

Universidade Eduardo Mondlane

**FACULDADE DE CIÊNCIAS DEPARTAMENTO DE FÍSICA
ENERGIAS RENOVÁVEIS**

ENERGIA DE ONDA OCEÂNICA

Maputo, Setembro de 2004

**TRABALHO DE FIM DO CURSO
SUBMETIDO POR EXAME DE ESTADO**

**LICENCIATURA EM FÍSICA APLICADA
ESPECIALIDADE DAS ENERGIAS
RENOVÁVEIS**

ENERGIA DAS ONDAS OCEÂNICAS

Amílcar Dinis Honwana

**Departamento de Física
Universidade Eduardo Mondlane**

Maputo, Setembro de 2004

Dedicatória

Este trabalho, dedico especialmente a todos os que impulsionaram quer materialmente, assim como moralmente.

Aproveito já agora agradecer e dedicar este trabalho a Dona Helena Mandlate, quem ajudou-me bastante para a elaboração deste Relatório ao disponibilizar o seu material informático, não só como desde a fase dos estudos soube ter sempre ouvidos para mim, orientando custeando os meus estudos, dando um leque de apoio que por mim jamais será esquecido.

Devo também agradecer aos meus pais e familiares que colaboraram com miigo, em particular ao meu irmão Sérgio Dinis que certas vezes deu as suas directrizes relacionadas com o tema.

Agradeço imenso aos meus colegas, nomeadamente: Romildo Nuno, Dêrcio Lobo, Simão Munguambe, Lucílio Matias, Leonel Amisse, e os demais que por pouca sorte não tenham sido mencionados, que souberam sempre partilhar e discutir cientificamente com miigo em quando elaborava o Relatório.

Mando também agradecimentos especiais ao corpo docente e funcionários do departamento de *Física da Universidade EduardoMondlane*.

Índice

1.Objectivo	2
1.1. Introdução	2
1.2. Criação das ondas.....	3
1.2.1. Criação dos Ventos.....	3
1.3. Movimento da Onda.....	3
1.4. Energia e potência da Onda	7
1.4.1. Extração da energia da Onda	9
1.4.2. Conversão da energia em electricidade	11
1.5. Padrão da Onda	12
1.6. Indicadores	14
1.6.1. Perfil dos Indicadores da Onda	14
1.7. Coluna de água oscilante.....	16
1.7.1. Indicadores submersos.....	16
1.8. Sistemas de captação de Ondas	17
1.9. Impacto ambiental socio-económico para Moçambique	18
2. Conclusão	18
3. Bibliografia.....	18
3.1. Anexos.....	19

1. Objectivo

Este trabalho, tem como objectivo fazer o estudo sobre a energia das ondas oceânicas como recurso de energia renovável e seus métodos de aproveitamento da energia, bem como das tecnologias envolvidas.

1.1. Introdução

De um modo geral torna-se um pouco difícil falar da energia das ondas sem se quer fazer referência as **Ondas Oceânicas**, que por seu turno são formadas por propagações de qualquer perturbação da superfície líquida pelo vento, terremotos, forças gravitacionais e planetárias. Durante estes eventos, energia e movimento são transmitidos para a massa de água na direcção de propagação da força perturbadora. A energia trafega sob a forma de uma onda, sem causar transporte significativo da massa de água no espaço. A energia das ondas, pode ser normalmente bem extraída pelas **'Tsunamis'** que são ondas com $\frac{1}{4}$ do raio da terra. Quanto a **Energia** é um conceito difícil de ser formalizado. Podemos entendê-lo como o resultado cinético de partículas (movimento e calor) produzido por alguma força. Portanto para mensurar a energia temos que analisar as forças naturais.

Grandes quantidades dos fluxos de energia podem ocorrer em ondas das águas profundas. A energia na onda é proporcional ao quadrado da amplitude e o período do movimento. E ainda o período longo, cerca de 10s, amplitude larga cerca de 2m. A energia das ondas é conservada e concentrada na forma de energia solar, desde que os ventos que produzem as ondas, sejam causados pela diferença de pressão na atmosfera, causada pelo aquecimento solar. Assim, transfere-se uma parte da energia solar em forma de ondas. Esta energia transferida, resulta na concentração da energia envolvida: o nível inicial da energia solar e por volta de 1 kW/m^2 que é concentrada para uma média de nível de energia de onda de 70 kW/m por acréscimos de comprimentos, uma vez que a energia tem como unidade Kw/m .

Ondas tem um interesse considerável para a geração de energia, com fluxos de energia com médias entre os 50 e 70 kW por metros largos da onda procedente.

As possibilidades de gerar energia eléctrica, das ondas provenientes das águas profundas foram descobertas a longos anos, e existem poucas ideias dos equipamentos de extrair energia. Nos recentes anos, interesses tem revividos, particularmente no Japão, Inglaterra e Escandinávia, assim investigações em pequenas escalas de desenvolvimento em extração para a fase comercial e de construção dos equipamentos. Como é sabido que os equipamentos de energias renováveis geram uma energia de 1MW dos indicadores modulares por volta de 50m de distância, de passagem da frente de onda. Os equipamentos mais económicos descobertos usam electricidade a diesel e deviam ser usadas especialmente para as ilhas.

É importante apreciar as grandes dificuldades enfrentadas no fabrico dos equipamentos:

1. Os modelos das ondas são irregulares nas amplitudes, fase e direcção. É neste sentido difícil fabricar modelos para extrair energia eficientemente para uma variedade de distâncias grandes.
2. Existe sempre a probabilidade de ventanias extremas ou furacões, produzindo ondas de grandes intensidades. Vinha sendo comum a 50 anos os máximos serem 10 vezes a altura média das ondas. Assim as estruturas tinham que ficar por volta de 100 vezes a intensidade de energia a qual normalmente elas combinam, permitindo deste modo preços elevados como a redução normal da eficiência de extração de energia.
3. O máximo de energia é geralmente avaliado em ondas vagas das águas profundas do mar aberto. Ainda existem dificuldades para construir equipamentos das ondas nesse tipo de regime.

4. Os períodos de onda, são normalmente por volta de 5 a 10s o que cooresponde a uma frequência de 0.1Hz. É extremamente difícil para combinar este movimento irregular calmo com os geradores requerendo cerca de 500 vezes mais frequência.
 5. Vários tipos de equipamentos que são sugeridos para extração de energia de onda passam por escolha de métodos difíceis e por vezes arbitrários.
 6. A grande quantidade de energia requerida para áreas industriais fazem isto tentar procurar equipamentos de energia de onda equivalentes as condições em queção. Como conseqüências, planos de energias são escalados acima e unicamente esquemas gigantescos, são contemplados na maioria dos regimes de exigência das ondas. Pequenos sítios de pouco potencial energético mas rasovelmente mais económicos tendem a ser ignorados.
- As vantagens notáveis da energia de onda, são largos avaliados fluxos de energia e a praticabilidade das condições das ondas por volta de períodos diários.

1.2. Criação das ondas

O resultado da combinação de forças exercidas pela gravidade, pela tensão superficial da água e pelos ventos leva a subida e descida da superfície da água do mar e sua propagação das ondas. A profundidade do mar influencia na velocidade das ondas, junto à costa. As ondas junto à costa aumentam de altura e inclinação até rebentarem.

Ondas são criadas pelo vento e efectivamente armazenar a energia para transmissão para grandes distâncias.

1.2.1. Criação dos Ventos

Quando o vento sopra, na superfície da água moléculas da água interagem com as do ar com as quais elas colidem. Esta força entre o ar e a água exige na superfície da água como resultado pequenas ondulações, conhecidas como ondas capilares. Estas ondas criam mais superfície de água aumentando a fricção entre o vento e a água. Isto aumenta mais a energia que aumenta o tamanho das ondas, tornando-as largas. Quando o vento para, as ondas mantêm o seu trajecto, calmamente e perdendo energia. Ondas atravessam milhares de quilómetros antes de chegarem a margem, esta que é uma vantagem do uso das ondas como recurso das energias renováveis.

1.3. Movimento da Onda

A maioria dos equipamentos de energia das ondas, são fabricados com o propósito de extrair energia das ondas provenientes das águas profundas. Esta é a forma mais comum encontrada quando a própria profundidade da base do mar D é maior do que a metade do comprimento de onda λ . Por exemplo uma média de ondas das marés para gerarem energia devem possuir um comprimento de onda com cerca de 100m e uma amplitude de 3m, e considerar a profundidade de ondas das águas profundas em profundidades da base do mar acima de 30m.

