



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Faculdade de Engenharia

**Estudo da disponibilidade e entrega à rede da
energia eléctrica com origem nas ondas do mar na
Zona Económica Exclusiva
Marítima de Portugal**

Tiago Daniel Dias dos Santos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Eletromecânica

(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof. Doutora Maria do Rosário Alves Calado

Covilhã, Outubro de 2015

Agradecimentos

Esta dissertação representa todo o trabalho desenvolvido ao longo destes anos, em que estive na Universidade da Beira Interior, é o culminar de uma etapa que se está a encerrar mas que de certo é e será sempre muito importante na minha vida, num modo geral queria agradecer a todos que estiveram envolvidos no meu percurso académico e me permitiram chegar até aqui.

Primeiramente, de forma particular, quero agradecer profundamente á Professora Doutora Maria do Rosário Alves Calado, por toda a ajuda, paciência e compreensão na elaboração desta dissertação.

Ao mestre Rui Mendes por toda a ajuda prestada e toda a disponibilade que teve para comigo, as quais foram muito importante na elaboração nesta dissertação.

Seguidamente queria agradecer a toda a minha família que sempre acreditou e apoiou incondicionalmente nesta caminhada, especialmente à minha mãe e ao meu pai, pelos sacrifícios feitos e que nunca me deixaram ir abaixo nos momentos menos felizes.

À namorada e amiga que me animou, apoiou e acreditou sempre em mim e nunca me deixou desanimar, estando sempre lá quando era preciso.

E finalmente gostaria de agradecer aos meus amigos, que eles sabem quem são, que sempre estão lá quando é preciso.

Resumo

O tema abordado nesta dissertação tem um potencial enorme de desenvolvimento a nível nacional e mundial. Assim, neste trabalho pretende-se complementar o que já foi estudado na Universidade da Beira Interior nesta área científica, a da energia das ondas. Em trabalhos anteriores foi feita uma abordagem para o desenvolvimento de conversores de energia eléctrica a partir do movimento das ondas do mar, e num outro estudou-se as direções das ondas, incidindo-se na análise da sua altura e do seu período. Com a presente dissertação pretende-se estudar a costa portuguesa, no que diz respeito à disponibilidade de energia das ondas, considerando as informações disponibilizadas pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera para cinco localizações na costa, avaliando as possibilidades de potência.

O estudo incide na análise das ondas na costa portuguesa, no que diz respeito às suas alturas e período, permitindo determinar a sua frequência angular e velocidade para depois, através de um estudo electromecânico dos geradores, determinar a potência produzida pelos conversores de energia eléctrica em cada localização considerada.

Pretende-se assim disponibilizar o resultado dos estudos desta dissertação para futuros projetos de dispositivos conversores, possibilitando uma otimização de sistemas e um rendimento superior. Por outro lado, a informação acerca das potências pode indicar os locais na costa portuguesa com maior potencialidade para no futuro se efectuar a exploração de energia das ondas.

Palavras-chave

Energia das Ondas em Portugal, conversores, potência, período da onda, altura da onda, potencial energético na costa portuguesa, rede eléctrica nacional

Abstract

The topic of this dissertation is a huge potential for developing in a level national and worldwide. This work aims to contribute and give a step forward in the subjects that have already been studied at the University of Beira Interior in the field of wave energy. In previous works it was made an approach to the development and design of point absorbers to convert energy from the movement of the sea waves, focusing on the analysis of its height and its period; in another work, the directions of the waves were studied, with the main goal of determine the influence of non- vertical waves on the design of energy converters.. With this dissertation, it is intended to study the Portuguese coast, considering the information provided by the Portuguese Institute of Sea and Atmosphere to five locations on the coast and study the power that can be produced.

The study focuses on the analysis of the waves in the Portuguese coast, with respect to their height and period, allowing the determination of the angular frequency and velocity, and after, through the electromechanical analysis of the generators, determine the available power provided by the power converters.

Thus, it is intended to make available the results of studies and results of this work for future projects of conversion devices, allowing an optimization of this kind of systems with superior performance. On the other hand, information about the available powers in different locations of the Portuguese coast can indicate the best approach for future exploitation of wave energy.

Keywords

Wave Energy in Portugal, converters, power, wave period, wave height, energy potential in the Portuguese coast, national electrical grid

Índice

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xv
Lista de Acrónimos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e Motivação	2
1.3 Estrutura da Dissertação	3
2 Energia das Ondas	5
2.1 Enquadramento temático	5
2.2 Energia das Ondas no Mundo	7
2.3 Energia das Ondas em Portugal	9
2.3.1 Zona Económica Exclusiva Marítima	10
2.3.2 Potencial de Produção	11
2.3.3 Condicionantes Ambientais	12
2.3.4 Condicionantes de Navegabilidade	14
2.4 Rede Elétrica Nacional	15
2.5 Perspectivas Futuras	15
3 Sistemas de Conversão de Energia das Ondas	17
3.1 Tecnologias existentes	17
3.2 Tecnologia de geração utilizada	19
3.2.1 Gerador Linear de relutância variável comutado planar	20
3.2.2 Gerador Linear de relutância variável comutado tubular	28
4 Dados e Resultados obtidos	37
4.1 Tratamento de dados	37
4.2 Resultados	38
4.2.1 Esposende	39
4.2.2 São Pedro de Moel	43
4.2.3 Cabo da Roca	47
4.2.4 Baía de Cascais	51
4.2.5 Costa da Galé	55

5 Entrega de energia à rede	59
5.1 Análise da rede elétrica nacional	59
6 Conclusões	63
Bibliografia	67

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Mapa dos locais para os quais foram fornecidos dados pelo IPMA[5].....	2
Figura 2.1 - Pato de Salter, um dos protótipos mais conhecidos para aproveitamento da de energia das ondas.....	6
Figura 2.2 - Distribuição Global de energia das ondas em kW por m em escala de cores [12]	8
Figura 2.3 - Distribuição Global de energia das ondas em kW por m [12].....	8
Figura 2.4 - Distribuição Global de energia das ondas em kW por m na Europa [12].....	9
Figura 2.5 - Zona Económica Exclusiva Portuguesa [14].....	11
Figura 3.1 - Classificação dos dispositivos segundo a sua colocação [19].....	18
Figura 3.2 - Representação esquemática do gerador linear planar [20].....	20
Figura 3.3 - Parâmetros dimensionais característicos do GLRVC planar [20].....	21
Figura 3.4 - Principais dimensões gerais do gerador linear planar [20].....	26
Figura 3.5 - Dimensões finais do gerador linear planar [20].....	26
Figura 3.6 - Desenho de conjunto do sistema de geração planar [20].....	27
Figura 3.7 - Desenho de conjunto do sistema de geração planar aplicado em mar [20]	27
Figura 3.8 - Representação esquemática do gerador linear tubular [21].....	29
Figura 3.9 - Parâmetros dimensionais característicos do GLRVC tubular [21]	29
Figura 3.10 - Características gerais optimizadas do gerador tubular [21].....	32
Figura 3.11 - Principais dimensões gerais do gerador linear tubular [21].....	32
Figura 3.12 - Dimensões finais do primário (mm) do gerador linear tubular [21].	33
Figura 3.13 - Dimensões finais do secundário (mm) do gerador linear tubular [21].....	33
Figura 3.14 - Dimensões finais do gerador linear tubular (mm) [21]	34
Figura 3.15 - Estrutura do gerador tubular [21].....	34
Figura 3.16 - Desenho de conjunto do sistema de geração tubular [21].....	35
Figura 3.17 - Desenho da base de fixação do sistema de geração tubular [21].....	35
Figura 3.18 - Desenho de conjunto do sistema de geração tubular aplicado em mar [21].....	36
Figura 4.1 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Esposende - Inverno)...	40
Figura 4.2 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Esposende - Inverno)..	40

Figura 4.3 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Esposende - Primavera).....	40
Figura 4.4 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Esposende - Primavera).....	41
Figura 4.5 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Esposende - Verão)....	41
Figura 4.6 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Esposende - Verão)....	41
Figura 4.7 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Esposende - Outono)...	42
Figura 4.8 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Esposende - Outono)..	42
Figura 4.9 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (S.Pedro Moel - Inverno).....	44
Figura 4.10 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (S.Pedro Moel - Inverno).....	44
Figura 4.11 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (S.Pedro Moel - Primavera).....	44
Figura 4.12 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (S.Pedro Moel - Primavera).....	45
Figura 4.13 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (S.Pedro Moel - Verão).....	45
Figura 4.14 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (S.Pedro Moel - Verão).....	45
Figura 4.15 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (S.Pedro Moel - Outono).....	46
Figura 4.16 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (S.Pedro Moel - Outono).....	46
Figura 4.17 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Cabo da Roca - Inverno).....	48
Figura 4.18 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Cabo da Roca - Inverno).....	48
Figura 4.19 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Cabo da Roca - Primavera).....	48
Figura 4.20 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Cabo da Roca - Primavera).....	49
Figura 4.21 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Cabo da Roca - Verão).....	49
Figura 4.22 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Cabo da Roca - Verão).....	49
Figura 4.23 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Cabo da Roca - Outono).....	50

Figura 4.24 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Cabo da Roca - Outono).....	50
Figura 4.25 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Baía Cascais - Inverno).....	52
Figura 4.26 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Baía Cascais - Inverno).....	52
Figura 4.27 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Baía Cascais - Primavera).....	52
Figura 4.28 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Baía Cascais - Primavera).....	53
Figura 4.29 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Baía Cascais - Verão).....	53
Figura 4.30 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Baía Cascais - Verão).....	53
Figura 4.31 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Baía Cascais - Outono).....	54
Figura 4.32 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Baía Cascais - Outono).....	54
Figura 4.33 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Costa da Galé - Inverno).....	56
Figura 4.34 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Costa da Galé - Inverno).....	56
Figura 4.35 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Costa da Galé - Primavera).....	56
Figura 4.36 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Costa da Galé - Primavera).....	57
Figura 4.37 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Costa da Galé - Verão).....	57
Figura 4.38 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Costa da Galé - Verão).....	57
Figura 4.39 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Costa da Galé - Outono).....	58
Figura 4.40 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Costa da Galé - Outono).....	58
Figura 5.1 - Rede Elétrica Nacional (2013) [23].....	61

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Área Marítima Portuguesa (Km ²) [14].....	10
Tabela 2.2 - Zonas com potencial de utilização e instalação de dispositivos de conversão de energia das ondas [15].....	12
Tabela 3.1 - Parâmetros de dimensionamento GLRVC planar [20].....	22
Tabela 3.2 - Características gerais optimizadas do gerador planar [20].....	23
Tabela 3.3 - Parâmetros de dimensionamento GLRVC tubular [21].....	30

Lista de Acrónimos

GLRVC	Gerador Linear Relutância Variável Comutado
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IST	Instituto Superior Técnico
MIT	Massachusetts Institute of Technology
REN	Redes Energéticas Nacionais
UBI	Universidade da Beira Interior
ZEE	Zona Económica Exclusiva

Capítulo 1

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O mundo está em constante evolução, em vários aspectos; um desses aspectos e que mais impacto tem causado ao longo dos anos é a evolução do mundo tecnológico. Devido a essa evolução, cada vez mais é necessário garantir energia que seja capaz de sustentar esse fenómeno, dado que as necessidades energéticas são maiores. Durante muitos anos os principais produtores de energia recorriam aos chamados combustíveis fósseis; estes, nos últimos anos, têm vindo a perder importância para as variadas formas de produção de energia de forma renovável. Neste grupo de energias renováveis surgem como mais significativas a energia eólica, a solar, a geotérmica, a biomassa e a dos oceanos [1,2].

Explicando melhor a forma de energia dos oceanos, esta pode-se dividir em energia das ondas, das marés, de correntes marinhas, de gradientes de salinidade e gradientes de temperaturas, sendo que actualmente a que mais estudos e aplicações possui é a energia das ondas e marés [3,4].

A energia das ondas e marés é uma forma de produção de energia de grande potencial pois é abundante no nosso planeta, já que cerca de 71% do nosso planeta está coberto de água, principalmente oceanos. Portugal destaca-se por se encontrar num local privilegiado para ter ondas. Estas ondas possuem uma quantidade de energia bastante considerável, e são capazes de produzir energia sem grandes perdas, pois são uma junção de massas de água que viajam, através dos efeitos do vento.

Para Portugal, o aproveitamento da energia das ondas é um investimento muito atractivo pois na sua faixa costeira surgem ondas do oceano com elevada densidade energética. Também, Portugal deve procurar garantir alguma independência energética através das energias renováveis; algum investimento já foi feito como nos casos da energia solar e da energia eólica, mas outras, como a energia das ondas, pouco investimento tem sido verificado. Assim, seriam reduzidos custos e estaríamos a contribuir para um desenvolvimento futuro em termos energéticos, futuro onde, mais tarde ou mais cedo grande parte de produção de energia mundial vai ter de ser produzida através de fontes de energia renováveis.

Também neste contexto, Portugal possui uma rede elétrica nacional que possibilita uma ampla distribuição deste tipo de energia por todo o território nacional.

1.2 Objectivos e Motivação

O objectivo principal desta dissertação é o estudo de locais específicos da costa portuguesa, com base em dados facultados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), relativamente à potência disponibilizadase nestes forem aplicados dois tipos de geradores lineares dimensionados na UBI, no âmbito dos trabalhos de duas dissertações anteriormente desenvolvidas na área da energia das ondas. Este estudo permitirá caracterizar a costa portuguesa, no que diz respeito a um estudo estatístico detalhado das ondas, nomeadamente considerando o seu período e a sua altura, para depois serem obtidas as potências que esses geradores teoricamente seriam capazes de produzir e entregar à rede elétrica nacional.

Os locais que são alvos de estudo, e para os quais foram fornecidos dados por parte do IPMA são os indicados em seguida (Figura 1.1):



Figura 1.1 - Mapa dos locais para os quais foram fornecidos dados pelo IPMA [5]

Assim, para cada um dos locais (Esposende, São Pedro de Moel, Baía de Cascais, Cabo da Roca e Costa da Galé) serão analisados o período de onda a altura de onda e calculadas a frequência angular e a velocidade de onda de forma a de seguida se obterem as potências produzidas nestes locais.

Da minha parte, a escolha deste tema surge no âmbito de que cada vez mais tema investigação na área das energias renováveis é importante para a sociedade em geral, englobando várias aspectos essenciais para tal, como por exemplo os aspectos ambientais, económicos, e de sustentabilidade energética. A energia das ondas é um tema que embora já estudado nalguns trabalhos, ainda não foi suficientemente abordado nem amplamente estudado como a energia eólica e a energia solar. Assim, agradou-me a hipótese de poder contribuir, de alguma forma, para esse estudo que está a ser efectuado sobre a energia das ondas, principalmente na Universidade da Beira Interior onde já conta com alguns estudos e considerações bastante interessantes. Como futuro engenheiro eletromecânico não poderia ficar indiferente a esta forma de energia renovável, que acredito que no futuro irá ser bastante importante e irá ter um papel crucial na sustentabilidade energética da sociedade futura, principalmente em Portugal.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, que por sua vez, se poderá dividir em dois grupos, um grupo onde se abordam os aspectos teóricos do tema, e um outro grupo onde se abordam aspectos da aplicação prática da conversão de energia das ondas. O primeiro grupo engloba os seguintes capítulos:

Capítulos 1 a 3, onde é feita a introdução ao tema desta dissertação e é descrita a teoria subjacente à conversão de energia das ondas e às formas de o conseguir.

No segundo grupo, (capítulos 4 a 6) visa o tratamento de dados e a análise de resultados referentes aos locais considerados.

No primeiro capítulo é introduzido e explicado sucintamente o tema alvo da dissertação e são explicados os objetivos da mesma.

No segundo capítulo, é visto sucintamente o tema da energia das ondas, primeiramente no Mundo e depois mais concretamente em Portugal.

No terceiro capítulo faz-se um apanhado e um resumo relativamente aos dois geradores dimensionados e desenvolvidos anteriormente na Universidade da Beira Interior (UBI).

No quarto capítulo mostram-se e discutem-se os resultados conseguidos através do tratamento de dados disponibilizados pelo IPMA, obtidos através da aplicação do *software Excel*, , usando gráficos de barras.

No quinto capítulo analisa-se, forma breve, a rede elétrica nacional.

Finalmente no sexto capítulo estabelecem-se as principais conclusões retiradas do trabalho, bem como algumas sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo 2

2 Energia das Ondas

2.1 Enquadramento temático

O recurso energético que são as ondas do oceano, apresentam um potencial enorme para a produção de energia para o futuro. Esta forma de energia é algo que ainda se encontra numa fase de estudos, sendo que já existem alguns desenvolvimentos, apresentando ainda uma grande margem de progressão.

A formação de ondas no mar deve-se principalmente a uma manifestação de forças verticais que actuam na água, com tendência a deformá-la contra a acção da gravidade e contra a sua tensão superficial. Quando essa deformação ocorre, a força gravítica e a tensão superficial actuam de modo a restabelecer a superfície da água para a sua posição de equilíbrio. Durante esse processo, a inércia subjacente à massa de água faz com que a sua superfície ultrapasse a posição de equilíbrio estabelecendo-se, deste modo, um movimento oscilatório a nível superficial. Esta oscilação propaga-se nas massas de água adjacentes, fazendo com que assim seja propagada uma onda. À medida que a onda se propaga, o seu movimento oscilatório permanece devido à interacção da força gravítica com a inércia das massas de água [6,7]. A conversão dessas ondas em energia é conseguida através de sistemas cujas características são adequadas e optimizadas para o tipo de ondas dos quais se pretende extrair energia.

Historicamente, a primeira experimentação conhecida utilizando este tipo de energia de ondas do mar foi em 1799, e foi apresentado em Paris por Girard e o seu filho. Uma aplicação posterior utilizando energia das ondas foi construído por volta de 1910 por Bochaux-Praceique, perto de Bordéus, em França. Pelo que se sabe este foi o primeiro dispositivo oscilante de coluna de água. Outro facto relevante é que entre 1855-1973, já havia 340 patentes registadas só no Reino Unido, utilizando as ondas como forma de energia. Mais recentemente foi feita uma investigação científica sobre energia das ondas que foi iniciada por Yoshio Masuda na década de 1940. Ele experimentou vários dispositivos de energia das ondas no mar. Entre estas experiências, estava o conceito de extrair energia a partir do movimento angular das juntas de uma plataforma articulada, que foi proposta na década de 1950 por Masuda [8].

Um interesse renovado na energia das ondas foi motivado pela crise do petróleo em 1973. Um número de investigadores de várias universidades voltou a analisar mais a fundo o potencial de gerar energia a partir de ondas do mar, entre os mais relevantes estavam Stephen Salter da Universidade de Edimburgo , Kjell Budal e Johannes Falnes do Instituto Norueguês de Tecnologia, Michael E. McCormick da US Naval Academy , David Evans da Universidade de Bristol , Michael French da Universidade de Lancaster , Nick Newman e CC Mei do MIT . Stephen Salter tornou-se conhecido pela invenção em 1974 do pato de Salter, embora oficialmente ficasse conhecido como o pato de Edimburgo (Figura 2.1). Em testes de pequena escala o pato de Salter pode absorver cerca de 90% do movimento de onda e pode converter cerca de 90% da energia em electricidade tendo uma eficiência de 81% [8]. Posteriormente, alguns protótipos de primeira geração foram testados no mar. Mais recentemente, seguindo as implicações da mudança climática, há novamente um interesse crescente em todo o mundo para a energia renovável, incluindo nesse contexto a energia das ondas.

