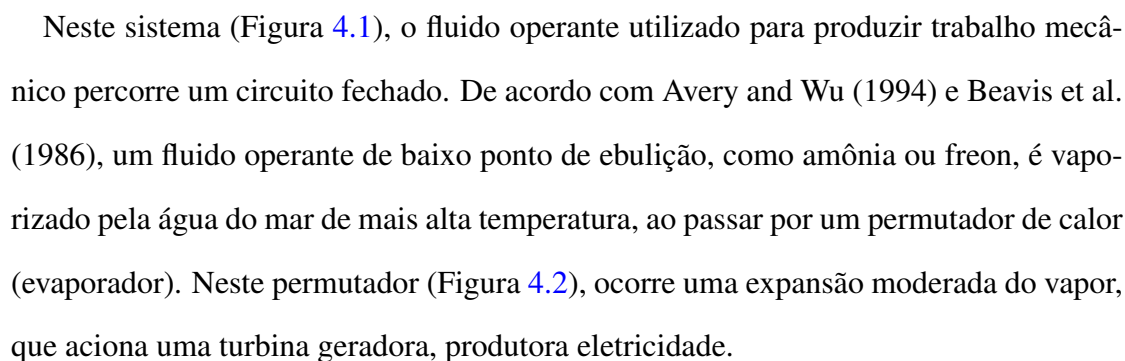
Os **Capítulos 5, 6, 7 e 8** apresentam, respectivamente: as conclusões do estudo; os trabalhos futuros; a produção científica no período de realização do mestrado e as referências bibliográficas.

Conceitos, Tecnologias e Informações Pretéritas da Usina OTEC

Existem, basicamente, duas abordagens para a conversão de energia térmica dos oceanos, o primeiro referido como um "ciclo fechado" e o segundo como um "ciclo aberto". No ciclo fechado, as águas superficiais de maior temperatura e as águas mais frias e profundas são utilizadas para vaporizar e condensar, respectivamente, um fluido de trabalho, tal como amônia. Este fluido de trabalho se dirige a uma turbina geradora em um circuito de forma a produzir eletricidade.

32

FURG - IMEF - FURG - IMEF - FURG - IMEF - FURG - IMEF - FURG - IMEF -



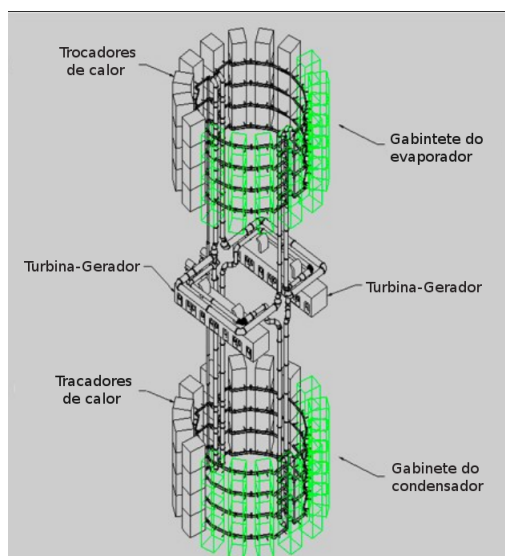


Figura 4.2: *Trocadores clássicos de calor em uma usina OTEC real [Adaptado de <http://www.oteci.com/otec-at-work/otec-concept-gallery>].*

é condensado ao ceder calor para o meio, devido à passagem de água do mar profunda que possui baixa temperatura. Esta água profunda é bombeada até este ponto através do CWP.

Tanto no condensador, como no evaporador, não há contato direto entre o fluido operante e a água do mar. Existe uma troca de calor através dos permutadores de calor (Figura 4.2). Depois de se mover pelo condensador, o fluido condensado é então bombeado de volta para o evaporador para reiniciar o ciclo. Assim, se estabelece uma circulação fechada para o fluido de trabalho, que numa situação ideal se movimenta continuamente, enquanto a água do mar possui temperatura adequada.

De acordo com Avery and Wu (1994), dentre os subsistemas presentes num sistema de ciclo fechado, os permutadores de calor têm uma importância considerável, pois, devido à pequena diferença de temperatura, estes componentes precisam ser projetados com uma área suficientemente grande para garantir a transferência de calor necessária.

Um arranjo termodinâmico muito comum para tentativa de otimização do funcionamento de sistemas de ciclo fechado é o ciclo Rankine (Dunn, 1977);(Avery and Wu, 1994). O ciclo Rankine se comporta basicamente como descrito anteriormente, entretanto sua aplicação abrange outras formas de máquinas térmicas além de sistemas OTEC. A sua otimização é amplamente utilizada para a melhoria de rendimentos de ciclos termodinâmicos.

Com as eventuais perdas decorrentes das quedas de pressão durante o funcionamento deste ciclo, além de outras possíveis combinações de T_H e T_c , o rendimento de um sistema OTEC baseado num ciclo Rankine sofre pequena redução adicional (Avery and Wu, 1994). Deste modo, segundo Neshiba (1987), na prática, o rendimento desse sistema varia de 2 a 3 %. Para Vega (1999), no entanto, ele oscila de 3 a 4 %, ainda para Vega (1999), a partir desses sistemas é possível satisfazer as necessidades de energia da população humana.

Para melhorar o rendimento do ciclo Rankine, pesquisas realizadas nos EUA e no Japão levaram a algumas modificações no arranjo básico do mesmo. Em 1985, o Físico americano Kalina apresentou uma variação do ciclo Rankine que foi batizado com seu nome. A principal modificação proposta no ciclo Kalina foi a utilização de uma mistura de amônia e água como fluido de trabalho, além da implantação de um subsistema extra: o recuperador (IOES, 2013; OCEES, 2007). A Universidade de Saga, no Japão, ao estudar o ciclo Kalina, conseguiu melhorar seu desempenho, criando, então, o ciclo Uehara que, entre outras modificações, diminuiu a carga do condensador, atingindo um rendimento de 5 a 6 % (IOES, 2013).

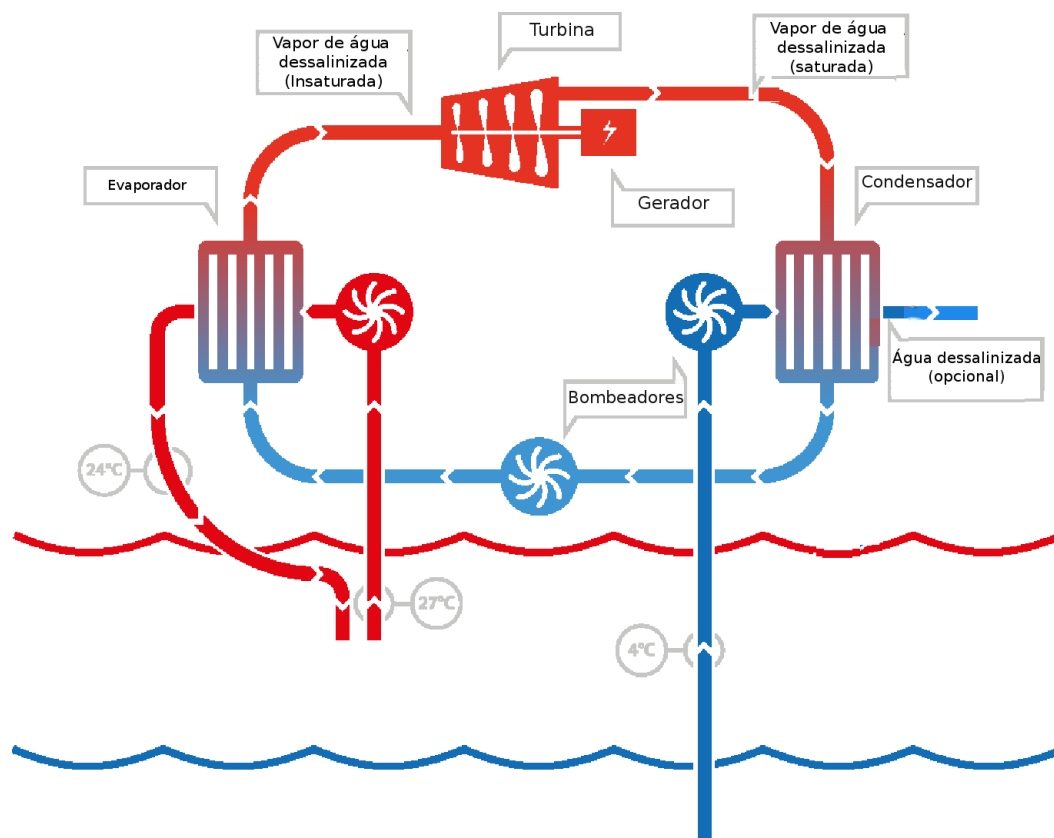


Figura 4.3: *Esquema do Ciclo aberto [Adaptado de <http://www.otecnews.org>].*

é a usina do Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA) em Kealohe Point, Hawaii Ocean Science and Technology Park (HOSTP) (Figura 4.4).

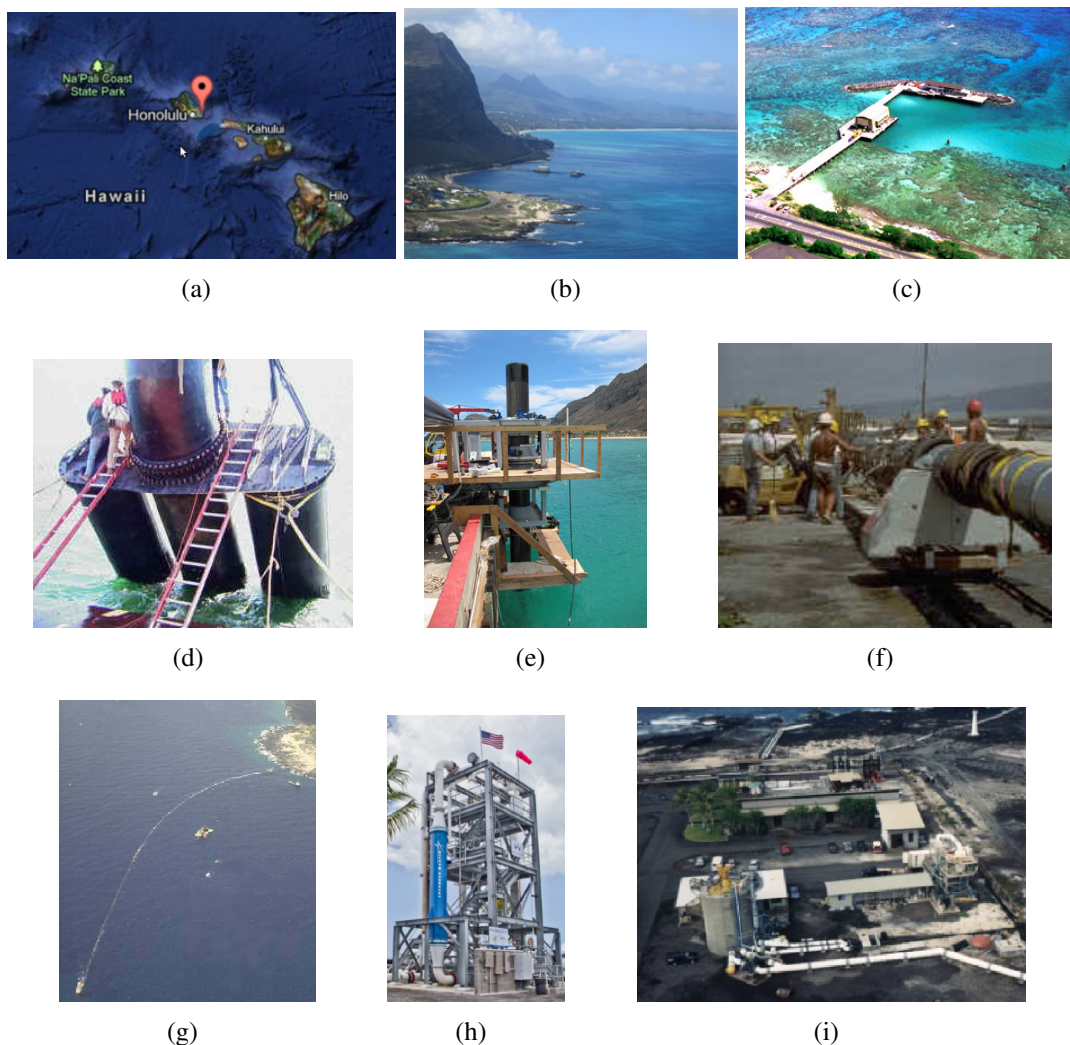


Figura 4.4: Usina do Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA) em Kealohe Point, Hawaii Ocean Science and Technology Park. (a) Vista superior do Hawaii; (b) Pontal da ilha Kealohe Point; (c) Vista aérea do pier de pesquisa Makai; (d) Instalação da tubulação de captação de água quente; (e) Fixação da tubulação de água quente no pier; (f) Instalação da tubulação de comunicação com a usina no continente; (g) Vista aérea da tubulação de coleta de água fria; (h) Trocadores de calor da usina de Makai (i) Vista aérea da usina Makai [Adaptado de <http://www.makai.com/images>]

Conforme Vega (1999), testes de produção de eletricidade nesta usina foram conduzidos entre os anos 1993 e 1998. Atualmente não há geração de energia elétrica nesta usina, porém a água do mar fria (rica em nutrientes) é utilizada no sistema de refrigeração dos prédios da administração e laboratório, além de outros fins, como para a aquicultura.

Existe uma planta OTEC , de 100 *kW*, em funcionamento em Kumejima, Okinawa, Japão, associado ao Institute of Ocean Energy, Saga University (IOES), sendo que além da saída de energia elétrica existe uma infinidade de outros subprodutos associados as aplicações da água profunda do oceano utilizada na operação de cada ciclo da usina.

As regiões mais apropriadas para esse tipo de sistema precisam apresentar certas características geomorfológicas, como: plataformas continentais estreitas (ex. ilhas vulcânicas), taludes inclinados (15- 20 °) e fundos marinhos relativamente planos. Isto reduz o tamanho de CWP, que é a dificuldade técnica mais pronunciada. (Thermal, 2007).