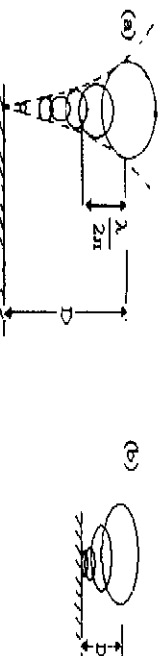


Fig.1 Movimento da partícula em ondas da água (a), movimento das partículas da água da superfície, movimento elíptico das partículas da água.

(Fig. 1 (a)) ilustra o movimento das partículas da água em ondas das águas profundas. A partícula circular tem uma amplitude que decresce exponencialmente com a profundidade e torna-se negligível para $D > \lambda/2$. Em águas levanias ou rasas, (Fig. 1(b)) o movimento torna-se elíptico e o movimento da água ocorre contra o fundo do mar, produzindo dissipação de energia.

As propriedades das ondas das águas profundas são diferentes, e podem ser resumidas de modo:

1. A superfície da onda são conjuntos de ondas imparáveis de comprimentos de ondas irregulares fases e direcções.
 2. O movimento de qualquer partícula na água é circular. Onde a forma das superfícies da onda, mostram uma progressão definitiva, as partículas da água não têm progressão de ligação.
 3. A água na superfície fica na superfície.
 4. A amplitude do movimento da partícula da água, decresce exponencialmente com a profundidade. Numa profundidade de $\lambda/2\pi$, abaixo da posição da própria superfície, a amplitude é reduzida para $1/e$ da superfície .
 5. A amplitude a da superfície de onda, é essencialmente independente do comprimento de onda λ , velocidade c ou período T da onda e depende da proveniência ou natureza dos ventos acima da superfície. É raro a amplitude exceder um décimo $1/10$ do comprimento de onda.
 6. A onda vai se quebrar em água branca, quando a água que transborda na mesma é por volta de 1 a 7m, até dissipar energia potencial.
- Para as águas profundas, fricção, superfícies de tensão, e forças inerciais, com duas forças dominantes de gravidade e movimento circular. Como resultado, a superfície de água sempre leva para cima o modelo que é tangente e fica perpendicular a força resultante dessas duas forças.

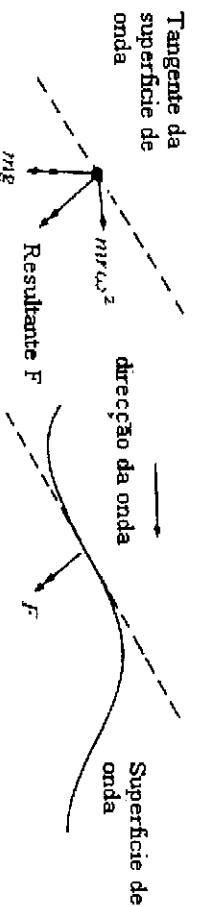


Fig2. Superfície da onda perpendicular a Força Resultante e da gravitacional e força centrífuga actuando num elemento de água, massa m .

A partícula da água na superfície têm um movimento circular de raio a igual a amplitude da onda. A altura da onda H do topo através do crescimento para o fundo é duas vezes a amplitude $H=2a$. A velocidade angular das partículas da água é ω (radianos por segundos). A superfície de onda têm um modelo que progride com movimento da onda, embora a água não venha a progredir. Ao longo da direcção do movimento da onda o modelo em movimento resulta de fases diferentes no movimento das partículas sucessivas na água.

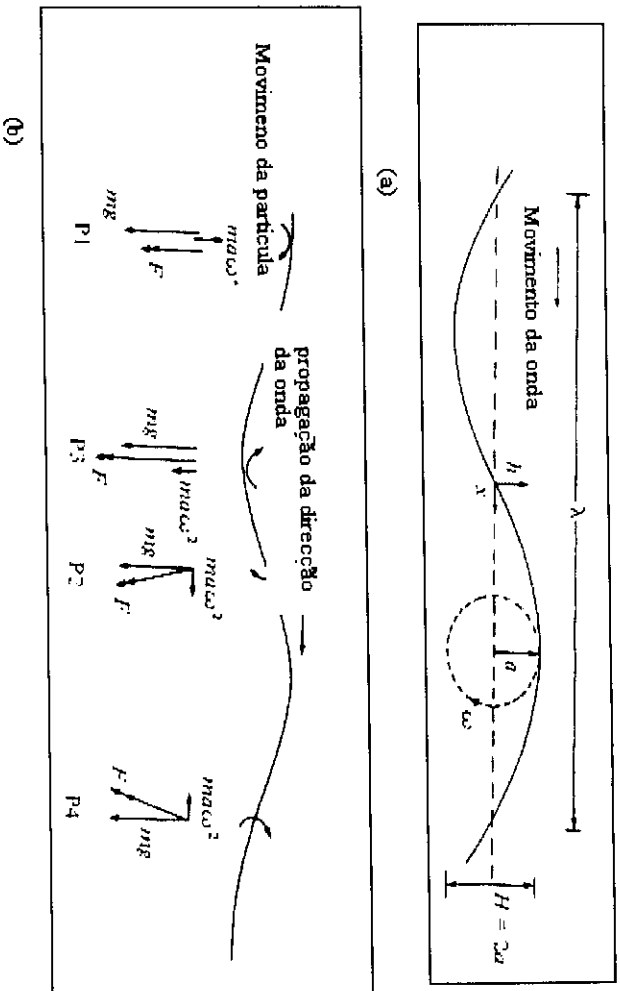


Fig 3(a) é a característica da onda e 3(b) é a força resultante na superfície das partículas de água.

Aqui a superfície da água vai para cima por causa da força resultante, assim a tangente a superfície e perpendicular a força resultante F_r . A partícula no topo do crescimento, posição P_1 é lançada para cima pela força centrípeta $m a \omega^2$. Em seguida a partícula está caindo e a posição máxima é tomada pela partícula vizinha, em atraso de fase. Em P_2 a partícula está num nível médio, e a superfície orienta-se perpendicularmente para a força resultante F_r . Através de P_3 a força de baixo é máxima. Em P_4 a partícula têm normalmente completado o ciclo completo do seu movimento. A aceleração na superfície está ilustrada na (Fig. 4(b)). Inicialmente em $t=0$, a partícula está no nível médio da água e se subsequentemente:

$$\Phi = \frac{\pi}{2} - \omega t \tag{1}$$

As acelerações da partículade da água estão ilustradas na Fig 4(c).

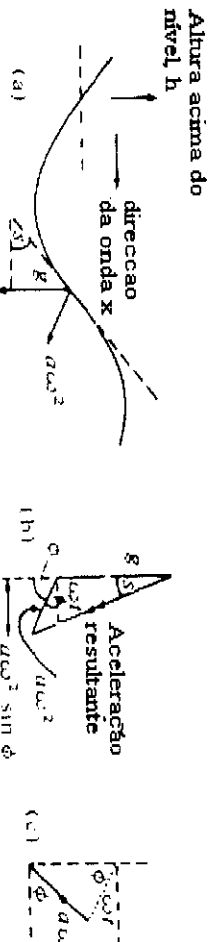


Fig 4 aceleração e velocidade da partícula de superfície da água(a) superfície da água (b), derivação geral(c) velocidade da partícula.

$$\tan s = \frac{a \omega^2 \sin \Phi}{g + a \omega^2 \cos \Phi} \approx \frac{a \omega^2 \sin \Phi}{g} \tag{2}$$

desde que $g \gg a \omega^2$ para ondas em queda (exemplo $a=2m, T=8s, a \omega^2=1ms^{-2}$ e $g=9.8ms^{-2}$. Deixemos h sera altura acima do nível.

$$\frac{dh}{dx} = \tan s \quad (3)$$

Da equação (1) e (2) segue (3).

$$\frac{dh}{dx} = \frac{a\omega^2}{g} \operatorname{sen}\Phi = \frac{a\omega^2}{g} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \Phi\right) = \frac{a\omega^2}{g} \cos\omega t \quad (4)$$

Combinando (1),(2) e (3) segue (4): Da Fig 4(c) a velocidade da partícula é:

$$\frac{dh}{dx} = a\omega \operatorname{sen}\Phi = a\omega \cos\omega t \quad (5)$$

A solução de (4) e (5) será:

$$h = a\operatorname{sen}\left(\frac{\omega^2 x}{g} - \omega t\right) \quad (6)$$

Comparando esta com a equação geral do comprimento de onda λ e velocidade c , obtem-se:

$$\begin{aligned} h &= a\operatorname{sen}\frac{2\pi}{\lambda}(x - ct) \\ &= a\operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \omega t\right) = a\operatorname{sen}(kx - \omega t) \end{aligned} \quad (7)$$

onde $k=2\pi/\lambda$ tal chamado número de onda.

