

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**FEUP**

## **Avaliação Regional do Potencial Mini-Hídrico Através de Sistemas de Informação Geográfica**

Sérgio Joaquim Correia de Bessa Cerdeira

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Prof. Doutor Cláudio Monteiro

Julho de 2010

© Sérgio Joaquim Correia de Bessa Cerdeira, 2010

A Dissertação intitulada

**“AVALIAÇÃO REGIONAL DO POTENCIAL MINI-HÍDRICO ATRAVÉS DE  
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA”**

foi aprovada em provas realizadas em 21/Julho/2010

o júri

Presidente Professor Doutor Carlos Coelho Leal Monteiro Moreira

Professor Auxiliar Convocado do Departamento de Engenharias  
Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da  
Universidade do Porto



Professor Doutor Nuno Afonso Moreira

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias II da Universidade  
de Trás-os-Montes e Alto Douro

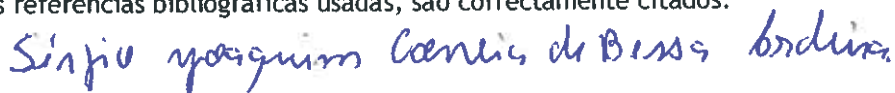


Professor Doutor Claudio Domingos Martins Monteiro

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de  
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é  
da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não  
explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros  
extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e  
demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados.



Autor - Sérgio Joaquim Correia Bessa Cerdeira



# Resumo

Dos recursos renováveis que Portugal ainda pode ser aproveitados, a tecnologia das Centrais Mini-Hídricas é uma aposta a seguir.

Todos os recursos renováveis são de difícil quantificação, principalmente as Centrais Mini-Hídricas, pois as centrais dependem de vários factores como a altura de queda de água, o caudal do próprio rio que está directamente relacionada com a área da bacia hidrográfica, da quantidade de precipitação e da capacidade de escorregamento e retenção de água nos solos subterrâneos.

Este trabalho estudará as principais características para a produção de energia eléctrica através de Centrais Mini-Hídricas, como a análise Hidrológica, da Altimetria e desenvolver o modelo para avaliar o potencial Mini-Hídrico por explorar em Portugal Continental.

Através dos Sistemas de Informação Geográfica foi possível a análise das principais características e avaliar as centrais já existentes.

Palavras-Chave: Centrais Mini-Hídricas, Sistema de informação Geográfica, Precipitação no Território Nacional, Análise Altimétrica



# Abstract

Renewable resources that Portugal can still be recovered, the technology of small scale hydro is a bet to follow.

All renewable resources are difficult to quantify, mainly small scale hydro, as the center depends on various factors like the drop of water, the flow of the river itself which is directly related to the watershed, the amount of precipitation and the ability to slip and water retention in the soil underground.

This paper will examine the main characteristics for the production of electricity through small scale hydro, as the analysis and Hydrologic Altimetry and develop a model to assess the potential Mini Water unexplored in mainland Portugal.

Through the System of Geographical Information Systems was possible to analyze the main features and evaluate the existing plants.

Keywords: Small Scale Hydro, Geographic Information System, Precipitation within the country, Analysis Altimetric.



# Agradecimentos

Quero agradecer em primeiro lugar à minha família pelo enorme esforço, carinho e apreço que detiveram para possibilitar a concretização deste importante objectivo, mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador, Professor Doutor Cláudio Monteiro, pelo seu apoio contínuo e incansável na orientação e pelos seus conselhos prestados para o desenvolvimento deste trabalho.

Quero agradecer à minha colega Andrean Schaan pela sua enorme ajuda na troca de ideias e a disponibilidade de comunicar através da Internet, uma vez que se encontrava em Espanha a desenvolver o mesmo tema.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pelo conhecimento que me facultado e transmitido, pelas oportunidades e condições que me proporcionou.

A todas as pessoas que conheci durante o meu percurso académico, dentro e fora da faculdade.

A todos os meus amigos.

# Índice

Resumo .....	iii
Abstract .....	v
Agradecimentos .....	vii
Índice .....	viii
Lista de figuras .....	x
Lista de tabelas .....	xii
Abreviaturas e Símbolos .....	xiii
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
Introdução .....	1
1.1 - Enquadramento .....	1
1.2 - Caracterização Energética Nacional .....	2
1.2.1 - O contexto ambiental .....	4
1.2.2 - Benefícios da Energia Hidroeléctrica .....	5
1.2.2.1 - Benefícios Ambientais .....	5
1.2.2.2 - Benefícios Sócios - Económicos .....	5
1.2.3 - Impactos Ambientais .....	6
1.2.3.1 - Fase de Construção .....	6
1.2.3.2 - Fase de Exploração .....	6
1.3 - Motivação .....	6
1.4 - Objectivos .....	8
1.5 - Estruturação da Dissertação .....	8
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>11</b>
Estado da Arte .....	11
2.1 - Mini-Hídricas .....	11
2.1.1 - Um interesse recuperado .....	12
2.1.2 - Situação em Portugal .....	13
2.1.3 - Exploração das Mini-Hídricas .....	14
2.1.4 - Interdependência e Capacidade de Regularização .....	15
2.1.5 - Motivação .....	15
2.1.6 - Classificação das Centrais Mini-Hídricas .....	16
2.1.6.1 - Classificação relativamente à Potência .....	16
2.1.6.2 - Classificação relativamente à Queda .....	16
2.1.6.3 - Classificação relativamente ao Caudal .....	17

2.1.6.4 - Classificação à capacidade de armazenamento .....	17
2.1.7 - Composição de uma Mini-Hídrica .....	18
2.1.7.1 - Albufeira.....	19
2.1.7.2 - Canal de adução.....	20
2.1.7.3 - Câmara de Carga .....	20
2.1.7.4 - Conduto Forçada .....	21
2.1.7.5 - Edifício Central .....	22
2.1.7.5.1 - Tipo de turbinas .....	23
2.1.7.5.1.1 - Turbina de Francis .....	25
2.1.7.5.1.2 - Turbinas de Kaplan e de Hélice .....	26
2.1.7.5.1.3 - Turbina Pelton .....	27
2.1.7.5.1.4 - Turbina de Banki-Mitchell.....	28
2.1.7.5.2 - Escolha do Gerador .....	28
2.1.7.6 - Restituição da água .....	30
2.1.7.7 - Caudal ecológico .....	30
2.1.8 - Potência a instalar .....	30
2.1.9 - Outras Configurações .....	32
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>33</b>
Análise Hidrológica .....	33
3.1 - Diversos tipos de Precipitação no Território Nacional .....	33
3.2 - Território Nacional .....	33
3.3 - Medição da Precipitação no Território Nacional .....	34
3.4 - Precipitação no Território Nacional.....	35
3.5 - Evapotranspiração Real .....	41
3.6 - Localização das Centrais Mini-Hídricas .....	43
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>47</b>
Análise de Altimetria.....	47
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>57</b>
Análise dos Solos e as Áreas Protegidas .....	57
5.1 - Distribuição de tipos de solos .....	57
5.2 - Áreas Protegidas .....	59
<b>Capítulo 6 .....</b>	<b>63</b>
Potencial Mini-Hídrico .....	63
<b>Capítulo 7 .....</b>	<b>65</b>
Conclusões e Trabalhos Futuros .....	65
7.1 - Conclusões Gerais.....	65
7.2 - Trabalhos Futuros.....	66
<b>Referências.....</b>	<b>67</b>