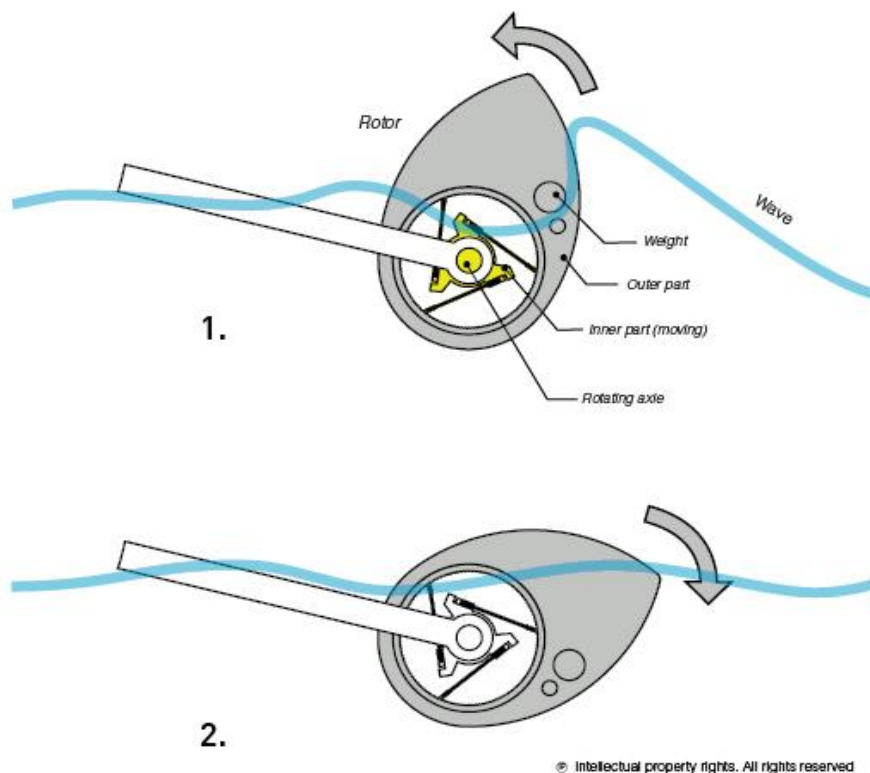


Figura 2.1 - Pato de Salter, um dos protótipos mais conhecidos para aproveitamento da energia das ondas

Em Portugal, a investigação e o desenvolvimento de sistemas para a conversão da energia proveniente das ondas iniciou-se em 1978 no Instituto Superior Técnico (IST) de Lisboa levando Portugal a ser um dos pioneiros nesta área a nível mundial, juntamente com Reino Unido, França, Noruega e Japão.

Posteriormente aos estudos do IST, juntou-se um grupo do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI) para colaborar e ajudar nesses estudos. O crescente interesse de várias companhias na área levou à criação de protocolos com investigadores de outros países para a construção, instalação e testes de protótipos em Portugal, com o objectivo de promover e desenvolver este tipo de tecnologia [9].

Portugal, devido à sua localização geográfica, como já referido, é dotado de um recurso energético nesta área com grande potencial, podendo este originar um óptima oportunidade de crescimento económico e de desenvolvimento energético sustentável. No entanto, a contribuição das várias instituições envolvidas e até de variadas instituições governamentais não tem sido suficiente ao ponto de tornar o aproveitamento de energia das ondas rentável e fiável. É, portanto, necessária uma maior participação de todos neste área, para assim conseguirmos o desenvolvimento e optimização de sistemas de conversão de energia das ondas que tanto desejamos.

2.2 Energia das Ondas no Mundo

Segundo alguns estudos efectuados, a maior actividade de ondas ocorre entre as latitudes de 30° e 60° em ambos os hemisférios, devido aos ventos ocidentais predominantes nessas regiões tornando-se por isso a Europa altamente energética com cerca de 320 GW ao longo da sua costa, o que representa cerca de 16% do recurso energético mundial proveniente das ondas [10].

A potência destas ondas criadas pelo vento é proporcional ao quadrado da amplitude e ao período do movimento. Quando existem ondas com períodos longos (aproximadamente entre 7 a 10 s) e amplitudes grandes (aproximadamente de 2 m) originam-se ondas com fluxos de energia superiores a 40-50 kW/m de largura da mesma [11]. Como seria de esperar, esta forma de energia não se encontra uniformemente distribuída pelo globo, como mostrado na Figura 2.2 e na Figura 2.3 .

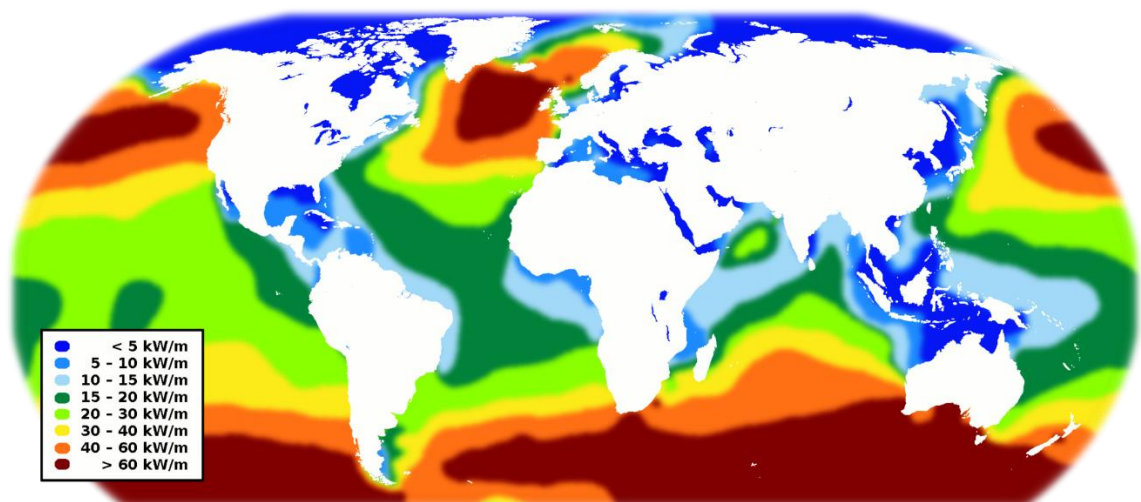


Figura 2.2 - Distribuição Global de energia das ondas em kW por m em escala de cores [12]

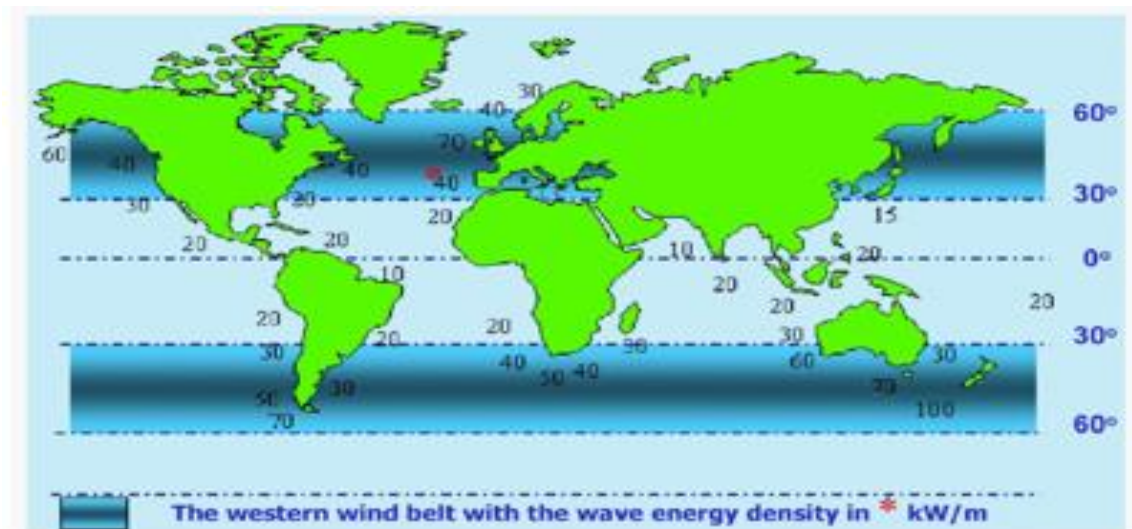


Figura 2.3 - Distribuição Global de energia das ondas em kW por m [12]

Como se pode visualizar nas duas figuras anteriores, a Europa é um local especialmente bem colocado no que diz respeito à possibilidade de ter um bom aproveitamento da energia proveniente das ondas, pois está localizada numa região com recursos capazes de produzir ondas de tamanho significativo, devido à acção dos ventos ocidentais, como já referido. Na figura 2.4 é possível observar-se com maior pormenor o mapa da Europa e o seu potencial energético de ondas, por país.

com grande disponibilidade para a exploração de energia. Supondo que existisse uma instalação de 20 MW por cada quilómetro de costa, a potência instalada total em Portugal poderia atingir os 5 GW. Além disso, esta forma de energia é um recurso relativamente estável e previsível, já que as suas variações podem ser previstas devido à existência de equipamentos meteorológicos de bastante desenvolvidos [13].

2.3.1 Zona Económica Exclusiva Marítima

O triângulo marítimo que é formado por Portugal continental, Açores e Madeira, permite que o país possua uma das maiores zonas económicas exclusivas de mar na Europa, e até do Mundo, com uma extensão aproximada de 200 milhas marítimas.

Ora Portugal possui uma área terrestre de cerca de 91.763 km², o que faz com que seja o 110º na ordenação dos países em termos de dimensão terrestre. No entanto, possui uma extensa área marítima, da ordem de 1.720.560 km², incluindo águas interiores, mar territorial e Zona Económica Exclusiva (ZEE), sendo que esta área marítima corresponde a cerca de 18,7 vezes a área terrestre nacional. A Zona Marítima Portuguesa, e mais concretamente a Zona Económica Exclusiva (Figura 2.5), é mostrada mais detalhadamente na Tabela 2.1 [14].

Tabela 2.1 - Área Marítima Portuguesa (Km²) [14]

	Território	Águas Interiores	Mar Territorial	ZEE	Áreas SAR
Continente	88 600	6 510	16 476	287 715	572 438
Madeira	833	825	10 823	442 316	
Açores	2 331	6 803	23 660	926 149	5 220 302
Total	91 763	13 419	50 960	1 656 181	5 792 740

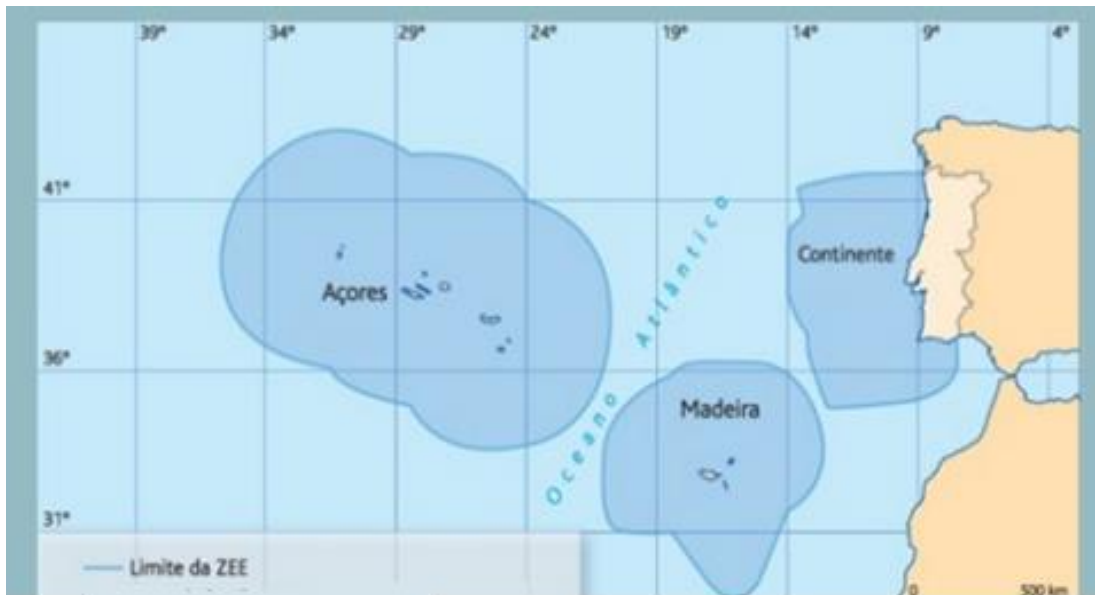


Figura 2.5 - Zona Económica Exclusiva Portuguesa [14]

2.3.2 Potencial de Produção

Portugal possui, como já foi referido, uma costa bastante favorável para aproveitamento da energia das ondas, isto devido a estar rodeado por um dos maiores oceanos com uma grande agitação marítima, e também por possuir águas profundas junto à costa, pois este tipo de aproveitamento justifica-se a partir dos 50 m de profundidade.

Outra vantagem bastante grande é o facto de a rede eléctrica nacional se encontrar junto à costa e possibilitar a distribuição da energia eléctrica proveniente das ondas sem grandes problemas; este assunto também irá ser abordado nesta dissertação, onde se mostra a distribuição da rede nacional junto aos locais em estudo.

Alguns estudos foram realizados na costa Portuguesa, com a finalidade de identificar locais com maior potencial e viabilidade para acolher dispositivos de produção de energia das ondas. Nestes estudos foram considerados os seguintes critérios: evitar conflitos com zonas de pesca (que é um dos principais factores económicos marítimos do nosso país), evitar conflitos com navegação e respeitar áreas protegidas. Para além destes factores, os factores ambientais também são importantes para estas análises [15]. As várias Zonas consideradas ao longo da costa são mostradas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Zonas com potencial de utilização e instalação de dispositivos de conversão de energia das ondas [15]

Zona	Localização	Comprimento	Profundidade
a. Zonas Prioritárias (Sem interferência significativa com outros usos)			
1	Entre Caminha e Viana do Castelo	8 km	50 m
2	Entre Viana do Castelo e Póvoa do Varzim	38 km	50 m
3	Entre Aveiro e Figueira da Foz	24 km	50 m
4	Entre Figueira da Foz e Nazaré	46 km	50 m
5	Entre Nazaré e Peniche	22 km	50 m
6	Entre Peniche e Cascais	71 km	50 m
7	Entre Sesimbra e Sines	28 km	60 - 80 m
b. Zonas de segunda prioridade (Possíveis conflitos de usos com a pesca de arrasto)			
8	Entre Douro e Aveiro	16 km	50 m
c. Zonas de segunda fase (Sem conflitos de usos, mas com eventuais dificuldades de ligação á rede elétrica)			
9	Entre Sines e Sagres	82 km	60 - 80 m

Os locais que são alvo de estudo, como se poder ver, encontram-se todos dentro de Zonas Prioritárias, logo possuem condições muito boas para se conseguir produzir electricidade a partir da energia das ondas. Esposende localiza-se na zona Viana do Castelo - Póvoa do Varzim, São Pedro de Moel na zona Figueira da Foz- Nazaré, Baía de Cascais e Cabo da Roca na zona Peniche - Cascais e Costa da Galé na zona Sesimbra - Sines.

2.3.3 Condicionantes Ambientais

Estima-se que o impacto ambiental causado pela exploração da energia das ondas seja baixo em zonas com batimétricas entre 50 e 80 m, de acordo com estudos efectuados em sistemas

piloto de conversão da energia das ondas, mas além disso existem outros impactos que poderão por exemplo afectar áreas protegidas, com variada biodiversidade marinha, por isso devem ser levado em conta certas condicionantes para a instalação de parques de produção, tais como as apresentadas em seguida.

Reservas Naturais

Estudos e testes realizados referem que o impacto da instalação de dispositivos conversores situados entre os 50 e os 80 m será mínimo [16]. Ora nesta situação foram sinalizadas três zonas cruciais na costa portuguesa: a Reserva Natural das Berlengas, o Parque Natural do Sudoeste Alentejano e o Parque Natural da Costa Vicentina, zonas de elevada importância que não se podem perturbar.

Também existem zonas protegidas de menor importância, que não chegam a atingir os 50 m de profundidade, mas para as quais a passagem de cabos eléctricos que fazem a ligação à rede eléctrica nacional é um obstáculo; estas referidas zonas que não atingem os 50m são: a Reserva Natural da Arrábida, a Reserva Natural das Dunas de S. Jacinto, a Paisagem Protegida do Litoral de Esposende, a Paisagem Protegida da Arriba Fóssil da Costa da Caparica e o Parque Natural de Sintra-Cascais [17].

Efeito Visual

Esta condicionante, depende unicamente do aspecto e localização dos dispositivos, não só na energia das ondas mas também nas formas de energia como a eólica ou solar, dependendo da aceitação ou não de infra-estruturas que possam alterar a estética do local em questão.

Existem três tipos de dispositivos quanto à sua localização: longe da costa, a alguns quilómetros da costa, perto da costa e na costa. Os primeiros, que pouco interferem no aspecto visual pois não se conseguem ver, são melhor aceites. Já os outros dois tipos de dispositivos, por se encontrarem junto à costa, implicam já uma forte apreciação na sua fase de planeamento e licenciamento, são alvos de uma menor aceitação. [17].

Ruído

O potencial ruído destes dispositivos, devido ao movimento dos seus componentes mecânicos, à semelhança do que acontece nos aproveitamentos de energia eólica, interfere na aceitação das explorações.. Como se sabe o som propaga-se de maneira fácil, dependendo também da distância destes aos recetores, da direção do vento e principalmente do ruído da rebentação das ondas. Estes ruídos podem causar afastamentos de população e, caso sejam audíveis na costa, as instalações deixarão de ser aceites pela população. Já nas instalações longe da

costa, este efeito torna-se menos importante, uma vez que a distância é suficiente grande para que o ruído não chegue à costa [17].

Acidentes

Relativamente a possíveis acidentes e suas consequências, não deverá haver derrame nem propagação de substâncias poluentes e, caso ocorra um acidente, este apenas deverá provocar danos físicos nos dispositivos de produção. Para tal não acontecer, adotaram-se algumas medidas, como por exemplo: uma boa sinalização dos parques dos dispositivos e dos cabos elétricos e desenvolvidos alguns procedimentos de emergência, [17].

Emissões

Como se sabe este tipo de energia, dado ser um tipo de energia renovável não tem emissões de gases poluentes atmosféricos nem gases de efeito de estufa, tornando-se assim numa energia limpa quanto à sua produção. Podem-se contudo considerar a poluição sonora e a poluição visual, bem como a emissão de algumas partículas, contudo estas pequenas poluições resultantes destas tecnologias são muito menores quando comparadas com as principais tecnologias existentes de aproveitamento das energias renováveis e principalmente não renováveis, fazendo assim que o impacto ambiental da exploração da energia das ondas seja reduzido [18].

2.3.4 Condicionantes de Navegabilidade

Os perigos inerentes à navegabilidade influenciados pelos dispositivos de produção de energia das ondas são sobretudo as possíveis ocorrências de colisão, pois estes parques são instalados perto de algumas rotas de navegação, podendo os dispositivos não serem detetados a tempo pelas tripulações dos navios e barcos, quer visualmente quer mesmo através de radar. Ora de maneira a que estas colisões e acidentes não existam devem ser adotadas algumas medidas.

Entre as principais medidas adotadas encontram-se as seguintes: sinalização noturna dos dispositivos através de luzes, mapeamento da posição dos dispositivos e criação de corredores de navegação em parques de produção, e nas zonas portuárias. Segundo recomendações das autoridades, deve-se estabelecer um cone de proteção de 135° [17], que assim salvaguardará a segurança da população e dispositivos de produção.