É fácil notar que é o movimento da superfície da onda em passagem, onde

$$\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2} \quad (8)$$

Esta equação é importante por dá-nos a relação entre a frequência e o comprimento de onda das águas profundas. Assim o período do movimento será:

$$T = \sqrt{\left(\frac{2\pi\lambda}{g}\right)} \quad (9)$$

A velocidade da partícula será:

$$v = a\omega = a\sqrt{\left(\frac{2\pi g}{\lambda}\right)} \quad (10)$$

A velocidade da partícula na superfície de onda na direção x será:

$$c = \frac{\omega\lambda}{2\pi} = \frac{g}{\omega} = g\sqrt{\left(\frac{\lambda}{2\pi g}\right)} \quad \text{onde } c = \frac{g\lambda}{2\pi} \quad (11)$$

Comparando esta com equação geral da onda de passagem geral.

1.4. Energia e potência da Onda

A teoria elementar das águas profundas, começa por considerar uma única onda regular. Em que as partículas da água próximas da superfície irão mover-se em órbitas circulares em várias fases, na direcção de propagação x . Assim teremos na coluna vertical a amplitude igualada a metade por via do acréscimo da altura na superfície, e decrescendo exponencialmente com a profundidade.

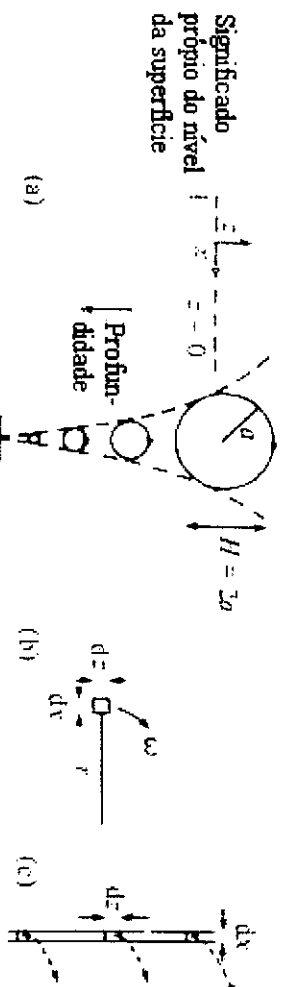


Fig 5 Movimento elementar da água que ilustra o decaimento exponencial da amplitude com a profundidade.

O movimento da partícula, será circular se a profundidade da base do mar $D > 0.5\lambda$ quando a amplitude tornar-se negligível ao fundo do mar. Nessas condições a (Fig. 5(a)) em textos “standards” isto é padronizados, que a partícula da água que supostamente ficou em posição abaixo da superfície da água, é Z movendo-se numa rotação circular dada de modo:

$$r = ae^{Kz} \quad (12)$$

Aqui o K é o número de onda de valor $2\pi/\lambda$, e o Z significa a altura abaixo da superfície (em escala ou quantidades negativas).

Consideram-se elementos ‘strips’ isto é de faixa de passagem da água por unidades de largura da frente de onda, em posição (x, z) . Consideremos o volume por unidades de largura da frente de onda desta ‘strip’ de densidade ρ como sendo:

$$dV = dx dz \quad (13)$$

E a massa será dada por :

$$dm = \rho dV = \rho dx dz \quad (14)$$

Sendo E_K a Energia Cinética total de todo o movimento da onda no fundo do mar, por unidade de comprimento ao longo da direcção x e por unidade da largura da frente de onda. A Energia Cinética total de comprimento δx da onda é $E_K \delta x$. Cada elemento da água de altura δz , o comprimento δx e a unidade de largura, estão em movimento circular com velocidade angular ω constante, órbita circular r e velocidade dada de modo:

$$v = r\omega \quad (15)$$

(Fig.5(c)). A contribuição dos elementos para Energia Cinética, na coluna vertical da base do mar para a superfície é $\delta E_K \delta x$, onde:

$$\delta E_K \delta x = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (\rho \delta z \delta x) v^2 \omega^2 \quad (16)$$

Até

$$\delta E_K = \frac{1}{2} \rho v^2 \omega^2 \delta z \quad (17)$$

É bastante fácil, considerar um momento no tempo quando um elemento, está na posição apropriada, e todos os outros elementos da coluna movem-se verticalmente na mesma fase na direcção Z (Fig. 5(c)).

Da equação (1) a rotação da órbita circular é dada por:

$$r = a e^{kz} \quad (18)$$

onde z é negativo abaixo da superfície. E da formula (5.1) temos:

$$\delta E_K = \frac{1}{2} \rho (a^2 e^{2kz}) \omega^2 \delta z \quad (19)$$

e a Energia Cinética total da coluna é:

$$E_K \delta x = \int_{z=-\infty}^{z=0} \frac{\rho \omega^2 a^2}{2} e^{2kz} \delta z \delta x = \frac{1}{4} \rho \frac{\omega^2 a^2}{k} \delta x \quad (20)$$

Como $K=2\pi/\lambda$ deste modo de (5.2) temos $\omega=2\pi g/\lambda$,

$$E_K = \frac{1}{4} \rho a^2 \frac{2\pi g}{\lambda} \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{1}{4} \rho a^2 g \quad (21)$$

Este valor que por seu turno vem ser o meso da Energia Potencial. Como era de esperar tratando se de um movimento harmónico a média da Energia Potencial bem como Cinética são iguais a saber:

$$E_p = \frac{\rho a^2 g}{4} \quad (22)$$

Assim a Energia Total por unidade de largura e comprimento da frente de onda, *por exemplo*

Energia Total por unidade de área de superfície, é

Energia Total= Energia Cinética+Energia Potencial a saber:

$$E = E_K + E_p = \frac{1}{2} \rho a^2 g \quad (23)$$

É visto que a raiz significa o quadrado da amplitude é $\sqrt{\left(\frac{a^2}{2}\right)}$, assim

$$E = \rho g \text{ (a raiz significa o quadrado da amplitude)}^2 \quad (24)$$

A Energia por unidade do comprimento de onda λ , na direcção da onda e por unidade do comprimento da frente de onda, é:

$$E_1 = E\lambda = \frac{1}{2} \rho \alpha^2 g \lambda \quad (25)$$

Da equação (7) $\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2}$, assim teremos (12) de modo:

$$E_1 = \frac{\pi \rho \alpha^2 g^2}{\omega^2} \quad (26)$$

Ou, desde que se saiba que $T=2\pi/\omega$ então:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi} \rho \alpha^2 g^2 T^2 \quad (27)$$

É necessário mostrar a Energia Cinética, Potencial e Mecânica nestas várias formulas pois de igual modo elas têm ampla variedade de uso na Literatura.

1.4.1. Extração da energia da Onda

Os cálculos dos excessos de (Energia Potencial mais a Energia Cinética) num mar dinâmico, continuam em simultâneo com o movimento da onda em águas profundas. A energia é associada com a água que fica no mesmo local quando medida com o tempo. Como alguns desses cálculos não nos dizem nada do transporte da energia (potência) na passagem da secção vertical da água.

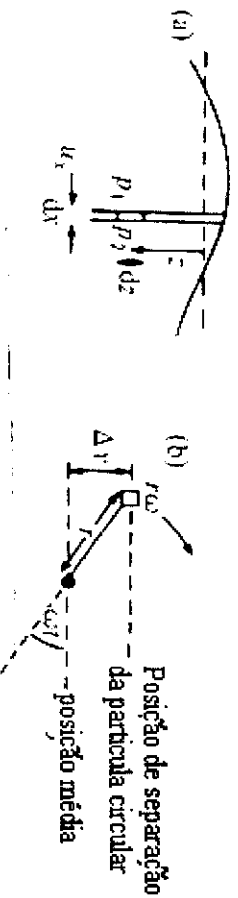


Fig 6 Flutuações da pressão local na onda (a) pressões na onda, (b) variações locais da partícula de água.