# Lista de figuras

Figura 1.1 -Evolução do consumo de energia Primária em Portugal [7]. .....	2
Figura 1.2 -Energia eléctrica produzida através de FER em Portugal no ano 2007 [7]. .....	3
Figura 1.3 - Consumo de Energia Final por Sector em Portugal no ano 2007 [7]. .....	3
Figura 1.4 -Previsão da produção de energia eléctrica até 2040, utilizando as diferentes tecnologias [8].....	7
Figura 1.5 -Potencial Hídrico não aproveitado Vs Dependência energética externa[29].....	7
Figura 2.1 - O percurso necessário para produção da energia eléctrica. ....	11
Figura 2.2 -Aproveitamento do Potencial Hídrico [1].....	13
Figura 2.3 - Potencial Hídrico Aproveitado e Disponível nos países da Europa [7].....	14
Figura 2.4 -Principais elementos de uma Central Mini-Hídrica [4]. ....	18
Figura 2.5 - Albufeira da Póvoa situada no concelho de Castelo de Vide [14].....	19
Figura 2.6 -Canal de adução de uma Cenntal Mini-hídrica [4]. ....	20
Figura 2.7 - Câmara de carga de uma Central Mini-Hídrica [17]. ....	21
Figura 2.8 -Conduta forçada de uma Central Mini-Hídrica [4].....	22
Figura 2.9 - Edificio principal de uma Central Mini-Hídrica [4]. ....	23
Figura 2.10 -Seleccção da melhor turbina em função da altura de queda e do caudal [5,13]. ....	24
Figura 2.11 - Andamento típico das curvas de rendimento para diferentes tipos de turbinas [6]. ....	25
Figura 2.12 - Turbina de Francis [3,11]. ....	26
Figura 2.13 - Turbina de Kaplan e de hélice [3,11]. ....	27
Figura 2.14 - Turbina de Pelton [3].....	27
Figura 2.15 - Turbina de Banki-Mitchell [3]. ....	28

Figura 3.1 -Udógrafo e o seu esquema representativo [20].	34
Figura 3.2 -Precipitação Total Anual do Território Nacional.	35
Figura 3.3 -Separação e Selecção da Precipitação Total Anual do Território Nacional.	36
Figura 3.4 -Número de dias por ano com Precipitação no Território Nacional.	37
Figura 3.5 -Selecção do número de dias por ano com Precipitação no Território Nacional.	38
Figura 3.6 -Curva de caudais cronológicos [22].	40
Figura 3.7 -Curva de caudais Classificados [22].	40
Figura 3.8 -Curva de duração de caudais [23].	41
Figura 3.9 -Evapotranspiração Real no Território Nacional.	42
Figura 3.10 -Quantidade de diferentes tipos de aproveitamento em percentagem	43
Figura 3.11 -Localização das Centrais Mini-Hídricas no Território Nacional.	45
Figura 4.1 -Aparelho para a medição da altimetria	48
Figura 4.2 -Mapa de altimetria de Portugal Continental	49
Figura 4.3 - Mapa de altimetria de Portugal Continental [25].	49
Figura 4.4 -Representação de todas as curvas de nível em Portugal Continental.	50
Figura 4.5 - Representação das curvas de nível mais baixas em Portugal Continental.	51
Figura 4.6 - Representação das curvas de nível intermédias em Portugal Continental.	52
Figura 4.7 - Representação das curvas de nível mais altas em Portugal Continental	53
Figura 4.8 - Classes Hipsométricas com as Centrais Mini-Hídricas	54
Figura 5.1 - Distribuição de tipo de solos [26]	58
Figura 5.2 - Áreas Protegidas em Portugal Continental [26]	60
Figura 5.3 - Áreas Protegidas em Portugal Continental e as Centrais Mini-Hídricas	61
Figura 6.1 - Divisão por distritos do Potencial por explorar em Portugal	64

## Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Potencialidade de expansão dos P.A.H em Portugal [3]. .....	14
Tabela 2.2 – Classificação das Centrais Mini-Hídricas relativamente à Potência [3]. .....	16
Tabela 2.3 – Classificação das Centrais Mini-Hídricas relativamente à altura de queda [3]... ..	16
Tabela 2.4 – Classificação das Centrais Mini-Hídricas relativamente ao Caudal médio [3]. ...	17
Tabela 2.5 – Classificação das Centrais Mini-Hídricas relativamente à capacidade de armazenamento [3]. .....	18
Tabela 2.6 – Classificação das turbinas. ....	23
Tabela 2.7 – Escolha da turbina em função da queda de água. ....	24

# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

DGGE	Direcção Geral de Energia e Geologia
EDP	Energias de Portugal
FER	Fontes de Energias Renováveis
REN	Rede Eléctrica Nacional
GIS	<i>Geographic information system</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
IPCC	Painel Internacional sobre as Alterações Climáticas
UNIPEDE	União Internacional dos Produtores e Distribuidores de Energia Eléctrica

## Lista de símbolos

%	Percentagem
°	Graus
A	Área do distrito
$A_b$	Área da bacia Hidrográfica
$A_{\text{bacia}}$	Área da bacia Hidrográfica
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
cm	Centímetros
$E_{\text{vap}}$	Evapotranspiração
$F_u$	Factor de utilização
g	Aceleração da gravidade
$H_{\text{méd}}$	Queda média por Distrito
$H_{\text{bmáx}}$	Altura da queda bruta máxima
$H_u$	Altura queda útil
$H_b$	Altura da queda bruta
H	Altura bruta de queda

$I_{fil}$	Infiltração
$KN/m^3$	KiloNewton por metro cúbico
$Ktep$	Quilo-Toneladas Equivalentes de Petróleo
$KW$	Kilowatt
$Km$	Quilómetro
$MW$	Megawatt
$MVA$	Mega Volt Ampere
$m$	Metro
$m^3/s$	Metro cúbico por segundo
$m^3$	Metro cúbico
$mm$	Unidade de Pluviosidade (equivalente ao litro)
$N/m^3$	Newton por metro cúbico
$N$	Meridiano da latitude
$P_{inst.}$	Potência Instalada
$P_{expl}$	Potência já em Exploração
$P_{recp}$	Precipitação
$P_{luv}$	Pluviosidade
$Q_e$	Caudal ecológico
$Q_{mod}$	Caudal modular
$Q_i$	Caudal instalado
$Q$	Caudal
$Q_{máx}$	Caudal Máximo
$Q_{ch}$	Caudal de Cheias
$Q_{min}$	Caudal Mínimo
$r.p.m$	Rotações por minuto
$TWh$	Terawatts-hora
$TWh/ano$	Terawatts-hora por ano
$t$	tempo
$W$	Meridiano da longitude
$XX$	Século 20
$\delta E$	Varição da energia do sistema
$\delta t$	Intervalo de tempo
$\delta E_p$	Varição da Energia Potencial
$\eta$	Eficiência do sistema
$\rho$	Densidade da água
$^{\circ}C$	Graus Célsius

# Capítulo 1

## Introdução

Esta dissertação foi realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Neste trabalho de dissertação será realizado um trabalho abrangente sobre a Avaliação Regional do Potencial Mini-Hídrico através de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) em Portugal.

Este capítulo apresenta uma visão da temática e define quais os objectivos e motivações inerentes à sua realização. No final do capítulo apresenta-se uma breve explicação da organização estrutural da dissertação.

A utilização da água como força motriz para produção de energia eléctrica iniciou-se em Portugal na última década do século XIX, sendo desenvolvida na forma inicial de forma espontânea, pela necessidade de alimentar as pequenas instalações de iluminação pública e pequenas indústrias [3].