2.4 Rede Elétrica Nacional

Qualquer país que decida investir no desenvolvimento de energia das ondas precisa ter um critério de análise de viabilidade, que é ter em conta a topologia da sua Rede Elétrica, pois esta terá que ter uma grande proximidade da costa e ter alguns pontos de ligação junto à costa nos locais que sejam interessantes para a instalação de conversores de energia das ondas. Estas exigências, para além de terem em conta preocupações de viabilidade técnica, são também devidas a questões de viabilidade económica, já que custos adicionais de instalação podem fazer com que a possível implementação e desenvolvimento destes sistemas de geração de energia das ondas seja muito mais cara, podendo mesmo torná-las economicamente inviáveis. [15].

Ora a situação Portuguesa não se enquadra nesse cenário, pois possui uma grande rede elétrica de distribuição junto à costa, devido principalmente ao facto de em Portugal a grande densidade populacional se localizar aí mesmo, logo essa zona tem condições muito boas para satisfazer o consumo e para permitir a interligação dos sistemas de geração de energia das ondas com a rede elétrica nacional (REN). É estimado que quando a potência dos parques de energia das ondas ultrapassar os 50 MW, a REN terá disponível para fazer ligação redes de alta tensão de 150-220 kV ou 400 kV.

2.5 Perspectivas Futuras

Futuramente Portugal tem tudo para triunfar na aposta que poderá ser feita na energia das ondas, pois tem uns recursos marítimos que permitem que se afirme como um dos países com maior produção de energia elétrica da Europa a partir dessa fonte, contribuindo desse modo para a economia nacional e para a independência energética do País através das variadas fontes energética renováveis que possui (sol, vento e marés).

De facto, é hoje já visível algum interesse de empresas internacionais na possibilidade de produzir energia das ondas em Portugal, pois apesar dos desenvolvimentos ainda necessários, Portugal já vai em cerca de 30 anos de investigação e desenvolvimento na área de energia das ondas. Também, e dado que alguns protótipos já foram desenvolvidos, poder-se-á atrair investimento de algumas empresas internacionais e fortalecer o desenvolvimento da conversão e aproveitamento desta energia.

Essas futuras produções serão principalmente efetuadas através de parques de produção offshore, ou seja parques afastados alguns quilómetros da costa, e estima-se que em 2025 cerca de 20% do consumo de energia elétrica no país seja originada em parques de produção de energia das ondas.

Existem no entanto alguns obstáculos inerentes à implementação desses parques, desde logo devidos à natureza do Oceano Atlântico, que apesar de ter um fluxo energético praticamente constante, oferece alguns períodos de tempestades e forte ondulação. As tecnologias de conversão até hoje desenvolvidas não estão ainda optimizadas, do ponto de vista estrutural, para fazer face a estas condicionantes, e por conseguinte poderão ser danificadas. Por isso, os investigadores portugueses devem estudar algumas medidas no que diz respeito aos materiais a utilizar, para uma melhor resistência às adversidades do Atlântico, de forma a optimizar os dispositivos, tornando-os mais rentáveis e fiáveis, fazendo com que Portugal seja um país alvo para o investimento de entidades e empresas nacionais e internacionais na conversão de energia das ondas.

Capítulo 3

3 Sistemas de Conversão de Energia das Ondas

3.1 Tecnologias existentes

Existem inúmeros dispositivos para aproveitar a energia proveniente das ondas do oceano, apresentando-se cerca de 1000 técnicas de extracção de energia patenteadas já em todo o mundo.

As várias tecnologias de conversão que acabaram por ser desenvolvidas ao longo do tempo não apresentam nenhuma concorrência entre si. No entanto, este facto poderá ser alterado futuramente devido ao crescente interesse revelado por empresas e instituições na conversão de energia das ondas, podendo-se deste modo, promover novas tecnologias de conversão [10].

Apesar de existir uma grande variedade de dispositivos de conversão de energia das ondas, estes são classificados num reduzido número de grupos. Esta classificação pode ser feita tendo em consideração a potência dos dispositivos, a distância à costa e o modo de conversão da energia das ondas. Maioritariamente o critério que se utiliza relaciona-se com a distância à costa, podendo-se agrupar os dispositivos da seguinte maneira:

- Dispositivos costeiros (shoreline)
- Dispositivos próximos da costa (near-shore)
- Dispositivos afastados da costa (offshore)

Os sistemas near-shore e offshore são bastante parecidos, existe uma diferença de realce entre eles que é a profundidade da água onde são utilizados, que advém da proximidade a que estão da costa. Os sistemas near-shore são instalados em locais onde a profundidade é inferior a 20 m, e os dispositivos de geração são assentes no fundo do mar, isto em locais junto à costa. Por sua vez os sistemas off-shore são instalados em locais com profundidade de aproximadamente 50 m, e neste caso os dispositivos de geração são normalmente flutuantes, em locais afastados da costa.

Além de serem classificados em termos de distância à costa, os dispositivos podem ser classificados consoante a sua técnica de extracção de energia das ondas do oceano, que são as seguintes:

- Coluna de água oscilante ("Oscillating Water Column")
- Corpos oscilantes ("Oscillating Bodies")
- Galgamento ("Overtopping Devices")

Atendendo nos dispositivos de corpos flutuantes, estes também podem ser sub-classificados consoante a colocação da estrutura relativamente à direcção incidente das ondas ou devido ao tipo de movimento do dispositivo face às ondas incidentes (Figura 3.1). Para o primeiro caso [19], os dispositivos podem ser classificados como:

- Absorção pontual ("Point absorber")
- Terminais ("Terminator")
- Atenuador ("Attenuator")

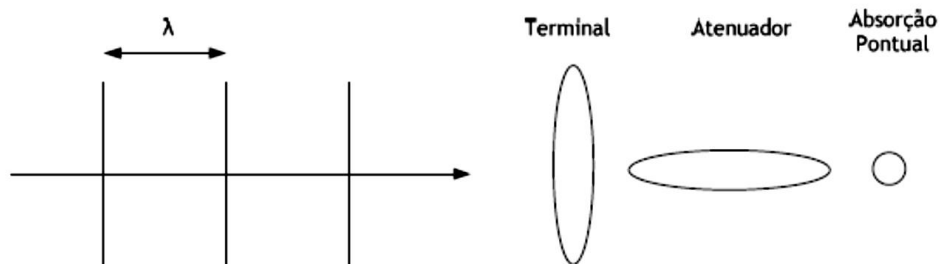


Figura 3.1 - Classificação dos dispositivos segundo a sua colocação [19]

Outro critério que também se pode aplicar para classificar os dispositivos de conversão é relativo ao movimento do dispositivo face às ondas incidentes, onde poderá ser classificado como:

- Dispositivo de Elevação ("Heaving device")
- Dispositivo Progressivo ("Surge device")
- Dispositivo de arefagem ("Pitching device")

Uma classificação alternativa pode também ser abordada para os dispositivos em geral. Estes podem ser classificados como sistemas de primeira geração, segunda geração e terceira geração. Estas três categorias não são mutuamente exclusivas partilhando algumas características comuns.

3.2 Tecnologia de geração utilizada

Em dissertações anteriores, desenvolvidas na Universidade da Beira Interior, já foi abordada a temática sobre a produção de energia das ondas. Em duas dissertações foram inclusivamente dimensionados e propostos dois dispositivos conversores de energia das ondas em energia eléctrica, baseados em geradores lineares de relutância variável comutada (GLRVC). Num dos casos, a estrutura adoptada foi a linear planar, e no outro caso a estrutura que se adaptou foi uma estrutura linear tubular [20,21].

Os dispositivos propostos foram dimensionados e otimizados com base nos parâmetros de altura das ondas e do período das ondas, e considerando que o movimento do gerador é feito segundo o eixo vertical (eixo segundo Y), no seguimento de um movimento puramente vertical imposto pela ondulação do mar. Como tal, o dimensionamento do dispositivo é feito segundo as forças que se desenvolvem no respetivo eixo vertical, que são as forças mais consideráveis a que o dispositivo está sujeito, desprezando o movimento realizado noutras direções, que não são tão significativas para a geração de energia. Foi considerado de interesse fazer-se o estudo das ondas, de maneira a se obter a potência conseguida por estes dois dispositivos dimensionados na UBI. Esse estudo foi realizado na presente dissertação e será apresentado adiante.

O gerador linear de relutância variável comutado (GLRVC) produz uma força, resultante da tendência do seu secundário em ocupar as sucessivas posições de relutância mínima, de forma sequencial, e onde a indutância do enrolamento primário é máxima. Para o caso do GLRVC, o movimento resultante dessa tendência é linear.

A construção destes geradores apresenta saliências quer no estator, quer no translato. Os enrolamentos do estator são do tipo concentrado e conseguidos de uma forma simples, onde a configuração padrão normalmente adoptada consiste em dois enrolamentos por fase, colocados em pólos diametralmente opostos, e ligados em série. Estas máquinas apresentam características altamente não-lineares, pois operam numa ampla gama de valores de densidade de fluxo, até à região de saturação das curvas de magnetização, que variam com as posições de excitação e de não excitação.

Os dois dispositivos GLRVC dimensionados serão explicados em mais detalhe de seguida de modo a melhor se compreender o seu dimensionamento e funcionamento.

3.2.1 Gerador Linear de relutância variável comutado planar

O primeiro gerador dimensionado foi o gerador linear de relutância variável comutado planar. De seguida irá ser apresentado este gerador, no que diz respeito à sua estrutura, a algumas noções utilizadas para o seu dimensionamento, e ao seu dimensionamento, mostrando-se alguns resultados finais sobre a forma e características deste gerador.

Estrutura

A estrutura deste gerador é mostrada numa forma sintética na Figura 3.2, onde está representada a vista do alçado principal de um corte transversal de um GLRVC, que é constituído por uma parte móvel e uma parte estática, em que qualquer uma delas poderá ser o primário ou o secundário. As estruturas do primário e do secundário são constituídas por cavas e saliências ou dentes como se verifica na Figura 3.2. Estas estruturas foram dimensionadas de forma a constituírem um conjunto de chapas magnéticas empilhadas. Para a construção destas estruturas é utilizada preferencialmente uma liga de aço e silício com cristais orientados para que seja reduzida ao máximo as relutâncias nos circuitos magnéticos [20].

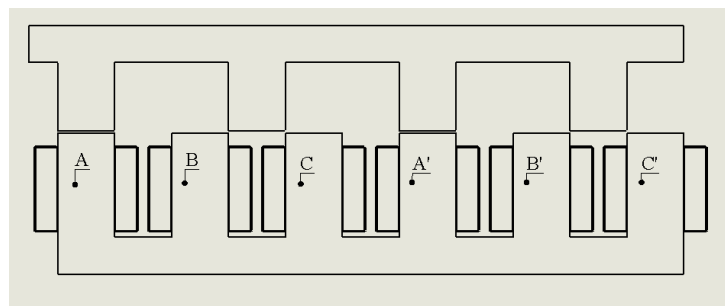


Figura 3.2 - Representação esquemática do gerador linear planar [20]

Relativamente a esta figura deve notar-se que para a posição relativa entre o primário e o secundário, que se verifica na esquematização, e tendo este actuador uma estrutura de 6 pólos no primário e 4 pólos no secundário, onde cada uma das 3 fases (A, B e C) resulta da ligação em série de duas bobinas (A-A", B-B" e C-C"), neste caso a fase A é a única fase que se encontra excitada. Quando o secundário entra em movimento deslocando-se para a esquerda ou para a direita, a excitação deverá ser interrompida na fase A e deve ser excitada a fase B ou C logo de seguida, respectivamente, para que ocorra geração de energia.

Os geradores lineares possuem também alguns parâmetros dimensionais característicos, que na Figura 3.3, podem ser identificados.

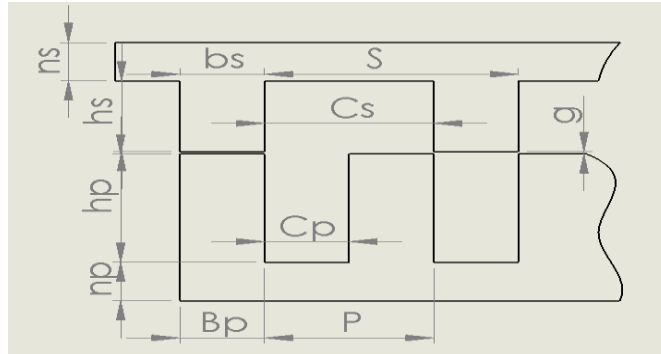


Figura 3.3 - Parâmetros dimensionais característicos do GLRVC planar [20]

Os dentes do primário e do secundário, e por opção de dimensionamento, têm praticamente a mesma largura, isto é $b_p \approx b_s$, sendo que passos de cava τ_p e τ_s obedecem à seguinte relação:

$$m\tau_p = 2\tau_s \quad (3.1)$$

onde m é o número de fases.

Por outro lado, a largura das cavas do primário c_p , é ligeiramente superior à largura dos dentes do secundário b_s , para que a indutância mínima das fases do enrolamento de excitação seja a menor possível [20].

Dimensionamento

Para o dimensionamento deste gerador adoptou-se uma metodologia compatível com os dispositivos de tecnologias de geração, dado que para o GLRVC não existe uma forma única para o seu dimensionamento.

O dimensionamento destes geradores tem como exigência a definição de várias variáveis que possam ser válidas para uma correcta concepção da máquina. Assim, tem que se dar muita importância à fonte de energia em causa, ou seja o mar, e às variáveis que lhe estão subjacentes [20].

Neste gerador em concreto o dimensionamento tem como base os parâmetros apresentados na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Parâmetros de dimensionamento GLRVC planar [20]

Potência	KW
Frequência Angular (f)	Rad/s
Altura da Onda (H)	m
Período da Onda (T)	s
Número de fases (m)	
Tensão no conversor (V_0)	V
Velocidade (v)	m/s

Dado que o translato se move na vertical com um movimento aproximadamente sinusoidal, a amplitude associada ao movimento do gerador (altura da onda) é definida como H , que é o representativo da altura de onda e a frequência angular que advém do movimento do translato é f .

Para o estudo em questão nesta dissertação apenas interessa saber como calcular a potência do gerador; sendo assim a velocidade do translato é dada por:

$$v = fh \cdot \cos(f \cdot t) \quad (3.2)$$

E sendo que o gerador tem um rendimento de aproximadamente 70% [20], então a potência será dada por:

$$P = \frac{P_{mec}}{\eta} \quad (3.3)$$

em que a P_{mec} designa a potência mecânica do gerador, e η designa o rendimento da máquina. A P_{mec} da máquina é obtida através da velocidade da onda e da força tangencial de superfície:

$$P_{mec} = F \times v \quad (3.4)$$

Verificou-se que quanto maior for a velocidade do translato menor será a força necessária para a obtenção da potência.

Relativamente a esta máquina, considerou-se um valor estimado para a força tangencial de superfície, e esse valor foi:

$$F = 20 \text{ [kN/m}^2\text{]} = \text{[N/cm}^2\text{]} \quad (3.5)$$

Outros parâmetros inerentes ao dimensionamento do gerador, que por uma questão de simplicidade e porque para o estudo em causa não são muito importantes, são apresentados na Tabela 3.2. A Figura 3.4 mostra uma representação do gerador, com as principais dimensões do seu modelo estrutural [20].

Tabela 3.2 - Características gerais optimizadas do gerador planar [20]

Parâmetro	Nomenclatura	Valor	Unidade
Força Tagencial	F_x	40	N/m ²
Potência Elétrica	P_{ele}	2	kW
Frequência Angular	f	0,57	Rad/s
Altura de Onda	H	4	m
Período de Onda	T	11	Seg.
Número de fases	m	3	
Tensão no Conversor	V_0	200	V
Largura dos pólos do primário	b_p	0,05	m
Largura dos pólos do secundário	b_s	0,05	m
Largura das cavas do primário	c_p	0,05	m
Comprimento do entreferro	G	0,002	m
Densidade média de fluxo	B_g	1,5	T
Permeabilidade magnética	μ_0	1,25664E-06	H/m

Factor de carga	k_t	1	
Factor de conversão	k_c	0,7	
Factor de enchimento	k_e	0,4	
Densidade de corrente no cobre	J	3,5	A/mm ²
Resistividade eléctrica	P_{cu}	1,70E-08	Ω/mm
Diâmetro do condutor	d_{cu}	4,1	m
Secção do condutor	S_{cu}	1,32025E-05	m ²
Número de bobinas do primário	B_1	6	
Potência mecânica	P_{mec}	2,86	kW
Força	F	1,25	KN
Velocidade	v	2,28	m/s
Diferença de posições de <i>on</i> e <i>off</i>	$(X_f - X_i)$	0,04	m
Passo do primário	τ_p	0,10	m
Passo do secundário	τ_s	0,15	m
Relação de passo	$m \cdot \tau_p = 2 \cdot \tau_s$	0,3	
Largura das laminações	w	0,31	m
Número de espiras por bobina	N_1	74,67	Espiras
Ind. não saturada	L_{an}	0,11	H
Ind. na posição de não alinham.	L_{na}	0,01	H

Fluxo máximo na conversão	ψ_c	3,51	Wb
Energia do ciclo de trabalho	W_c	62,66	J
Intensidade de corrente	I_c	43,00	A
Altura das cavas do primário	h_p	91,7	mm
Altura das cavas do secundário	h_s	60,0	mm
Espessura do núcleo do primário	n_p	32,5	mm
Espessura do núcleo do secundário	n_s	32,5	mm
Altura do primário	H_p	124,2	mm
Altura do secundário	H_s	92,5	mm
Diâmetro do condutor	d_{cu}	4	mm
Comprimento médio das bobinas	L_l	626,8	mm
Perdas no cobre	P_{cu}	668,6	W

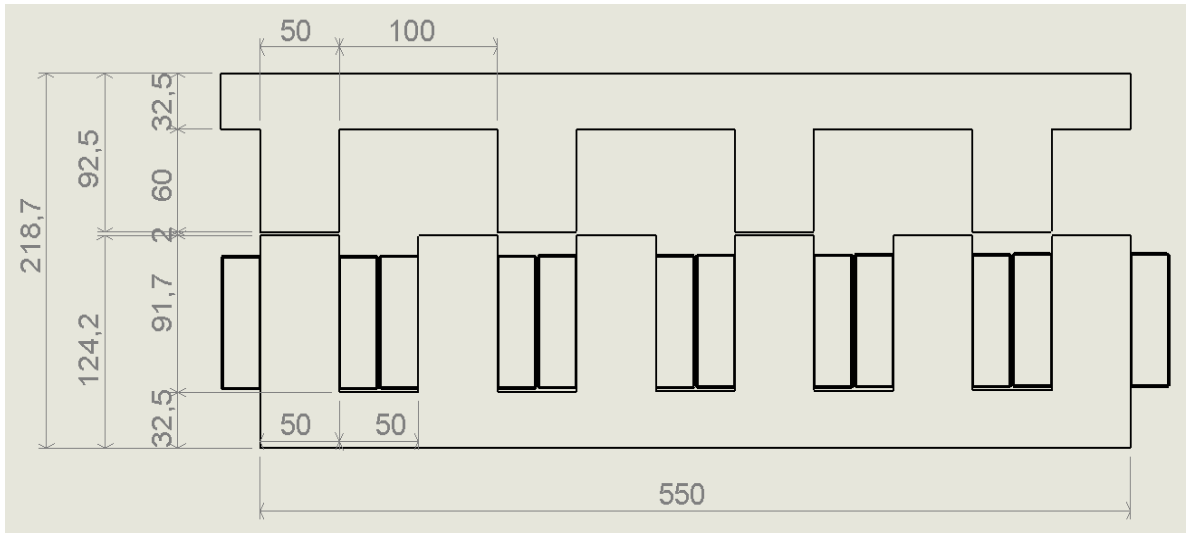


Figura 3.4 - Principais dimensões gerais do gerador linear planar [20]

O gerador acima mostrado, Figura 3.4, foi o obtido referente a um GLRVC com estrutura planar, trifásico, de 6/4, ou seja um gerador com 6 pólos no primário e 4 pólos no secundário, em que cada dente do primário é composto por uma bobina e cada cava contém duas bobinas.