Textos padrões mostram que (Coulson e Jeffrey 1977) calcularam esta Energia pela primeira vez por considerarem a pressão no seio da água resultado de variações ou separações.

A Matemática aplicada e requerida nestes cálculos é rigorosa e compreensiva e de importância fundamental na teoria de fluido de onda .

Considerando um elemento ou partícula de água abaixo do nível da própria superfície (Fig. 6). Para a onda da superfície de amplitude α e número de onda K , a rotação da partícula do movimento da partícula abaixo da superfície é:

$$r = a e^{Kz} \quad (28)$$

A variação vertical Δy (Fig.6(b)) da posição média é :

$$\Delta y = r \sin \omega t = a e^{Kz} \sin \omega t \quad (29)$$

A componente horizontal da velocidade μ_x , é dada de modo:

$$\mu_x = r \operatorname{sen} \omega t = \omega a e^{kz} \operatorname{sen} \omega t \quad (30)$$

Da (Fig.6 (a)) a energia (potência) é garantida pela onda em x por unidade de largura e frente de onda e num dado instante é dada por:

$$P' = \int_{z=-\infty}^{z=0} ((P_1 - P_2) \mu_x dz \quad (31)$$

Onde P_1 e P_2 são as pressões locais experienciadas a passar pelo elemento que está na altura dz e por unidade de largura de passagem da frente de onda. Daí $(P_1 - P_2)$ é a diferença de pressões experienciadas pelo elemento na posição horizontal. A única contribuição para a energia circula dos quais a média não é igual a zero e, a média particular de profundidade na água é associada com a mudança na Energia Potencial das partículas girando em trajetórias circulares (ver coulson e Jeffrey 19770).

$$P_1 - P_2 = \rho g \Delta y \quad (32)$$

Substituindo Δy da equação (16) têm se:

$$P_1 - P_2 = \rho g a e^{kz} \operatorname{sen} \omega t \quad (33)$$

Da equação (18) e combinando com (17) e (20) obtêm-se:

$$P' = \int_{z=-\infty}^{z=0} (\rho g a e^{kz} \operatorname{sen} \omega t) (\omega a e^{kz} \operatorname{sen} \omega t) dz = \rho g a^2 \omega \int_{z=-\infty}^{z=0} e^{2kz} \operatorname{sen}^2 \omega t dz \quad (34)$$

O tempo médio a volta de muitos períodos de $\operatorname{sen}^2 \omega t$ é igual a $1/2$. Assim teremos:

$$P' = \frac{\rho g a \omega}{2} \int_{z=-\infty}^{z=0} e^{2kz} dz = \frac{\rho g a^2 \omega}{2} \frac{1}{2k} \quad (35)$$

A velocidade de fase da onda é dada da equação (7)

$$c = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} \quad (36)$$

Assim a energia (potência) garantida mais adiante na onda por unidade do comprimento de onda torna-se:

$$P' = \frac{\rho g a^2 \omega}{2} \frac{c}{2} = \frac{\rho g a^2 \lambda}{4T} \quad (37)$$

Da equação (10) e (28) a energia (potência) P' é igual a Energia Total ou seja Mecânica (Cinética mais a potencial), E na onda por unidade de superfície de área, vezes $c/2$. Este $c/2$ é chamado a velocidade de grupo das águas profundas. (Exemplo, a velocidade em que a Energia no grupo das ondas é criada e garantida para frente). Esta velocidade do grupo igual a $u=c/2$,

$$P' = E_H = \frac{Ec}{2} \quad (38)$$

Onde $E = \rho g a^2 / 2$ da equação (8) extrai-se o valor de K dado de modo:

$$k = \frac{\omega^2}{g} \quad (38.1)$$

E assim sendo a velocidade de fase é:

$$c = \frac{\rho g a^2}{2} \frac{1}{2} \left(\frac{g}{2\pi/T} \right) \quad (38.2)$$

Esta diferença entre a velocidade de grupo e a fase da onda é comum para todas as ondas onde a velocidade depende do comprimento de onda. Várias ondas são chamadas dispersivas e são bem descritas na Literatura, ambas dispersivamente (e.g. Barber, 1969) e analiticamente (e.g. Lighthill, 1978).

Na equação (24),

$$P' = \rho g a^2 / 2 \left[\frac{gT}{2\pi} \right] \text{ vê-se que:}$$

$$P' = \frac{\rho g a^2 T}{2\pi} \quad (38.3)$$

Observa-se que a Energia na onda, aumenta directamente em função do quadrado da amplitude e do período (T). A atração por períodos longos, largas amplitudes, 'swells' ou delação dos oceanos é normal para engenharia da Energia da onda. Esta relação embora não seja óbvia, é possível ser escrita em termos de comprimentos de onda usando a equação (9).

1.4.2. Conversão da energia em electricidade

A energia do mar pode ser usada de três maneiras.

1. A energia retirada do movimento das ondas aproveita a sua subida/descida para accionar uma turbina e o gerador.
2. A energia das correntes marítimas transforma-se em electricidade através da construção de diques e reservatórios. Quando a maré baixa a água sai do reservatório passando pela turbina tal como numa barragem comum.
3. Também são usados as diferenças de temperatura entre a superfície e o fundo do oceano para produzir electricidade.

A conversão da energia da onda em electricidade, é feita ao menos por via de duas fases de processos. A combinação de energia cinética e potencial das ondas a qual é primeiramente modificada por via da energia de arranque do sistema.

As maiores invenções residem nos maiores modelos mundiais de extração de energia a saber:

1. Coluna de água oscilante;
2. Boias com bombas;
3. Sistemas do topo;
4. Milhares de ondas com sistemas de turbinas;
5. Sistemas Mecânicos;
6. Sistemas de geradores lineares

1.5. Padrão da Onda

Sistemas de água não são na prática os únicos que mostram os padrões da onda.

Muito ocasionalmente a onda natural ou padrão controvido de difração de onda, ou ondas canalizadas aproximando estas condições, mas normalmente o mar uma patente irregular das ondas de variados períodos, direcção e amplitude. Abaixo dos estímulos pervalentes do vento, a onda encaminha mostrando a direcção preferida (*o sudeste para a direcção noroeste das ondas do Atlântico das Ilhas Britânicas*), e produzindo períodos longos períodos do mar significantes vagas ou 'swells'. Mais ventos erráticos, produzem típicos movimentos irregulares da água em curtos períodos chamados 'mar'. No fundo das profundezas do mar, por volta de 30m ou menos, focantes e significantes efeitos de direcção, podem ocorrer bem como possibilitando a produção de mais regulares ou de maior potência energética em sítios locais. Os Indicadores das potências das ondas, devem mais adiante combinar uma vasta banda de condições naturais, e sejam desenhadas para extrair o máxima média máxima de energia, medida por um tempo considerável para cada posição de decaimento. Nos desenhos desses indicadores, vai ser necessário entender os padrões da onda de sítios particulares que podem surgir por volta de um período de 50 anos.

A altura das ondas numa posição que esteve tradicionalmente monitorada na altura da onda analogamente gravada. Medições de análises, separadas são necessitadas para obter a direcção da onda. A (Fig.7) mostra um traço simulado de várias gravações. O acréscimo ocorre sempre que o movimento vertical da onda mudar de cima para baixo ou vice versa. Gravadores modernos usam métodos computacionais e digitais, baseados em análise de grandes quantidades de informação.



Fig. 7 Alturas simuladas das ondas gravadas numa posição (com um exagerado conjunto de acréscimos para explicar a terminologia).

Se H for a diferença de altura entre os acréscimos e assim sucessivamente embora existam vários métodos de derivações dos valores representados, como o descrito assegurar.