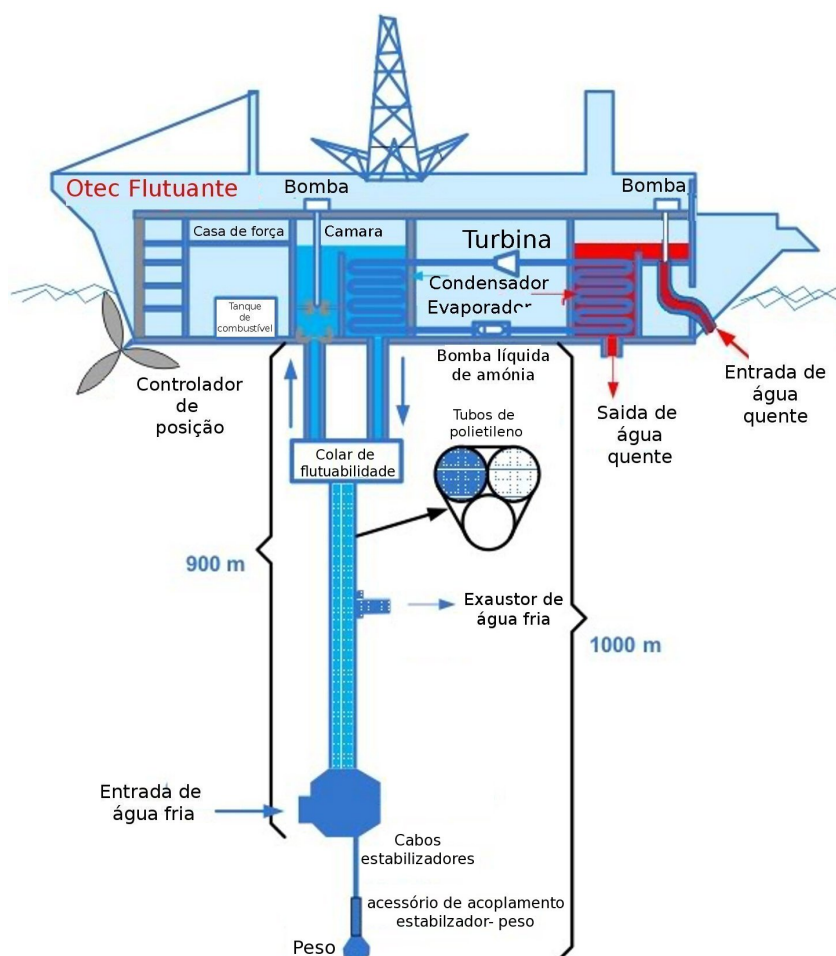
4.2.2 Instalação na Plataforma Continental

Segundo Thermal (2007), na tentativa de evitar a zona de surfe turbulenta, bem como ter um acesso mais próximo da fonte de águas mais profundas, sistemas OTEC podem ser instalados na plataforma continental (Figura 4.5). Este arranjo também procura evitar a poluição visual que usinas OTEC poderiam causar em área continental, bem como outros impactos ambientais na zona costeira.

A construção deste sistema pode ser feita em um estaleiro e depois ser levada ao local escolhido, para sua fixação junto ao assoalho marinho. Antes, porém, considerações geotécnicas devem ser feitas para garantir integridade das fundações deste tipo de



(a)



(b)

Figura 4.6: Sistema OTEC Flutuante. (a) Mini OTEC ;(b) Esquema demonstrativo da usina flutuante; [Fonte: <http://www.otecnews.org/>].

Conforme Vega and Nihous (1996), dentre as instalações citadas, as que ganham destaque são as de flutuação de grande e pequenos porte, que estão na plataforma continental, ancoradas em águas próximas à costa, e que transmitem energia elétrica para a praia através cabos submarinos, também merecem destaque pelo seu desempenho.

Em sistemas oceânicos profundos de amarração, propulsores de posicionamento dinâmico, desenvolvidos pela indústria "offshore", podem ser utilizados para manter a sua posição. O fluxo de "momentum", associado ao consumo de água quente e à água de retorno mista, pode ajudar no posicionamento do navio de superfície.

44

Atuais

A partir destes conceitos iniciais, o melhor entendimento dos princípios físicos e químicos do funcionamento das máquinas térmicas levaram ao estabelecimento de sistemas comerciais (Avery and Wu, 1994). Os primeiros passos para concretização do conceito OTEC foram dados principalmente por estudiosos franceses.

Conforme Avery and Wu (1994) , o cientista Le Bom, em artigo publicado em 1881, vislumbrou o uso futuro de certos gases comprimidos como potência motora visto suas propriedades de estocar e transportar energia. A publicação deste artigo induziu Arsene D'Arsonval, físico francês considerado pai da tecnologia OTEC, a propor o uso de máquinas térmicas com gases liquefeitos como fluido de trabalho para obter energia de fontes à baixa temperatura disponíveis na natureza.

45

Para este fim, ele imaginou o uso de uma máquina térmica oceânica de ciclo fechado (Avery and Wu, 1994). Contudo, segundo Bégueri (1979), apenas em 1926, o engenheiro George Claude iniciou os primeiros projetos concretos deste conceito, fazendo algumas ponderações sobre certas dificuldades do sistema OTEC.

Para contornar os problemas de construção de permutadores de calor de grande área, sua consequente corrosão e bioincrustação, ele sugeriu um sistema OTEC onde o ciclo seria aberto, utilizando a própria água quente do mar como fluido de trabalho. Tal sistema é atualmente também denominado de ciclo de Claude (Avery and Wu, 1994).

Claude primeiramente mostrou a exequibilidade desta idéia em 1928 através da instalação de uma usina em Ougree-Marhay, na Bélgica. Neste local, foi usada como fonte de água quente para o evaporador, a água de refrigeração a $30^{\circ}C$ de uma usina de aço, ao passo que, como fluido condensante, foi utilizada a água do Rio Meuse a $10^{\circ}C$. Neste experimento, a potência de saída foi de cerca de 50 a 60 quilowatts (kW) (Avery and Wu, 1994; Bégueri, 1979; Johnson, 2006).

Em 1930, após o teste bem sucedido na Bélgica, Claude deslocou a usina para a baía de Matanzas, Cuba, para demonstrar a viabilidade da produção de potência térmica a partir da combinação de água quente superficial do mar com água fria extraída de profundidade adequada (Avery and Wu, 1994; Bégueri, 1979; Johnson, 2006) (Figura 4.7).

Johnson (2006) relata que Claude, então, após duas tentativas fracassadas, conseguiu operar o sistema, que gerou $22kW$ de potência de saída a partir de uma diferença de temperatura de $14\text{ }^{\circ}C$. Entretanto, conforme Bégueri (1979), a potência útil fornecida pelo sistema era nula devido à energia requerida para o bombeamento de água.

Cinco anos depois das experiências em Cuba, Claude montou outra usina, do tipo flutuante, instalada a bordo de um navio cargueiro de 10.000 t . A sua intenção era

l'Exploitation des Océans (CNEXO), atualmente o Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) fez estudos para a construção de uma usina piloto de 5 *MW* na Polinésia Francesa.

Tal projeto foi abandonado pela falta de competitividade econômica entre o sistema OTEC e os que usam combustíveis fósseis (EUROCEAN, 2004; Gauthier, 2006). Na atualidade, existe uma associação científica francesa denominada Le Club des Argonautes, que busca informar a sociedade, entre outras coisas, sobre o uso potencial da energia dos oceanos como pode ser visto pelos trabalhos de (Brown et al., 2002; Gauthier, 2006).

Nos Estados Unidos, o desenvolvimento da tecnologia OTEC se deu a partir do retorno de Bryn Beorse para este país, depois de ter entrado em contato, nos anos de 1947 e 1948, com os estudos sobre OTEC realizados na França (Beorse, 1977; Johnson, 2006). Segundo Beorse (1977) e Johnson (2006), o Laboratório de Conversão de Água do Mar da Universidade da Califórnia foi o ponto de partida das pesquisas nos Estados Unidos sobre sistemas OTEC.

Esta universidade construiu e testou, sob a liderança de Bryn Beorse, três usinas OTEC. A partir do conhecimento obtido com o teste das três usinas OTEC, a Universidade da Califórnia planejou uma usina comercial de dessalinização para ser implantada no cânion próximo ao Scripps Oceanographic Institution em La Jolla na Califórnia. Contudo esta usina não chegou a ser construída, devido à preferência do Governo e dos cidadãos norte-americanos por outro projeto (Beorse, 1977; Johnson, 2006).

Em 1962, J. Hilbert Anderson e James H. Anderson, Jr. planejaram uma usina de ciclo fechado com o intuito de aperfeiçoar as ideias de Claude. A preocupação deles foi de criar componentes novos e mais eficientes. Em 1977, os dois pesquisadores apresentaram para o Congresso americano um engenho piloto em pequena escala (Beorse,

1977; Johnson, 2006).

Segundo Beorse (1977) e Johnson (2006), com a elevação abrupta do preço do petróleo nos anos 70, o governo americano, através da Fundação Nacional da Ciência, custeou pesquisas sobre sistemas OTEC. Várias instituições se envolveram na questão, como: Universidade de Massachusetts, Laboratório de Física Aplicada da Universidade John Hopkins, além das Universidades do Texas, do Hawaii, de New Orleans e da Flórida.

Paralelamente, o setor privado também investiu nesta área e diversas empresas contribuíram com suas análises, dentre elas: Lockheed, Bechtel, TRW, Andersons Sea Solar Power, Hydronautics e Batelle. Com a necessidade de investigação de novas fontes de energia devido à crise de petróleo, outras instituições governamentais foram criadas para pesquisar sobre fontes alternativas aos combustíveis fósseis.

Uma delas, criada em 1977, foi o Solar Energy Research Institute (SERI), atual National Renewable Energy Laboratory (NREL), que em 1984 melhorou a eficiência de conversão de energia de um sistema OTEC. No momento, NREL não está conduzindo estudos sobre tecnologia OTEC (Thermal, 2007). Conforme Avery and Wu (1994), outra iniciativa desta época foi a proposta de construção de uma usina OTEC em Punta Tuna (Porto Rico) que seria gerenciada pela Puerto Rico Electric Power Authority.

Outra ação governamental norte-americana, durante este período, foi a criação, em 1974, do Natural Energy Laboratory of Hawaii (NELH), atualmente transformado para NELHA. Este laboratório se tornou um dos líderes mundiais sobre tecnologia OTEC com vários experimentos na área.

Estes testes vão desde a montagem do primeiro sistema de ciclo fechado bem sucedido na produção de potência líquida, conhecido como Mini OTEC, em 1979 (Thermal, 2007), até pesquisas com subprodutos úteis desta tecnologia, como os relatados por T.H.

Daniel em seu trabalho "The Promise of OTEC and Its By-Products", apresentado em um simpósio ocorrido no ano de 1994 no Japão (Research, 2007).

Outras nações também investiram em projetos de tecnologia OTEC. Em 1981, os japoneses conceberam uma instalação com potência bruta de $100kW$ que foi operada na nação insular de Nauru (Avery and Wu, 1994). Segundo WU (2006), Taiwan possui o Industrial Technology Research Institute (ITRI) que, entre outros ramos do conhecimento, lida com esta tecnologia.

Outra instituição que investiga usinas OTEC é a National Taiwan Ocean University (NTOU), como pode ser visto no trabalho de Yeh et al. (2005) sobre a saída máxima de uma usina OTEC. A Índia também mostra interesse no desenvolvimento desta tecnologia. Em 1982, uma equipe de trabalho sobre o assunto foi formada no Instituto Indiano de Tecnologia em Madras (Ravindran, 2000).

Segundo IOES (2013) em março de 2013 o centro de facilidade demonstrativo OTEC entra em funcionamento, 100 *kW* Planta e aplicações de água profunda em Kumejima, Okinawa, Japão, sendo a implementação do projeto feito através de um consórcio de três empresas: IHI Obras Co. (<http://www.ihico.jp/en/> - empresa para construir e operar a instalação OTEC), Yokogawa Solution Services Co. (soluções para uma gama de projetos, incluindo os sistemas da Facilidade OTEC de potência e monitoramento) e Xenesys Inc. (<http://xenesys.com/english/products/otec.html> - empresa líder em tecnologias de trocas de calor). O IOES, Institute of Ocean Energy of Saga (<http://www.ioes.saga-u.ac.jp/en/study.html>) é peça fundamental na concepção de pesquisa de sistemas OTEC e na instalação da usina demonstrativa.

Conforme ODSWRI (2013) o $O_{kinawa}TEC$ abrange além do centro de demonstrativo de facilidades um conjunto de empresas que tem por objetivo utilizar as propriedades minerais únicas da água do mar profunda, após o uso na geração de energia OTEC, para

ser utilizada na agricultura, indústria, refrigeração e outros campos. A investigação continua para os usos da água mineral rica, abrindo novas maneiras de aproveitar o poder do mar. Desta forma o Okinawa Prevechure Deep Sea Water Research Institute, <http://www.pref.okinawa.jp/odrc/welcom20drc.html>, tem por objetivo vislumbrar novas maneiras de aproveitar a saída de água do condensador de uma usina Otec.

Em 1993, o National Institute of Ocean Technology (NIOT) foi criado e, a partir de então, assumiu o comando das pesquisas sobre OTEC na Índia. Em colaboração com a Universidade de Saga, este instituto planejou, construiu e realizou testes com um navio-usina OTEC de 1 MW de potência bruta (EUROCEAN, 2004).

No Brasil, há registros de trabalhos de Sotelo Jr., que em sua dissertação de Mestrado na USP em 1976, trabalhou com a hidrodinâmica de sistemas oceânicos, incluindo sistemas OTEC. Posteriormente, realizou doutorado em 1981 pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), EUA, onde apresentou a tese "Modeling, Off-Design Performance and Control of OTEC Power Plants".

Outro trabalho relacionado ao tema é o de Martins apresentado à EnergytecK 2002, denominado "Fontes Alternativas de Energia: Maremotriz (Rance) e gradiente térmico (OTEC)". O artigo escrito mais recente sobre a questão do aproveitamento dos gradientes térmicos no Brasil é o de Almeida (2007), intitulado "As fontes de energia do oceano".

De um modo geral, a evolução da tecnologia OTEC tem ocorrido de maneira oscilante, influenciada pela variação do preço dos combustíveis fósseis. Nos EUA, o maior aporte de recursos financeiros nos anos 70 foi diretamente influenciado pela grande elevação do valor do petróleo durante este período e, conseqüentemente, busca de fontes alternativas de energia.

Apenas o NELHA se consolidou no desenvolvimento desta tecnologia. Na França, a

opção se deu pela energia nuclear, já que os sistemas OTEC seriam mais propícios para as regiões ultramarinas.

4.4.1 Brasil (Projeto Cabo Frio)

Durante dois anos na região de Cabo Frio, entre julho de 1972 e julho 1974, foram realizados pelo Instituto de Pesquisas da Marinha estudos que confirmaram que Cabo Frio é foco de uma importante ressurgência costeira e, durante 80 % do ano, mantém a 50 m da superfície, águas com temperaturas iguais ou inferiores a 15°C (Silva, 1978).

Estas temperaturas são obtidas no oceano em profundidades de 300 a 400 m, sendo mais ricas em nutrientes que águas superficiais e, no caso de Cabo Frio, responsáveis pela pesca da sardinha e do mexilhão encontrado na enseada. Uma justificativa para esta experiência, incerta do ponto de vista biológico e desinteressante para iniciativa privada, foi o desenvolvimento de um aproveitamento termodinâmico, de proveito seguro, pela captação desta água fria pouco abaixo da superfície (Silva, 1978).

Os engenheiros do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento do Centro Técnico Aeroespacial (DPDCTA), que construíram uma usina piloto e estudaram sua viabilidade, chegaram à conclusão que poderia ser produzido gelo entre *US\$7,00* e *US\$9,00* a tonelada (1974), ou seja, a um terço do preço então praticado no mercado (Silva, 1978). O gelo obtido pelo sistema era levemente salgado e do tipo neve, sendo apropriado à conservação de pescado.

Apesar de produzir gelo a um custo menor que o valor de mercado e com baixo consumo energético, o objetivo no transcorrer do projeto era obter um sistema termodinâmico onde a energia seria obtida como produto final. Com o desenvolvimento de novos aquecedores solares, o projeto almejava aquecer a água superficial a $80^{\circ}C$, a qual seria

armazenada em um reservatório de 600 m^3 , vaporizando a amônia que seria direcionada a uma turbina onde seria produzida energia elétrica (Silva, 1978).

região analisada.