### 1.1 - Enquadramento

A produção de energia por métodos não renováveis é um dos pontos críticos relacionados com a libertação de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera. A utilização massiva de combustíveis fósseis na produção convencional de energia aumenta o dramático efeito de estufa. A evolução no último século da distribuição energética chegou a um ponto tal que o acesso à energia pela rede parece-nos um serviço tão imediato e fácil que perdemos a noção do seu verdadeiro custo atendendo aos danos causados. Uma das soluções passa pela redução drástica das fontes produtoras de energia através das tecnologias emergentes, as energias renováveis, nomeadamente a produção de energia através dos aproveitamentos de água.

O aproveitamento dos cursos de água para a produção de energia eléctrica, pode ser aproveitado pelas Mini-Hídricas, que são constituídos por pequenos açudes ou barragens, que desviam uma parte do caudal do rio, restituindo ao rio num local desnivelado, de modo a aumentar a rentabilidade da produção de energia mecânica em electricidade.

## 1.2 - Caracterização Energética Nacional

Portugal é um país com escassos recursos energéticos próprios, nomeadamente aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos, como o petróleo, o carvão e o gás. Tal situação de escassez conduz a uma elevada dependência energética do exterior, nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil. Por isso e pelas questões ambientais é importante aumentar a contribuição das energias renováveis: hídrica, eólica, solar, geotérmica e de biogás [14].

A figura seguinte mostra a evolução do consumo de energia primária em Portugal, no período 1996-2007.

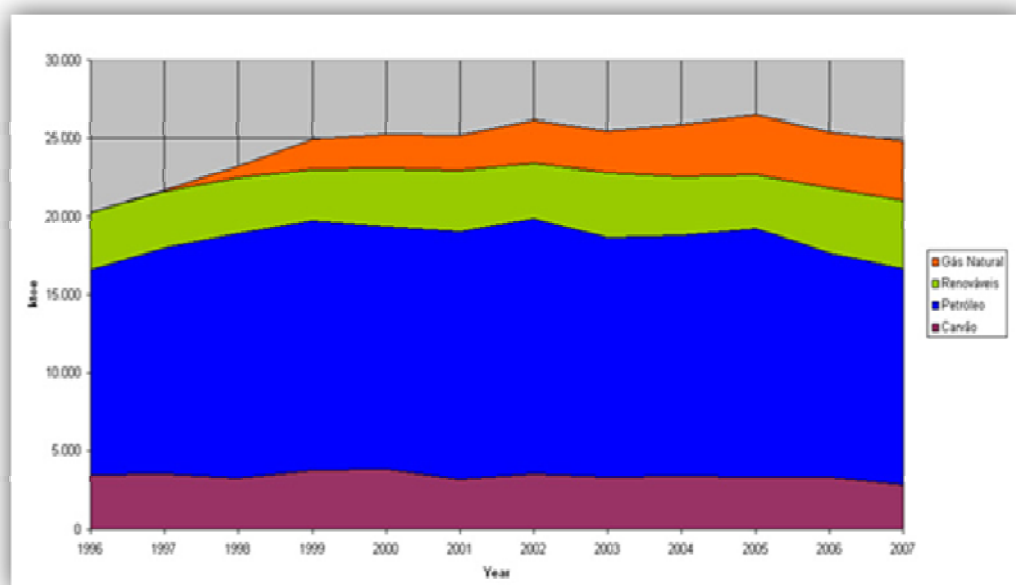


Figura 1.1 - Evolução do consumo de energia Primária em Portugal[14].

A energia primária que tem grande relevo é o petróleo onde se pode verificar na figura 1.1 que está assinalada com a cor azul, que desempenha um papel importante na estrutura de abastecimento, representando 54% do consumo total de energia primária em 2007. O consumo de carvão se mantém quase estável, cerca de 11% do total do consumo de energia primária e prevê-se uma redução progressiva do peso do carvão na produção de electricidade, devido ao seu impacto nas emissões de CO<sub>2</sub>. O gás natural contribui para diversificar a estrutura da oferta de energia e reduzir a dependência exterior em relação ao petróleo, representando um contributo cerca de 15% do total do consumo de energia primária. A restante parcela de 20% do total do consumo em energia primária são provenientes de tecnologias renováveis. É evidente o crescimento da potência instalada através de fontes de energias renováveis (FER) nos últimos anos.

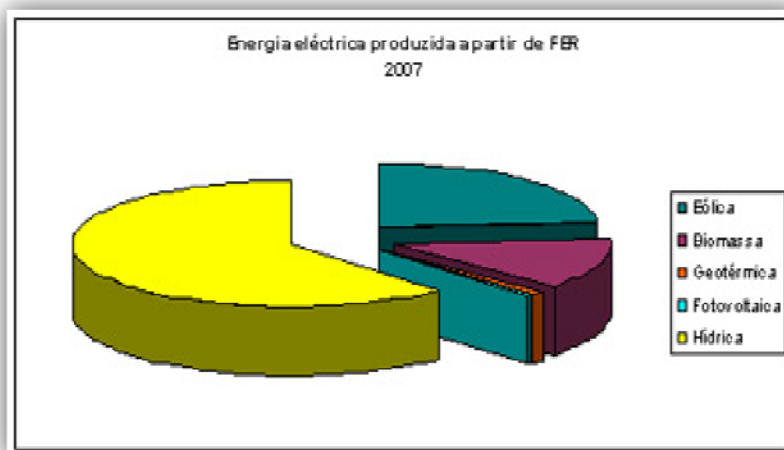


Figura 1.2 - Energia eléctrica produzida através de FER em Portugal em 2007 [14].

Em 2007 o contributo da produção de energia eléctrica através das tecnologias renováveis continha uma potência instalado de 7645MW, sendo 4883MW com a tecnologia da hídrica, 507MW em biomassa, 2201 MW em eólica, 30MW em geotérmica e 24 MW em fotovoltaica. Tendo sido produzidos 16861 GWh de energia eléctrica através de FER [14].

Analisando agora o consumo de energia final por sectores do ano de 2007, atingindo o valor de 18695 Ktep (Quilo-Toneladas Equivalentes de Petróleo), tendo-se verificado uma redução de 2,1% face a 2006. Registou-se uma diminuição do consumo de 7,1% de petróleo, um aumento de 5,9% de gás natural e de 3,3% em electricidade [14].

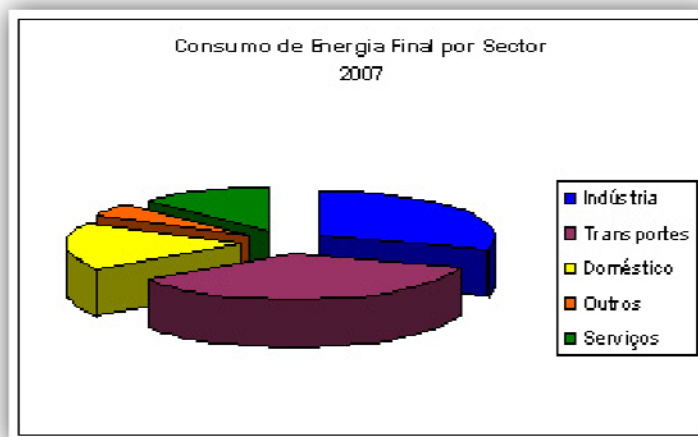


Figura 1.3 - Consumo de Energia Final por Sector em Portugal em 2007 [14].

Em 2007, o peso do consumo dos principais sectores de actividade económica relativamente ao consumo final de energia foi de 29,2% na Indústria, 36,4% nos Transportes, 17,1% no Doméstico, 12,2% nos Serviços e 5,1% nos outros sectores, onde se inclui a

Agricultura, Pescas, Construção e Obras Públicas. Verifica-se assim uma forte incidência nos sectores de Indústria e Transportes no consumo de energia final.