As variáveis básicas medidas ao longo de intervalos de tempo são:

1. N_c é o número dos acréscimo, na (Fig.7) existem 10 acréscimos.
2. $H_{1/3}$, o 'um terço' é a altura significante da onda. Esta é a média elevadíssima através dos 'um terço' das ondas entre os acréscimos subsequentes. Este $H_{1/3}$ é a média de $N_c/3$ de altíssimos valores de H .
3. H_s , é a altura significante da onda. É defenida de mdo:

$$H_s = 4a_{rms} = 4 \left[\frac{\sum_{i=1}^n h^2}{n} \right]^{1/2} \quad (39)$$

Onde a_{rms} é a raíz, que significa a variação da superfície da água em relação a sua posição inicial, calculada em n medições medidas em intervalos de tempos iguais. Cuidado devem ser

tomados para impedir erros das amostras, por gravar na mesma frequência pelo menos duas vezes, essas em altíssima frequência de onda presente.

4. H_{max} , é a medida ou a altura máxima mais provável da onda. Po volta de 50 anos a H_{max} era 50 vezes maior H_S e assim as essas necessidades consideráveis eram acima dos limites dos 'Designs' isto é para o fabrico de estruturas no mar.
5. T_z , é o período inicial de passagem, é a duração da gravação dividida pelo número de passagens acima do nível da água. Na (Fig.7) $T_z = \tau/3$.
6. T_c , é o período de acréscimo, é a duração da gravação dividida pelo número N dos acréscimos. Na (Fig.7) $T_c = \tau/10$, na prática N é muito grande assim reduz-se a margem de erro em T_c .
7. O parametro C de largura espectral dá a medição da variação na patente de onda:

$$\epsilon^2 = 1 - \left(\frac{T_c}{T_z} \right)^2 \quad (40)$$

Para movimentos uniformes a única frequência, $T_c = T_z$ assim $C=0$. No nosso exemplo

$\epsilon = \sqrt{1 - (0.3)^2} = 0.9$, impondo uma mistura de várias frequências. A maior informação é mostrada pela transformação de Fourier para o espectro de frequência (e.g. Fig.8 em anexo). Da equação (38.3) a energia por unidade de largura da frente de onda num fundo sinusoidal profundo da onda de água é:

$$P' = \frac{\rho g^2 a^2 T}{8\pi} = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \quad (41)$$

Onde por via do acréscimo a altura é $H=2a$. A raiz significa o quadrado (rms) da separação da onda para uma onda sinusoidal pura é $a_{rms} = a/\sqrt{2}$, assim em (41) teremos:

$$P' = \frac{\rho g^2 a_{rms}^2 T}{4\pi} \quad (42)$$

Na prática ondas dos mares não são certamente contínuas no percurso das suas próprias frequências de onda. A energia por unidade de largura da frente de onda é mais adiante escrita na formula (42) de modo:

$$P' = \frac{\rho g^2 H_s^2 T_e}{64\pi} \quad (43)$$

Aqui H_s é a altura significantedefinida em (39) e T_e é o tal chamado período da energia, é o período dominante das oscilações de energia dadas pelo pico no espectro energético (Ver Fig.8 em anexo para vários mares).

$$T_e \approx 1.12T_z \quad (44)$$

Até desenvolvimentos modernos nas energias das ondas um valor aproximado de P pode ser obtido por metodos análogos de gravação desde que:

$$P' \approx \frac{\rho g^2 H_s^2 T_e}{64\pi} \approx \left(490 W m^{-1} m^{-2} s^{-1} \right) H_s^2 T_e \quad (45)$$

Bem como, com equipamentos modernos e análises computacionais, mais métodos sofisticados pode ser usados para calcular (1) a_{rms} e até H_s , e (2), T_z ou T_e . Em seguida :

$$P \approx (490Wm^{-1}m^{-2}s^{-1})H_s^2T_e \approx (550m^{-3}s^{-1})H_s^2T_e \quad (46)$$

Como a patente de onda não é usualmente composta de ondas todas elas progredindo na mesma direcção, a energia recebida pelo indicador vai ser significativamente reduzida.

Os dados da patente de onda são gravados e tabelados por padronizadas estações meteorológicas dos mares. Embora o gálico mais importante para algum diagrama de onda.

Característico do ano, (ex Fig.9 em anexo).

Estas são gravações de números com ocorrências de medições de ondas, com dimensões de alturas particulares significantes e período de passagem zero. Assumindo que o período é relacionado com o comprimento de onda de (9) é também possível escrever linhas de alturas constantes para comprimentos de onda. Contados de igual número de ocorrências por ano são também desenhados.

Com a informação da onda (*isto é dados da onda*) é possível calcular a máxima e mínima energia da onda. Isto pode ser ilustrado dos mapas, exemplo para médias durante o ano. Exemplo ver (as figuras: Fig.10 e Fig.11 em anexo) para médias de intensidades de energia do Mundo e noroeste Europeu.

1.6. Indicadores

Como uma onda ao passar a posição estacionária da superfície muda de altura, a água próxima da superfície move-se assim, a energia cinética e potencial vão se transformando uma em outra e vice versa, e em seguida a pressão abaixo da superfície muda. A maior variedade de indicadores têm sido sugerida para extrair energia, usando uma ou mais dessas variações como entrada para o indicador. Incluindo os indicadores que captam água dos acréscimos das ondas, e permitem a mesma que regresse para dentro do nível apropriado ou por via da extração da energia potencial. Em adição várias construções naturais ou artificiais, podem ser arranjadas para produzir a difracção da onda ou efeitos canalizados que aumentam a intensidade do lado do indicador, ver (Fig. 9 em anexo).

Não é aqui permitido analisar novamente todos os tipos de indicadores de extração de energia das ondasque por seu turno podem ser procurados novamente ou desenvolvidos.(ver Nel, 1979 para um excelente resumo), assim falarei dos mais importantes.

1.6.1. Perfil dos Indicadores da Onda

Sephen Salter da Universidade de Edinburgh desenhou os seus 'patos' para ter diagrama para óptima extração de energia (Fig. 12).

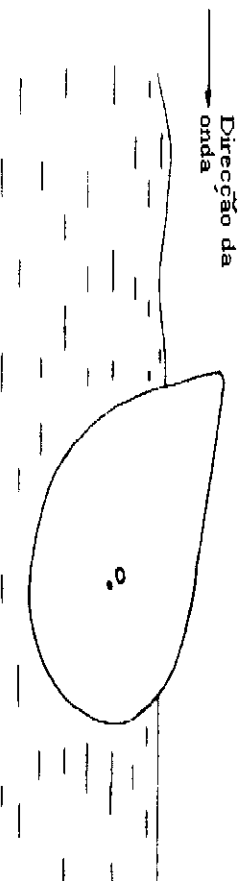


Fig.12 Pato de Salter

A entrada da onda assquerda acerta o biso do pato dentro das oscilações. A parte traseira do pato tem um diagrama circular, assim sendo em oscilações a volta de Onehuma onda é propagada para a direita. Energia pode ser extraída por via do valor da oscilação assim ocorre a energia mínima reflectida. Com muito pouca energia transmitida ou reflectida, existe uma grande conversão de energia da onda incidente em energia avaliada do eixo, a volta de uma grande banda de frequência para combinar as condições (Fig. 13).

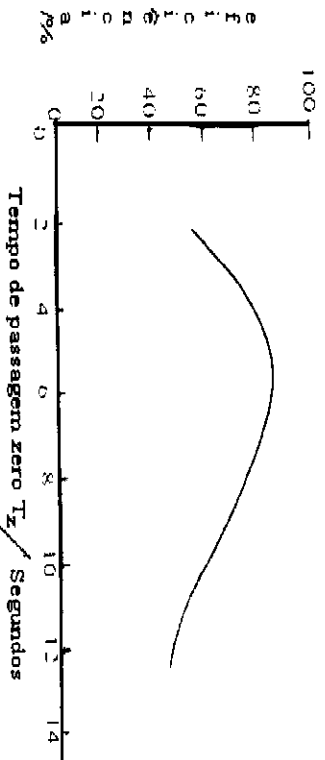


Fig.13 Eficiência do pato de Salter com 15m de diâmetro fixado na espinha.

Benefícios e desenvolvimentos avantes do modelo de Salter são:

1. O pato pode mergulhar e recobrir denovo depois do impacto de uma larga onda não usual, e
2. Uma longa linha linha de patos num ligação flexível comum , ou que tem pouca ligação de movimento translacional ao longo da direcção da base da espinha, talvez facilitando assim o ancoramentoez.