Sendo assim, serão obtidos mapas de distribuição mensal e sazonal, dos gradientes térmicos sobre a faixa oceânica, avaliada como potencialmente viável, objetivando encontrar possíveis locais para instalação de parques energéticos com a implementação da usina OTEC e seus subsistemas.

5.1 Dados e Métodos Utilizados no Trabalho

Os dados e métodos utilizados para elaborar o estudo são descritos em cinco subitens. No primeiro são apresentados os dados de TSM utilizados no estudo. No segundo, é realizada uma breve descrição do modelo regional Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project (OCCAM), no terceiro são descritos os métodos comparativos para a interpolação dos dados, além da estimativa de erro do modelo quando comparado aos dados do sensor remoto. Posteriormente, no quarto subitem, são definidos os procedimentos usados no modelo matemático, com a finalidade de realizar análise de variabilidade energética e, no quinto, são descritos, brevemente, os métodos aplicados para a análise dos resultados obtidos.

5.2 Dados Superficiais da Temperatura do Mar

Neste estudo, foram utilizadas imagens de TSM, obtidas a partir do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo dos satélites da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Os dados são referentes à versão mais atual (versão 5) do banco de dados global, desenvolvidos pelo National Oceanographic Data Center (NODC) e pela University of Mi-

ami's Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science (RSMAS) e distribuído em parceria com o Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PODAAC).

Neste banco que faz parte do projeto Pathfinder, está representado um reprocessamento das séries de dados do AVHRR, usando algoritmos mais consistentes para a determinação da TSM. Esta base possui dados desde o ano 1981 até o ano 2010, totalizando 29 anos com resolução espacial de 4 km, disponibilizada sem custos no link <http://data.nodc.noaa.gov/pathfinder/Version5.2/>.

O dado coletado "Skin-friction", ou seja ,temperatura da superfície da "pele"do mar, significa o limite inferior da atmosfera. Esta medida de temperatura, realizada por um radiômetro de infravermelhos, normalmente operando em comprimentos de onda na faixa de 3,7-12 micrômetros, representa a temperatura dentro de uma subcamada, localizada a uma profundidade de cerca de 10-20 micrômetros abaixo da interface ar-mar.

Estas medidas estão sujeitas a um ciclo de grande potencial diurno, incluindo os efeitos de camada da pele, especialmente durante à noite, sob um céu claro, e condições de baixa velocidade do vento, além dos efeitos de aquecimento durante o dia.

A temperatura da superfície da pele do mar (SST_{skin}), definida acima, representa a temperatura real da água em uma pequena profundidade de cerca de 20 micrômetros, portanto esta medida é representativa para a superfície do mar, sendo esta definição escolhida para possibilitar compatibilidade com a maioria dos satélites infravermelhos e navios de medidas radiométricas.

A validação dos dados utilizados foi feita pela Nasa Global Chang Master directory(GCMD) Science Keywords and Associated Directory Keywords, disponível em <http://gcmd.nasa.gov/Resources/valids/archives/keyword.list.html>.

horizontal de 0.25° , e resolução vertical que utiliza 66 níveis distribuídos ao longo de um sistema de coordenadas vertical (coordenadas z), apresentando melhor definição para a camada superior até 100 m a qual é representada por 14 níveis verticais (Tabel 5.1).

Existe um aumento do intervalo entre os níveis conforme o aumento da profundidade. A definição das profundidades dos pontos da grade horizontal, assim como os limites entre os níveis é baseada em uma função analítica (Coward and Cuevas, 2005). As profundidades dos pontos são apresentados na Tabela 5.1.

Os dados utilizados são alternados de 5 dias em 5 dias, englobando o período entre 1 janeiro de 1990 e 31 de dezembro de 2004, totalizando 14 anos, que estão disponíveis no link <http://www.noc.soton.ac.uk/JRD/OCCAM/EMODS/select.php>, assim como as convenções de metadados, especificações e suas respectivas discriminações no link <http://cf-pcmdi.llnl.gov/documents/cf-conventions/1.4/cf-conventions.html>.

5.4 Tratamento e Validação dos Dados do Modelo

Os dados do sensor remoto e do modelo numérico foram tratados para que fossem realizadas comparações sobre as mesmas posições geográficas e durante o mesmo período (1990-2004). Posteriormente, foram obtidas as médias mensais, sazonais e anuais, para os dados de temperatura das grades do modelo numérico e do sensor remoto na região da Plataforma Continental do Sul do Brasil.

A qualidade dos resultados fornecidos pelo modelo numérico foi quantificada através da utilização do índice de correlação. Os dados de temperatura da superfície do mar, fornecidos pelo sensor da NOAA, e os dados de TSM do modelo OCCAM foram comparados de forma a respaldar a possibilidade de utilização dos dados do modelo numérico para o estudo em questão.

As páginas 59 a 68 foram retidas a
pedido do autor.

Validação dos resultados

Os resultados do campo médio de temperatura mostram a influência da CB ocorrendo na região da quebra de plataforma continental com temperaturas superiores a $20^{\circ}C$. Na região mais ao sul, ao longo da plataforma continental, podemos observar águas com temperaturas menores que $20^{\circ}C$ as quais estão associadas: à intrusão das águas provenientes das descargas do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos, às águas de origem subantárticas e às da Confluência Brasil-Malvinas, constituindo a chamada Contra Corrente Costeira (CCC).

69

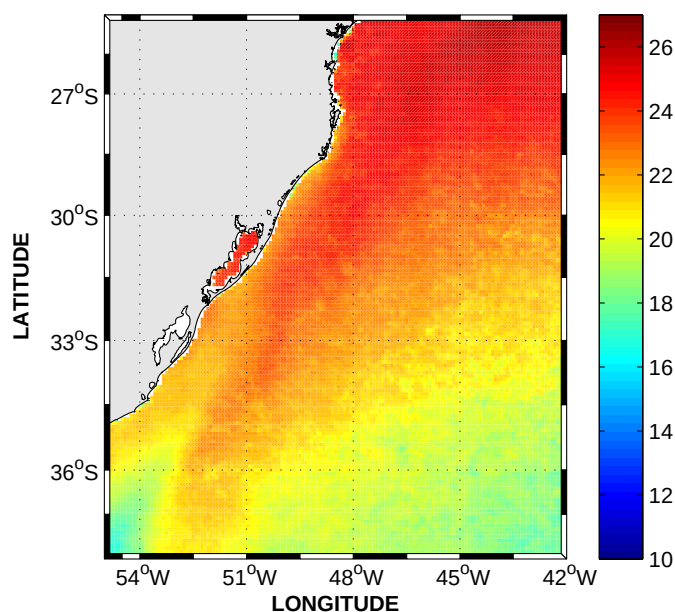
de sua influência na estação da primavera (Figura 6.7). Nas estações de maior retração da CB, podemos observar a maior contribuição da CCC para a manutenção do padrão termohalino da PCSB. Estes resultados estão de acordo com e Miranda (1982) e Castro et al. (2006).

Os resultados mostram uma boa correlação visual, indicando que os dados superficiais do modelo da OCCAM podem ser utilizados para representar os campos de temperatura da água na PCSB em escala sazonal e anual (Figuras 6.1, 6.3, 6.5, 6.7 e 6.9).

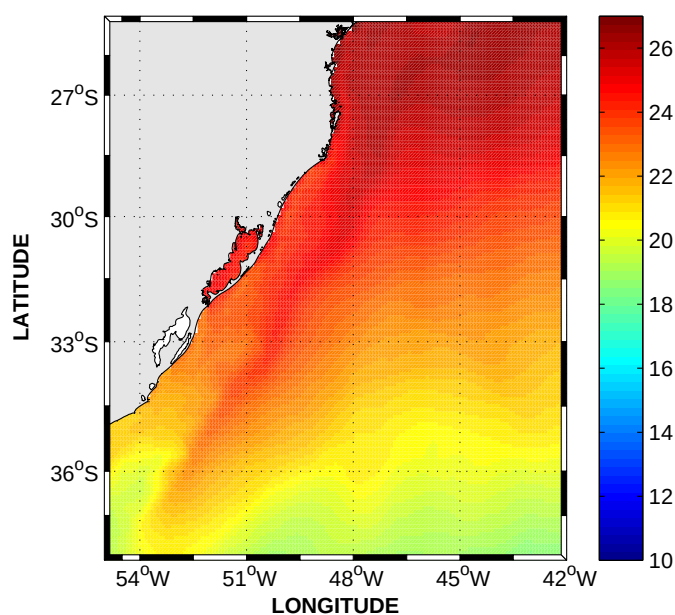
Com base nos dados obtidos, foi realizada uma análise de correlação linear entre os dados do sensor remoto e do modelo numérico, utilizando o método dos mínimos quadrados.

Considerando os dados do sensor da NOAA como a variável independente e os dados do modelo OCCAM como variável dependente, verificamos pelas Figuras (6.2, 6.4, 6.6, 6.8 e 6.10), que os coeficientes de correlação lineares são respectivamente de 0.934, 0.952, 0.926, 0.934 e 0.938, de forma que a correlação entre os dados médios do sensor e do modelo são de aproximadamente: 93.4% para o verão, 95.2% para o outono, 92.6% para o inverno e 93.4% para a primavera. A média anual apresenta uma correlação de aproximadamente 93.8%.

Desta forma, temos (Figuras 6.2, 6.4, 6.6, 6.8 e 6.10) uma boa correlação entre os dados, indicado pela baixa dispersão. Os resultados indicam coeficientes de determinação (r^2) iguais a respectivamente 0.8968, 0.912, 0.9293, 0.8968 e 0.9860, demonstrando que 89.68%, 91.2%, 92.93%, 89.68% e 98.60% da temperatura do sensor da NOAA consegue ser explicada pelos dados do modelo OCCAM, nas respectivas médias sazonais e na média anual.



(a)



(b)

Figura 6.1: Média sazonal do verão para a temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM

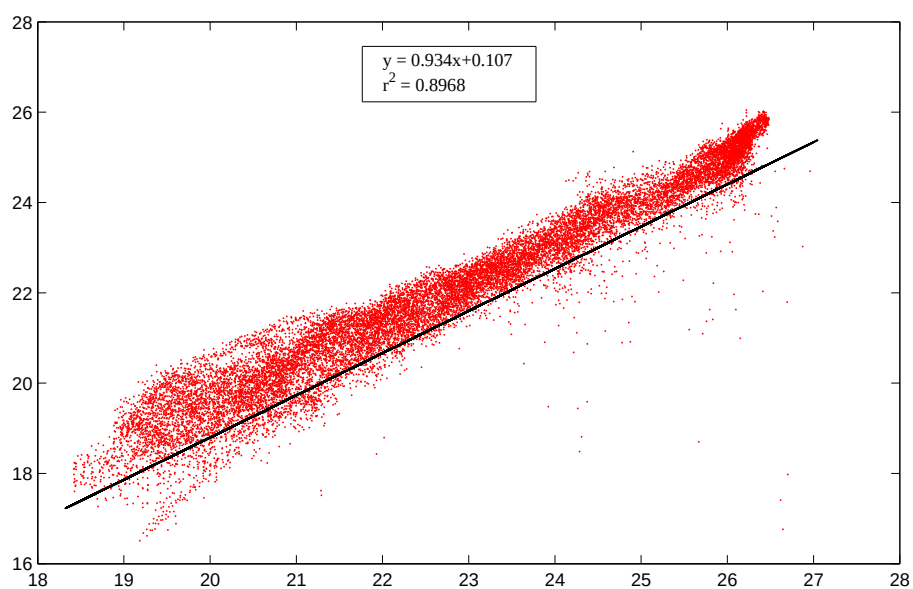


Figura 6.2: *Correlação linear, obtida com base nos dados independentes (TSM NOAA média sazonal verão) e dependentes (Camada superficial do OCCAM média sazonal verão).*



Figura 6.3: Média sazonal do outono para a temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM

74



Figura 6.5: Média sazonal do inverno para a temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM

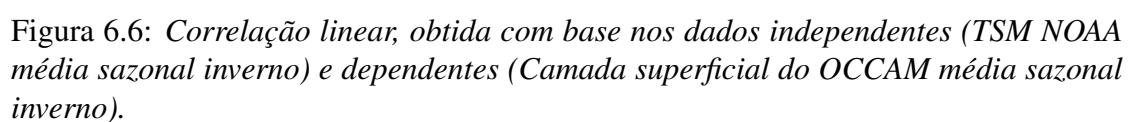
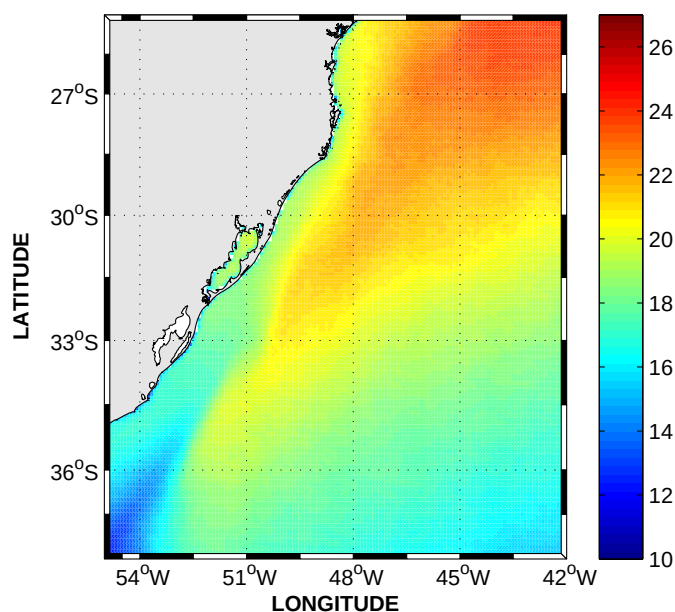
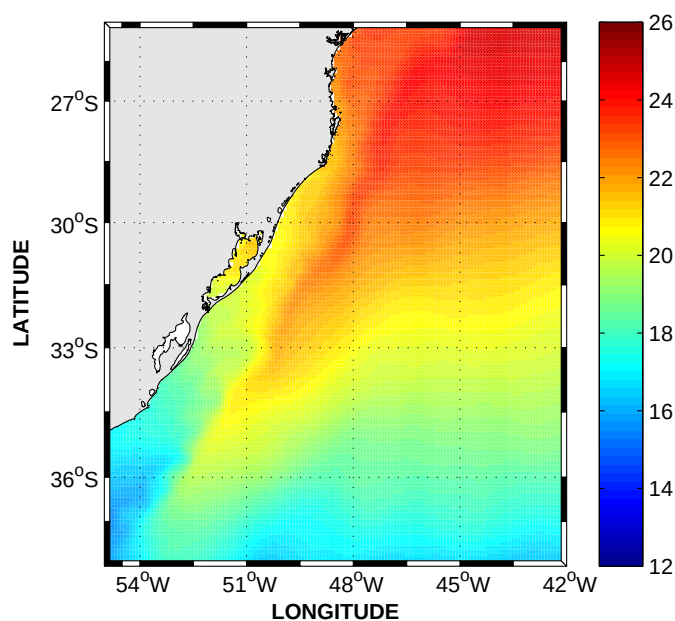




Figura 6.7: Média sazonal da primavera para a temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM



(a)



(b)

Figura 6.9: Média anual da temperatura da superfície do mar (a) sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA; (b) nível superficial do modelo OCCAM

Neste sentido, consideramos que estes valores são significativos para validar e indicar confiabilidade no campo de temperatura superficial, estimada pelo modelo tridimensional. Entretanto, devido à falta de informações para a realização de validação dos dados do modelo, ao longo da coluna d'água, admitimos, a partir da comparação previamente apresentada, que os dados de temperatura fornecidos por este modelo podem ser utilizados para a estimativa dos gradientes térmicos, eficiências e potências da usina OTEC.