### 1.2.1 - O contexto ambiental

Durante o último século, a temperatura média do ar à superfície aumentou 0,74°C globalmente e quase 1°C na Europa, o que constitui um aquecimento excepcionalmente rápido. De facto, o século XX foi o século mais quente de sempre e nos anos 90 foram a década mais quente dos últimos 1000 anos. Esta tendência de aquecimento continua no presente século: os 11 anos mais quentes de que há registo, ocorreram todos nos últimos 12 anos. O Painel Internacional sobre as Alterações Climáticas (IPCC), um organismo das Nações Unidas, que junta milhares de peritos em clima de todo o mundo, prevê que a temperatura global média aumentará entre 1,8 e 4 °C e no pior dos cenários de 6,4°C até 2100, a não ser que se tomem medidas para limitar as emissões dos gases de efeito de estufa.

Actualmente as alterações climáticas já apresentam impactos muito visíveis, desde os aumentos na temperatura, à subida dos níveis do mar em resultado da fusão das calotes polares, das tempestades e inundações mais frequentes. Se nada for feito, a mudança do clima provocará danos com custos crescentes, perturbando o funcionamento do meio ambiente, que nos fornece alimento, matérias-primas e outros recursos vitais. Estas alterações terão um impacto negativo nas nossas economias e poderão modificar as nossas sociedades em todo o mundo.

As alterações climáticas segundo[18] apresentam já vários impactos visíveis:

- Derretimento das calotes polares: A área de mar coberta por gelo ártico no Pólo Norte diminuiu em 10% nas últimas décadas e a espessura do gelo sobre a água diminuiu cerca de 40%. No outro lado do mundo, as partes da plataforma de gelo do continente Antártico tornaram-se instáveis.
- Recuo dos glaciares: É provável que 75% dos glaciares nos Alpes Suíços desapareçam até 2050.
- Subida do nível do mar: Ao longo do último século, o nível do mar aumentou entre 12 e 22 cm e prevê-se que aumente ainda mais rapidamente no futuro.
- Condições atmosféricas extremas: Na última década, verificaram-se três vezes mais catástrofes naturais relacionadas com o clima no mundo, do que nos anos 60 do século XX, incluindo ondas de calor, inundações, secas e incêndios florestais. Todos estes tipos de inventos têm grandes custos humanos e económicos.
- Natureza ameaçada: Muitos animais e plantas não conseguirão suportar as altas temperaturas e as alterações nos seus habitats naturais.

As fontes renováveis de energia são por natureza formas de energia limpas, não poluentes que constituem recursos virtualmente inesgotáveis, uma vez que se regeneram naturalmente e permanente que na qual representa um grande papel nas políticas energéticas dos países industrializados, tornando assim um instrumento fundamental para um desenvolvimento sustentável.

Apesar de a electricidade ser um bem essencial na nossa sociedade, as formas tradicionais de produção desta energia estão entre os grandes contribuintes para o aquecimento global da Terra, devido às emissões de gases que aumentam o efeito de estufa na atmosfera, principalmente o CO<sub>2</sub> [2].

## 1.2.2 - Benefícios da Energia Hidroeléctrica

A energia hidroeléctrica possui antes de mais os benefícios ambientais, porque utiliza a água para a produção de electricidade, é um recurso renovável e que não emite os gases de efeito de estufa como acontece nos sistemas convencionais de produção de energia eléctrica, que utilizam o petróleo e o carvão nas centrais termoeléctricas a que estão associadas à grande libertação desses gases.

### 1.2.2.1 - Benefícios Ambientais

Portugal pertence à União Europeia e que juntamente com estados membros assinou o Protocolo de Quioto que visa a longo prazo agir contra as alterações climáticas. O Protocolo de Quioto estabelece que até 2020 de reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa, melhorar em 20% a eficiência e aumentar para 20% a quota-parte de energias renováveis no consumo energético tendo como a referência o ano de 1998. O Protocolo é conhecido pela regra de 20/20/20.

Os aproveitamentos hidroeléctricos é uma tecnologia a apostar devido à inexistência de resíduos, não emitem gases de efeito de estufa, permitindo assim a redução de emissões de CO<sub>2</sub> e o cumprimento o Protocolo de Quioto [2].

### 1.2.2.2 - Benefícios Sócios - Económicos

Os benefícios Sócios - Económicos na construção do aproveitamento de água não é só a produção de energia eléctrica. Estes aproveitamentos permitem o abastecimento das populações de água para as povoações que estão perto deste tipo de aproveitamento. Permitem a regularização de caudais e o controlo de cheias, de modo a controlar nos períodos mais críticos, devido a uma ocorrência de maior precipitação num pequeno período de tempo, quer a montante ou a jusante. Constitui uma reserva estratégica de água, podendo ser utilizada para combater os fogos na floresta e ultrapassar o tempo de secas. Permite que esses locais sejam favoráveis para o turismo e lazer [1].

A exploração desta tecnologia possibilita a redução da dependência externa dos combustíveis fósseis que Portugal importa para satisfazer as suas necessidades energéticas totais, o que leva á diminuição dos custos, pois a água existe na Natureza e não é preciso pagar para a utilizar o que traduz uma redução não só da factura energética mas também permite a redução da volatilidade dos preços do petróleo/câmbio [1].

Estes tipos de empreendimentos são geradores de emprego na região, principalmente durante a fase de construção.

Como as tecnologias em Portugal é bastante conhecidas, seguras e longamente testadas, existe a necessidade de localizar os melhores locais a explorar.

### 1.2.3 - Impactos Ambientais

Os principais impactos existentes nos aproveitamentos consistem nas fases de construção e na fase de exploração do pequeno aproveitamento hidroeléctrico.

#### 1.2.3.1 - Fase de Construção

Na fase de construção do aproveitamento o principal impacto ambiental consiste na implementação dos estaleiros e frentes de obra, o que implica a utilização dos terrenos circundantes do aproveitamento, sendo necessária a desmatação e a desflorestação. Na construção do aproveitamento existem sempre materiais sobrantes, sendo necessária a recolha dos seus afluentes e dos lixos para os locais apropriados. Na maioria dos locais existe a necessidade de abrir caminhos até ao local do aproveitamento, visto que não existe vias para lá chegar. Um dos mais importantes impactos na fase de construção consiste nas escavações e aterros no leito do rio, é uma das preocupações a ter muita atenção [1].

#### 1.2.3.2 - Fase de Exploração

Na fase de exploração os principais impactos ambientais consistem em alteração do regime de caudais, alteração do regime aluvionar (retenção de sedimentos na albufeira, erosão a jusante), alteração da qualidade de água, alteração da paisagem devido à integração das estruturas e o “enterramento” do circuito hidráulico, modificação do habitats devido à colocação de uma barreira que impede a passagem de peixes de jusante para montante do aproveitamento, alteração dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos na reposição dos habitats pré-existentes nesse local e o eventual ruído devido à insonorização do edifício central [1].

### 1.3 - Motivação

Uma das principais motivações na avaliação do potencial energético nos pequenos aproveitamentos hidroeléctricos é devido à inexistência de estudo em Portugal, muito devido à pequena capacidade de produção de energia eléctrica em comparação com as tecnologias eólica e solar, onde existe já a avaliação do potencial energético a explorar.

A previsão da produção de energia eléctrica até ao ano de 2040 em todo o mundo e utilizando várias tecnologias “amigas do ambiente” renováveis prevê-se que cerca de 82% de energia produzida seja de tecnologias ditas renováveis. Sendo só 18% a energia produzida na forma convencional, através de combustíveis fósseis.