De seguida tendo em conta o dimensionamento do gerador, na Figura 3.5 mostram-se as principais dimensões do protótipo do gerador linear constituído por dois translatos e dois estatores [20].

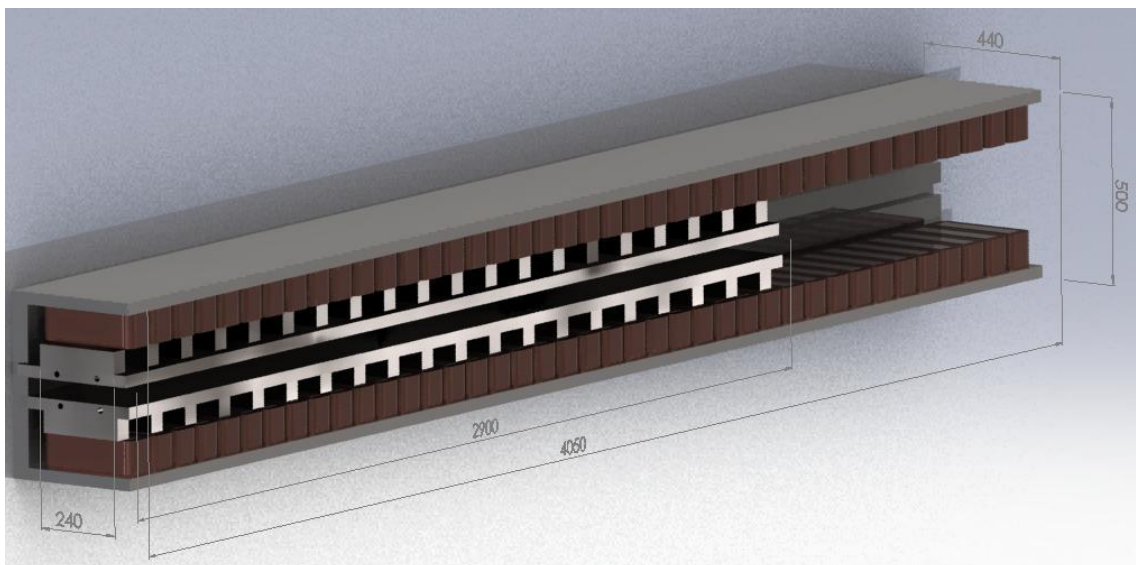


Figura 3.5 - Dimensões finais do gerador linear planar [20]

O resultado final do dimensionado do gerador, na parte que se refere à conversão de energia, é mostrado na Figura 3.6 e na Figura 3.7, onde se vê a bóia em amarelo, e a base do gerador que será fixa no fundo do mar, de modo a que a ondulação permita que a bóia faça movimentar o translato.



Figura 3.6 - Desenho de conjunto do sistema de geração planar [20]

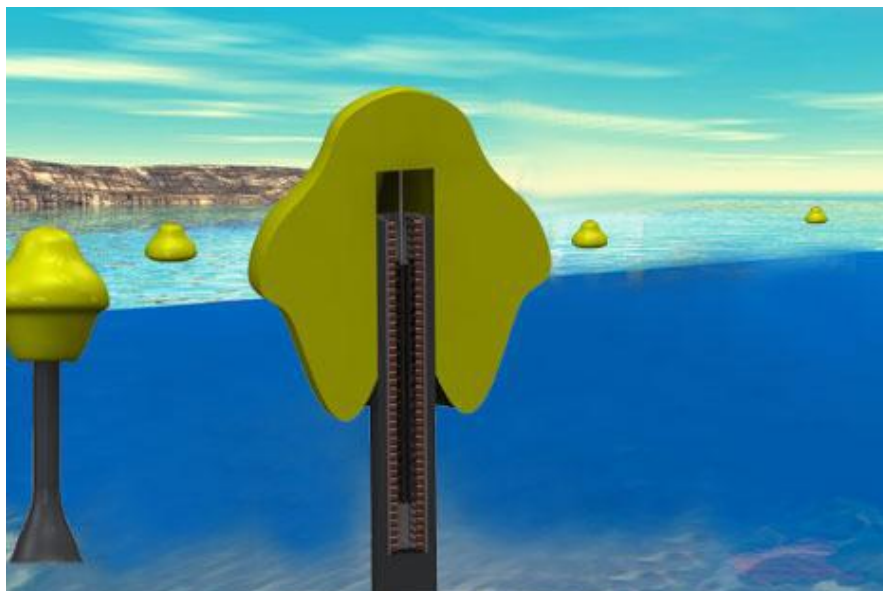


Figura 3.7 - Desenho de conjunto do sistema de geração planar aplicado em mar [20]

3.2.2 Gerador Linear de relutância variável comutado tubular

O segundo gerador dimensionado foi o gerador linear de relutância variável comutado tubular. Semelhante ao GLRVC já referido anteriormente, distingue-se na sua estrutura, nalgumas considerações utilizadas para o seu dimensionamento, assim como no seu dimensionamento electromagnético, conduzindo a resultados de desempenho também distintos.

Estrutura

Este gerador linear tem uma topologia tubular ao invés de ser de tipologia planar como o anterior, este gerador é constituído por uma parte móvel e uma parte estática, podendo qualquer uma delas conter os enrolamentos de excitação.

O gerador contém os enrolamentos na parte fixa, por opção de escolha no seu dimensionamento. A parte fixa é o primário e a parte móvel o secundário. As dimensões da estrutura foram calculadas de modo a que esta seja formada por chapas magnéticas empilhadas constituindo assim um núcleo laminado. O material das chapas é de uma liga de aço magnético e silício com cristais orientados para que a sua relutância seja a menor possível [21].

Estas chapas que constituem os núcleos do primário e secundário, são dispostas radialmente de forma idêntica para ambas as partes.

Este gerador é um dispositivo de dupla saliência, pois tanto o primário como o secundário possuem dentes. Estes dentes de ambas as partes devem estar relativamente posicionados com um determinado espaçamento de modo a obter-se uma configuração exequível, possibilitando o funcionamento do mesmo. Para isso, será considerada uma estrutura de três fases com dois enrolamentos por fase. O primário é formado por sete dentes e o secundário por 5, formando um gerador cuja estrutura se encontra esquematizada na Figura 3.8.

Assim fica assegurado que o secundário ocupa as devidas posições à medida que se desloca relativamente ao primário, acompanhando a excitação sequencial das fases. Considerando a Figura 3.9, o gerador encontra-se na posição de alinhamento para a fase A-A'. Encontrando-se esta fase excitada para esta posição, de seguida deverão ser excitadas a fase B-B' e posteriormente a fase C-C', sempre que o secundário ocupar a respectiva posição de alinhamento [21].

Dimensionamento

Como já referido anteriormente, dado que não existe nenhum procedimento específico para o dimensionamento deste tipo de máquina, foi utilizada uma metodologia de dimensionamento aplicável a um actuador linear com a mesma topologia, e que também é válida para este tipo de gerador.

O dimensionamento é então efectuado com base em determinados parâmetros que condicionam a estrutura do gerador assim como o seu funcionamento. Para definir os parâmetros tem de se considerar o comportamento das ondas, a amplitude de oscilação do sistema que influencia o comprimento do gerador e velocidade de deslocamento vertical do sistema. Para além destes dados, outros serão necessários como a largura dos dentes, o número de fases, a tensão de excitação e o comprimento do entreferro [21].

Neste gerador em concreto o dimensionamento teve como base os parâmetros apresentados na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 - Parâmetros de dimensionamento GLRVC tubular [21]

Parâmetro	Unidade
Potência Mecânica (P_{mec})	W
Amplitude de oscilação (Z)	m
Velocidade (v)	m/s
Largura dos dentes (b_p e b_s)	mm
Número de fases (m)	
Tensão de excitação (V_0)	V
Comprimento do entreferro (g)	mm

Dado que, tal como no gerador planar, o translato se mover na vertical com um movimento aproximadamente sinusoidal, a amplitude associada ao movimento do gerador é definida como h , que se representa através da altura de onda e a frequência angular que advém do movimento do translato é f .

Para o estudo em questão o importante é calcular a potência que o gerador pode produzir, sendo assim a velocidade é dada por:

$$v = f \times \frac{h}{2} \quad (3.7)$$

Portanto, a equação considerada para calcular a potência do gerador tubular será :

$$P = 2,24 \times v \quad (3.8)$$

Onde 2,24 é um valor obtido de forma geral entre o rendimento da máquina com um valor de intensidade de corrente previamente estabelecido, e considerando que a máquina tem um rendimento de aproximadamente 70% [21].

Verificou-se também que quanto maior for a velocidade do translato menor será a força necessária para a obtenção da potência.

Relativamente a esta máquina, consideraram-se alguns valores normalmente adoptados nestes dimensionamentos, tal como no caso da força tangencial de superfície, que é :

$$F = 20 \text{ [kN/m}^2\text{]} = \text{[N/cm}^2\text{]} \quad (3.9)$$

Tal como no gerador planar, também no gerador tubular estão inerentes ao seu dimensionamento diversos factores: Por uma questão de simplicidade, e porque para o estudo em causa não são muito significativos, na Figura 3.10 apresentam-se as características gerais optimizadas do gerador, que foram obtidas no estudo e dimensionamento do mesmo, através da utilização de um programa computacional, o Tubular LSRG Design. Na Figura 3.11 são mostradas as dimensões gerais do gerador, resultantes do dimensionamento optimizado obtido da utilização do mesmo programa [21].

Resultados			
Força exercida	F =	2238.81	[N]
Velocidade	v =	0.67	[m/s]
Tensão de alimentação	Uo =	200.00	[V]
Largura dos pólos do primário	bp =	30.00	[mm]
Largura dos pólos do secundário	bs =	30.00	[mm]
Largura das cavas do primário	cp =	30.00	[mm]
Largura das cavas do secundário	cs =	60.00	[mm]
Passo do primário	tp =	60.00	[mm]
Passo do secundário	ts =	90.00	[mm]
Espessura do núcleo do primário	np =	20.00	[mm]
Espessura do núcleo do secundário	ns =	20.00	[mm]
Comprimento do entreferro	g =	2.00	[mm]
Diâmetro exterior do primário	Dep =	449.00	[mm]
Diâmetro interior do primário	Dip =	297.00	[mm]
Diâmetro exterior do secundário	Des =	293.00	[mm]
Diâmetro interior do secundário	DIs =	133.00	[mm]
Altura das cavas do primário	hp =	56.00	[mm]
Altura das cavas do secundário	hs =	60.00	[mm]
Altura do primário	Hp =	76.00	[mm]
Altura do secundário	Hs =	80.00	[mm]
Número de espiras por enrolamento	N1 =	86.00	
Diâmetro do fio de enrolamento	dcu =	4.00	[mm]
Diâmetro médio das bobinas	D1 =	353.00	[mm]
Corrente	lc =	27.27	[A]
Rendimento	Rend =	70.00	[%]
Potência eléctrica	Pele =	3817.85	[W]
Perdas de potência no cobre	Pcu =	575.70	[W]

Figura 3.10 - Características gerais optimizadas do gerador tubular [21]

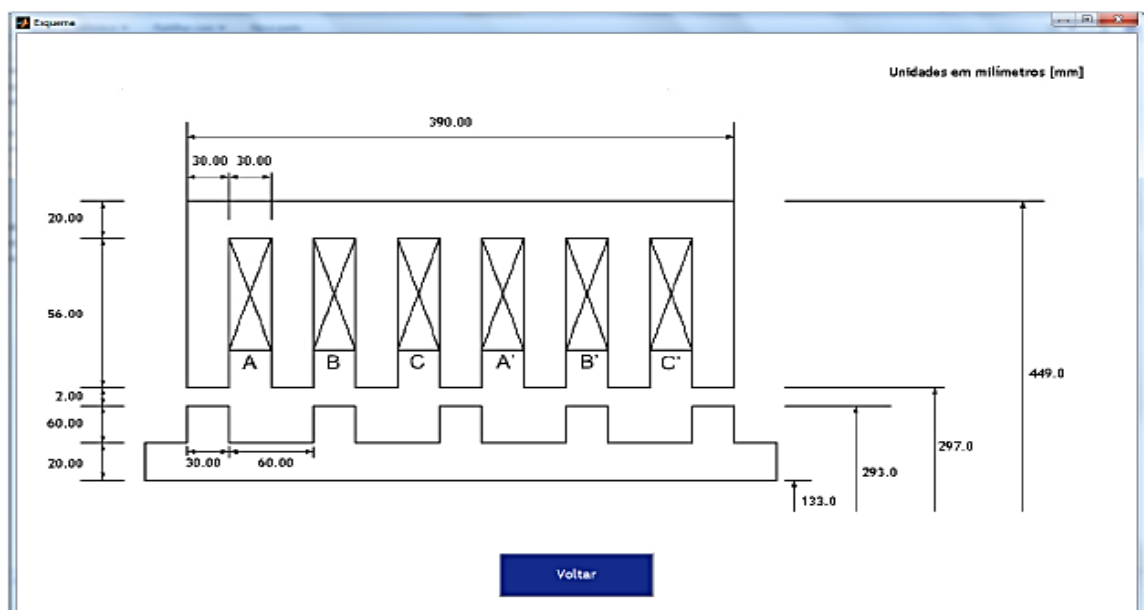


Figura 3.11 - Principais dimensões gerais do gerador linear tubular [21]

O gerador acima mostrado na Figura 3.11 é bastante semelhante ao planar, é um GLRVC com estrutura tubular, trifásico, de 6/4, ou seja um gerador com 6 pólos no primário e 4 pólos no secundário.

De seguida tendo em conta o dimensionamento do gerador, na Figura 3.12 mostram-se as principais dimensões do primário, e na Figura 3.13 as dimensões do secundário, mostrando-se também o protótipo do gerador linear completo, constituído por uma estrutura tubular, na Figura 3.14 e na Figura 3.15. [21].

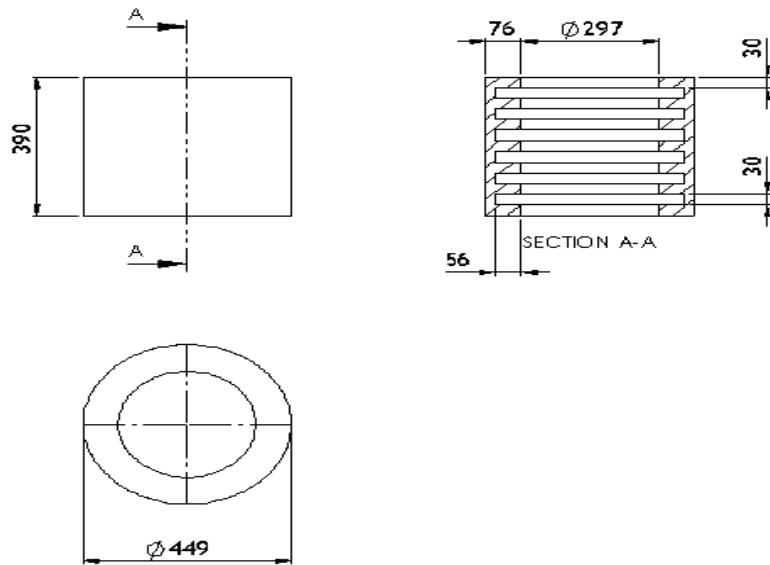


Figura 3.12 - Dimensões finais do primário (mm) do gerador linear tubular [21]

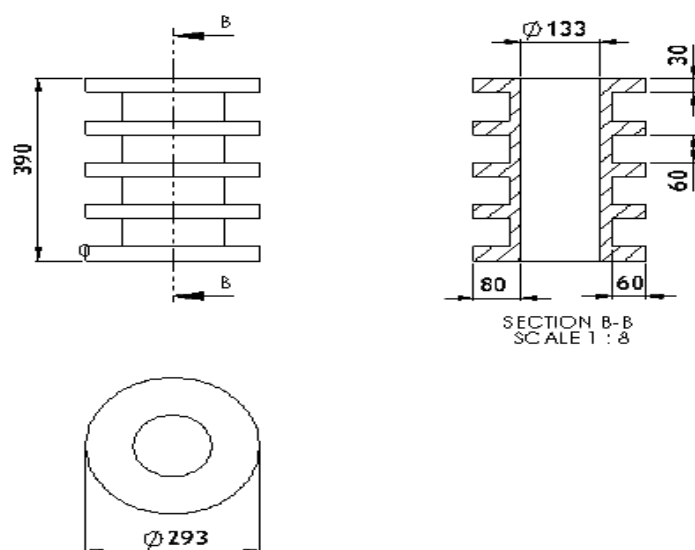


Figura 3.13 - Dimensões finais do secundário (mm) do gerador linear tubular [21]

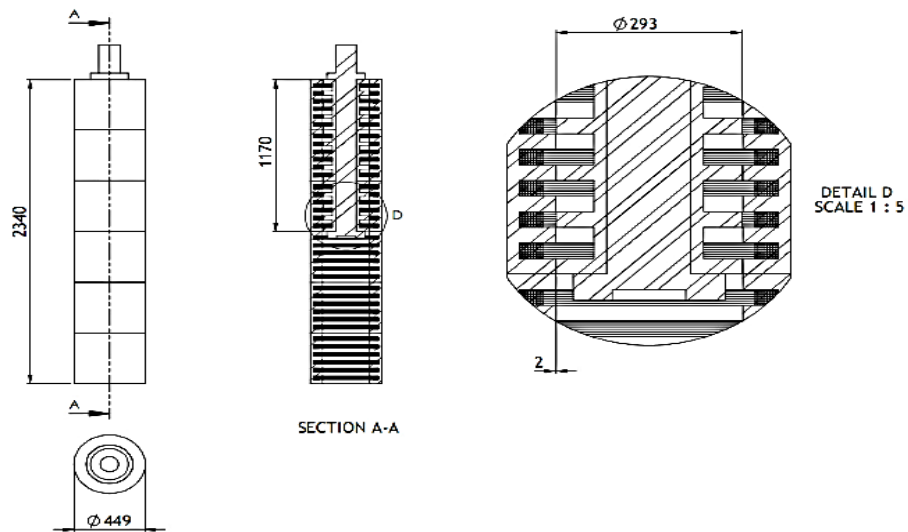


Figura 3.14 - Dimensões finais do gerador linear tubular (mm) [21]

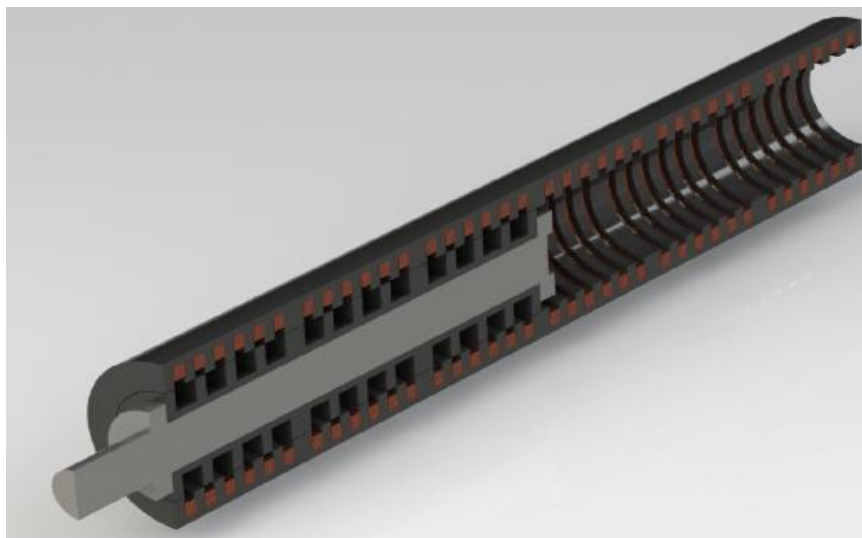


Figura 3.15 - Estrutura do gerador tubular [21]

A estrutura completa do gerador, no que diz respeito à conversão de energia das ondas, é mostrada na Figura 3.16. Na Figura 3.17 é representada a base de fixação, e na Figura 3.18 mostra-se num exemplo ilustrativo da sua aplicação no mar, onde se vê a bóia em amarelo, e a base do gerador que será fixa no fundo do mar, de modo a que a ondulação permita que a bóia faça movimentar o translato.