A escala dos patos é plançada para ser equivalente a 0.1 do comprimento de onda (λ), (1 e 10m) altura para 100m das ondas do Atlântico. Caracteres dos patos a longos kilometros têm sido propostos para serem separados nas ondas mais intensivas para o este das ilhas de fora da Inglaterra, para produzir 100Mw da energia por caractér. Patos individuais, com a base centrada da tensão do fundo do mar, tem sido propostos para operações de em profundidades de menor escala , cerca de 20m.

Todos indicadores de ondas tem desvantagens, mas as principais desvantagens dos patos são:

1. A junção do pequeno movimento oscilatório aos geradores eléctricos(Salter eteve trabalhando com um modelo que envolvia um giroscópio, que vai ligar a fraca perturbação do giroscópio, a energia eléctrica de arranque e,
2. A longa espinha 'spine' de cada pato para o trabalho contra a energia produzida do vasto fundo flutuante.

O indicador *Lanchester clam* tem envolvido a geometria de Salter. O sistema agora incorpora contra a circulação flutuante, do qual as suas pastas de ar são pressionada pelas ondas.

O ar comprimido é canalizado de uma pasta para outra, uma vez que as ondas passam de um ângulo da circulação. A Energia Eléctrica é derivada da oscilação das oscilações das camadas de ar, por via de uso de boas tubinas. Essas turbinas, uma vez ligadas, mudam na mesma direcção para extraiem energia da circulação do arna base direcção ideal.(*exemplo a circulação da turbina independente da direcção do fluido*).

1.7. Coluna de água oscilante

Uma coluna de água oscilante, é parcialmente submersa numa estrutura oca, que é instalada no Oceano. Quando a onda passa para a parte da cavidade submersa, abre por baixo da água uma coluna de água que oscila de baixo para cima dentro da cavidade (Fig. 15 em anexo).

Está aberta ao mar abaixo da linha de água, fechando a coluna de ar no topo da coluna de ar. Ondas fazem com que a coluna de água surja e caia, a qual alternativamente comprimi e diminui a coluna de ar. Isto vai induzir um movimento oscilatório de ar bloqueado em baixo da coluna. Este ar bloqueado é permitido circular para a atmosfera e da mesma por via das turbinas de poço, que têm a habilidade de girar obedecendo a mesma direção de circulação do ar. A rotação das turbinas é usada para gerar electricidade.

Os patos, podem ser organizados tal maneira que o movimento do ar ao passa pela turbina esteja sempre na mesma direcção, ou pode ser usada uma 'turbina de poço'. Pelo menos dois sets ou *kits* do sistemas comerciais usam o principio de coluna de água oscilante. Uma grande variedade de 'buys' com energia de onda luminosa são fabricados no Japão pela Masuda e Universidade de Queens em Belfast. A primeira ligação do sistema a terra mais significativa, foi feita por Kvaerner Brug ne Noroega em Toffestallen como mostra a (Fig.14 em anexo).

A (Fig. 14 em anexo) mostra o principio básico da coluna de água oscilante capaz de gerar 500Kw.

Aproposta da empresa NEL (Fig.15) é para construções individuais indicadas para a costa do fundo do mar.



Fig.16 Modelo proposto pela NEL para a geração de energia nas ilhas do este da Inglaterra. Fabricado com permissão do Laboratório Nacional de Engenharia da Inglaterra.

A vantagem mais conceptual da coluna de água oscilante é que a velocidade do ar pode ser aumentada pela redução da área de passagem seccional do canal na turbina. Neste sentido o fraco movimento da onda pode ser acoplado com alta frequência do movimento da turbina. Existe também oportunidade de remover o equipamento gerado imediatamente do ambiente da salina de água.

1.7.1. Indicadores submersos

Indicadores submersos tem o beneficio de não aceitar as péssimas condições de tempestade, mas tem aumentado dificuldades de extração e manutenção de energia. Um exemplo é o proposto cilindro Bristol, consistindo em ar submerso organizado em cilindros assegurados acima da superfície por 'pernas' fixadas para o fundo do mar. Cada cilindro é pressionado para mover pelo movimento circular da onda do fundo do mar e da mudança da mudança da

pressão hidrostática. As 'pernas' consistem em bombas hidráulicas que absorvem a energia da maneira pelo movimento do cilindro. O fluido hidráulico bombeado, é canalizado para gerar estações próximas do vasto conjunto de cilindros (Fig.17)

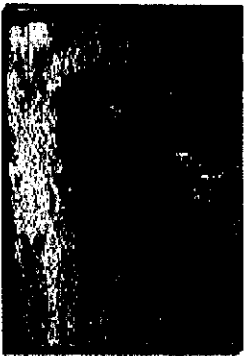


Fig.17 Modelo típico dos cilindros usados nas proximidades da estação.

1.8. Sistemas de captação de Ondas

Os esquemas destes sistemas desenvolvem-se dos fenómenos de vez em quando observados em lagoas naturais.

Ondas partem a parede do mar (equivalente ao reef natural) e a água é imposta numa altura abaixo do nível das águas. Esta água talvés possa regressar para o mar através de uma baixa cabeça convencional de um gerador hidráulico. A (Fig.18 em anexo) é um diagrama de um esquema seriamente considerado para garantir 20 MW da energia eléctrica para as ilhas Maurícias.

Várias ondas para eficiência eléctrica devem ser 30% derivadas da energia da onda de 22K W m^{-1} (*exemplo a energia extraída da onda dumã para do mar assegurada na forma de energia potencial no reservatório*).

O comprimento da parede do mar deve estar por volta dos 5Km. A primeira produção comercial do mundo do sistema baseada neste principio tem sido construída na Noroega num local de onda focalizada.

Por exemplo podemos propor um problema, ao considerar elementos da água deixados a uma profundidade z acima do nível da água para altura z abaixo do nível da água em acréscimo, mostra que a energia potencial por unidade de comprimento e largura da frente de onda na direcção da onda é:

$$E_p = \rho \alpha^2 g / 4 \quad \text{e como solução teriamos:}$$

Analizando bem a superfície de onda dada de forma $h=as\sin kx$. Considerando a unidade de largura da frente de onda, e o comprimento de onda λ . É de sublinhar que elementos da massa de água $\rho dx dz$. Elemento são deixados em altura de 2m.

$$\begin{aligned} E_{p,\lambda} &= \int_{z=0}^{z=h} \int_{x=0}^{x=\lambda/2} (\rho k x dz) g (2z) \\ &= \rho g \int_{x=0}^{x=\lambda/2} h^2 dx \\ &= \rho g a^2 \int_{x=0}^{x=\lambda/2} \left(\frac{1}{2} \lambda - \cos 2kx \right) dx \end{aligned}$$

$$= \rho g a^2 \lambda / 4$$

Este valor que por seu turno é também o mesmo com o da energia por unidade de comprimento.

$E_p = \rho g a^2 \lambda / 4$, além disso este valor é idêntico ao valor de energia cinética.

1.9. Impacto ambiental socio-económico para Moçambique

Todas as fontes de energia causam algum tipo de impacto ambiental. Mesmo a energia hidrelétrica, considerada limpa por não produzir poluentes, gera danos porque a construção de barragens pode provocar deslocamento de populações e impactos no ambiente, como inundações de florestas. No que diz respeito a energia das ondas os impactos não vão fugir tanto a estas normas, ou ainda causar extinção da biodiversidade marinha, bem como poluição das águas dos oceanos. As fontes de biomassa são consideradas renováveis e limpas porque não aceleram o efeito estufa. Mas as monoculturas de cana para a produção de álcool também podem agredir o solo, por exemplo. No ponto económico para aquilo que é a nossa realidade 'Moçambique' por termos uma costa longa e banhada pelo Oceano Índico devíamos aproveitar este aspecto, incendiando no uso destas tecnologias que apesar de serem muito caras no valor de 4.5 a 7 centimos por KWh que para grandes projectos podem ser cerca de aproximaro de 2 milhões de dolares deriam muito úteis para iluminar zonas e vilas sem energia.