Resultados e Discussões

A partir dos dados de temperaturas médias mensais, foram obtidos mapas de gradientes térmicos médios mensais para todo o período de análise, entre os anos de 1990 e 2004 Figuras(7.1 e 7.2). Tais valores permitiram verificar a variação sazonal dos gradientes térmicos. Ao longo da coluna d'água a escolha dos níveis de profundidade analisados foi pautada na viabilidade da coleta de água fria profunda, tendo como base o relatório técnico de Vega (1999).

Neste sentido, foi selecionada a profundidade de 545 m (nível 30 do modelo tridimensional OCCAM), pois esta profundidade representa o início do talude na plataforma continental Figura(2.1), que pode ser considerada como uma região termicamente dinâmica e de maior acessibilidade do ponto de vista técnico (Vega, 1999).

Os Resultados mostram que os campos médios dos gradientes térmicos tem alta variabilidade temporal e espacial, e são relacionados às alterações dos processos meteorológicos e oceanográficos sobre a região de estudo. Esta variabilidade está associada à

circulação de massas de água sobre a Plataforma Continental, porém, do ponto de vista quantitativo, esta variação não é tão significativa, uma vez que os gradientes máximos em cada estação ficam centrados em uma mesma região específica Figura(7.3).

Quanto às características que se pronunciam nas estações: o inverno Figura(7.3 (c)) apresenta a ocorrência de uma alta variabilidade na distribuição espacial. Estas características podem estar associadas a dois processos hidrodinâmicos que se reconfiguram de forma abrupta e concomitante: o recuo da CB; o avanço de águas de origem subantárticas; o deslocamento da CBM e o avanço da frente da pluma do rio da Prata (CCC) em direção ao norte. Estas características configuram um aumento expressivo nas feições oceanográficas, fazendo com que este período seja o único que não apresenta padrões mais homogêneos de mistura de correntes oceanográficas.

Uma característica que se pronuncia nas feições oceanográficas é o avanço da frente da pluma do rio da Prata (CCC) em direção ao norte, sendo sua ocorrência evidente a partir de abril Figura(7.1 (e)), atingindo seu ápice em julho Figura(7.2 (b)) e agosto Figura(7.2 (c)), e perdendo intensidade até recuar completamente em outubro Figura(7.2 (e)).

Os dados dos gradientes térmicos para a área da Plataforma Continental Catarinense (PCC) permitiram identificar algumas características mais relevantes quanto à variabilidade das propriedades. O padrão geral pode ser resumido como uma condição mais homogênea durante o verão Figura(7.3 (a)), alternando com uma maior riqueza de feições durante o inverno Figura(7.3 (c)).

Contudo, mesmo durante o verão, existem alguns padrões observados. O mais importante é o surgimento de um núcleo de águas mais frias entre o Cabo de Santa Marta Grande e a Ilha de Santa Catarina Figura(7.3 (a)), que ocorre junto à zona costeira, possibilitando maiores gradientes térmicos. Este padrão termohalino foi observado an-

teriormente por Schettini et al. (1998) e Schettini et al. (2005).

Os resultados dos gradientes térmicos máximos na região da quebra de plataforma continental para as estações do ano: verão Figura(7.3 (a)), outono Figura(7.3 (b)), inverno Figura(7.3 (c)) e Primavera Figura(7.3 (d)) são respectivamente de: $0,17^{\circ}C/m$, $0,167^{\circ}C/m$, $0,145^{\circ}C/m$ e $0,149^{\circ}C/m$.

Neste sentido, vemos que a variação máxima dos gradientes é de $0,021^{\circ}C/m$. Portanto podemos considerar que estas variações são de pequena amplitude, perante a gama de fenômenos decorrentes sobre a região da PCC.

Esta estabilidade é importante devido à necessidade de colocação das tubulações HWP e CWP, que não poderão ser deslocadas, sendo assim um local com baixa sensibilidade à sazonalidade configura um sítio de energia para a tecnologia OTEC. Desta forma serão analisadas as regiões do ponto de vista do valor do gradiente térmico e de sua distribuição espacial na região da PCC.

Características das variações sazonais de temperaturas, salinidade, densidade e circulação das águas superficiais do Oceano Atlântico Sul foram apresentadas pela primeira vez nos trabalhos de Böhnecke (1936) e Schumacher (1946). Os primeiros resultados foram divulgados como mapas de distribuição sazonal da temperatura e salinidade da superfície, onde a advecção de águas frias ($< 18^{\circ}\text{C}$) e de baixa salinidade ($< 34,5$), ao longo da PCSB, foi verificada por Böhnecke (1936).

Olson et al. (1988) e Podesta et al. (1991) fizeram menção à CB, como sendo uma língua de alta temperatura e salinidade, fluindo para sul ao longo da margem continental, que se separa da costa em direção à região oceânica, em torno de $36^{\circ}S$ de latitude.

De acordo com estes autores, as águas subantárticas frias e menos salinas da CM fluem na direção norte ao longo da costa, por sobre o talude até encontrar a CB na região de convergência subtropical, onde deflete em direção a oeste com a mesma.

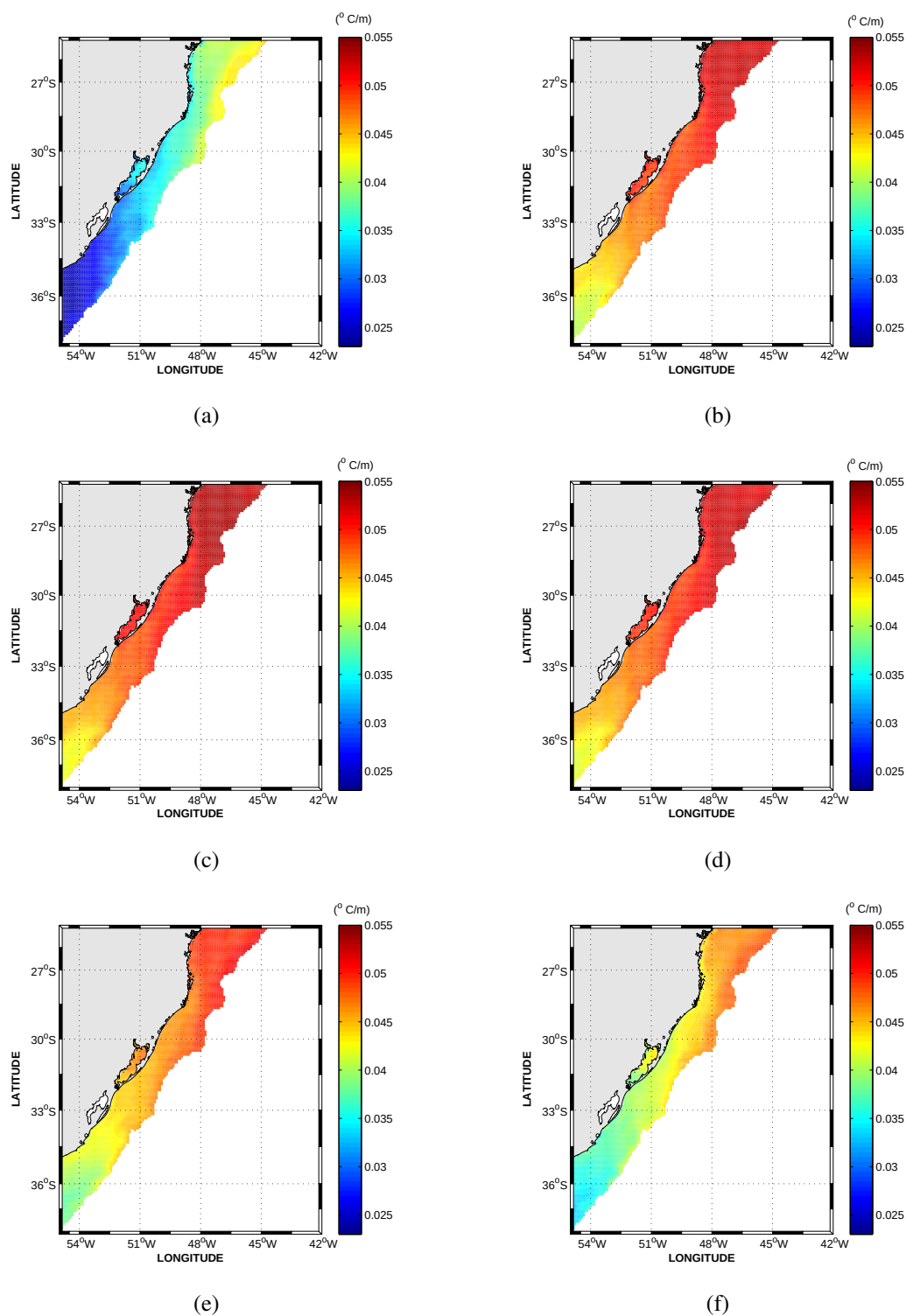


Figura 7.1: Gradientes térmicos médios para todos os meses de: (a) Dezembro; (b) Janeiro; (c) Fevereiro; (d) Março; (e) Abril e (f) Maio, de 1990 a 2004.

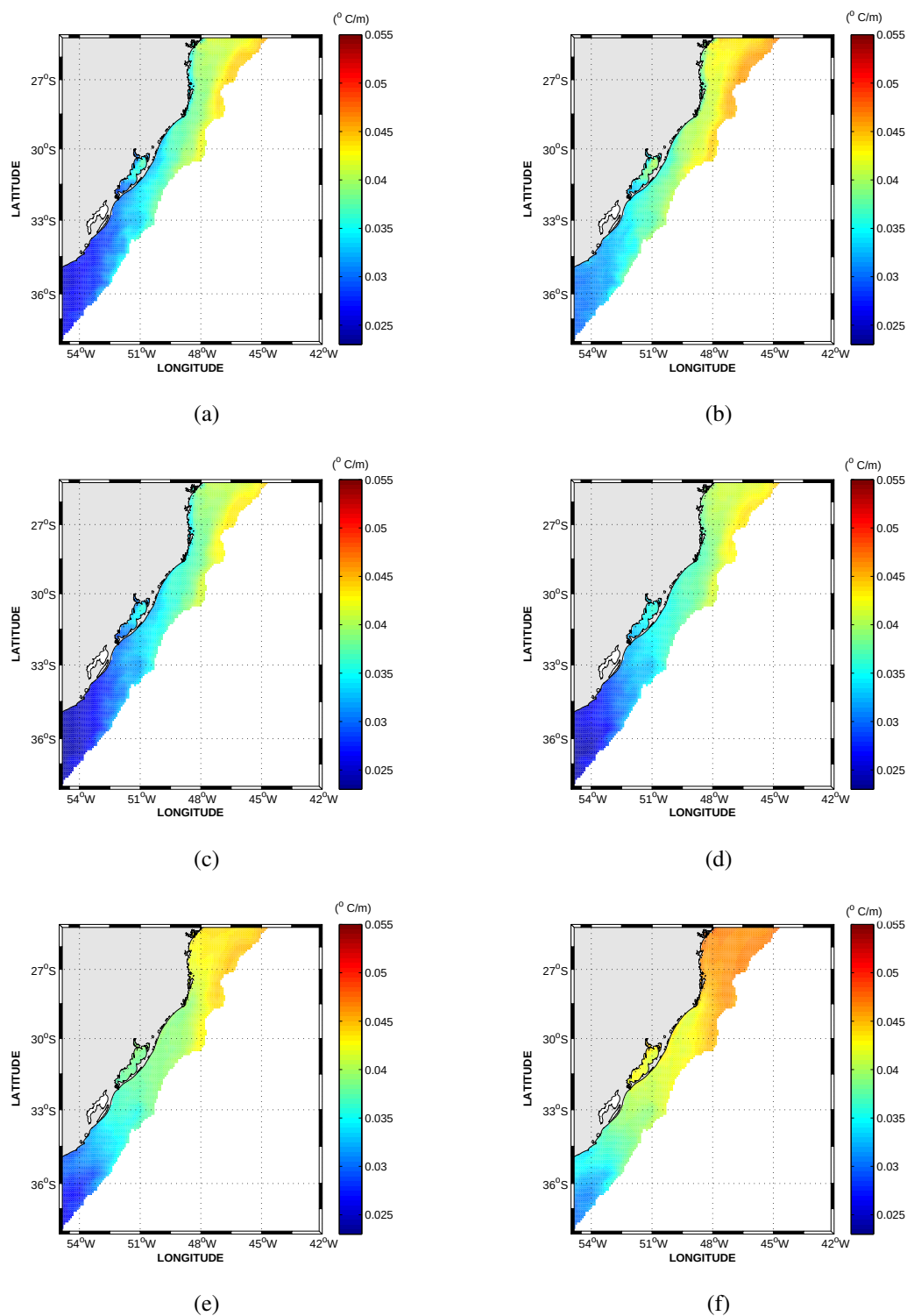


Figura 7.2: Gradientes térmicos médios dos meses de: (a) Junho; (b) Julho; (c) Agosto; (d) Setembro ; (e) Outubro e (f) Novembro, de 1990 a 2004.