Figura 3.16 - Desenho de conjunto do sistema de geração tubular [21]



Figura 3.17 - Desenho da base de fixação do sistema de geração tubular [21]

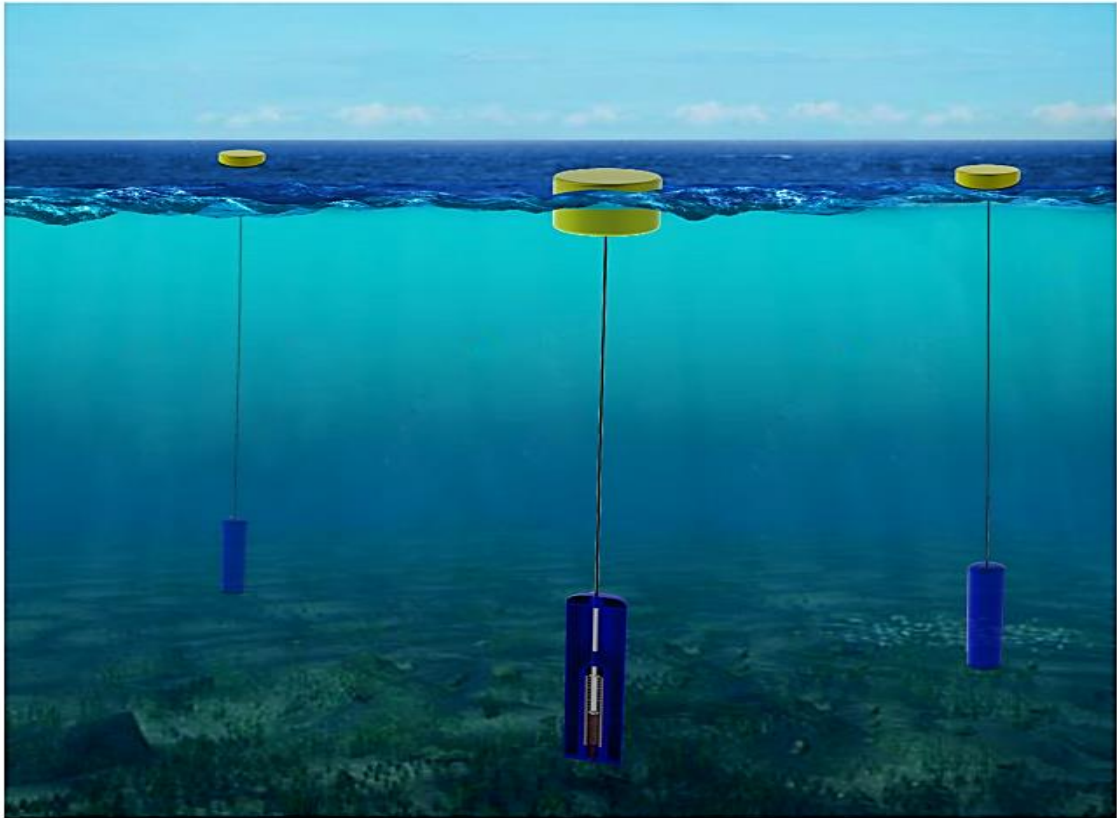


Figura 3.18 - Desenho de conjunto do sistema de geração tubular aplicado em mar [21]

Capítulo 4

4 Dados e Resultados obtidos

4.1 Tratamento de dados

Os dados referentes a este trabalho, ou seja, referente aos locais em estudo foram disponibilizados pelo Instituto Português do Mar e Atmosfera. Esses dados fornecidos para cada local são referentes ao ano de 2013, onde estão registadas medições de 6 em 6 horas, todos os dias de cada um dos doze meses. Nas medições disponibilizadas os parâmetros contemplados são a altura significativa de ondas, a direção média de ondas, o período médio de ondas, a altura máxima de ondas e o período de pico.

Para cada localização estudada (Esposende, São Pedro de Moel, Cabo da Roca, Baía de Cascais e Costa da Galé), foram analisados apenas os seguintes parâmetros das ondas: a altura significativa de ondas e o período médio de ondas. Foram utilizados apenas estes dois parâmetros, pois para o estudo em causa são os únicos necessários para a determinação da potência que os geradores lineares dimensionados poderão produzir. Para se calcular essa potência, necessitamos de calcular a frequência angular e a velocidade inerente a cada momento de registo de dados para depois com esses valores conseguidos calcular a potência produzida pelo gerador.

Para analisar os dados obtidos foi utilizado o *Microsoft Office Excel* [22].

O *Microsoft Office Excel* foi utilizado para a elaboração e organização de tabelas, dado que os dados fornecidos se encontravam num formato limitado. Após criadas as tabelas, e através da ferramenta das funções, foram introduzidas todas as equações e fórmulas necessárias para o cálculo das grandezas pretendidas (frequência angular, velocidade e posteriormente potência) e obtenção dos resultados necessários. As equações e fórmulas utilizadas foram as equações apresentadas no capítulo anterior. Depois desses resultados obtidos foram criados os gráficos de potência, com os dados organizados organizados por colunas e por semanas, como se irá mostrar mais adiante.

De referir que se optou por não incluir no texto as tabelas de dados devido a uma questão de espaço, dado que as mesmas são abundantes e muito extensas (60 tabelas com 124 linhas). Essas tabelas foram remetidas para anexo no formato digital.

Outra referência que deve ser feita é a de que os dados fornecidos pelo IPMA relativos à Baía de Cascais e ao Cabo da Roca são muito semelhantes, nalguns casos até iguais, facto esse que poderá ser justificado pela grande proximidade geográfica dos dois locais.

4.2 Resultados

Seguidamente apresentam-se os resultados obtidos do tratamento de dados. Esses dados serão apresentados em gráficos para cada um dos cinco locais estudados.

Para uma melhor compreensão e correspondência de resultados a diferentes cenários meteorológicos, optou-se por apresentar esses resultados por estações do ano (Primavera, Verão, Outono e Inverno), e cada gráfico mostra os valores de potência de geração por cada semana em cada estação.

As datas que compreendem cada estação são as seguintes:

- Inverno: 12 semanas - 1 Janeiro a 25 Março
- Primavera: 13 semanas - 26 de Março a 24 Junho
- Verão: 13 semanas - 25 Junho a 23 Setembro
- Outono: 14 semanas - 24 Setembro a 29 Dezembro

A estação de Inverno possui uma semana a menos pois essa semana seria a última semana de Dezembro de 2012, e os dados disponíveis são referentes a 2013,.

Os gráficos apresentados, obtidos a partir dos dados referidos, vão repetir-se são organizados para cada local, considerando a instalação de um GLRVC planar e também considerando a instalação de um GLRVC tubular.

4.2.1 Esposende

As Figuras 4.1, 4.3, 4.5 e 4.7 mostram as potências calculadas para o gerador linear planar e para a localização de Esposende. As Figuras 4.2, 4.4, 4.6 e 4.8 apresentam os gráficos referentes às potências do gerador linear tubular para a mesma localização.

Em Esposende o período de onda é muito semelhante em todas as estações do ano sendo que no inverno esse período é ligeiramente maior, variando esses valores entre 7s a 9s para todas as estações. Em relação à altura da onda, varia bastante de estação para estação, sendo que na primavera e no outono essa altura de onda toma valores entre os 2m e os 3m; no verão o valor da altura de onda baixa consideravelmente para entre os 1,5m e o 1m, sendo que no inverno atinge valores consideráveis, perto dos 4,5m.

Primeiramente, um facto relevante é que o gerador linear planar consegue gerar mais potência que o gerador linear tubular, como se mostra a seguir, sendo a diferença cerca de 10 kW, o que não sendo muito elevada é ainda assim apreciável.

Analisando agora o acumulado de potências conseguido ao longo do ano, é esperado que no Inverno, estação mais rigorosa do ano onde se verificam temperaturas mais baixas, algumas tempestades e temporais (chuva, vento, trovoada, etc.) e como tal maior agitação marítima, sejam atingidos os maiores valores, que andam aproximadamente entre os 80 kW e os 100 kW (Figura 4.1 e Figura 4.2), é a. Por contraste a estação em que existe menor produção é no Verão, este facto também é expectável, já que no verão ocorre pouca precipitação, o vento é moderado e as temperaturas elevadas, e por isso a ocorrência de marés é menor. Nesta estação, o acumulado semanal gerado anda aproximadamente entre os 30 kW e os 50 kW, sendo menos de metade do que é produzido no inverno (Figura 4.5 e Figura 4.6). Na primavera e outono, que são duas estações do ano moderadas em termos meteorológicos em que não existe uma situação de condições meteorológicas bem definidas podendo variar entre condições mais rigorosas ou condições mais amenas, as potências geradas variam entre uma produção de energia elevada e baixa, sendo que na primavera a produção é mais inconstante do que no outono: No caso específico de Esposende, o acumulado de potências é bastante satisfatório e muito semelhante ao do inverno, pois os seus valores situam-se aproximadamente entre os 70 kW e os 100 kW, como se pode comprovar nos gráficos das Figuras 4.3 4.4, 4.7 e 4.8.

Inverno

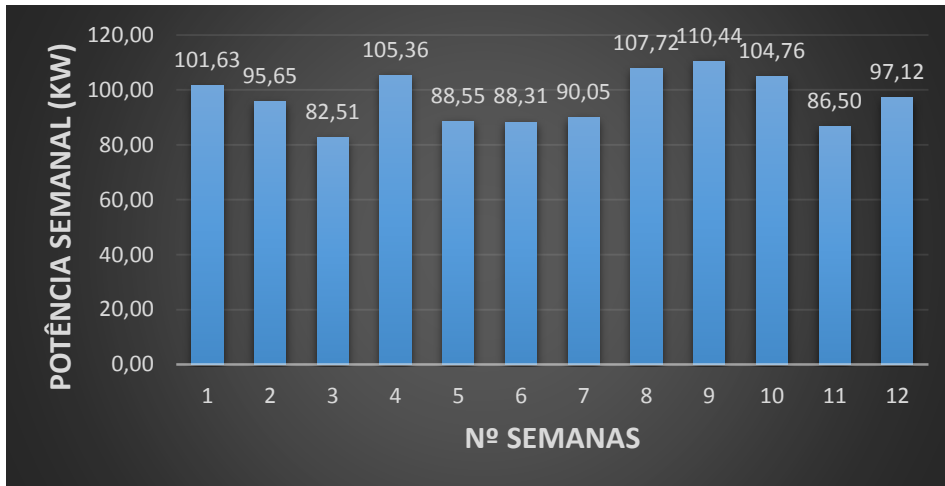


Figura 4.1 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Esposende - Inverno)

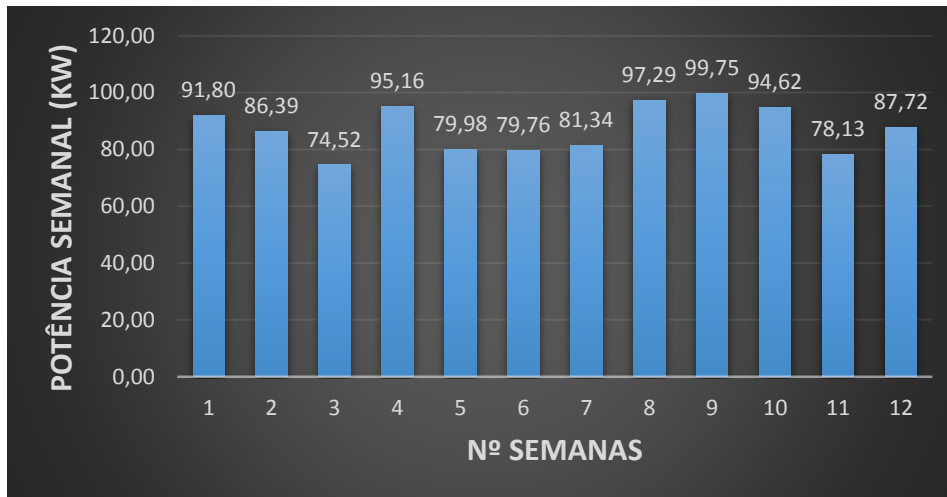


Figura 4.2 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Esposende - Inverno)

Primavera

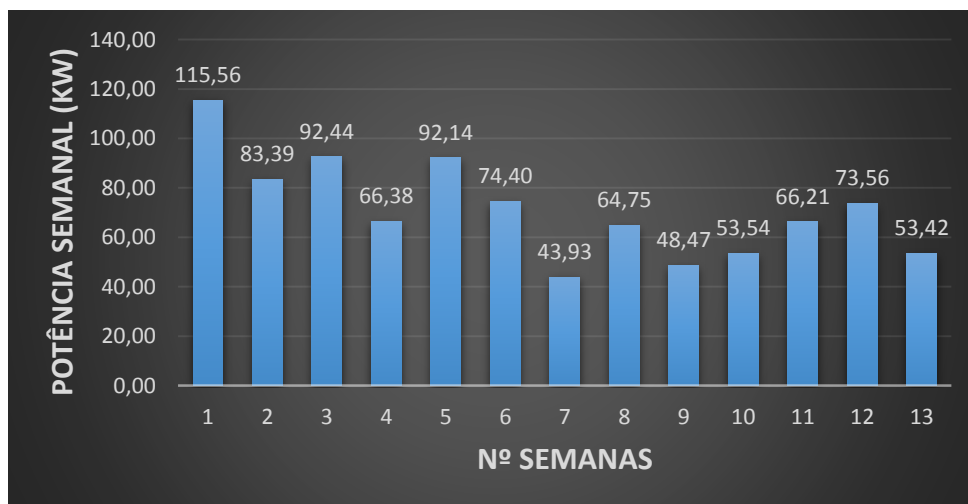


Figura 4.3 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Esposende - Primavera)

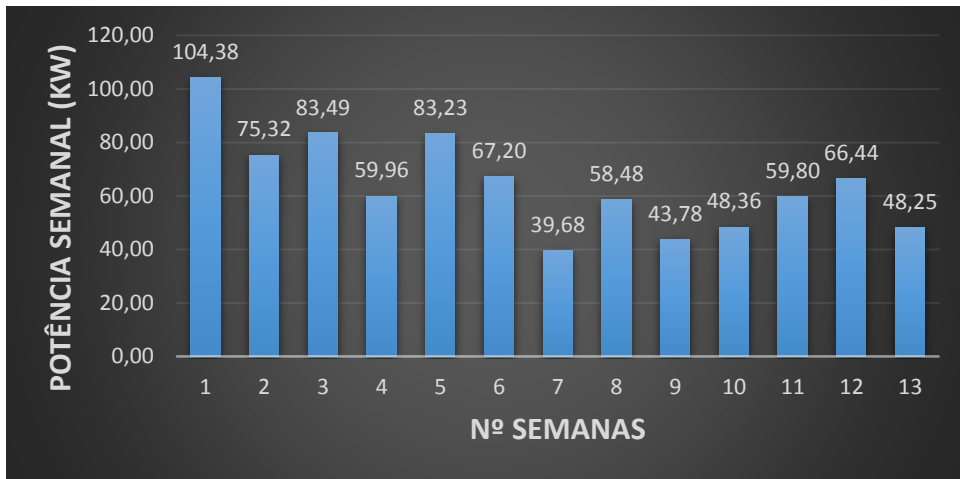


Figura 4.4 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Esposende - Primavera)

Verão

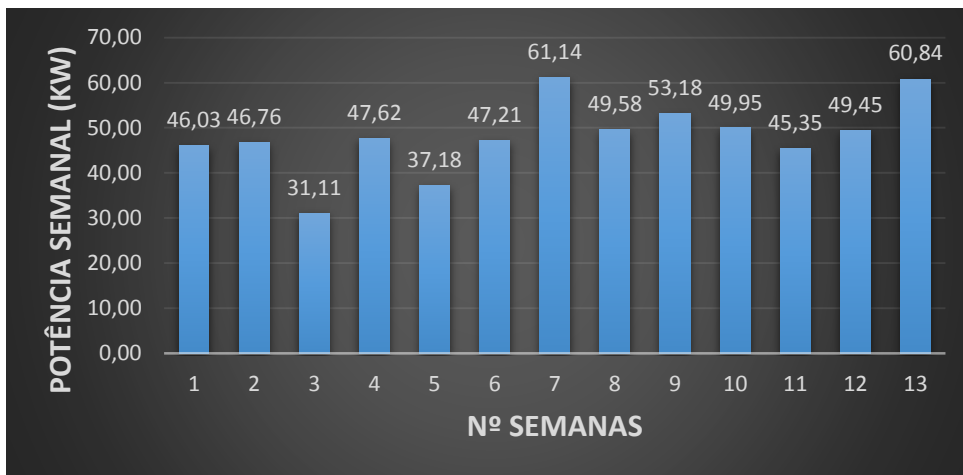


Figura 4.5 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Esposende - Verão)

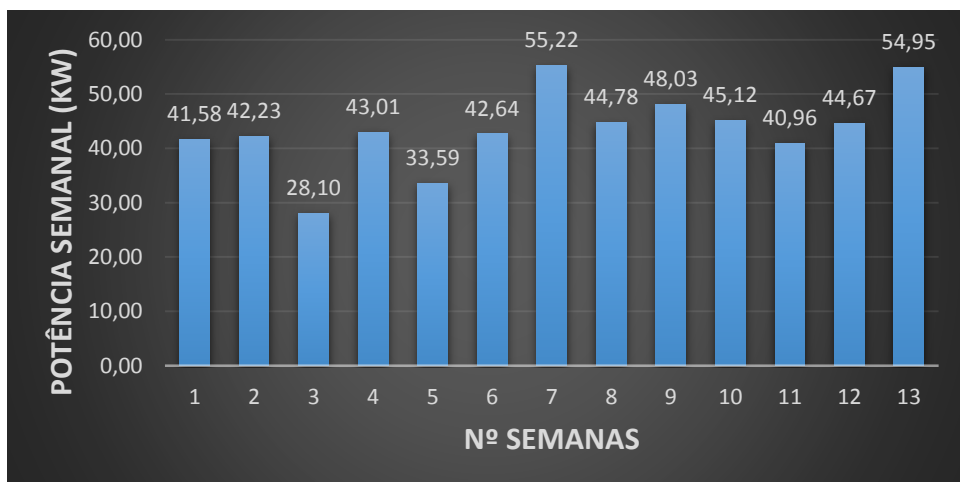


Figura 4.6 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Esposende - Verão)

Outono

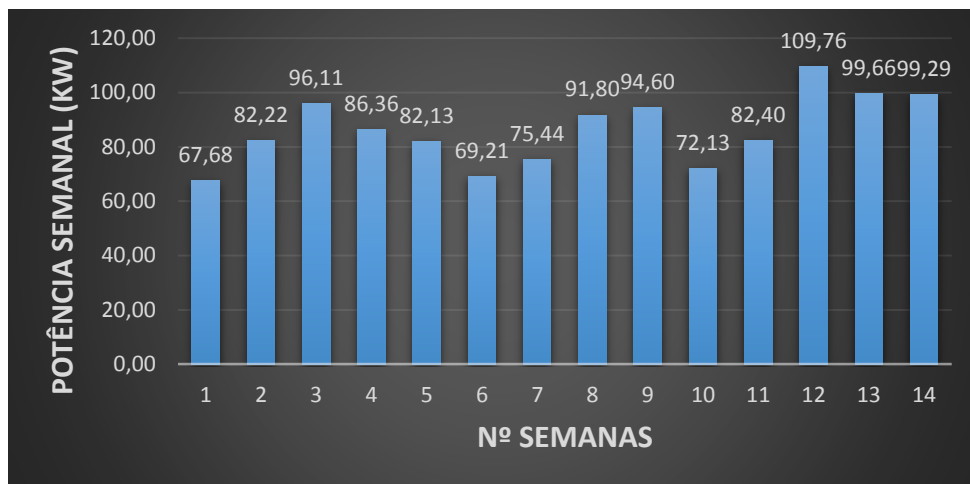


Figura 4.7 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Esposende - Outono)



Figura 4.8 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Esposende - Outono)

4.2.2 São Pedro de Moel

As Figuras 4.9, 4.11, 4.13 e 4.15 mostram as potências calculadas para o gerador linear planar e para a localização de São Pedro de Moel. As Figuras 4.10, 4.12, 4.14 e 4.16 apresentam os gráficos referentes às potências do gerador linear tubular para a mesma localização.