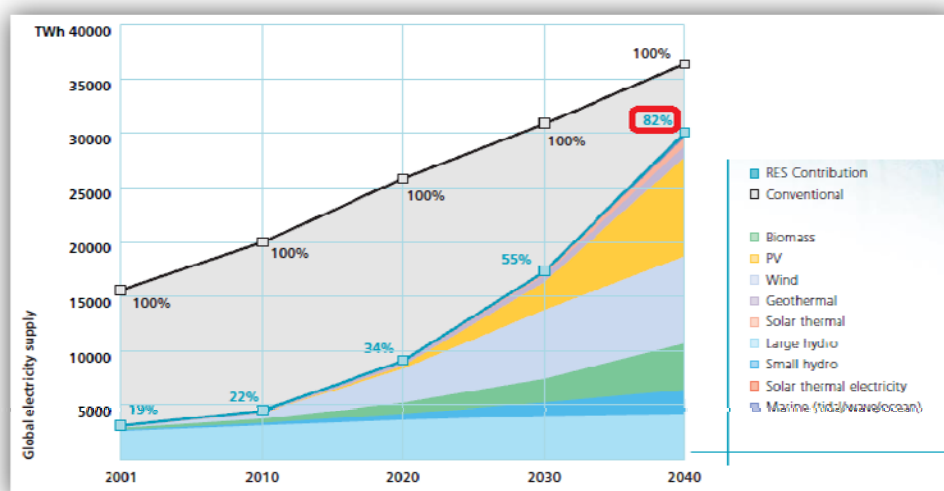


Figura 1.4 - Previsão da produção energia eléctrica até 2040, utilizando várias tecnologias [8].

Como se pode verificar na figura 1.4, com o passar de anos a necessidade de produzir energia eléctrica aumenta de uma forma considerável. A necessidade de energia globalmente para o ano de 2010 é cerca de 25000 TWh. A previsão para o ano de 2040 da necessidade de produção globalmente é de 3700 TWh. Isto significa que num período de 30 anos se prevê um aumento considerável. Para aumentar a produção de energia eléctrica em todo o mundo de cerca de 12000TWh. Uma das formas de produzir é através de tecnologias renováveis, que se estima para o ano de 2040 sejam de 82% de energia total consumida. Conseguindo o objectivo da diminuição drástica de produção através da tecnologias tradicionais.

Portugal é um dos países com um maior potencial hídrico por explorar, como se pode verificar na figura 1.5.

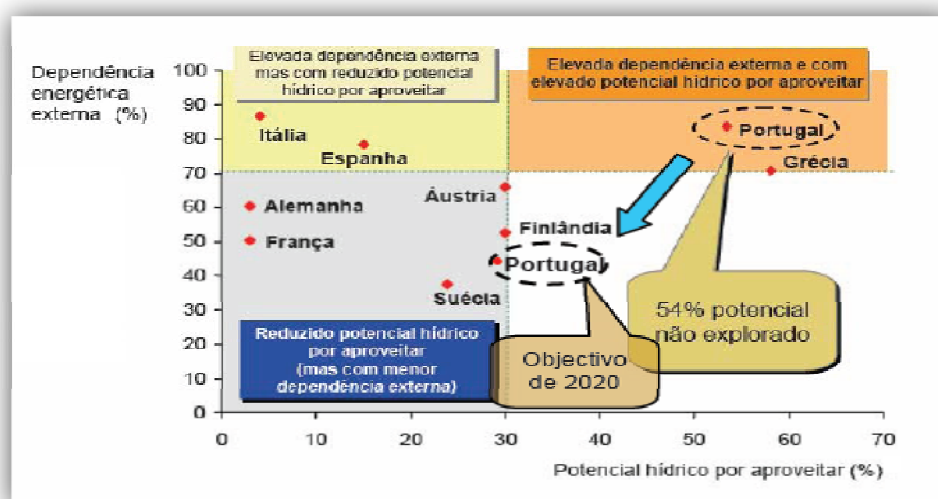


Figura 1.5 - Potencial Hídrico não aproveitado Vs Dependência energética externa [29].

Na figura 1.5 é possível verificar que a Alemanha e a França são os melhores países da Europa que exploram os recursos hídricos. Portugal é o segundo país que pior aproveita os recursos hídricos existentes. O objectivo para o ano de 2020 consiste em reduzir o potencial hídrico por aproveitar de 55% para os 28% e reduzir a sua dependência energética externa de 85% para 45%.

Para atingir esta previsão e para alcançar esse objectivo é apostar o desenvolvimento das tecnologias renováveis nomeadamente dos Pequenos Aproveitamentos Hidroeléctricos.

## 1.4 - Objectivos

O principal objectivo desta tese é o desenvolver metodologias baseadas em Sistemas de Informação Geográfica para avaliar o potencial regional e nacional para pequenos aproveitamentos de Centrais Hidroeléctricas.

Os objectivos específicos consistem em criar modelos de análise espacial para a estimativa de caudais nas linhas de água, com base nas características de pluviosidades, nas áreas das bacias, nas características dos terrenos e da cobertura vegetal. Criar modelos de análise espacial para estimativa das quedas, a partir de uma relação de optimização económica e ambiental da relação entre desnível e distância entre a tomada e restituição de água. Esta análise será feita essencialmente usando modelos digitais de terreno e percurso das linhas de água. Criar modelos de avaliação do potencial energético e económico dos projectos.

Parametização de todos os modelos criados tendo o conjunto de centrais hidroeléctricas em Portugal. No final aplicar as metodologias numa região, em Portugal avaliando o potencial regional de Mini-Hídrica.

## 1.5 - Estruturação da Dissertação

Esta dissertação é composta por sete capítulos, sendo este o capítulo a parte de introdução.

No capítulo 2 é feita uma breve abordagem ao estado de arte, das Centrais Mini-Hídricas. Com o objectivo de se efectuar uma caracterização das Centrais Mini-Hídricas, incidindo nos seus principais aspectos, como a potência disponível, a configuração da central, equipamentos eléctricos, aspectos construtivos.

No capítulo 3 é realizado um estudo sobre a Hidrologia em Portugal, que consiste na análise e selecção da precipitação total anual do território nacional, bem como o número de dias no ano com precipitação.

No capítulo 4 é realizado um estudo de análise de altimetria em Portugal Continental que consiste na análise da representação das curvas de nível com a cota de referência do nível do mar. Por fim efectuou-se a análise das Centrais Mini-Hídricas em função das curvas de nível.

No capítulo 5 foi realizada uma análise sobre a constituição dos solos e das áreas protegidas em Portugal com as Centrais Mini-Hídricas já em exploração.

No capítulo 6 foi realizado um estudo avaliando o potencial Mini-Hídrico por explorar.

No capítulo 7 encontra as principais conclusões do trabalho e os possíveis trabalhos futuros a desenvolver.

Por fim, o capítulo apresenta as conclusões mais relevantes do trabalho desenvolvido e expõe alguns trabalhos para o futuro, com base dos problemas encontrados.



# Capítulo 2

## Estado da Arte

### 2.1 - Mini-Hídricas

As águas dos rios estão em constante movimento e possuem uma energia cinética que pode atingir valores bastantes elevados, se as massas de água forem em grandes quantidades. As Centrais Hidroeléctricas aproveitam este facto para a produção de energia eléctrica, transformando a energia do movimento das águas em energia eléctrica. Para que a potência eléctrica produzida seja o mais elevado possível, há a necessidade de aumentar a velocidade das águas. Isto é conseguido construindo desníveis artificiais de tal forma que a água vai “cair” de um local com nível elevado (com energia potencial elevada) para o outro nível inferior (com energia potencial inferior), atingindo grandes velocidades. Esta água que se encontra a uma grande velocidade é injectada sobre as pás de turbinas. O alternador se encontra acoplado através dos seus veios aos quais produzem finalmente energia eléctrica [3].