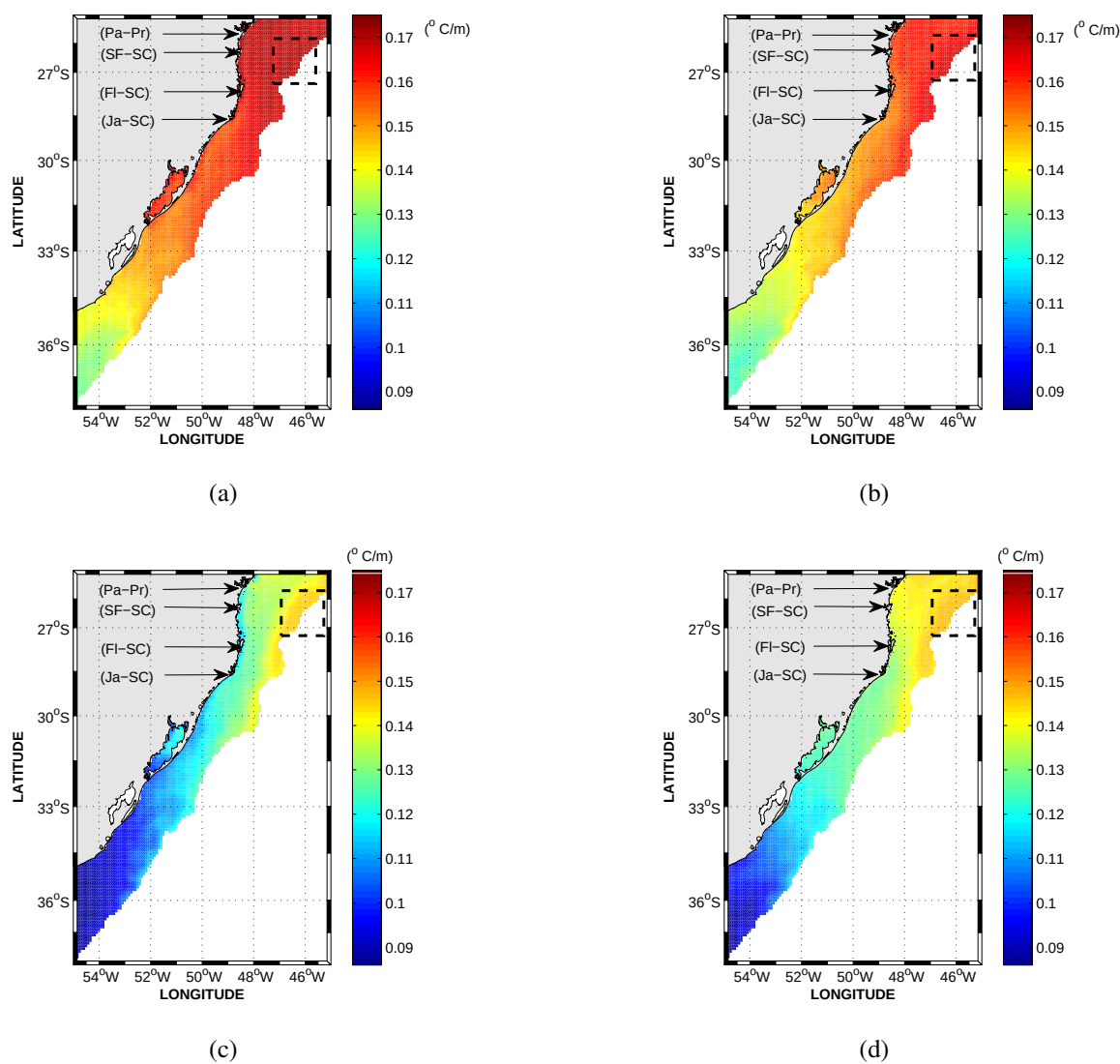


Figura 7.3: Média sazonal representando as estações do: Verão (a); Outono (b); Inverno (c); Primavera (d) (entre 1990 e 2004) e as cidades de referência: (Paranaguá-Pr; São Francisco do Sul-SC; Florianópolis-SC; Jaguaruna-sc).

89

Segundo Castro et al. (2006), o sistema de ventos predominantes durante o verão é de quadrante NE-E. Estas condições de vento são favoráveis à penetração da ACAS em subsuperfície e possibilita a ocorrência de ressurgências costeiras na região.

Analisando a Figura (7.5), vemos que os entornos da região onde os gradientes são mais significativos, é uma região influenciada pela CB e pelo aporte da CCC Figura (2.2), além de ser uma região adjacente à zona de ressurgência costeira, nas proximidades do Cabo de Santa Marta.

Segundo Acha et al. (2004), as condições de ressurgência ocorrem predominantemente durante os meses do verão e primavera. A combinação destes fatores dinâmicos justificam a existência desta região de maiores gradientes térmicos próximo à costa e com baixas profundidades.

Nesta região, verifica-se um ponto de extração, consistente com as regiões mais energéticas nas análises sazonais Figuras(7.3 (a), (b), (c) e (d)), onde os valores de temperaturas nas coletas de água fria e quente nas tubulações (HWP e CWP) serão utilizados para a simulação da usina.

O ponto de extração de dados, indicado na Figura (7.6), está localizado na posição de latitude ($26^{\circ} 17' S$) e longitude ($46^{\circ} 13' W$), distante da costa em aproximadamente 236 km , alinhado com a cidade litorânea de São Francisco do Sul (SC). Sendo assim, este será o ponto para coletar os dados de temperatura ao longo de um perfil vertical, onde o máximo será definido com a água coletada para o evaporador e o mínimo será definido como a água do condensador.

Considerando condições de estabilidade estável, esperamos que os valores de temperatura máxima e mínima sejam equivalentes à camada superficial e à camada mais profunda (545 m de profundidade), respectivamente. A verificação desta hipótese e a caracterização do perfil vertical de temperatura no ponto de extração de dados é apre-

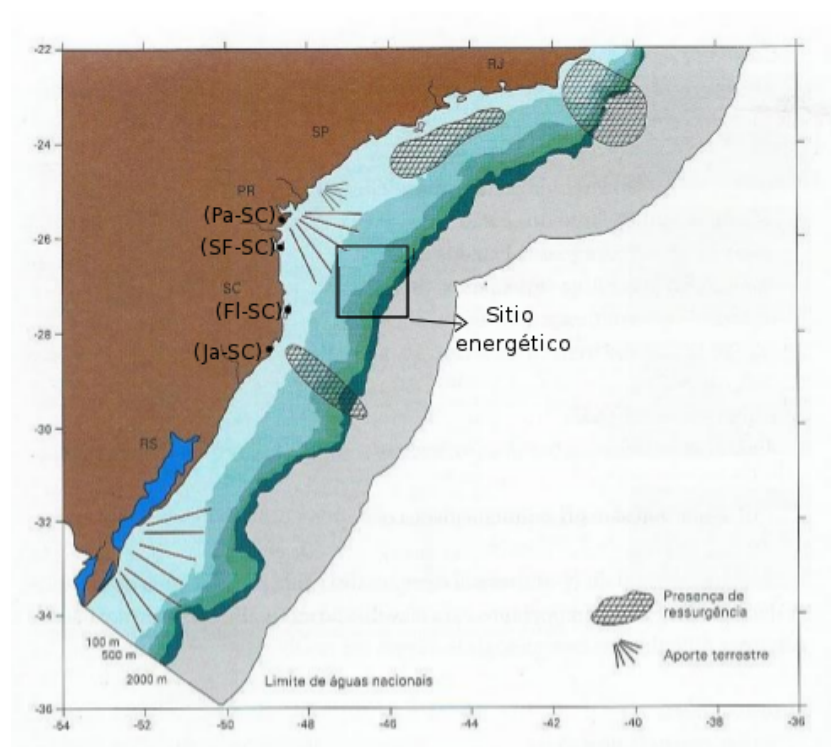


Figura 7.5: *Quadro sintético dos principais fenômenos da costa sudeste-sul [adaptado de Castro et al. (2006)]*

A região superficial (na ordem de metros ou dezenas de metros) corresponde à "camada de mistura", onde o oceano está bem misturado devido à influência direta do vento (Figura 7.7) e a temperatura varia pouco com a profundidade.

Abaixo, segue uma região de forte gradiente vertical de temperatura (termoclina), que representa o restante do perfil, uma vez que se vê uma variação bem pronunciada em função da profundidade, de $480m$. Por fim, a região profunda que segue nos últimos $60m$ de profundidade volta a ter pouca variação da temperatura.

Na Figura (7.8), o ponto "B" representa o ponto mais alto de ambas as curvas, eficiência e potência, representadas para o ponto de extração de dados. Neste sentido, a escolha do local de colocação de CWP está posicionada na camada mais profunda, onde a eficiência e potência atingem seus valores máximos.

A hipótese da condição de estabilidade estável é confirmada na Figura (7.7), sendo que as águas bombeadas para o evaporador e para o condensador, serão respectivamente coletadas na camada superficial (primeiro nível vertical - 0 a 2, 7 m) e na camada mais profunda (trigésimo nível vertical - 545, 9 m), respectivamente.

7.3 Conversão de energia na usina OTEC

As temperaturas das massas de água, coletadas no ponto de extração, serão aplicadas nas equações parametrizadas na seção 5.5.2. A eficiência (equação 5.6) da Usina OTEC é aplicada de forma que apenas este percentual (eficiência) da diferença efetiva, entre as energias de entrada (evaporador) e de saída (condensador), seja convertido em energia elétrica.

É importante ressaltar que existe uma perda de 30%, relativa à energia consumida pelas bombas de coleta de água (HWP e CWP) e a dissipada no fluxo de água dentro

nual

De forma a analisar a variabilidade temporal das variáveis de controle da usina, séries temporais da temperatura HWP e CWP, da eficiência e potência foram obtidas para o ponto de extração de dados no sítio energético Figuras(7.9, 7.10, 7.11 e 7.12).

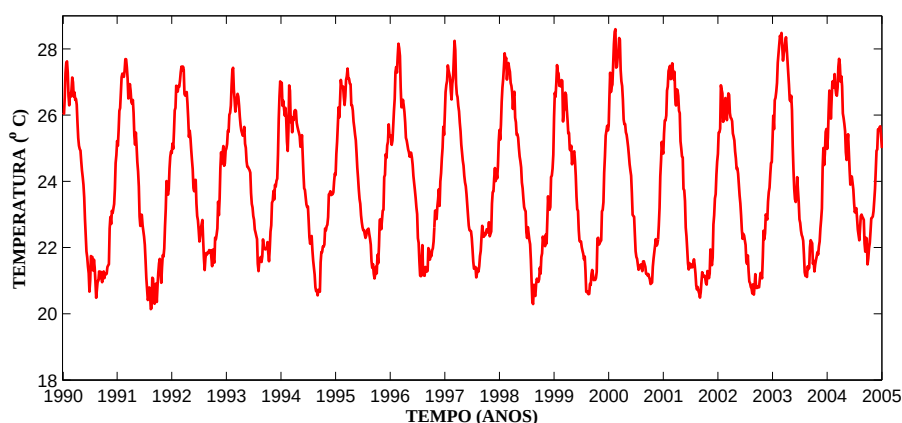
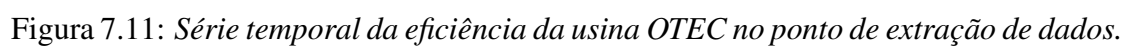
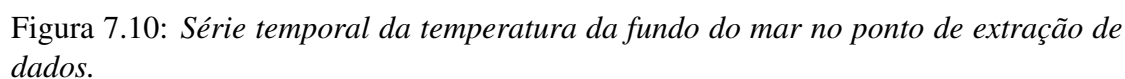
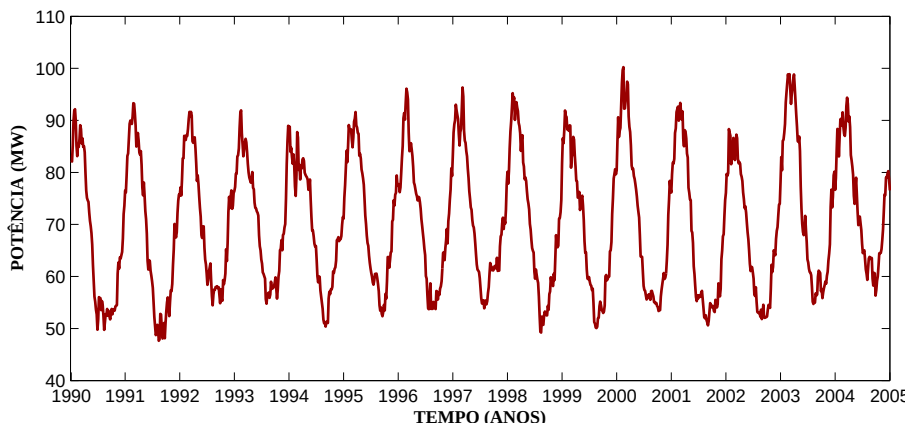


Figura 7.9: *Série temporal da temperatura da superfície do mar no ponto de extração de dados.*

Podemos observar nas séries temporais de temperatura HWP Figura(7.9), de eficiência Figura(7.11) e de potência Figura(7.12), a ocorrência de ciclos de variabilidade temporal em escalas de tempo sazonais, embebidos em um padrão de repetição com escala anual, de forma que são observadas correlações diretas entre os eventos de máxima e mínima ocorrência nestas séries, onde a variação da temperatura de flutua entre





o máximo de $28^{\circ}C$ e $20^{\circ}C$.

Verificamos ainda na série temporal de eficiência Figura(7.11), uma tendência de mais longo prazo, que indica um aumento com relação ao fim do período de estudo. Esta tendência de aumento pode ser associada aos valores da temperatura do CWP (figura 7.10), que são relacionados ao cálculo da eficiência na usina OTEC pela equação 5.28.

Este padrão de variabilidade da temperatura de fundo (CWP) pode ser explicado por fenômenos de ressurgência entre o Cabo de Santa Marta e a ilha de Santa Catarina

(Schettini et al., 1998);(Schettini et al., 2005), associados aos meses do verão e primavera.

A ocorrência de fenômenos de ressurgência nesta região é atribuída principalmente ao regime dominante de ventos, que é favorável à penetração da ACAS em subsuperfície, possibilitando a ocorrência de ressurgências costeiras. Este fenômeno foi observado por Matsuura Y. (1986), Acha et al. (2004) e Castro et al. (2006).

De forma a analisar a temporalidade da potência integrada em todo o período, foi aplicado o método de ondaletas cruzada, descritos por Torrence and Compo (1997) e Morettin (2004) para gerar o espectro energético local e global para as séries temporais. Desta forma, através da análise de ondaletas podemos verificar a ocorrência dos eventos de conversão de potência mais energéticos como função do tempo.

As séries temporais de potência e a série temporal da diferença de temperatura entre a superfície e o fundo ratificam a sua correlação direta Figura(7.13 A). Percebemos eventos de alta conversão de energia, ocorrendo ao longo de todo o período, entretanto alguns são mais destacados.

As ocorrências de conversão de potência se intensificam, entretanto, existe pouca variação na temporalidade dos processos que controlam a sua conversão. Notamos que as correlações positivas (tons em vermelho) entre a potência e a diferença de temperatura ocorrem com os valores maiores que $12^{\circ}C$, ocasionando maior conversão de energia.

É possível observar dois principais grupos de escalas de variabilidade que controlam o comportamento do sítio de conversão de potência. No primeiro grupo Figura(7.13 B), períodos de aproximadamente 12 meses (1 ano), dominam as ocorrências, provavelmente, ocasionadas pelas alterações na temperatura da PCSB, as quais são associadas à variabilidade anual. Este padrão de variabilidade está associado aos avanços e recuos da CB e CCC que ocasionam os ciclos sazonais verificados na série do gradiente térmico.

Por outro lado, o segundo grupo Figura(7.13 b) se refere a correlações que abrangem ciclos com períodos de aproximadamente 36 meses (3 anos), sugerindo relação com os fenômenos ENOS. Estes eventos tem influência direta em relação à temperatura da superfície da água, variável de controle para o gradiente térmico e potência, tanto para períodos de El Niño quanto os de La Niña.

Esta afirmativa é corroborada pelo espectro cruzado de energia global Figura(7.13 C), que ressalta os períodos de aproximadamente 12 e de 36 meses como os mais energéticos para toda a série de potência convertida, com destaque para o ciclo anual, o mais energético da série de dados analisados.

A relação entre TSM no ATS e eventos ENOS, intervalo de 18 ou 36 meses, foi analisada por Severeov et al. (2004) e citada na seção 2. Com base em 13 anos de dados de TSM, os autores relacionaram os eventos de El Niño (La Niña) a uma diminuição (aumento) da TSM sobre a CM, simultaneamente a um aumento (diminuição) da TSM sobre a CB.