Em São Pedro de Moel o período de onda é semelhante em todas as estações do ano, apresentando as maiores diferenças entre os extremos no inverno, onde o período ronda os 10s, e no verão, onde o período ronda os 6s. Já em relação à altura de onda, esta varia com alguma relevância de estação para estação: Na primavera e no outono a altura de onda varia entre os 2m e os 3m, sendo que nas últimas semanas de outono o valor atinge os 4m, como se comprova nos gráficos de outono onde a produção nas últimas 4 semanas aumenta. No verão os valores da altura de onda baixam consideravelmente, variando entre os 2m e o 1m: No inverno atinge os maiores valores, aumentando consideravelmente para alturas de onda entre os 4m e os 5m.

Analisando agora o acumulado de potências conseguido, é esperado que no Inverno o acumulado atinja os maiores valores tal como se vê na Figura 4.9 e Figura 4.10. A potência total semanal, para os dois geradores, varia entre os 75 kW e os 110 kW. Por outro lado, a estação em que é expectável existir menor produção é no Verão, e tal facto também é verificado nos gráficos, pois no verão o acumulado gerado anda aproximadamente entre os 30 kW e os 60 kW, sendo bem menos do que se consegue produzir no inverno (Figura 4.13 e Figura 4.14). Na primavera e outono, que são duas estações mais moderadas, os acumulados gerados podem variar entre uma produção de energia elevada e baixa, sendo que neste caso na primavera os valores são mais inconstantes que os valores da produção de outono. Na primavera esses valores de produção variam entre 40 kW e os 95 kW (intervalo bastante grande de variação da produção). No outono os valores variam dos 60 kW aos 90 kW aproximadamente, o que revela que no outono existe uma boa produção de energia que se aproxima dos valores de inverno (Figura 4.11, Figura 4.12, Figura 4.15 e Figura 4.16).

Inverno

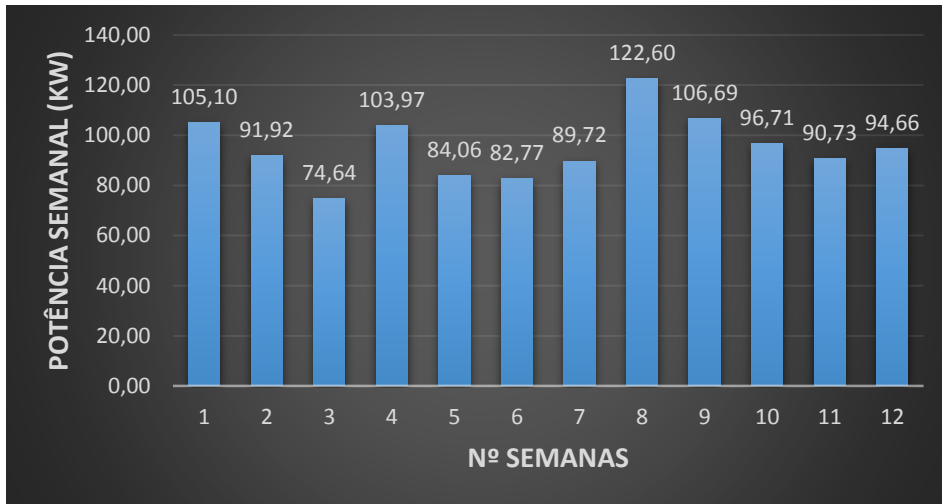


Figura 4.9 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (S.Pedro Moel - Inverno)



Figura 4.10 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (S.Pedro Moel - Inverno)

Primavera



Figura 4.11 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (S.Pedro Moel - Primavera)

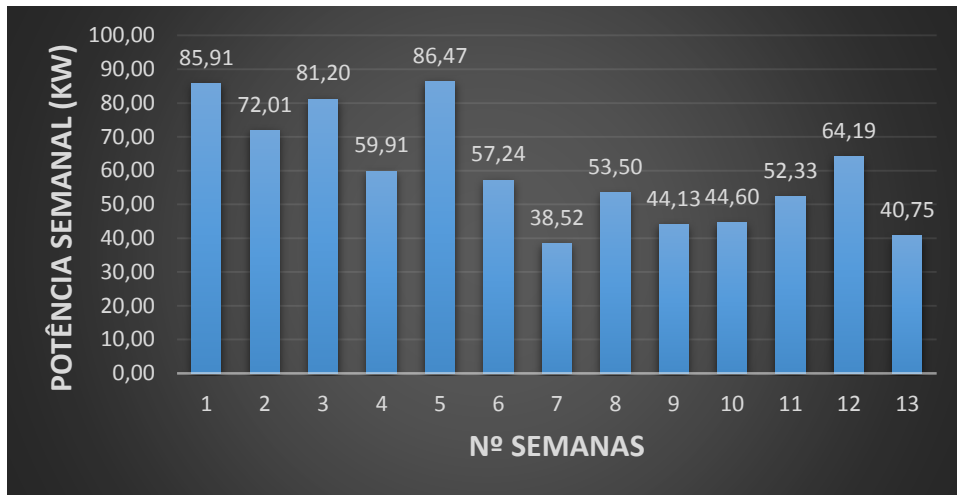


Figura 4.12 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (S.Pedro Moel - Primavera)

Verão

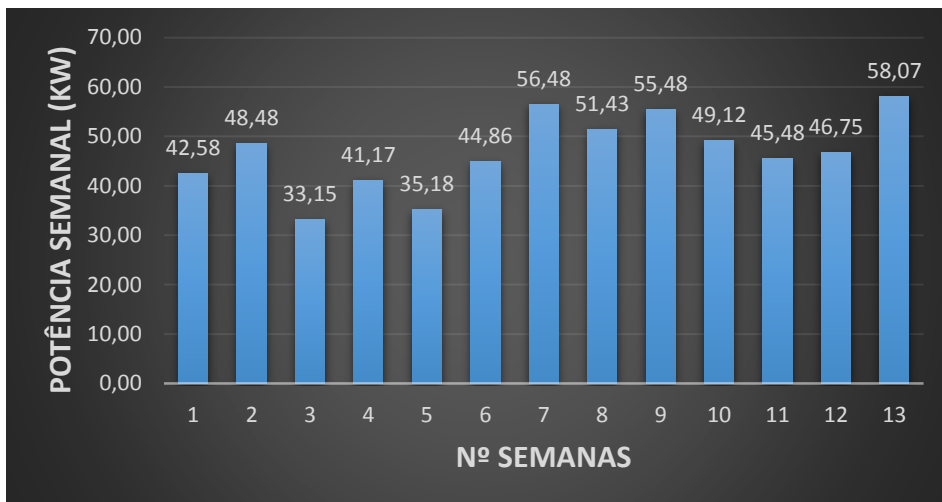


Figura 4.13 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (S.Pedro Moel - Verão)



Figura 4.14 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (S.Pedro Moel - Verão)

Outono

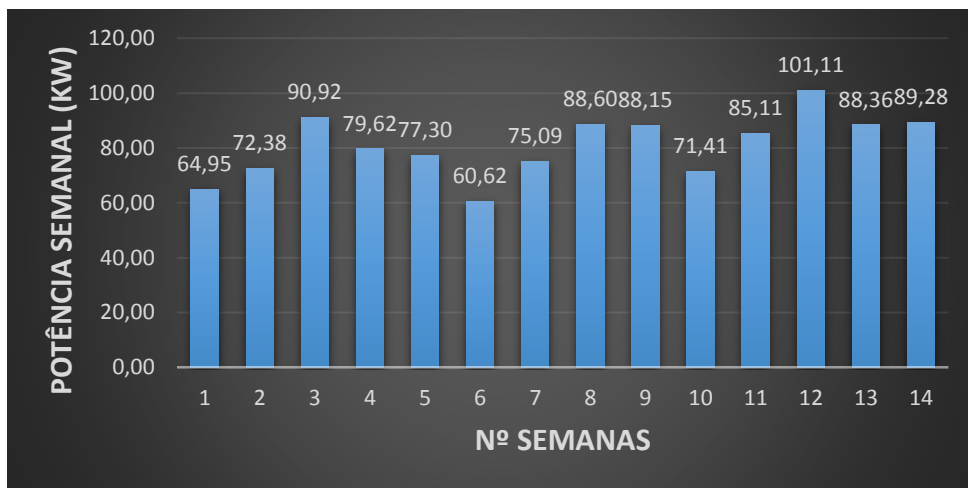


Figura 4.15 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (S.Pedro Moel - Outono)



Figura 4.16 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (S.Pedro Moel - Outono)

4.2.3 Cabo da Roca

As Figuras 4.17, 4.19, 4.21 e 4.23 mostram as potências calculadas para o gerador linear planar e para a localização de Cabo da Roca. As Figuras 4.18, 4.20, 4.22 e 4.24 apresentam os gráficos referentes às potências do gerador linear tubular para a mesma localização.

O período de onda no Cabo da Roca varia entre os 6s e os 10s que são valores que já interferem um pouco na variação de produção que se verifica entre estações, sendo que no inverno o período ronda os 10s e no verão os 6s; no outono e primavera ronda os 7s. Em relação à altura de onda, varia consideravelmente consoante as diferentes estações, sendo que na primavera varia entre os 2m e 3m e no outono, que é uma estação semelhante à primavera, a altura de onda varia entre os 3m e os 3,5m. No verão, os valores da altura de onda baixam consideravelmente para o intervalo entre o 1,5m e o 1m, sendo que no inverno atinge os seus maiores valores entre aproximadamente os 4m e os 4,5m.

É de realçar novamente que, tal como dito antes, o gerador linear planar consegue gerar mais potência que o gerador linear tubular.

Passando agora a analisar o acumulado de potências calculado para o inverno, no Cabo da Roca os valores atingidos andam entre os 70 kW e os 110 kW (Figura 4.17 e Figura 4.18m), o que já é um intervalo de valores consideráveis assinalando-se alguma variabilidade entre semanas. A primavera, onde os valores de produção variam entre 100 kW e 40 kW (Figura 4.19 e Figura 4.20), é a estação mais inconstante para produção de energia, sendo que no início da estação a produção de energia pode considerar-se boa, decaindo significativamente a partir da quinta semana, consistentemente até ao verão. No verão, estação de menor produção os valores conseguidos são aproximadamente constantes e variam entre os 35 kW e os 50 kW (Figura 4.21 e Figura 4.22). Por fim no outono, assiste-se a um aumento da produção pois as condições meteorológicas voltam a ser favoráveis variando a produção aproximadamente entre os 65 kW e os 95 kW (Figura 4.23 e Figura 4.24), o que faz com que haja uma produção bastante satisfatória.

Inverno



Figura 4.17 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Cabo da Roca - Inverno)

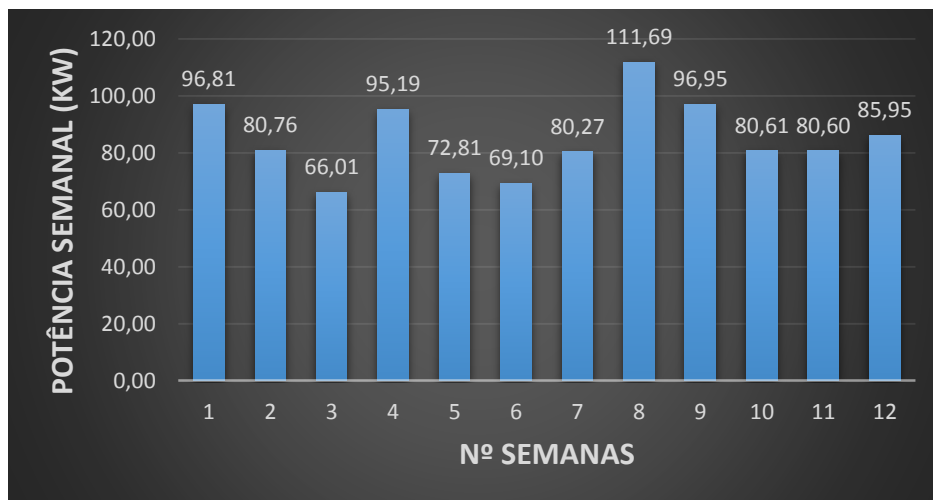


Figura 4.18 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Cabo da Roca - Inverno)

Primavera



Figura 4.19 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Cabo da Roca - Primavera)

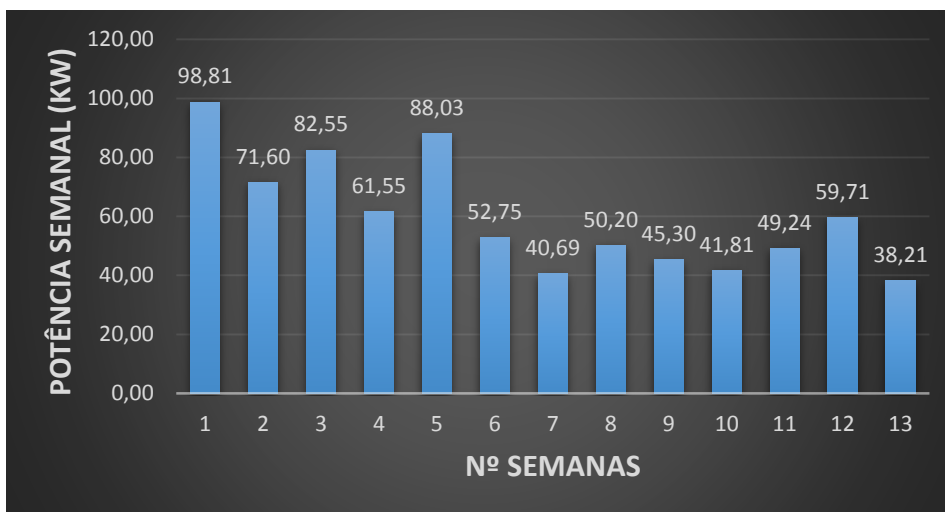


Figura 4.20 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular(Cabo da Roca - Primavera)

Verão

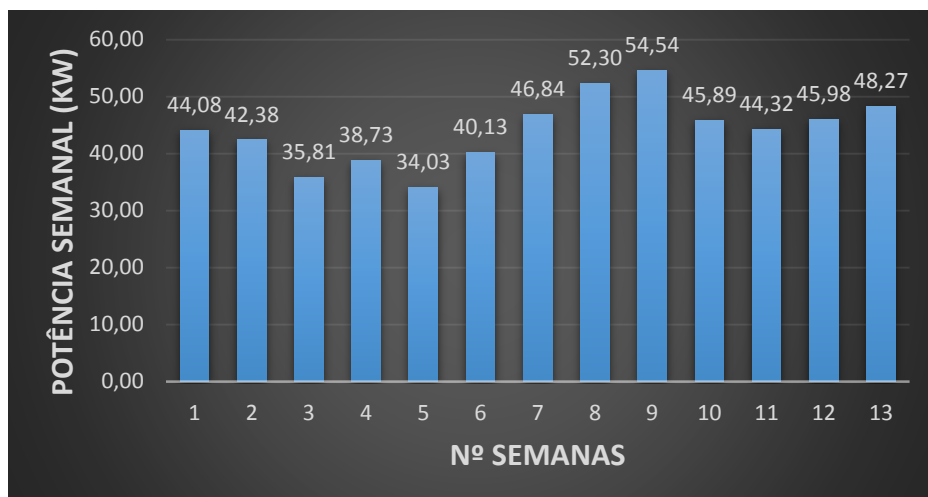


Figura 4.21 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Cabo da Roca - Verão)



Figura 4.22 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Cabo da Roca - Verão)

Outono



Figura 4.23 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Cabo da Roca - Outono)



Figura 4.24 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Cabo da Roca - Outono)

4.2.4 Baía de Cascais

As Figuras 4.25, 4.27, 4.29 e 4.31 mostram as potências calculadas para o gerador linear planar e para a localização de Baía de Cascais. As Figuras 4.26, 4.28, 4.30 e 4.32 apresentam os gráficos referentes às potências do gerador linear tubular para a mesma localização.

Como já referido anteriormente a Baía de Cascais e o Cabo da Roca apresentam valores muito semelhantes, sendo mesmo que alguns são iguais em certas alturas do ano. Considera-se justificável este facto devido à grande proximidade geográfica entre estes dois locais, que distam um do outro cerca de 15 km.

Relativamente à Baía de Cascais, o seu período de onda varia entre os 6s e os 10s, que são valores já considerados importantes na variação das possibilidades de obtenção de potência.. Para esta localização, os valores obtidos são praticamente similares aos obtidos para o Cabo da Roca. Em relação à altura de onda, a variância entre as diferentes estações são algumas, sendo que na primavera existe alguma discrepância na variação de altura dado que no início da primavera os valores são de aproximadamente em 3 m e no final são aproximadamente de 1,5m; como já sabe, no verão registam-se as menores alturas de onda, que para a Baía de Cascais são de entre o 1,5m e o 1m; no outono a altura de onda varia entre os 3 m e os 3,5 m, sendo ligeiramente superior aos valores na primavera e no inverno atingem-se, como esperado os maiores valores, com alturas de onda aproximadamente entre os 4m e os 4,5m.