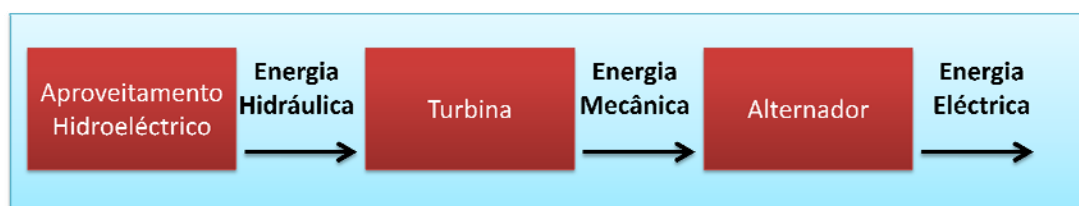


Figura 2.1 - O percurso necessário para produção de energia eléctrica.

No caso de se utilizar o recurso natural a água, esta pode ser aproveitada para a produção de energia eléctrica, através da retenção do recurso natural em aproveitamentos hidroeléctricos, sendo chamada energia hidráulica. A necessidade da passagem de energia hidráulica em energia mecânica é feita através de um dispositivo que se chama de turbina. Para obtenção da energia eléctrica final existe a necessidade de se utilizar o alternador para

a conversão de energia mecânica em energia eléctrica. Com energia eléctrica produzida é estabelecida uma ligação para a Rede Eléctrica Nacional (REN) de energia eléctrica através da subestação elevatória de tensão.

### 2.1.1 - Um interesse recuperado

As Pequenas Centrais Hidroeléctricas, agora vulgarmente designadas por Mini-Hídricas estiveram na sua origem ligadas à necessidade de autoprodução de energia eléctrica por parte das indústrias, que desse modo encontraram uma fonte energética alternativa à da rede pública que era insuficiência e de pouca fiabilidade. A proximidade de uma linha de água, as obras de engenharia civil sem a necessidade de grandes complexidades e a importação do equipamento asseguravam, totalmente ou parcialmente a satisfação das necessidades energéticas de laboração.

No entanto, essas necessidades foram evoluindo, passando a rede pública a dar novas garantias, como os custos acessíveis e facilidade de acesso. Nessa altura as Mini-Hídricas possuíam baixos rendimentos fazendo que, em muitos casos, desaparece o interesse pela sua manutenção e exploração, levando a deterioração.

A situação de abandono estava generalizada quando nos anos 70, mas com a eclosão da crise petrolífera que veio criar novas condições propícias à renovação do interesse pela exploração das Mini-Hídricas. Os custos da energia eléctrica subiram em flecha, foi-se estabelecendo, até ao nível da opinião pública à necessidade de se explorarem fontes de energia renováveis e a intervenção do estado os primeiros incentivos à autoprodução de energia, contemplando naturalmente a energia hidroeléctrica.

O início de década de 80 assistiu por isso à recuperação do interesse pelas Pequenas Centrais Hidroeléctricas que se traduziu não só em projectos de recuperação e remodelação de Mini-Hídricas abandonadas ou com funcionamento muito baixo das potencialidade naturais disponíveis, mas também na criação de novas centrais em alguns dos inúmeros locais onde o potencial fluvial oferecia boas condições de rentabilidade dos empreendimentos [7].

Portugal encontra-se afectado pelo problema energético a nível económico, sendo um dos problemas a produção de energia feita a partir de combustíveis fósseis. O preço da energia é caro e muito volátil, os mercados mundiais estão sob forte pressão por parte dos maiores países do mundo que estão com uma taxa de crescimento elevada.

Com a preocupação do aumento global das emissões dos gases de efeito de estufa existe uma grande aposta nas energias renováveis do Estado Português devido a sua dependência energética e às crises petrolíferas que leva ao aumento da especulação matéria-prima (os combustíveis fósseis) para a produção de energia eléctrica do modo convencional.

As Mini-Hídricas não são uma cópia reduzida das grandes Centrais Hídricas, mas possuem características próprias. Tendo sido implementado novas tecnologias para a redução dos custos. A obra civil orientada para sistemas compactos e simples, para a redução dos

trabalhos no local, a maior simplicidade de operação incluindo a automatização total da central, turbinas normalizadas com bons rendimentos para uma larga gama de regimes de funcionamento, a existindo de bons locais com bom potencial que se encontram em aproveitamentos de baixa queda e a utilização de máquinas síncronas como geradores [4].

## 2.1.2 - Situação em Portugal

Nos últimos anos a capacidade Mini-Hídrica estagnou devido às dificuldades de licenciamento, tendo sido licenciado menos de 40 MW nos últimos dois anos. Prevê-se que no final do ano de 2010 um aumento da capacidade adicional de mais de 400MW. Mas as dificuldades de licenciamento tornarão esta meta difícil de alcançar. Embora de as tarifas serem interessantes para os empreendimentos de potência inferior de 10MW, sendo a sua remuneração de 74€/MWh [4].

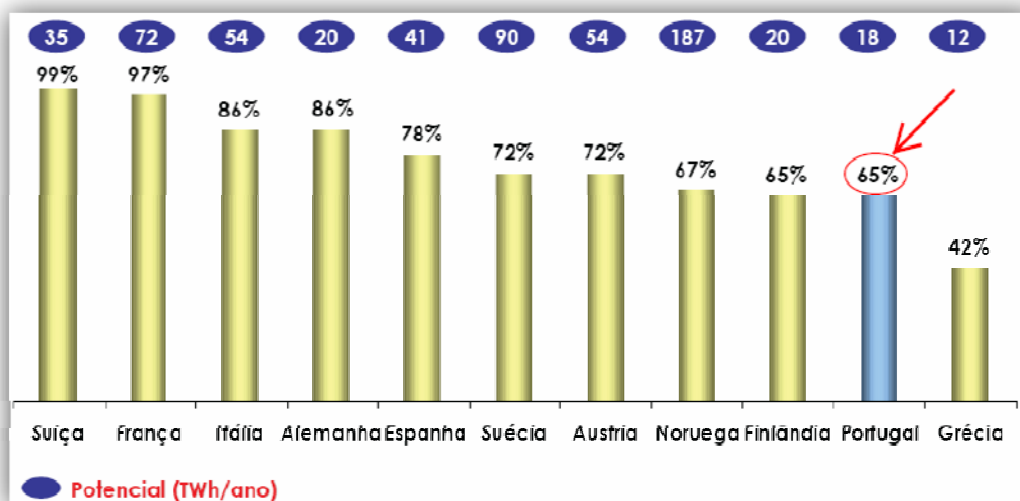


Figura 2.2 - Aproveitamento do Potencial Hídrico [1].

Apesar do aproveitamento do potencial hídrico já ter sido iniciado há muito tempo, Portugal tem uma exploração reduzida, sendo mesmo dos países que mais importa energia primária (aproximadamente 87%) [6].

Portugal tem uma posição modesta, com um aproveitamento de 58% do potencial hídrico explorado. A França, Itália e a Alemanha já têm um aproveitamento praticamente explorado do seu potencial hídrico. A Espanha já aproveitou 85% dos seus recursos que se estimam de ser de 42 TWh/ano [6].