Embora não reportado em alguns dos trabalhos de Grimm et al. (1998), Grimm et al. (2000), Severeov et al. (2004), Castro et al. (2006), Grimm (2009) e Campos et al. (2008), entre outros, os resultados destes autores indicam uma relação entre o gradiente meridional de TSM na região do sul do Brasil e os episódios ENOS, indicando as ATSM positivas a cada 38 meses.

7.3.2 Análise da Variabilidade temporal - Variação de Longo Período

As correlações observadas nas séries temporais de temperatura, eficiência e potência em escalas de tempo maiores que um ano (seção 7.3.1), serão analisadas através da

Observamos nas séries de temperatura de superfície Figura(7.14) e de fundo Figura(7.15) que as tendências de longo período são diferentes. Enquanto na temperatura de superfície podemos verificar um padrão oscilatório em torno do valor médio, a série de temperatura de fundo mostra uma tendência de decréscimo ao longo do tempo, onde os valores tendem a ser menores que a média a partir do ano 2000.

A análise das tendências nas séries temporais de eficiência Figuras(7.16) e potência Figuras(7.17) da usina OTEC mostram um padrão similar ao observado na série de temperatura superficial Figura(7.14). Nestas séries temporais verificamos que a tendência segue o padrão oscilatório, com um sensível aumento no padrão das perturbações a partir do ano 2000.

Através dos resultados vemos que os valores mais significativos para a tendência da eficiência estão diretamente associados aos maiores valores da tendência de longo prazo da temperatura do HWP e aos menores valores da tendência de longo prazo da temperatura do CWP. Sendo assim, os resultados corroboram que a eficiência é controlada em sua normalidade pela ocorrência dos maiores gradientes térmicos definidos pelas temperaturas do HWP e do CWP.

Os resultados sugerem que a variável de controle da potência da usina OTEC, na região escolhida, é a temperatura de coleta do HWP (temperatura de superfície), pois considerando o padrão de estabilidade observado para a temperatura do CWP (temperatura de fundo), vemos que a tendência de decréscimo da temperatura do CWP favorece a obtenção de maiores gradientes térmicos, em especial, na segunda metade do período de estudo. Esta condição favorece o aumento na tendência da eficiência e da potência da usina OTEC.

externas, estes meses apresentam um comportamento diferenciado, quando se constata valores ascendentes de temperatura de junho para julho e decrescentes de novembro para dezembro.

Estes períodos de inversões para a conversão de energia elétrica estão possivelmente associados à contribuição dos processos de ressurgência costeira no Cabo de Santa Marta, durante a primavera, e o efeito do recuo na intrusão da CCC e da CB, durante o inverno (Castro et al., 2006).

Os valores médios da potência e eficiência são mais elevados nas estações do verão e do outono, quando as temperaturas são mais elevadas pelos altos índices de radiação líquida incidente sobre a superfície oceânica (Castro et al., 2006) de acordo com a sazonalidade e influência dos ciclos inerentes ao período.

Outra contribuição ocorre devido ao fato de se verificar uma maior intrusão da CB e maior aporte de águas frias sobre a PCSB (Möller et al., 2008; Olson et al., 1988). Neste sentido, a contribuição destas forçantes condiciona a ocorrência de gradientes térmicos mais significativos para estes períodos do ano.

A ocorrência de pouca variação de eficiência e potência elétrica convertida ao longo dos meses e estações do ano indica baixa sazonalidade nos campos médios de temperatura associados ao sítio energético. Esta característica evidencia um padrão de circulação bem homogêneo, onde a interação e mistura das diferentes massas oceânicas se configuram de forma a pronunciar o equilíbrio entre as correntes ativas sobre a PCC.

Analisando as correntes mais significativas, vemos segundo Miranda (1982) e Castro et al. (2006), que a CCC e a CB são fenômenos de maior escala espacial e temporal do que os processos de ressurgência costeira junto ao cabo de Santa Marta. Em termos de coluna d'água, a presença de ACAS na PCC e a intrusão da frente do Rio Prata são fenômenos possivelmente equiparados (Castro et al., 2006; Miranda, 1982).

Estes fenômenos tornam o padrão termohalino bem delineado e constante, de forma que estas condições podem caracterizar uma zona de altos gradientes térmicos (Castro et al., 2006). Para uma análise mais específica, vemos que os gradientes térmicos, definidos entre as temperaturas de coleta do CWP e HWP, são aqueles responsáveis pelas variações da potência e eficiência de forma representativa.

Sendo assim, constatamos que a combinação e as interferências de correntes oceânicas que ocorrem em diferentes extratos da coluna d'água definem de forma significativa os padrões de conversão de energia observados na superfície. Neste sentido, a CCC e a CB são as correntes que devem ser analisadas de forma mais detalhada com respeito a sua influência no padrão global de conversão de energia.

Entretanto os processos de ressurgência costeira também devem ser investigados devido à sua influência, localizada espacialmente e temporalmente nesta região, pois estes eventos podem alterar eventualmente os valores extremos da conversão de energia.

A frente de quebra de plataforma na PCSB é formada pela diferença existente entre as águas de plataforma e do talude continental, sendo a localização média desta frente intimamente ligada à interface entre as águas mais frias e de menor salinidade da plataforma (CCC). Esta contribuição pode ser a geradora de queda nos gradientes térmicos, eficiência e potência, dominantes no outono e inverno.

O equilíbrio apresentado nos dados é resultado de uma gama de influências oceano-gráficas e da equiparação de fenômenos nos períodos analisados sobre o sítio energético. Estas condições possibilitam uma baixa flutuação dos valores da eficiência e potência da usina OTEC, além de um baixo desvio padrão, indicando uma estabilidade na circulação e padrão termohalino na região de extração de dados.

8

Conclusões

A Plataforma Continental do Sul do Brasil é uma região dinâmica, influenciada pela combinação de efeitos localizados e de meso-escala. A combinação e as interações das correntes oceânicas, como a Contra Corrente Costeira e a Corrente do Brasil, além de efeitos associados aos processos de Ressurgência Costeira, na região adjacente ao Cabo de Santa Marta, favorecem a ocorrência de uma região de circulação e padrões termohalinos estáveis.

Estas condições levam à escolha de uma região com gradientes térmicos específicos e que podem ser aproveitados na forma de um sítio de energia térmica, onde os resultados indicam um potencial médio integrado de $94.3 MW$ de potência convertida, valor representativo com base na produção Brasileira, com uma eficiência de aproximadamente 2.36%, considerando uma simulação realizada entre os anos de 1990 e 2004.

Em específico podemos destacar como principais conclusões do trabalho:

- **Avaliação da viabilidade energética da região de estudo, de forma a identificar regiões ótimas para a conversão de energia**

→ Na PCSB, foi detectado um sítio energético, o qual se encontra na área com-

- **Análise da variabilidade temporal da conversão de energia e correlações com parâmetros de controle da usina OTEC teórica**

→ Dois principais grupos de escalas de variabilidade controlam o comportamento do sítio de conversão de energia elétrica. No grupo mais importante dentro da escala temporal de estudo, períodos de aproximadamente 12 meses dominam as ocorrências. Estes ciclos provavelmente ocorrem pelas alterações na temperatura da PCSB, associados à variabilidade anual que está relacionada aos avanços e recuos da CB e CCC, associados a uma escala sazonal.

→ O segundo grupo engloba eventos que cobrem períodos de aproximadamente 36 meses, sugerindo relação com os fenômenos ENOS. Estes eventos têm influência direta no padrão termohalino da região, através de variações anômalas no campo de temperatura da água do mar, associadas a períodos de El Niño e La Niña.

→ A variável de controle da potência da usina OTEC na região escolhida é a temperatura de coleta do HWP. Pois, considerando o padrão de estabilidade na temperatura do HWP, a tendência de decréscimo da temperatura do CWP favorece a obtenção de maiores gradientes térmicos. Esta condição favorece um aumento na tendência da eficiência e da potência da usina OTEC, os quais são observados na segunda metade do período de estudo.

- **Caracterização das forçantes que controlam a variabilidade dos gradientes térmicos da região escolhida como a de maior potencial**

→ Os eventos de alta geração de energia ocorrem no período de verão e ou-

uma profundidade limite de $545m$ (talude continental) para a tubulação de CWP. Esta escolha permitiu que os valores de conversão energética fossem significativos do ponto de vista potencial.

- Em caráter complementar, podemos concluir que, devido à localização do ponto de instalação da usina, cerca de 228 *km* da Praia Grande - São Francisco do Sul (SC), a instalação na plataforma continental pode ser considerada a de melhor aplicabilidade técnica. Sendo que esta decorre devido aos valores de vazão utilizados, a sua estabilidade aos eventos climatológicos e oceanográficos, aos equipamentos de propulsão e ancoramento, que lhe permitem estabilidade e facilidade de transmissão da energia convertida para o continente.

Limitações do Estudo e Sugestões para Trabalhos Futuros

Ao finalizar este trabalho, verifica-se que várias análises podem ser realizadas e que outras variáveis podem ser selecionadas para algum estudo futuro. A seguir constam algumas limitações e sugestões para trabalhos futuros que devem ser investigadas na sequência deste estudo.

9.1 Limitações do Estudo

- **Modelo Oceânico**

- Neste estudo são utilizados dados do modelo regional OCCAM que possui uma grade de resolução horizontal de $0,25^\circ$, e resolução vertical que utiliza 66 níveis distribuídos ao longo de um sistema de coordenadas verticais reais (coordenadas z). Neste sentido, sua flutuabilidade é de aproximadamente $28Km$ (resolução horizontal) em cada um dos níveis. Isto acarreta

algumas limitações nos resultados que têm dependência das posições geográficas para sua utilização.

- **Validação do Modelo Oceânico**

- A validação do modelo hidrodinâmico OCCAM foi realizada apenas em sua camada superficial, uma vez que, não foram encontrados dados de campo para uma validação tridimensional. Desta forma, assumimos que a alta correlação obtida para a camada de superfície indica um alto nível de confiabilidade para as outras parcelas da coluna d'água.

- **Módulo de Conversão de Energia**

- Atualmente, existem poucos estudos relacionados à conversão de energia dos gradientes térmicos marinhos. Devido a este fato, este trabalho foi realizado com várias aproximações e inferências, baseadas em resultados para conversores de energia térmica dos oceanos. De forma que três autores, em relatórios técnicos de funcionamento de usinas OTEC, Nihous et al. (1989), Vega (1999) e Bharathan et al. (1990) forneceram os parâmetros necessários para modelar os sistemas principais. Entretanto, uma vasta lista de itens podem ainda ser implementados, do ponto de vista da engenharia, assim como, outros efeitos físicos que devem ser considerados no equacionamento do módulo de conversão.

- **Análise Temporal dos dados**

- Os dados de saída do modelo são alternados de 5 dias em 5 dias, englobando o período entre 1 janeiro de 1990 e 31 de dezembro de 2004 (totalizando 14 anos). O parâmetro principal utilizado no estudo é a TSM, a qual possui escala de variabilidade em ciclos menores que 5 dias. Neste sentido, resultados obtidos com um modelo numérico com salvamento temporal a cada 12 horas permitiria uma análise de variabilidade temporal mais completa.

9.2 Sugestões de Trabalhos Futuros

- **Modelo Oceânico**

- Utilizar um modelo de simulação hidrodinâmica que tenha uma resolução espacial e temporal maior. O estudo desenvolvido com esta ferramenta permitirá maior precisão na obtenção dos sítios energéticos e maior confiabilidade nos valores obtidos;

- **Efeito Termodinâmico de uma Usina OTEC**

- Identificar os padrões hidrodinâmicos e termodinâmicos do oceano sobre o entorno da usina, sem a implementação da mesma, com a finalidade de verificar as características naturais do ecossistema marinho local, além da investigação dos impactos ambientais sobre o entorno do local de instalação da usina OTEC.

- **Módulo de Conversão de Energia**

- Atualizar o módulo de conversão energética dos gradientes térmicos em energia elétrica em relação aos seguintes itens:
 - * fluido de trabalho com todas suas características;
 - * dimensionamento dos aparatos constituintes de uma usina OTEC, relativos à engenharia em escala real;
 - * inclusão de uma versão para o ciclo aberto e seus subprodutos;
 - * implementação de ciclo de Uehara, de forma a melhorar a eficiência da do modulo.;

- **Região de Estudo**

- A zona costeira Brasileira tem uma grande parcela, de sua totalidade, inserida dentro da região tropical, onde existem zonas com altas temperaturas superficiais no mar. Desta forma, uma investigação mais completa pode permitir a obtenção de sítios energéticos que, combinados com processos de ressurgência costeira, podem apresentar altos gradientes térmicos em pequenas profundidades. Estas condições podem configurar uma região de grande potencial térmico.

- **Investigação sobre Parâmetros Técnicos**

- Correlacionar as variáveis de controle da usina OTEC (passíveis de alteração), profundidade e temperatura de CWP, taxa de aquecimento da águas durante o transporte de CWP, eficiência e, potência, com relação aos custos operacionais e performances técnicas, obtendo otimizações de infraestrutura e performance.

10.1 Trabalhos em congressos - Resumos

- 120

- 122



Rio Grande/RS, Brasil, 23 a 25 de outubro de 2013.

O POTENCIAL ENERGETICO DO GRADIENTE TERMICO NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO SUL DO BRASIL

VALENTE DE SOUZA, Roberto Valente de Souza (autor)
CORREA MARQUES, Wilian Correa Marques (orientador)
 robertovalente@furg

Evento: Encontro de Pós-graduação
Área do conhecimento: Oceanografia Física

Palavras-chave: Gradiente térmico, OTEC, OCCAM.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 80 % da população vive a cerca de 200 km de costa IBGE [1]. No entanto, ainda não há um mapeamento da região costeira brasileira, em relação a usualidade do poder energético dos gradientes térmicos. Tendo em vista a importância econômica e a alta variabilidade da circulação costeira na Plataforma Continental do Sul do Brasil (PCSB). O principal objetivo deste estudo é mensurar, através de um modelo tridimensional de circulação oceânica, o potencial energético relativo ao local de maior gradiente térmico e os aspectos relacionados a sua variabilidade espaço-temporal sobre PCSB.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização deste estudo foi utilizada uma simulação numérica de 14 anos, compreendendo o ano de 1990 até 2004, através da utilização do modelo numérico tridimensional Ocean Circulation And Climate Advanced Modelling (OCCAM), validado em seu primeiro nível através de comparações diretas com dados do sensor remoto AVHRR (NOOA), aplicado ao módulo de conversão de energia elétrica, que vem sendo desenvolvido na Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Dessa forma, investigando o potencial energético do gradiente térmico e a respectiva conversão de energia da usina Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) teórica instalada.

A análise do potencial energético do gradiente térmico na PCSB foi realizada de acordo com Issues. [21], pela utilização de médias climatológicas sazonais e anuais do campo de temperaturas do mar, obtidos do modelo numérico OCCAM. Estes dados foram utilizados para indicar através da análise do gradiente térmico as regiões mais propícias a instalação de usinas OTEC e ponto para instalação teórica das tubulações de coleta de água superficial quente (HWP) e profunda fria (CWP).