Analisando os gráficos de potência, podemos constatar que no Inverno, na Baía de Cascais, os valores atingidos variam entre os 70 kW e os 110 kW (Figura 4.25 e Figura 4.26), com valores de produção semelhantes em todas as semanas aproximados com os valores obtidos para o inverno no Cabo da Roca. A primavera, onde os valores de produção variam entre 90 kW e 40 kW (Figura 4.27 e Figura 4.28), é a estação com mais oscilações nos valores da produção, à semelhança do Cabo da Roca, apresentando uma boa produção nas primeiras semanas, decaindo depois significativamente para valores bastante baixos semelhantes aos do verão, situando-se entre os 30 kW e os 50 kW (Figura 4.29 e Figura 4.30). No outono a produção volta a aumentar, como seria expectável, obtendo-se valores bastante bons, sendo que esses valores variam aproximadamente entre os 60 kW e os 90 kW (Figura 4.31 e Figura 4.32), o que faz com que se possa considerar produção bastante satisfatória.

Inverno



Figura 4.25 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Baía Cascais - Inverno)

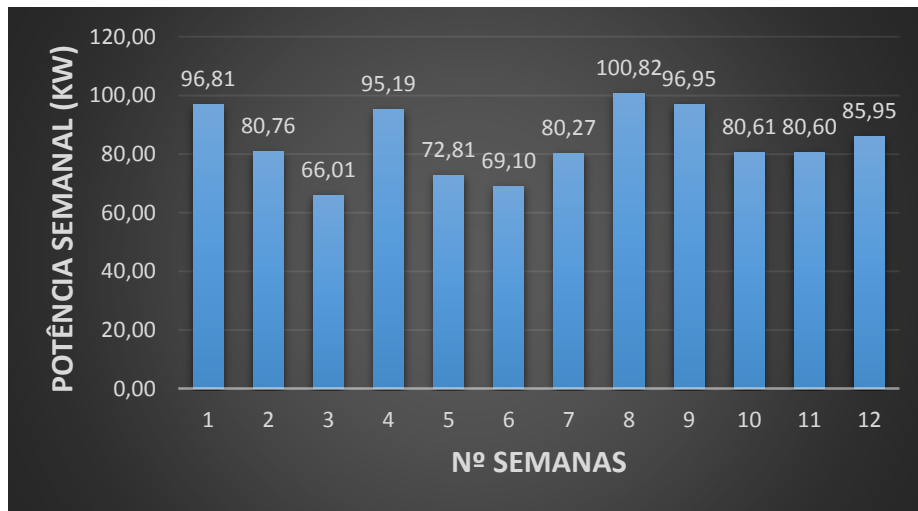


Figura 4.26 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Baía Cascais - Inverno)

Primavera

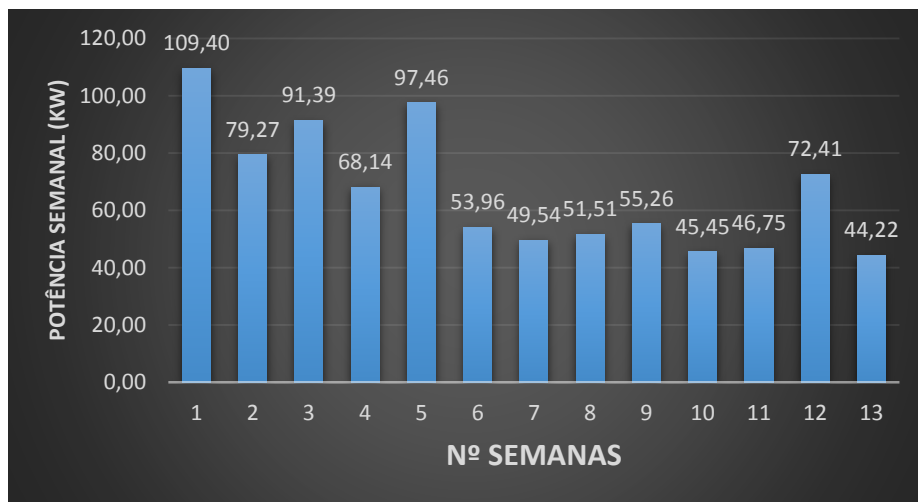


Figura 4.27- Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Baía Cascais - Primavera)



Figura 4.28 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular(Baía Cascais - Primavera)

Verão

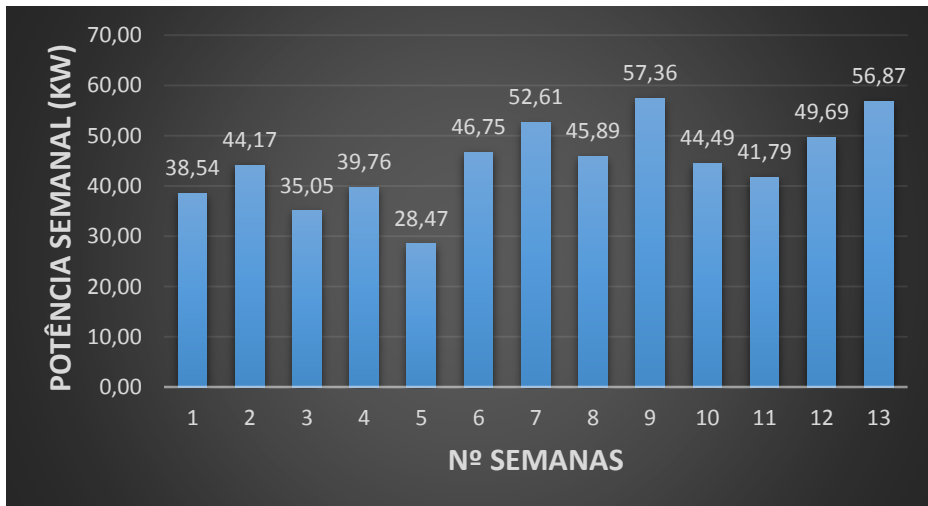


Figura 4.29 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Baía Cascais - Verão)

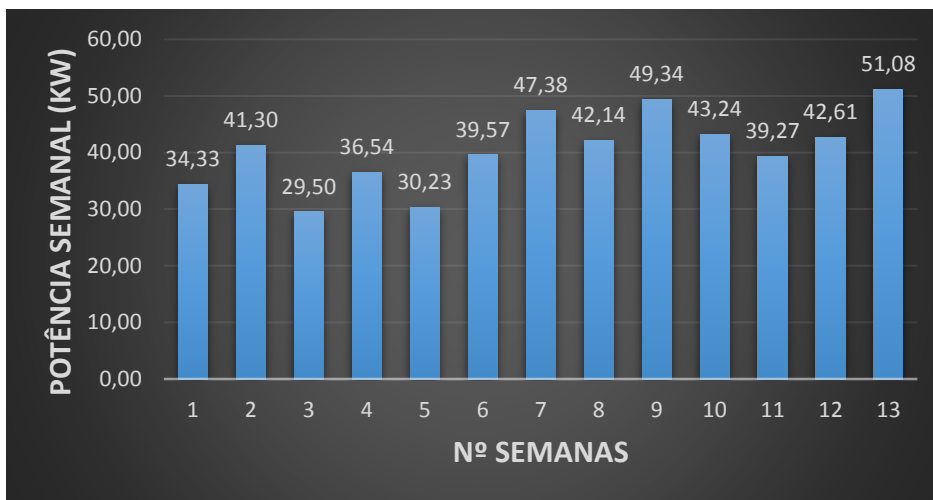


Figura 4.30 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Baía Cascais - Verão)

Outono



Figura 4.31 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Baía Cascais - Outono)

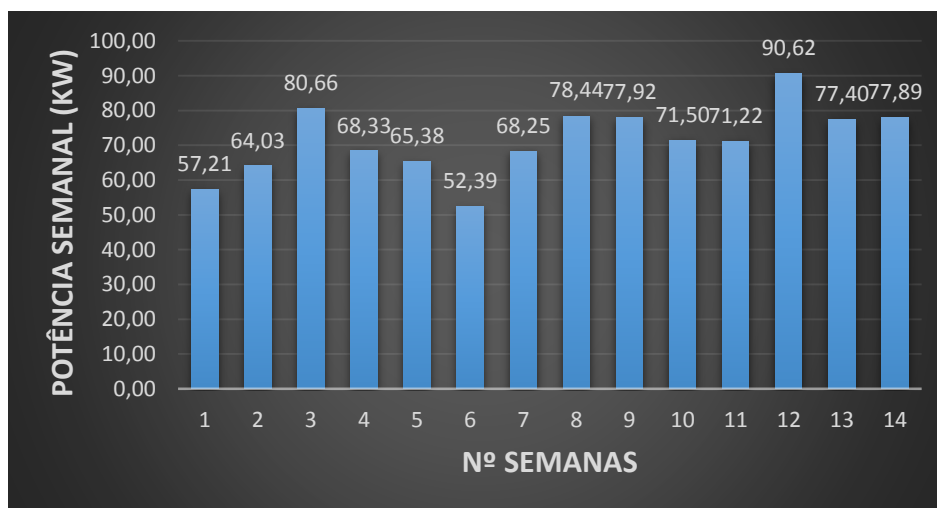


Figura 4.32 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Baía Cascais - Outono)

4.2.5 Costa da Galé

As Figuras 4.33, 4.35, 4.37 e 4.39 mostram as potências calculadas para o gerador linear planar e para a localização de Costa da Galé. As Figuras 4.34, 4.36, 4.38 e 4.40 apresentam os gráficos referentes às potências do gerador linear tubular para a mesma localização.

Na Costa da Galé, o local estudado mais a sul de Portugal, o período de onda situa-se entre 6s e 9s. Já em relação à sua altura de onda, varia com alguma evidência de estação para estação, sendo que no inverno a altura de onda é bastante constante na ordem dos 4m e na primavera situa-se entre os 2m e 3m; no outono encontra-se relativamente próximo dos 3m, sendo que, no verão baixa consideravelmente para entre os 1,5m e o 1m.

Analisando agora o acumulado de potências conseguido, verifica-se que no inverno as potências semanais apresentam disparidades entre elas ao longo das semanas, com valores de variação aproximadamente entre os 70 kW e os 110 kW (Figura 4.33 e Figura 4.34). A estação que regista menor produção, como já se sabe é o verão, e tal facto também é verificado nos gráficos, sendo neste caso o acumulado gerado no verão entre os 30 kW e os 50 kW, menos de metade do que se consegue produzir no inverno (Figura 4.35 e Figura 4.36). Na primavera, como verificado também no Cabo da Roca e na Baía de Cascais, verifica-se uma produção bastante boa no início da estação, na ordem dos 100 kW/90 kW, mas depois de algumas semanas cai significativamente para valores da ordem dos 40 kW/50 kW (Figura 4.37 e Figura 4.38). No outono os valores de produção variam entre 60 kW e os 90 kW, o que torna esta estação de boa produção, de uma forma mais ou menos consistente (Figura 4.39 e Figura 4.40).

Inverno

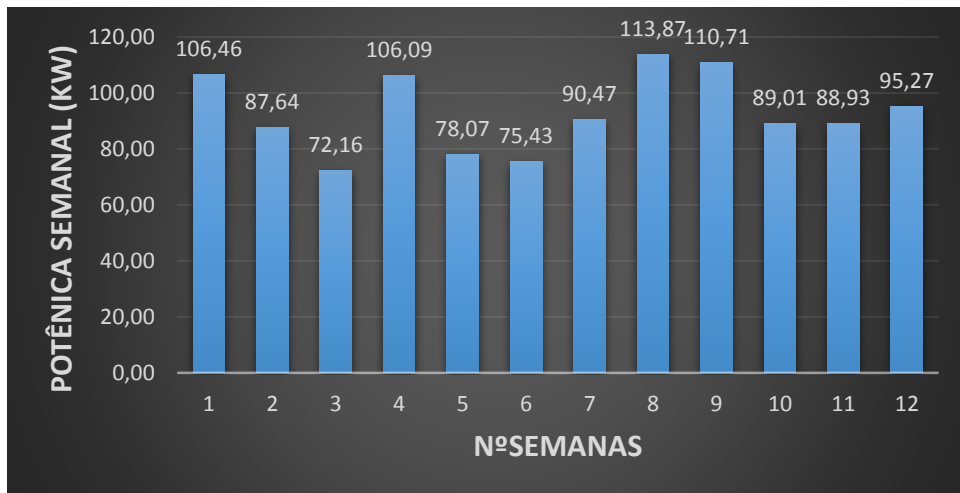


Figura 4.33 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Costa da Galé - Inverno)

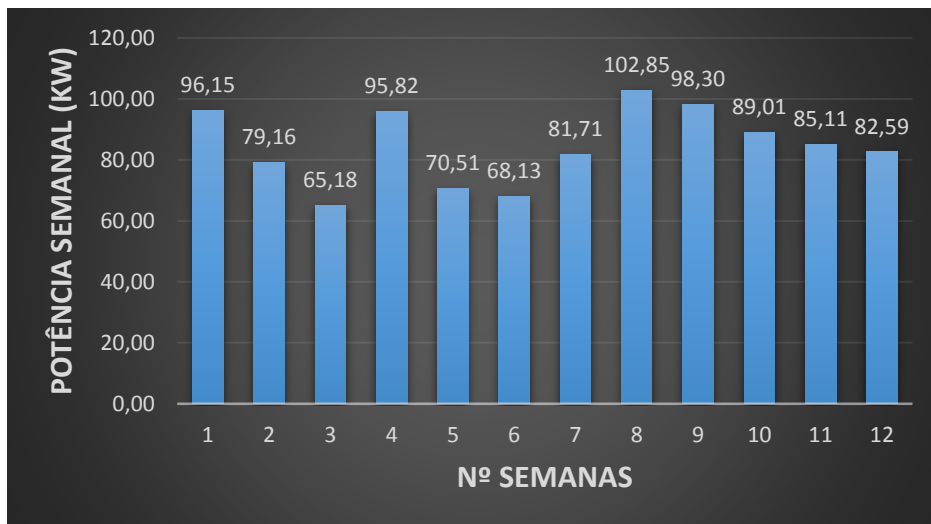


Figura 4.34 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Costa da Galé - Inverno)

Primavera

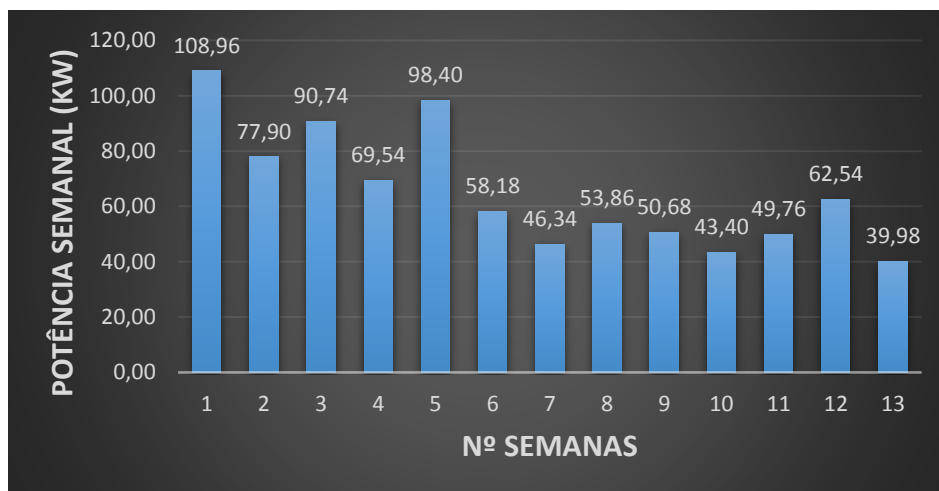


Figura 4.35 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Costa da Galé - Primavera)

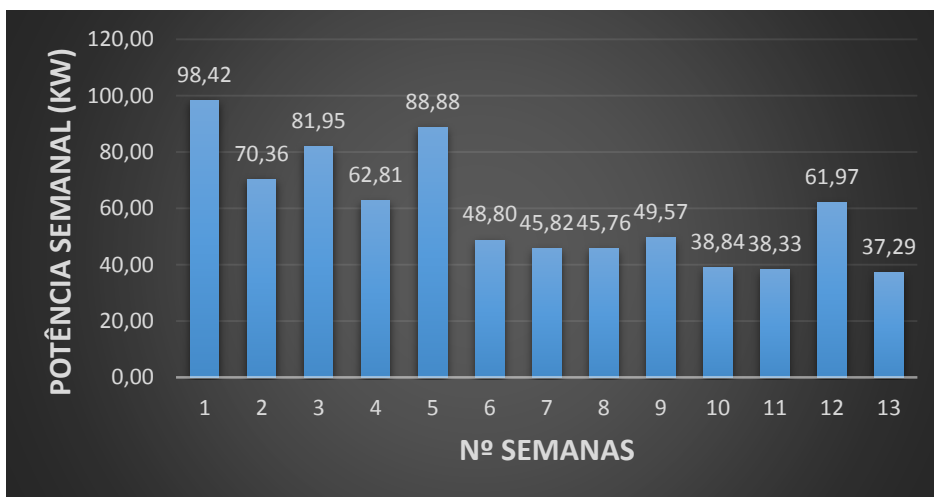


Figura 4.36 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular(Costa da Galé - Primavera)

Verão



Figura 4.37 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Costa da Galé - Verão)

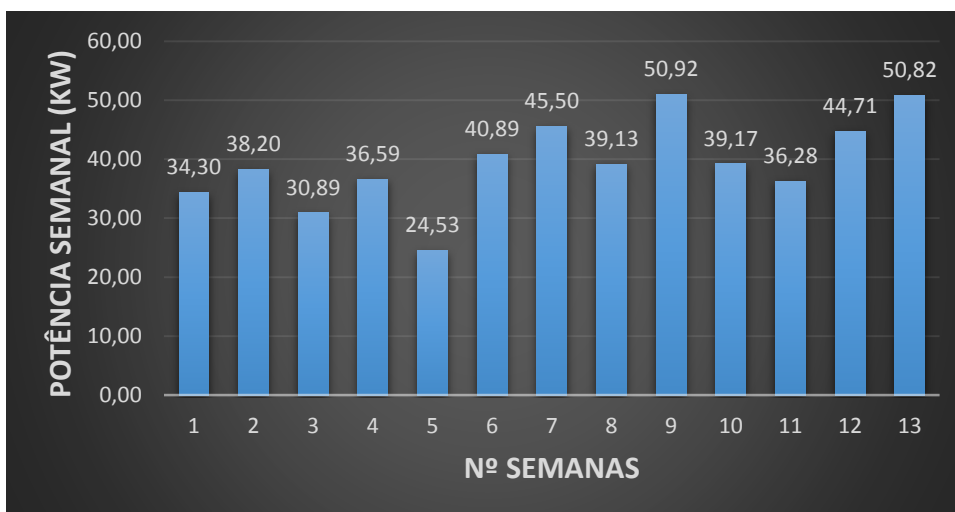


Figura 4.38 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Costa da Galé - Verão)