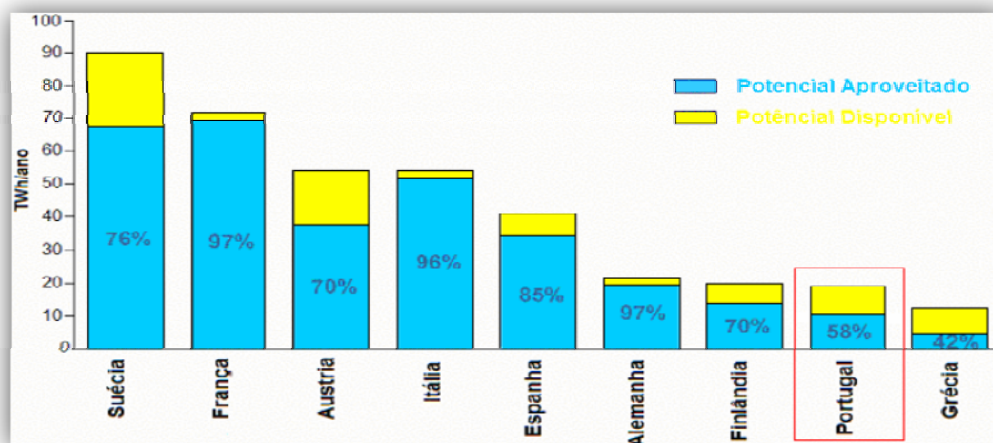


Figura 2.3 - Potencial Hídrico Aproveitado e Disponível nos países da Europa [7].

Portugal possui um potencial hídrico por aproveitar de cerca de metade do que já está explorado, como se pode ver na figura 2.3. Enquanto nos países como a França, Itália e a Alemanha têm o potencial hídrico quase todo explorado.

Tabela 2.1 – Potencialidade de expansão dos P.A.H em Portugal[3].

Potencialidade de expansão	(MW)
Em exploração	600
Potencial por Explorar	400
Total	1100 <sup>1</sup>
Meta	450 <sup>1</sup>

Segundo [1] Portugal tem uma exploração de 600 MW de potência instalada de Mini-Hídricas e existe um potencial de expansão de 400 MW por explorar, através de construção de novos aproveitamentos, perfazendo um total de 1100MW de potência instalada em Portugal.

### 2.1.3 - Exploração das Mini-Hídricas

As Mini-Hídricas estão geralmente associadas ao regime de exploração a fio-de-água, dada a reduzida capacidade de regularização das respectivas albufeiras que na maior parte dos casos não excede algumas horas de retenção do caudal médio. Daí que, na estimativa da produção energética, se aceite esse tipo de funcionamento. Em rigor haja sempre o turbinamento concentrado. Isto sucede pela disposição de controlos de nível da albufeira, com arranque da turbina a um nível superior e a paragem a um nível inferior, sendo a gestão feita na base de

<sup>1</sup> “Cenários de Evolução Previsional da Produção em Regime Especial 2005-2025”, REN.

experiência dos responsáveis pela operação da central, que de algum modo tendem a reproduzir aquele funcionamento automático.

Naturalmente que esta possibilidade de controlo e rentabilização da pequena capacidade de armazenamento se restringe praticamente às situações de estiagem, prolongando-se por períodos mais longos apenas em situações excepcionais de caudal de turbinamento extremamente reduzido.

#### 2.1.4 - Interdependência e Capacidade de Regularização

A gestão interdependente de aproveitamentos hidroeléctricos é uma prática adquirida, e indispensável no que se refere de aproveitamentos que dispõem de grandes albufeiras. A sua grande capacidade de regularização permite-lhes um domínio quase total das variáveis endógenas que neles intervêm para obter uma resposta pronta e controlada quando tal é solicitado pelo sistema de albufeiras em que se insere. A coordenação da intervenção das várias centrais está naturalmente apoiada num completo sistema de detecção das disponibilidades hídricas conjuntas e das necessidades da rede, cujo tratamento matemático integrado conduz uma definição permanente das políticas energéticas, a curto, médio ou até longo prazo.

O mesmo não se passa relativamente às Mini-Hídricas: o domínio da componente hidrológica é escasso, a sua flexibilidade na resposta energética é limitada e a sua inserção num conjunto global de aproveitamento não é geralmente sequer contemplada.

No entanto, a significativa incidência que as Mini-Hídricas estão a conquistar no panorama nacional suscita novos interesses e surge novas preocupações nas quais se pensou poder incluir-se a questão da sua gestão integrada [7].

#### 2.1.5 - Motivação

De entre as fontes de energia eléctrica renovável, a Mini-Hídrica é uma das tecnologias que reúne as condições para o seu desenvolvimento rápido, pois possuem uma tecnologia com elevada eficiência (70% a 90%) e o seu recurso é fácil de prever. Possuem uma tecnologia que é usada há mais de 40 anos estando assim madura e consistente. A taxa de variação do caudal é intermitente, com pequenas variações de dia para dia e são principalmente aproveitamentos explorados a fio-de-água, possuindo impactos ambientais muito reduzidos.

Nos últimos anos a capacidade Mini-Hídrica estagnou devido às dificuldades de licenciamento mas prevê-se segundo [3] que no final do ano de 2010 de conseguir atingir uma capacidade de 400 MW em Portugal.

## 2.1.6 - Classificação das Centrais Mini-Hídricas

A designação Central Mini-Hídrica generalizou-se em Portugal para designar os aproveitamentos hidroeléctricos de potência inferior a 10 MW. Este limite é geralmente usado internacionalmente como fronteira de separação entre as pequenas das grandes centrais hidroeléctricas. As Pequenas Centrais Hidroeléctricas são consideradas renováveis, enquanto as grandes centrais hidroeléctricas usam um recurso renovável produzem efeitos sobre o meio ambiente não desprezáveis e portanto a sua classificação como renováveis é bastante problemático [3].

### 2.1.6.1 - Classificação relativamente à Potência

Segundo a classificação relativamente à Potência para as Centrais Mini-Hídricas utiliza-se a seguinte classificação recomendada pela União Internacional dos Produtores e Distribuidores de Energia Eléctrica (UNIPEDA) [3].

Tabela 2.2 – Classificação das Centrais Mini-Hídrica relativamente à Potência [3].

Designação	$P_{inst.}$ (MW)
Pequena Central Hidroeléctrica	<10
Mini Central Hidroeléctrica	<2
Micro Central Hidroeléctrica	<0,5

Em Portugal todas as Centrais com Potência inferior a 10 MW são designadas como Centrais Mini-Hídricas, sendo a sua maioria exploradas com a utilização da tecnologia a fio-de-água.

### 2.1.6.2 - Classificação relativamente à Queda

Tendo como o critério a queda útil da água, a sua classificação pode ser definido da seguinte forma, como mostra a tabela 2.3:

Tabela 2.3 – Designação das Centrais relativamente à altura da queda útil [3].

Designação	$H_u$ (m)
Queda baixa	2-20
Queda média	20-150
Queda alta	>150

Altura da queda útil  $H_u$ (m)

- Altura da queda bruta menos a altura equivalente a todas as perdas hidráulicas.

Altura da queda bruta máxima  $H_{b\text{máx}}$ (m)

- Diferença máxima entre a altura na tomada de carga e a altura mínima do rio no ponto de restituição.

Altura da queda bruta  $H_b$ (m)

- Diferença máxima entre a altura na tomada de carga e a altura no rio no ponto de restituição para situações de caudal nominal (caudal médio).

Em regra, as Centrais Mini-Hídricas são centrais de fio-de-água, não sendo possível grande regularização do caudal afluente como ocorre nas centrais de albufeira [4].

### 2.1.6.3 - Classificação relativamente ao Caudal

Tendo como o critério o caudal, a sua classificação pode ser definido da seguinte forma como mostra a tabela 2.4:

Tabela 2.4 – Classificação através do caudal médio (Q) [3].