2. Conclusão

Concluindo nata-se ques energias das ondas resultam das tempestades e atravessando longas distâncias, sem perdas significantes de energia, dia a dia e estação a estação que reduz os riscos nos projectos, bem como por terem cerca de 1000 vezes energia cinética dos ventos permitido em poucas escalas e indicadores a produção das mesmas quantidades de energias, não só como também a energia das ondas é mais tranquila e consistente em relação a energia eólica, solar pois ela varia com o quadrado da velocidade do ar enquanto que a água é 850 vezes mais densa que o ar o que resulta me maior média de produção de energia das ondas, não só como quanto a extensão de aréa terrestre ela não precisa de grandes extensões cerca de 1/200 de aréa da terra que a e energia do vento necessita. É de sublinhar que como a energia das ondas percorrem cercade 40-60 metros em altura normalmente requerem 'remote sensing' que vai implicar no alto capacidade de transmissão. E quando são contruidos os seus modelos no uso nas margens de plataformas de óleo, de indicadores das ondas oceânicas, (que contém varias partes em movimento) podem custar mais barato para a sua manutenção em relação as mantidas pela energia eólica.

Bibliografía

- Renowable Energy Resources:John Twidell and Tony Weir Editora EBFNSPON primeira edição 1986,reeditado em 1990,1994,1996
- F. Juster: Las células solares Ed. Paraninfo.
- C. C. Cobarg: Energía solar - Bases y aplicaciones Ed. Paraninfo.
- Hans Rou: Energía solar - Aplicaciones prácticas Ed. Marcombo.
- Juan de Cusa: Energía Solar para viviendas Ed. CEAC
- Berber, N. F(1969) water Waves, Wyeaham, London.
- Bascom, w.(19970 'Ocean waves' in Menard,H. W.(ed) Ocean Science, W.H.Freeman San. Francisco

M.J.(1963)' Analisis of records of sea waves', *Proc. Inst. Civ. Engrs.* 26 305-16
 Dawson,J.K (1979) 'A wave Energy', Energy Paper no.42, UK Dept Energy, HMSO. J.M and
 Scobie, G. of the National Energy Laboratory, East Kilbride, Glasgow, Report EAU M25.

3.1. Anexos

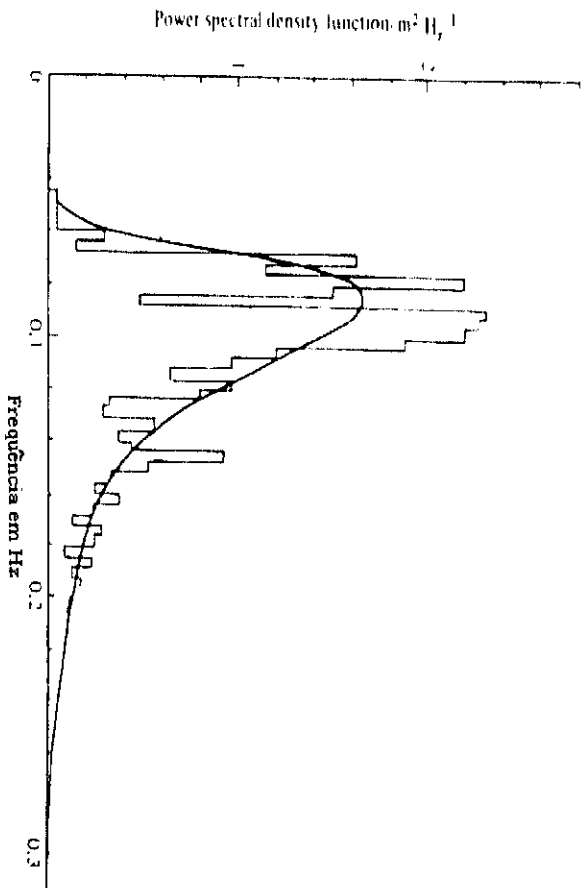


Fig.8 Distribuição da energia por frequência interna num padrão típico do Atlântico de águas profundas. Fonte:Shawn (1982). O espectro tranquilo é T_c o período de energia.

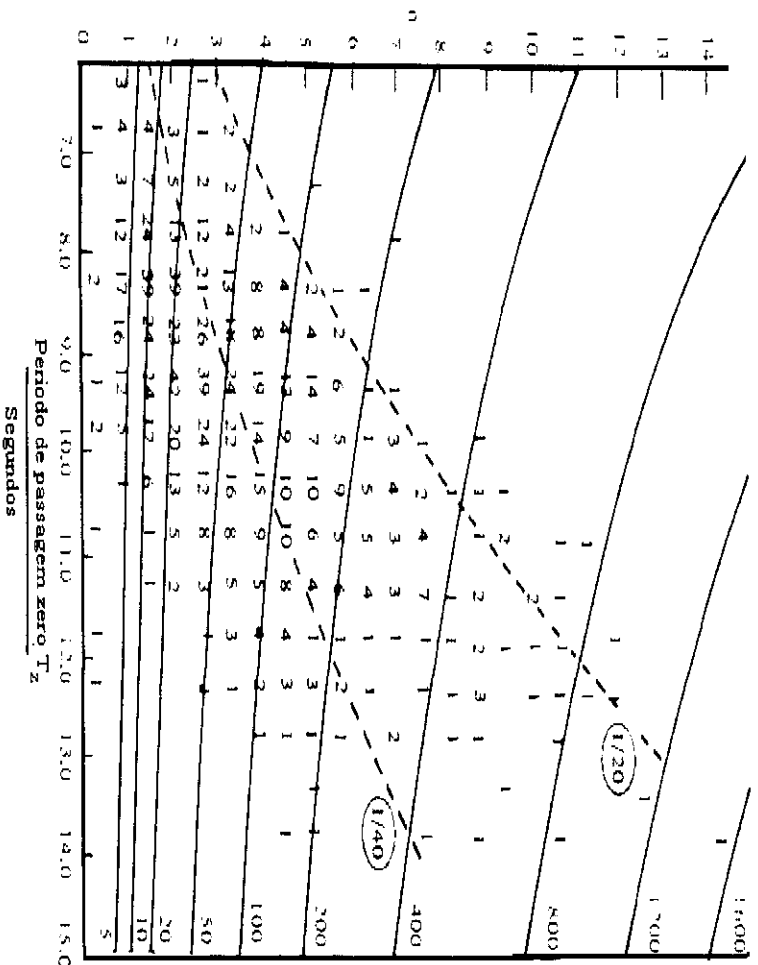


Fig. 9 Esquema do diagrama do gravador computacional da onda significativa H_z e período de passagem zero T_z

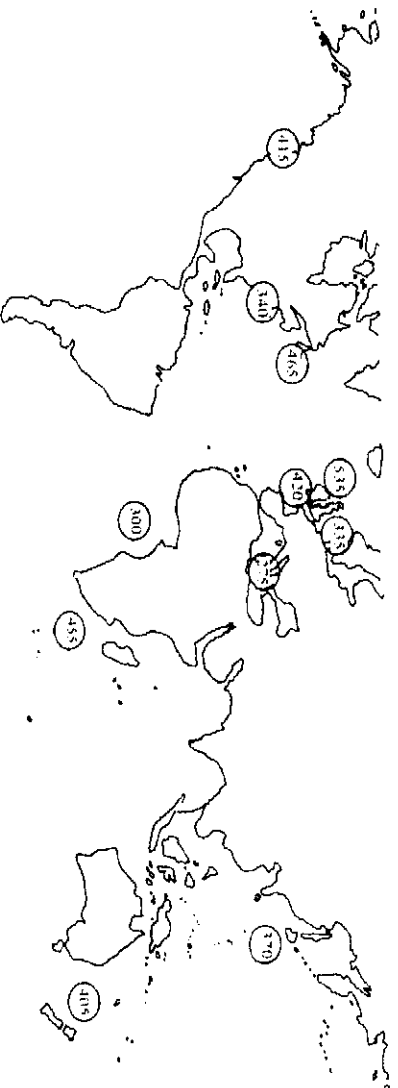


Fig. 10 média anual da energia de onda em (MWh por m) em certas áreas e mares do mundo.
Fonte: Afer NEL(1976)