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

- LEITE, M.; SOUZA, R.; SPOLAVORI, A.; & KUSCHE, N.; EMMENDORFER, L. "Estudo de caso sobre acoplamento de um modelo de previsão numérica ao planejamento e alocação de berços no porto de Rio Grande". V CONFERÊNCIA SUL EM MODELAGEM COMPUTACIONAL - V-MCSUL, atividade promovida pelo Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da FURG, nos dias 19, 20 e 21 de setembro de 2012. **Resumo expandido**

→

Souza, R.V.; Gambetá-Leite, M.R.S; Spolavori, A.;Krusche, N.; Emmendorfer, L.

Estudo de caso sobre o acoplamento de um modelo de previsão numérica ao planejamento de alocação de berços no Porto de Rio Grande (Junho 2012)

Resumo—Desde a antiguidade, as atividades portuárias representam um papel de grande importância na movimentação e transporte de praticamente todos os produtos provenientes de importação e exportação. Com base nisto, o governo tem investido fortemente na ampliação e modernização da sistemática de dimensionamento econômico operacional portuário. Um dos sistemas implementados trata da alocação de berços e enfatiza o planejamento e a relação tempo-custo do aporte e partida das embarcações. A cidade de Rio Grande, assim como seu Porto, está posicionada em uma região favorável a sistemas de tempo associados a ventos extremos devido a sua localização. Logo, o planejamento nem sempre representa a realidade, ou seja, é necessário atualizar este planejamento frente a cada fenômeno que ocorre na zona de praticagem. Vislumbrando esta situação, propõe-se o uso de um modelo de simulação numérica de tempo, para o qual se sugere uma previsão de fechamento das operações portuárias, podendo atualizar o planejamento da alocação de berços, operações e encargos.

Palavras-chave— Unidade de Processamento Gráfico, modelo, paralelismo de processos, Porto de Rio Grande, previsão numérica da atmosfera

I. INTRODUÇÃO

A cidade de Rio Grande está em constante desenvolvimento devido ao investimento no polo naval da mesma. O município de Rio Grande localiza-se na planície costeira do Rio Grande do Sul, constituído basicamente por uma planície sedimentar caracterizada pela presença de cordões de dunas nas áreas de praia. Este município possui um rico sistema lacustre formado por diversas lagoas entre elas destacam-se a Lagoa Mangueira, Lagoa Mirim e a Lagoa dos Patos [6]. A Lagoa dos Patos possui conexão com o Oceano Atlântico. Esta configuração favorece o sistema fluvial, fazendo com que o Porto de Rio Grande seja de grande importância para importação e exportação de diversos produtos e mercadorias. Durante o ano de 2010, quase 26 milhões de toneladas passaram pelo porto rio-grandino até o mês de novembro (<http://www.portoriogrande.com.br>). Esta grande movimentação necessita de uma logística forte para que haja uma ótima organização com relação à alocação de berços para atracação dos navios [5].

As questões relativas às operações de terminais de containers tem obtido muita atenção por parte de pesquisadores da área de pesquisa operacional e executivos, devido ao aumento da importância dos transportes

marítimos, [5],[11],[7],[8]. Salientam que hoje mais de 90% da carga internacional se move através de portos marítimos e 80% desta, através de containers [13]. Para os autores, o gerenciamento das operações em terminais de containers é crucial para suprir o tráfico eficientemente. Neste contexto a alocação de berços consiste em atribuir aos navios que chegam, a um determinado porto, locais de atracação disponíveis ao longo de um cais (berços). Para este planejamento existem restrições relativas à profundidade da água, à distância máxima em relação ao local mais favorável ao longo do cais, e também ao tamanho dos navios [4].

Todo este problema de logística está intrinsecamente ligado a mudanças de tempo que por sua vez decidem se o porto está ou não operacional. Desta forma pode-se dizer que variáveis como nevoeiro e ventos determinam se os navios podem ou não realizar as operações determinadas como a alocação de berços.

Os objetivos específicos deste artigo são a discussão da importância da obtenção de dados de um modelo numérico do tempo, com a finalidade de realizar um planejamento otimizado da utilização de berços; e também, estabelecer uma relação direta entre intensidade do vento e o fechamento da Barra para operações portuárias.

Os ventos que ocasionam o fechamento de operações portuárias são ventos próximos à superfície, sendo defletidos por obstáculos e zonas mais rugosas, e a sua direção resulta da soma dos efeitos locais e não locais.

A brisa é um fenômeno diário, que sopra do mar para a terra durante o dia e em sentido contrário à noite, caracterizadas por ser um regime de ventos resultante do contraste de temperatura entre o continente e o oceano em função da diferença entre seus coeficientes de calor específico e condutividade de calor. Durante o dia, a temperatura da terra se eleva mais rapidamente que a da água. Isso acontece porque o calor específico da água é maior que o da terra. As camadas de ar que estão em contato com a areia se aquecem mais rapidamente, diminuem sua densidade e sobem, isto gera uma diminuição da pressão atmosférica neste local. Sobre o oceano, o ar encontra-se mais frio, consequentemente mais denso, isto caracteriza uma região de maior pressão atmosférica e, portanto, um gradiente de pressão é formado resultando em um deslocamento do ar em direção ao continente [1].

FURG

 E-mail
 Configurações pessoais
 Sair

Pastas
Caixa de entrada (3)
 Rascunhos
 Enviados
 Lixeira
 Spam

Assunto **Editor handles RENE-D-14-00056**

Remetente Renewable Energy

Para robertovalente@furg.br , robertovalente24@gmail.com

Data 08/01/2014 23:43

Ms. Ref. No.: RENE-D-14-00056
 Title: ENERGY BUDGET OF THE THERMAL GRADIENT IN THE SOUTHERN BRAZILIAN CONTINENTAL SHELF
 Renewable Energy

Dear Valente,

Your submission "ENERGY BUDGET OF THE THERMAL GRADIENT IN THE SOUTHERN BRAZILIAN CONTINENTAL SHELF" will be handled by Editor-in-Chief A.A.M. Sayigh.

You may check the progress of your paper by logging into the Elsevier Editorial System as an author at <http://ees.elsevier.com/rene/>.

Your username is: robertovalente@furg.br
 If you need to retrieve password details, please go to:
http://ees.elsevier.com/rene/automail_query.asp

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
 Renewable Energy

For further assistance, please visit our customer support site at <http://help.elsevier.com/app/answers/list/p/7923>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.

Mensagem 14 de 356

Roberto Valente de Souza^{a,*}, Wiliam Correa Marques^a,

Abstract

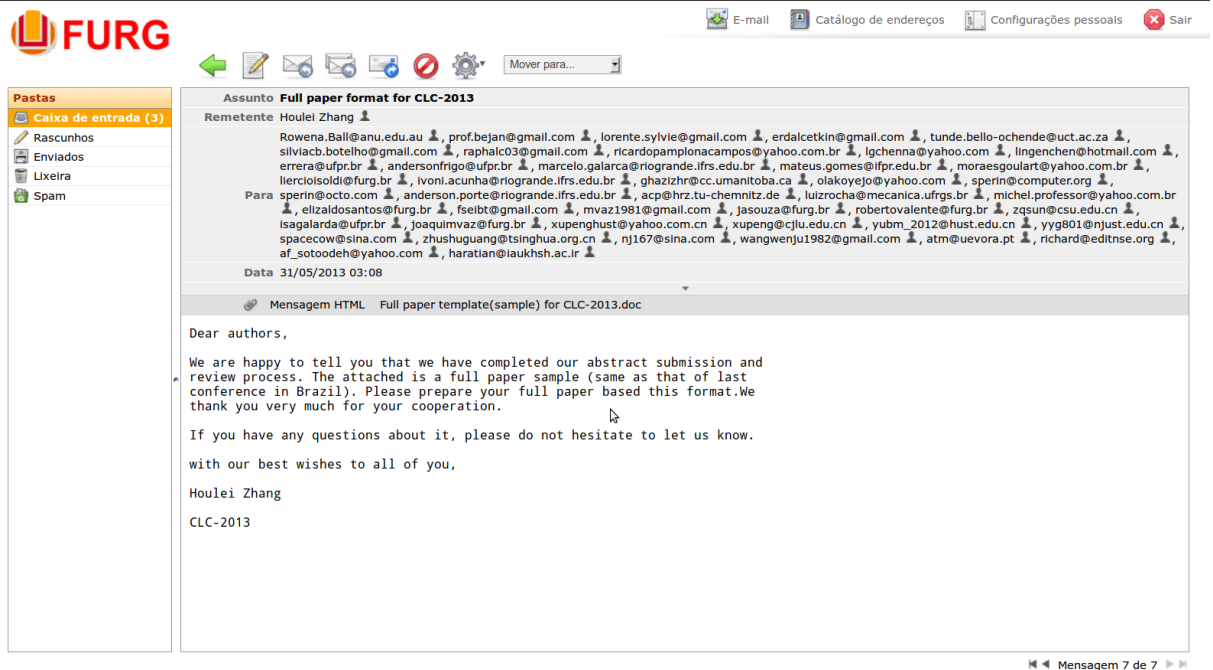
Various forms of energy conversion have been examined over the years. In particular, the energy of thermal gradients currently operating in some regions of the world has been studied; the largest energy budget can be found in the oceans. The Southern Brazilian Continental Shelf (SBCS) has high spatial and temporal temperature variability, indicating the need for a climatological analysis to identify the regions with the largest energy budgets. Therefore, for the conversion of ocean thermal energy, the use of a closed cycle using Freon working fluid is recommended. The studied region was shown to have a large energy budget; the maximum power produced can reach up to $121.9 MW$, and the average over the whole study period was approximately $94.3 MW$. A simulated conversion site placed where there was greatest viability revealed that the average standard thermal gradient is $0.17^{\circ}C/m$ along the vertical column ($545m$) from the sea. This thermal gradient is connected to the direct influence of the Brazil Current (BC) and its waters of tropical

Email address: robertovalente@furg.br (Roberto Valente de Souza)

December 20, 2013

O Potencial Energético do Gradiente Térmico na Plataforma Continental do Sul do Brasil.

- SANTOS, E.; ISOLDI, L.; & SOUZA, J.; GOULART, M.; MEDEIROS, F.; SOUZA, R. "Construtal Design of rectangular fin intruded into forced convective lid-driven cavity flows". Proceedings of Constructal Law Conference 2013 October 14-15, 2013, Nanjing, China. **Artigo submetido em periódico.**



CONSTRUCTAL DESIGN OF RECTANGULAR FIN INTRUDED INTO FORCED CONVECTIVE LID-DRIVEN CAVITY FLOWS

E. D. dos Santos^{a,*},L. A. Isoldi^a,J. A. Souza^a,M. M. Goulart^a,M. K. Rodrigues^a,F. M. Seibt^a,R. V. de Souza^aand L. A. O. Rocha^{b,*}

^aUniversidade Federal do Rio Grande
Programa de Pós-graduação em Modelagem
Computacional (PPGMC)

Italia Avenue, km 8, CP 474,
Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil

*elizaldosantos@furg.br

^bUniversidade Federal do Rio Grande do Sul
Department of Mechanical Engineering
Sarmento Leite Street, 425, 90050-170,
Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

*luizrocha@mecanica.ufrgs.br

ABSTRACT

The present work reports a numerical study concerned with the geometrical optimization of a rectangular fin intruded into transient, laminar, two-dimensional lid-driven cavity flows with forced convective heat transfer by means of Constructal Design. The main purpose is to maximize the heat transfer from the fin to the surrounding flow for several shapes of the fin, as well as, investigate the effect of various Reynolds numbers over its optimal shape. In the present study, flows with six different Reynolds numbers are evaluated: $Re_H = 10, 100, 300, 500, 700$ and 1000 . For all performed simulations, the Prandtl number is kept fixed: $Pr = 0.71$. The geometry has two constraints, the total area of lid-driven cavity and the area of the fin ($\phi = 0.05$) and two degrees of freedom: H_f/L_1 (ratio between the height and length of the fin) and H/L (ratio between the height and length of the cavity). The latter degree of freedom is kept fixed in this study ($H/L = 1.0$). The conservation equations of mass, momentum and energy are solved for all studied cases using a code based on the finite volume method (FVM). The results showed that Constructal Design led to a significant improvement of thermal performance of the problem. For example, at $Re_H = 1000$ and $Pr = 0.71$ the spatially averaged heat transfer coefficient in the fin obtained with the optimal ratio, $(H_f/L_1)_o = 0.30$, is almost two times higher than that found for the worst shape ($H_f/L_1 = 10.0$). Other important observation was that the once optimized shape was strongly affected by the driven force of the flow. For the lowest value of Re_H ($Re_H = 10$) the best shape was achieved for the highest value of H_f/L_1 (similarly to the optimal shapes found into archival literature for optimization of cavities into conducting solid walls). As the Reynolds number increased, the optimal ratio of $(H_f/L_1)_o$ decreased substantially for fins with lower penetration. The optimal ratios of $(H_f/L_1)_o$ tended to constant values for the highest values of Re_H ($Re_H = 700$ and 1000), i.e., according to the asymptotic invariance criterion of "fluid flow" (turbulence).

Keywords: Constructal Design, Cavities, Fins, Forced Convective, Driven-forces

NOMENCLATURE

A	area of the cavity, m ²
A _f	area of the intruded fin, m ²
c _p	fluid specific heat, J/(kgK)
H	cavity height, m
h	convective heat transfer coefficient, W/(m ² K)
H _f	fin height, m
k	fluid thermal conductivity, W/(mK)
L	cavity length, m
L _f	fin length, m
Nu _H	Nusselt number based on cavity height, hH/k
P	pressure, N/m ²
Pr	Prandtl number, ν/α
Re _H	Reynolds number based on height of the cavity, $\rho v_{1max} H/\mu$
T	temperature, K
t	time, s
v	velocity, m/s
v _{1max}	velocity of upper surface, m/s
x	spatial coordinate, m

Greek symbols

α	thermal diffusivity, m ² /s
ν	fluid kinematic viscosity, m ² /s
ρ	density, kg/m ³
Δt	time-step, s
μ	fluid dynamic viscosity, kg/(ms)
Ω	spatial domain
ϕ	fin fraction, A _f /A

Subscripts

m	once maximized
o	once optimized
max	maximal velocity or temperature inside the cavity domain
min	minimal temperature inside the cavity domain
f	fin variable
*	dimensionless variables
-	spatial-averaged variables

10.3 Trabalhos em congressos - Apresentações

- SOUZA, R. V.; MARQUES, W. C. "O Potencial Energético do Gradiente Térmico na Plataforma Continental Sul Brasileira". XII Mostra da Produção Universitária, realizada de 22 a 25 de outubro de 2013, no XV Encontro de Pós-Graduação, atividade promovida pela Universidade Federal do Rio Grande - FURG. **Apresentação oral.**



Rio Grande, 25 de outubro de 2013.

XVI Seminário de Extensão

XV Encontro de Pós-Graduação

VIII Seminário de Ensino

IX Feira de Inovação Científico-Tecnológica

Rio Grande, 25 de outubro de 2013.

A autenticidade deste certificado poderá ser comprovada através do site <http://www.furg.br/>

Ednei Gilberto Primel
Pro-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Roxilene Maria Clementin
Doutora de Pós-Graduação

- SOUZA, R. V. ; MARQUES, W. C. "O Potencial Energético do Gradiente Térmico na Plataforma Continental Sul Brasileira". X Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite, realizado pelo Instituto do Mar Almirante Paulo Moreira, no período de 15 a 18 de outubro de 2013. **Apresentação de pôster.**



Certificado

Certifico que o pôster “*O Potencial Energético do Gradiente Térmico na Plataforma Continental do Sul do Brasil*”, de autoria de Valente de Souza, R.; Correa Marques, W., foi apresentado durante o **X Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite**, realizado pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, no período de 15 a 18 de outubro de 2013.