Outono

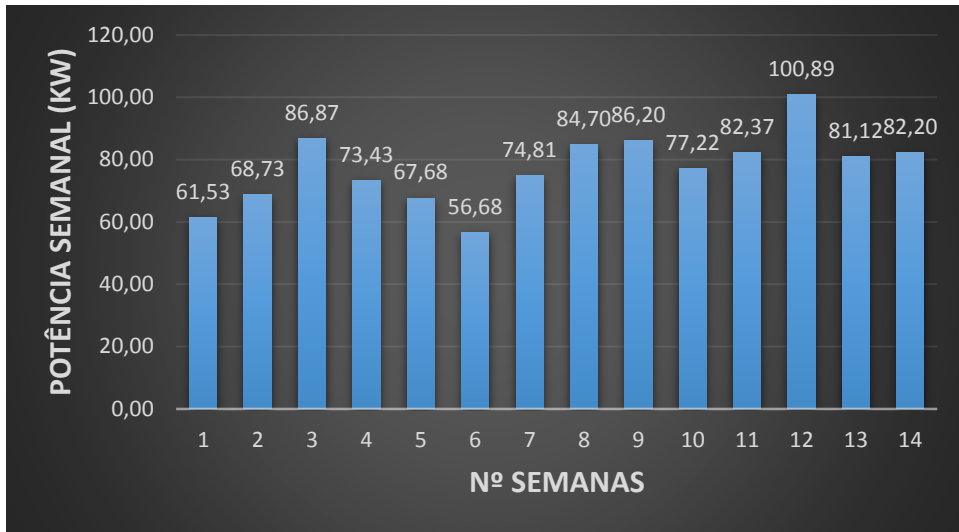


Figura 4.39 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC planar (Costa da Galé - Outono)

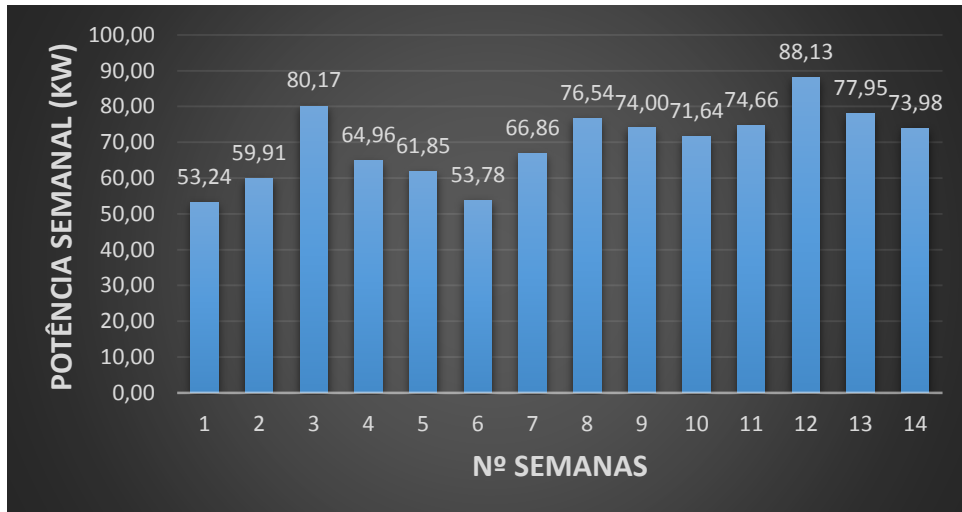


Figura 4.40 - Acumulados semanais de potência para o GLRVC tubular (Costa da Galé - Outono)

Capítulo 5

5 Entrega de energia à rede

5.1 Análise da rede eléctrica nacional

Um ponto fundamental para o desenvolvimento das tecnologias de conversão de energia das ondas é a proximidade e a existência de pontos de ligação à rede passíveis de receber a energia eléctrica produzida. O constante desenvolvimento das energias renováveis levou a um melhoramento da potência instalada e a ordenamento das redes de distribuição de energia. Para um melhor posicionamento dos pontos de recepção, tem de existir um trabalho conjunto entre as entidades instaladoras e a REN, para que não se cometam erros.

Como se consegue perceber pela imagem que a seguir se mostra (Figura 5.1), relativa ao ano de 2013, ou seja o ano que se encontra em estudo nesta dissertação, a Rede Eléctrica Nacional está muito bem distribuída por todo o território nacional, tendo maior predominância junto ao litoral, pois é a zona de Portugal mais desenvolvida em termos demográficos e industriais, e na qual o investimento é maior: É por isso natural existir uma maior rede de distribuição nessa zona.

Dado que os locais em estudo são todos na costa marítima portuguesa, todos esses locais estão próximos de locais onde é possível injectar a energia produzida na rede, como é possível visualizar na Figura 5.1 e que irá ser analisado em seguida.

Para o caso de Esposende é possível verificar que possui relativamente perto uma subestação de transformação em Vila Fria que possui uma tensão de projecto de 150 kV.

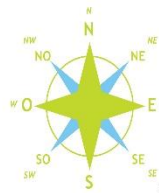
Relativamente a São Pedro de Moel, tem relativamente próximo na Batalha uma subestação de transformação de alta tensão, 400 kV onde seria possível injectar na rede a energia produzida através da energia das ondas.

Tanto Cabo da Roca como Baía de Cascais devido à proximidade geográfica, iriam fornecer energia á rede na mesma subestação de transformação que seria em Trajouce com tensão de projecto de 220 kV.

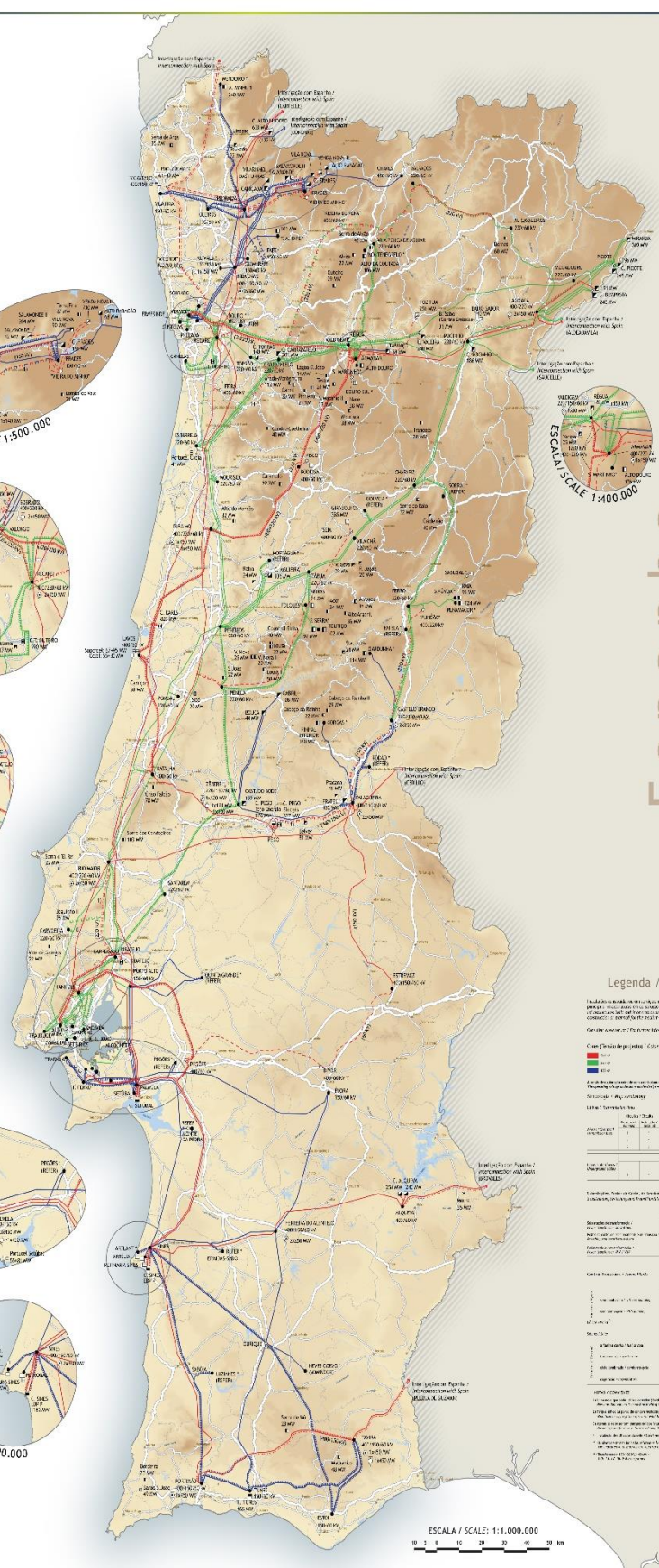
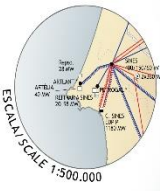
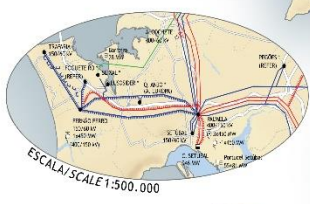
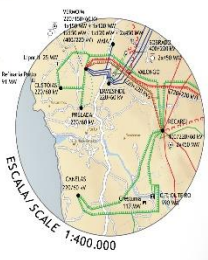
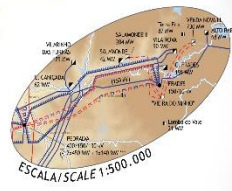
Por fim a produção da Costa da Galé é aquela em que se encontra mais distanciada de um ponto para injectar a produção de energia iria produzir, sendo que neste caso se optaria foi o fazer em Sines numa subestação com tensão de 400 kV.

Rede Nacional de Transporte de Eletricidade 2013 Portugal

A localização das subestações e o traçado das linhas são indicativos, não estando georreferenciados. The location of infrastructure and the layout of the lines are indicative, not being georeferenced.



Oceano Atlântico
Atlantic Ocean



Espanha
Spain

Legenda / Map key

1. A localização das subestações e o traçado das linhas são indicativos, não estando georreferenciados. The location of infrastructure and the layout of the lines are indicative, not being georeferenced.

2. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

3. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

4. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

5. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

6. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

7. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

8. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

9. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

10. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

11. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

12. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

13. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

14. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

15. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

16. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

17. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

18. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

19. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

20. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

21. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

22. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

23. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

24. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

25. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

26. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

27. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

28. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

29. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

30. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

31. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

32. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

33. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

34. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

35. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

36. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

37. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

38. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

39. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

40. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

41. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

42. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

43. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

44. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

45. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

46. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

47. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

48. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

49. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

50. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

51. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

52. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

53. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

54. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

55. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

56. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

57. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

58. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

59. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

60. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

61. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

62. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

63. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

64. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

65. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

66. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

67. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

68. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

69. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

70. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

71. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

72. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

73. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

74. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

75. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

76. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

77. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

78. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

79. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

80. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

81. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

82. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

83. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

84. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

85. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

86. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

87. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

88. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

89. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

90. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

91. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

92. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

93. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

94. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

95. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

96. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

97. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

98. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

99. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

100. O tipo de linha depende da tensão e da natureza da linha.

REN
REN-Rede Eléctrica Nacional, S.A.
Av. E.U.A., 55
1749-061 Lisboa
Tel. 21 001 3500
Fax 21 001 3100
www.ren.pt

norvia
CONSULTORES DE ENGENHARIA, S.A.
www.torvis.pt

Base Cartográfica cedida por ESRI Portugal.
Cartographic Base by courtesy of ESRI Portugal.

ESCALA / SCALE: 1:1.000.000
0 10 20 30 40 50 km

Figura 5.1 - Rede Eléctrica Nacional (2013) [23]

Capítulo 6

6 Conclusões

O desenvolvimento deste trabalho de Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electromecânica foi muito gratificante para mim, pois é um tema do qual sempre gostei, inserido na área das energias renováveis e da sustentabilidade energética: Este tema surgiu devido aos trabalhos realizados anteriormente nesta Universidade em anos anteriores, numa abordagem para dimensionamento de geradores lineares de energia das ondas do mar e como tal das características inerentes a esse estudo. Os trabalhos anteriores realizados na UBI abordaram o desenvolvimento de tecnologias de geração de energia das ondas, como já referido e demonstrado anteriormente, tendo como dados de dimensionamento dos conversores a informação meteorológica marítima, a altura e o período das ondas. Um outro trabalho complementou os seus antecessores estudando a problemática da direção de ataque das ondas nos dispositivos conversores e também as suas consequências na densidade de potência. Daí, e no seguimento destes estudos, surgiu a necessidade de determinar a a disponibilização de potência ao longo do ano em diferentes locais da costa portuguesa, e capaz de ser produzida pelos dispositivos dimensionados, de modo a poder-se estudar futuramente a sua viabilidade.

Como já dito, além do gosto pessoal pelas energias renováveis, um incentivo para realizar esta dissertação deve-se ao elevado aumento do consumo de energia verificado no país e no mundo, e à necessidade cada vez maior de se obter um peso da energia renovável face às energias a partir de combustíveis fósseis cada vez mais elevado. As fontes alternativas às fontes de energia convencionais assumem cada vez um papel mais importante devido também a questões ambientais, para além das económicas e de sustentabilidade energética.

A abordagem à energia das ondas é particularmente interessante pela sua potencialidade a nível mundial e, principalmente, porque o nosso país, geograficamente colocado entre as latitudes 30° e 60° onde se localizam as condições favoráveis à extração de energia das ondas, é detentor de uma considerável zona exclusiva marítima e de uma costa de grande extensão e potencialidade

Para a realização deste trabalho foi necessário conhecer alguns aspetos sobre esta energia, como por exemplo conhecer as condicionantes existentes e as variáveis que estão envolvidas na sua caracterização.

Também foi necessário conhecer e analisar os geradores já dimensionados e utilizados na geração de energia. Para tal, foi necessário analisar duas dissertações anteriores a esta dissertação, como foi mostrado no capítulo 3.

Numa fase posterior, e tendo como base os geradores já dimensionados, recorreu-se a folhas de cálculo do programa *Microsoft Office Excel* e à ferramenta das funções, para aplicar o modelo matemático que permite o cálculo das disponibilidades de potência, em função do comportamento electromecânico dos geradores e das condições meteorológicas em diferentes locais da costa portuguesa. Os resultados obtidos desse estudo foram apresentados graficamente para a necessária visualização e compreensão das disponibilidades de potência. Os gráficos obtidos, que por uma questão de simplicidade foram também gerados no programa *Microsoft Office Excel*, foram mostrados no capítulo 4.

Num sub-capítulo do capítulo 4 apresentaram-se algumas considerações gerais dos valores fornecidos pelo IPMA sobre cada local estudado e fez-se uma observação dos gráficos apresentados para cada localização. Através da análise dos resultados e da observação dos gráficos obtidos, concluiu-se acerca das diferenças de funcionamento e de aplicabilidade de cada um dos dispositivos de conversão projectados.

Nesta dissertação ficou perceptível que Portugal oferece condições para a exploração do recurso energético das ondas do mar muito interessantes e promissoras, ao longo de praticamente toda a sua costa, tendo-se verificado essa apetência em todos os cinco locais estudados, de acordo com os dados fornecidos pelo IPMA.

Embora os cinco locais sejam semelhantes no que concerne à produção de energia, os que se afiguram mais promissores são Esposende, Cabo da Roca e Baía de Cascais, mas São Pedro de Moel e Costa da Galé aproximam-se bastante em termos de potencial energético.

Analisando a potencialidade energética de produção por estações é claramente visível pelos gráficos apresentados no capítulo 4, que as estações do ano que produzem mais são claramente o Inverno e o Outono. As estações com menor potencial são a Primavera e o Verão, com a excepção de Esposende, onde a Primavera também se mostrou ser uma boa estação para produzir energia.

Com os dados obtidos podemos concluir que considerando só estes cinco locais estudados para a extracção de energia das ondas, se se fizer um investimento e a colocação de vários geradores do tipo que foram estudados, o acumulado total de todos eles iria possibilitar uma grande produção de energia eléctrica que poderia ser entregue à nossa rede nacional e iria constituir uma boa parte da energia total consumida.

Também se conclui que para o estudo em causa, ou seja o estudo da costa Portuguesa, a nossa rede elétrica nacional possui uma boa distribuição de linhas de transporte e de distribuição junto à mesma, o que constitui uma mais valia para a exploração do recurso das ondas do mar, pois não iria existir grandes dificuldades em injectar a energia produzida na rede de modo a ser consumida.

Concluindo tudo o que já foi dito, Portugal é um país com enorme potencialidade para o aproveitamento das energias renováveis, e neste caso concreto da energia das ondas, onde com o necessário investimento poder-se-ia obter um retorno muitíssimo importante para o país.

Bibliografia

- [1] P. Mateus, Conceção de Módulo Didático para o Ensino de Energias Renováveis, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2012.
- [2] J. Sierra, C. Mösso e D. González-Marco, Wave energy resource assesment in Menorca (Spain), *Renewable Energy*, 2013.
- [3] E. Commission, “Setis, European Comission,” 8 11 2013. [Online]. Available: <http://setis.ec.europa.eu/publications/technology-information-sheets/ocean-wave-energy-technology-information-sheet>.
- [4] A. Clément, P. McCullen, A. Falcão, A. Fiorentino, F. Gardner, K. Hammarlund, G. Lemonis, L. Tony, K. Nielsen, S. Petroncini, M. T. Pontes, P. Schild, B.-O. Sjostrom, H. Sorensen e T. Thorpe, *Wave energy in Europe: current status and prespectives*, Pergamon, 2002.
- [5] Google, Google Earth, 2015.
- [6] Robert G. Dean, Robert A. Dalrymple, *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*: World Scientific Publishing, 1991.
- [7] R. M. Sorensen, *Basic Coastal Engineering*: Springer Science + Business, Inc., 2006.
- [8] Pontes, M.T, Falcão, A.F. (2001), "Ocean Energies: Resources and Utilisation", 18th World Energy Conference, Buenos Aires, Argentina.
- [9] Mollison D, Pontes MT. Assessing the Portuguese wave-power resource. *Energy*, 17. Pergamon Press, 1992 pp. 255-268.
- [10] J. M. B. P. Cruz e A. J. N. A. Sarmiento, *Energia das Ondas: Introdução aos aspectos tecnológicos, económicos e ambientais*, Alfragide: Instituto do Ambiente, 2004.
- [11] Pontes, M.T., Athanassoulis, G.A., Barstow, S., Bertotti, L., Cavaleri, L., Holmes, B., Molisson, D. & Oliveira-Pires, H. (1998), "The European Wave Energy Resource", 3rd European Wave Energy Conference, Patras, Greece.
- [12] C. f. R. E. S. (CRES), *Wave energy Utilization in Europe*, 2002.
- [13] “Manual Para Jornalistas”, Serviço de Informação e Relações Publicas (SIRP), Marinha Portuguesa 2005.

- [14] Marinha Portuguesa (9-03-2011). Portugal, uma nação marítima. Available: <http://ema.marinha.pt/PT/Documents>.
- [15] “Potencial e Estratégia de desenvolvimento da energia das ondas em Portugal”, Relatório elaborado pelo WAVE ENERGY CENTRE - CENTRO DE ENERGIA DAS ONDAS, 2004.
- [16] Wave Energy Centre, Potential and Strategy for the Development of Wave Energy in Portugal.
- [17] A. Falcão, A. Sarmento, G. Luís, M. T. Pontes, P. Justino e A. Brito e Melo, “Potencial e Estratégia de desenvolvimento da energia das ondas em Portugal,” Wave Energy Centre - Centro de Energia das Ondas, 2004.
- [18] E. Community, “Overview of the work of the European Thematic Network on Wave Energy,” Wavenet, Março 2003.
- [19] N. J. Baker, et al., “Permanent magnet air-cored tubular linear generator for marine energy converters,” in Power Electronics, Machines and Drives, 2004. (PEMD 2004). Second International Conference on (Conf. Publ. No. 498), 2004, pp. 862-867 Vol.2.
- [20] P. Godinho, Energia das Ondas, Desenvolvimento de uma tecnologia de geração (Gerador Planar), Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2010.
- [21] R. Mendes, Energia das Ondas, desenvolvimento de uma tecnologia de geração (Gerador Tubular), Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2011.
- [22] Microsoft Office Excel, Microsoft, Copyright 2013.
- [23] Centro de informação Técnica, Redes Energéticas Nacionais, 2013.