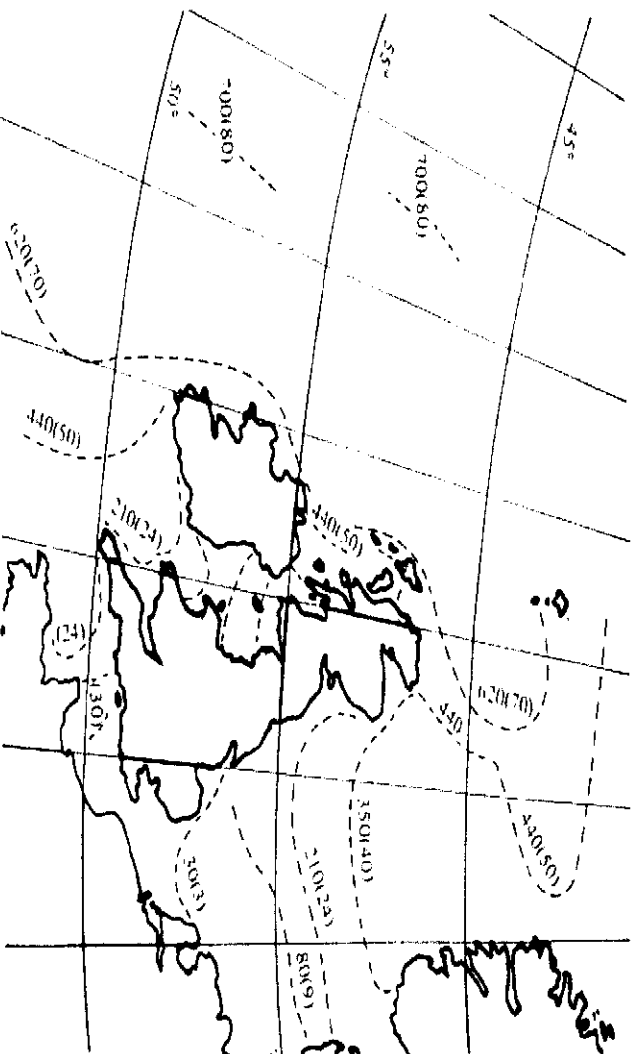


Fig. 11 Contornos da média anual da energia de ondas do noroeste Europeu. Os números indicam a energia anual em unidades de MWh e intensidade de energia (reduzida) em unidades de KWm^{-1} . NB os efeitos locais não são indicados.

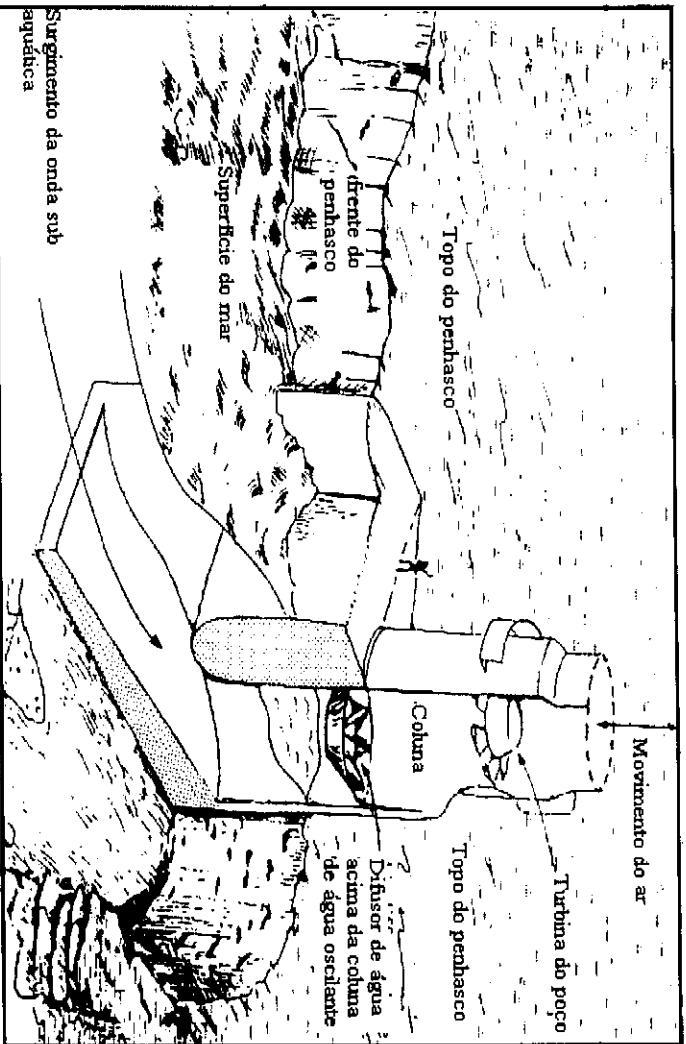


Fig. 14 Esquema energético de multi-ressonância de coluna de água oscilante, em Toftehallen na Noruega.

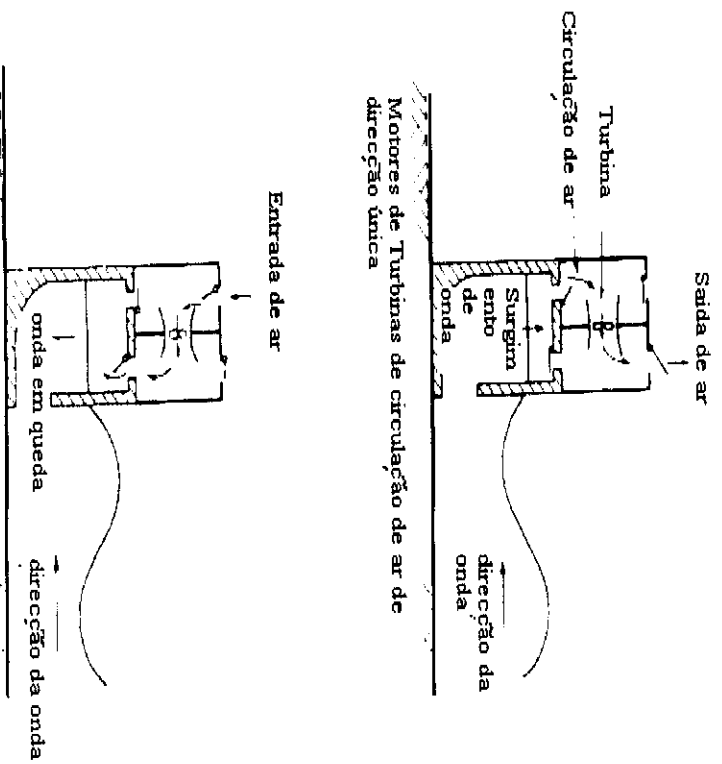


Fig. 15 Coluna de água oscilante (modelo para ficar no fundo das águas).

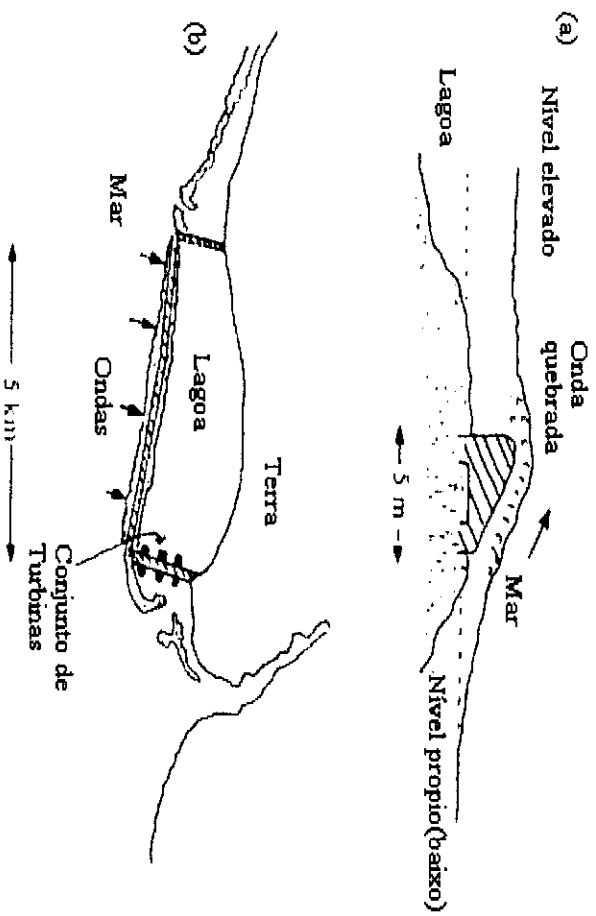


Fig.18 Conversor similar do afiliado ao conversor de Energia de Onda construído perto de Tofestllen na Noruega.