Araraial do Cabo, RJ, 16 de outubro de 2013.

Oscar Moreira da Silva Filho
Contra-Almirante
Diretor

- LEITE, M.; SOUZA, R.; SPOLAVORI, A.; & KUSCHE, N.; EMMENDORFER, L. "Estudo de caso sobre acoplamento de um modelo de previsão numérica ao planejamento e alocação de berços no porto de Rio Grande". V CONFERÊNCIA SUL EM MODELAGEM COMPUTACIONAL - V-MCSUL, atividade promovida pelo Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da FURG, nos dias 19, 20 e 21 de setembro de 2012. **Apresentação de pôster**



10.4 Outros

- RODRIGUEZ, B.; SCHNEIDER, C.; ANDRADE, C.; MENEGHETTI, A.; SOUZA, R. "Elaboração e Produção de Material para o Ensino de Cálculo Diferencial e Integral, Álgebra Linear e Geometria Analítica". Projeto promovido pelo Programa de Pós-graduação: Modelagem Computacional. **Elaboração de Livro institucional**



Atesto para os devidos fins que o aluno **Roberto Valente de Souza** participou como bolsista reuni o projeto de pesquisa aprovado no IMEF na ata 010/2012 e registrado na Propesp Nº: 033128/2012 intitulado **Elaboração e Produção de Material para o Ensino de Cálculo, Álgebra Linear e Geometria Analítica.**

Cinthyia Maria Schneider Meneghetti
Cinthyia Maria Schneider Meneghetti
(coordenadora do projeto)


André Meneghetti
(professor orientador)

10.5 Premiação

- Prêmio Almirante Franco, 2^o lugar na categoria Pôster, no X Simpósio sobre Ondas, Marés e Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite. Arrail do Cabo, 15 a 18 de outubro de 2013.



139

Acha, E., Mianzan, H., Guerrero, R., Favero, M., and Bava, J. (2004). Marine fronts at the continental shelves of austral South America: Physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems*, 44:83—105.

Almeida, G. E. (2007). As fontes de energia do oceano.

Avery, W. H. and Wu, C. (1994). Renewable energy from the ocean: a guide to OTEC.

Beavis, A., Charlier, R., and De Meyer, C. (1986). On-Shore Siting of OTEC Plants. *OCEANS '86*, 18:174–179.

Bégueri, M. (1979). A exploração dos oceanos: a economia do futuro. *DIFEL - Difusão Editorial S.A.*, page 137.

Beorse, B. (1977). Shamcher Beorse - OTEC history: letters of .

Bharathan, D., Green, H., Link, H., Parsons, B., Parsons, J., and Zangrando, F. (1990). Conceptual Desing of an Ocean Thermal Energy Conversion Net Power-Producing Experiment (OC-OTEC NPPE).

- Bharathan, D. and Penney, T. (1984). T. Flash Evaporation from Turbulente Water Jets. *Heat Transfer*, 106:407–415.
- Böhnecke, G. (1936). Temperature, Salinity and Density of Surface Waters of the Atlantic Ocean. Scientific Results of the German Atlantic Expedition of Research Vessel Meteor, 1925-1927. In *Division of Ocean Sciences*, volume 5. NSF, Washington, D.C., 5 edition.
- Braga, M. F. S. and Krusche, N. (2000). Padrão de ventos em Rio Grande, RS, no período de 1992 a 1995. *Atlântica*, 22:27–40.
- Branco, S. (2004). *Energia e meio ambiente*. Moderna (Coleção Polêmica), São Paulo, branco, s. edition.
- Brown, M. G., Gauthier, M., and Meurville, J. (2002). George Claude’s Cuban OTEC experiment: a lesson of tenacity for entrepreneurs. *International OTEC/DOWA Association (IOA) Newsletter*.
- Bryan, K. (1969). A numerical method for the study of the circulation of the world ocean. *Journal of Computational Physics*, 4:347–376.
- Campos, E. J. D., Lentini, C. D., Miller, J. L., and Piola, A. R. (1999). Interannual variability of the sea surface temperature in the South Brazil Bight. *Geophys. Res. Lett.*, 26:2061–2064.
- Campos, E. J. D., Piola, A. R., Matano, R. P., and Miller, J. L. (2008). PLATA: A synoptic characterization of the southwest Atlantic shelf under influence of the Plata River and Patos Lagoon outflows. *Continental Shelf Research*, 28:1551–1555.

- Castro, B. M., Lorenzzetti, J. A., Silveira, I. C. A., and Miranda, L. B. (2006). Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In ROSSI and WONGTSCHOWSKY, C. L. D. B., editors, *O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil*, chapter 1, pages 11–20. Edusp, São Paulo.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., Witter, D. L., and Richman, J. G. (1990). Geosat observation of the surface Circulation of Southern Ocean. *Geophys Res*, 95:17887–17903.
- Cheney, R. E., Marsh, j. G., and Beckley, B. (1983). Global Meso-scale Variability from Collinear Tracks of Seasat Altimetry Data. *Geophys*, 88:4343–4351.
- Ciotti, A. M., Odebrecht, C., Fillmann, G., and Möller Jr., O. O. (1995). Freshwater Outflow and subtropical Convergence Influence on Phytoplankton Biomass on Southern Brazilian Continental shelf. *Continental Shelf Research*, 15:1737–1756.
- Coward, A. and Cuevas, B. A. (2005). The OCCAM 66 Level Model: physics, initial conditions and external forcing. Technical report.
- Cox, M., D. (1972). A primitive equation 3-dimensional model of the ocean. *GFDL Ocean Group Technical report 1. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/ NOAA*, page 143.
- Daubechies, I. (1992). Ten Lectures on Wavelets. *SIAM*.
- Dunn, H. S. (1977). Optimization of an ocean thermal energy conversion system. *Ocean Engineering. Oxford*, 4:23–39.
- Emilson, I. (1961). The shelf and coastal waters off Southern Brazil. *Boletim do Instituto Oceanográfico. São Paulo*, 17(2):101—112.

- EPE (2012a). Balanço Energético Nacional. *Ministerio de Minas e Energia*.
- EPE (2012b). Plano Decenal de Expansão de Energia.
- EUROCEAN (2004). OTEC.
- Gauthier, M. (2006). Proposal for a European contribution to the development of the exploitation of the marine resource known as "Ocean Thermal Energy Conversion OTEC" for the production of electricity and fresh water in the Ultra Peripheral Regions of the Union.
- Goni, G., Scott, K., Garzoli, S., and Olson, D. (1996). Dynamics of the Brazil-Malvinas Confluence based on inverted echo sounders and altimetry. *J. Geophys. Res.*, 101:16273–16290.
- Gordon, A. L. (1981). South Atlantic Thermocline Ventilation. *Deep Sea Res. Parte A*, 28:1234–1264.
- Gordon, A. L. (1989). Brazil - Malvinas Confluence - 1984. *Deep-Sea Research*, 36:359–384.
- Grimm, A. M., Barros, V. R., and Doyle, M. E. (2000). Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Climate*, 13:35–58.
- Grimm, A. M., Ferraz, S. E. T., and Gomes, J. (1998). Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Climate*, 11:2863–2880.
- Grimm, A. M. T. R. G. (2009). ENSO and extreme rainfall events in South America. *Climate*, 22:1589–1609.
- IOES (2013). Institute of Ocean Energy of Saga University (IOES). OTEC.

- Issues., E. . (2006). Tidal power in North America Environmental and Permitting Issues. Technical report, Devine Tarbell & Associates Inc., EPRI (2006). Tidal power in North America Environmental and Permitting Issues. Technical report, Devine Tarbell & Associates Inc., EPRI-TP-007-NA.
- Johnson, F. A. and Seymour, R. J. (1992). Closed-Cycle Ocean Thermal Energy Conversion. In Seymour, R. J., editor, *in Ocean Energy Recovery-The State of the Art*, chapter 5, pages 70—96. New York, asce edition.
- Johnson, M. (2006). Shamcher: A memoir of Bryn Beorse and his struggle to introduce ocean energy to the United States. *Alpha Glyph Publications Ltd.*, page 134.
- Krusche, N., Saraiva, J. M. B., and Reboita, M. S. (2003). Normais Climatológicas provisórias de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS. *Imprensa Universitária*, 1:1–84.
- Lentini, C. A. D. (1997). *Estudo das variabilidades da temperatura da superfície do mar na plataforma sudoeste da América do Sul*. Dissertação mestrado em oceanografia física, Universidade de São Paulo.
- Lentini, C. A. D., Podestá, G. P., Campos, E. J. D., and Olson, D. B. (2001). Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. *Continental Shelf Research*, 21:89–112.
- Marques, W. C., Fernandes, E. H., Monteiro, I. O., and Möller, O. O. (2009a). Numerical modeling of the Patos Lagoon coastal plume, Brazil. *Continental Shelf Research*, 29(3):556–571.
- Marques, W. C., Fernandes, E. H., Monteiro, I. O., and Möller, O. O. (2009b). Numerical

- cal modeling of the Patos Lagoon coastal plume, Brazil. *Continental Shelf Research*, 29(3):556–571.
- Marques, W. C., Fernandes, E. H. L., and Moller, O. O. (2010a). Straining and advection contributions to the mixing process of the Patos Lagoon coastal plume, Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 115(C6):1–23.
- Marques, W. C., Fernandes, E. H. L., Moraes, B. C., Möller, O. O., and Malcherek, A. (2010b). Dynamics of the Patos Lagoon coastal plume and its contribution to the deposition pattern of the southern Brazilian inner shelf. *Journal of Geophysical Research*, 115(C10):1–22.
- Marques, W. C., Fernandes, E. H. L., Moraes, B. C., Möller, O. O., and Malcherek, A. (2010c). Dynamics of the Patos Lagoon coastal plume and its contribution to the deposition pattern of the southern Brazilian inner shelf. *Journal of Geophysical Research*, 115(C10):1–22.
- Matsuura Y. (1986). Contribuição ao Estudo sobre Estrutura Oceanográfica da Região Sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Ciência e Cultura*, 38(8):1439—1450.
- Mattos, L. F. (1987). *O papel da deformação horizontal na frontogênese na Região Sul brasileira*. Mestrado em meteorologia, . São José dos Campos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Miranda, L. B. (1982). *Análise de massa de água de plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) à Ilha de São Sebastião (SP)*. Tese (livre docência), Universidade de São Paulo.

O Potencial Energético do Gradiente Térmico na Plataforma Continental do Sul do Brasil.

- Möller, O. O. J., Piola, A. R., Freitas, A. C., and Campos, E. J. D. (2008). The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research*.
- Morettin, P. A. (2004). Ondas e ondaletas: da análise de Fourier à análise de ondaletas. *Edusp, São Paulo*.
- Mostafa H. Sharqawy, J. H. L. V. and Zubair, S. M. (2010). Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data. 16(10):354–380.
- Neshiba, S. (1987). *Oceanography: perspectives on a fluid Earth*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Nihous, G. C., Syed, M. A., and Vega, L. A. (1989). Design of a Small OTEC Plant for the Production of Electricity and Fresh Water in a Pacific Island,â. In *ASCE International Conference on Ocean Energy Recovery*, pages 207— 216., New York. ASCE.
- OCEES (2007). Ocean Engineering and Energy Systems (OCEES). OTEC.
- ODSWRI (2013). The Okinawa Prefecture Deep Sea Water Research Institute.
- Olivia, J. and Giansanti, R. (1999). *No Title*. Atual, São Paulo, atual edition.
- Olson, D., Podesta, G., Evans, R., and Brown, O. (1988). Temporal Variations in the Separation of Brazil Malvinas Currents. *Deep Sea Res.*, 35:1971–1990.
- Podesta, G., Brown, O., and Evans, R. (1991). The annual cycle of Satellite derived Sea Surface Temperature in the Southwestern Atlantic Ocean. *Climate*, 4:457–467.

O Potencial Energético do Gradiente Térmico na Plataforma Continental do Sul do Brasil.

- Seya, Y., Nakamoto, Y., and Corporation, T. (1983). Transactions on Power Apparatus and Systems.
- Silva, M. P. (1995). *Caracterização Físico-Química das Massas de Água da Bacia de Santos durante o Projeto COROAS: Verão e Inverno de 1993*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Silva, P. d. C. M. e. (1978). Usos do Mar. In *Instituto de Pesquisas da Marinha*, chapter Energias d, page 137;155. Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), Brasília.
- Skinner, B. and Turekian, K. (1988). *Homem e o oceano*. São Paulo, blücher edition.
- Takahashi, P. (2003). Energy from the sea. In LECTURES, I. B. M., editor, *The potential and realities of ocean thermal energy conversion (OTEC)*., pages 1–43, Paris. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). UNESCO publications.
- Thermal, N. R. E. L. N. O. (2007). Ocean Thermal Energy Conversion.
- Thurman, H. and Trujillo, A. (2004). *Introductory oceanography*. . New Jersey, new jersey edition.
- Torrence, C. and Compo, G. P. (1997). A practical guide to wavelet analysis. Technical Report. *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- TPICHTER (1993). The Pacific International Center For High Technology Research - The 210 kWe (gross) open-cycle Ocean Thermal Energy conversion (OTEC) experimental facility. *Woodlawn Drive, Honolulu-Hawaii*, 180(March).
- Vega, L. A. (1999). Ocean thermal energy conversion (OTEC). (December):1–23.

O Potencial Energético do Gradiente Térmico na Plataforma Continental do Sul do Brasil.

- Vega, L. A. and Nihous, G. C. (1996). Design of a 5 MWe OTEC Pre-commercial Plant.
- Wainer, I., Gent, P., and Gont, G. (2000). Annual Cycle of Brazil-Malvinas Confluence Region in the Natinal Center for Atmospheric Reserch Climate System Model. *Geophys Res*, 105(C11):26167–26172.
- Webb, D. J., B. A. d. C. . A. C. C. (1998). The first main run of the OCCAM global ocean model. Technical report, Southampton Oceanography Centre, Southampton.
- WEC (2001). WORLD ENERGY COUNCIL (WEC). In *Survey of energy resources*, Londres. WORLD ENERGY COUNCIL.
- WU, J. Y. (2006). Deep Ocean Water: An underwater Gold Mine. *Industrial Technology Research Institute (ITRI)*, 44:1–4.
- Yeh, R., Su, T., and Yang, M. S. (2005). Maximum output of an OTEC power plant. *Ocean Engineering.*, 32:685–700.
- Zanella, J., Gonçalves, G., and Möller, J. O. (1998). Análise da variação espaço-temporal das frentes térmicas de quebra de plataforma e feições associadas no Oceano Atlântico Sul-Occidental entre 25°S e 37°S. In *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.*, pages 861–871, Santos, Brasil. INPE.
- Zavialov, P. O., Ghisolfi, R. D., and Garcia, C. A. (1998). An inverse Model for Seazonal Circulation over the Southern Brazilian Shelf: Near Surface Velocity from the Heat Budget. *Phys. Oceanogr.*, 28:545–561.