Designação	Q (m <sup>3</sup> /s)
Grande Caudal	$Q > 100$
Médio Caudal	$10 \leq Q \leq 100$
Pequeno Caudal	$Q < 10$

Caudal ecológico  $Q_e$ (m<sup>3</sup>/s)

- É o caudal que não pode ser turbinável por razões ecológicas e ambientais.

Caudal modular  $Q_{\text{mod}}$ (m<sup>3</sup>/s)

- É o caudal médio anual medido durante vários anos.

Caudal instalado  $Q_i$ (m<sup>3</sup>/s)

- Também se pode chamar de caudal máximo turbinável, é o caudal garantido durante 20% a 30% do ano.

A utilização do caudal é bastante importante para o dimensionamento de todo o equipamento, principalmente nas turbinas.

### 2.1.6.4 - Classificação à capacidade de armazenamento

Este tipo de classificação permite dividir as Centrais Mini-Hídricas em centrais com a existência ou não de capacidade de armazenamento de água. As centrais a fio-de-água não têm capacidade de regular o caudal, pelo que o caudal utilizável é o caudal instantâneo do

rio. Ao contrário, as centrais com regularização possuem uma albufeira que lhes permite adaptar o caudal afluente. Normalmente as Centrais Mini-Hídricas são de fio-de-água [11].

Tabela 2.5 – Classificação através da capacidade de armazenamento [3].

Designação	Capacidade de armazenamento
Centrais de fio-de-água	Não
Centrais com albufeira	Sim

### 2.1.7 - Composição de uma Mini-Hídrica

Os principais elementos segundo[11] que constituem uma Central Mini-Hídrica são:

- 1 - Albufeira (“intake”)
- 2 - Canal de adução (“feeder canal”)
- 3 - Câmara de carga (“fore bay”)
- 4 - Conduita forçada (“penstock”)
- 5 - Edifício da central (“power house”)
- 6 - Restituição (“tail race”)
- 7 - Caudal ecológico (“reserve flow”)

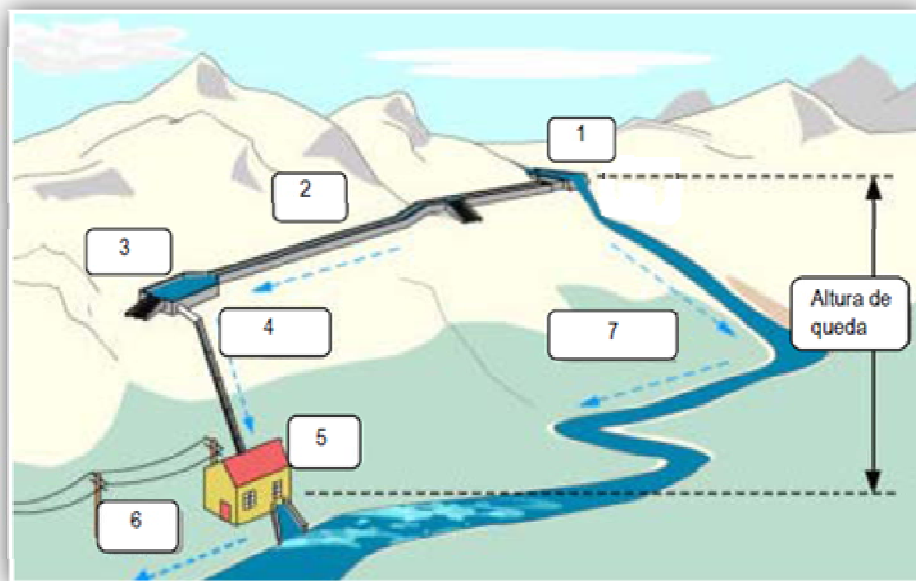


Figura 2.4 - Principais elementos de uma Central Mini-Hídrica [4].

Este esquema para a exploração de um Pequeno Aproveitamento Hidroelétrico não é estático, isto quer dizer que pode sofrer pequenas variações nos elementos, podendo ser eliminados alguns desses elementos devido às características do próprio local onde o aproveitamento vai ser instalada e também das características do local circundante.

Se a altura de queda for muito reduzida e não existir um bom local onde se pode aumentar a queda nas proximidades, então a melhor solução para a exploração do Pequeno Aproveitamento Hidroeléctrico é encastrar no leito do rio, sendo estas centrais chamadas a fio-de-água.

### 2.1.7.1 - Albufeira

A albufeira é criada através da necessidade de reter a água a montante do aproveitamento onde a água vai ser turbinada. Em certas situações a albufeira pode situar-se a vários quilómetros de onde a água vai ser turbinada, para aumentar a eficiência da produção de energia eléctrica. A albufeira funciona como uma capacidade de armazenamento de energia eléctrica que se encontra disponível. Quando não existe a possibilidade de aumentar a queda da água opta-se pela utilização dos Pequenos Aproveitamentos Hidroeléctricos a fio-de-água que também possuem uma albufeira, mas a capacidade de armazenar a água é reduzida ou mesmo nula.



Figura 2.5 - Albufeira da Póvoa situado no concelho de Castelo de Vide [14].

Como não existe a capacidade de aumentar o desnível noutra ponto do terreno optou-se pela construção da albufeira junto do edifício central. Neste caso existe a capacidade de armazenamento de água a montante e a sua regulação. Com esta capacidade de armazenamento de água a montante, a central vai turbinar principalmente nas horas de ponta onde a energia produzida é paga a um valor superior do que nas horas de vazio, de modo a maximizar economicamente o proveito da água a turbinar.

### 2.1.7.2 - Canal de adução

Em aproveitamentos em que existe a possibilidade de aumentar o desnível da tomada de água e o seu turbinamento, utiliza-se o canal de adução para transportar a água do local onde é desviado para o local mais favorável, podendo atingir alguns quilómetros o deslocamento da água para o local mais favorável para o turbinamento da água.

O movimento da água é feito através do pequeno desnível do canal de adução para provocar o movimento da água, visto que não existe a necessidade de transportar a água a grande velocidade sendo feito a um regime quase estacionário.



Figura 2.6 - Canal de adução de uma Central Mini-Hídrica [4].

O canal de adução tem a função de transportar a água desde do local em que é desviado até a câmara de carga.

Normalmente o canal de adução é construído como mostra a figura anterior, com o circuito aberto. Mas existe a possibilidade de realizar em circuito fechado para o atravessamento de obstáculos, como rochas para a diminuição do comprimento do canal. Mas existe a necessidade de se efectuar um estudo sobre a viabilidade para a utilização do canal de adução de circuito fechado, pois acarreta dificuldade de construção e maiores custos do que em circuito aberto.

### 2.1.7.3 - Câmara de Carga

A câmara de carga encontra-se entre o canal de adução e a conduta forçada. No canal de adução o movimento da água é efectuado só pelo desnivelamento do circuito hidráulico. Quando a câmara de carga se encontra sem água suficiente para o funcionamento das turbinas, então é aberto a comporta do lado do canal de adução para o abastecimento da

câmara de carga. Estando a câmara de carga em condições de efectuar a descarga para as turbinas sendo fechado a comporta do lado do canal de adução. Seguidamente é aberto a comporta do lado da conduta forçada para se iniciar o processo de turbinamento. Durante este processo a água é sujeita a uma pressão para evitar as entradas de ar na conduta de água, que iria prejudicar o rendimento das turbinas. A câmara de carga tem também a função de atenuar o efeito do choque hidráulico na abertura e fecho da comporta da câmara de carga para a conduta forçada.



Figura 2.7 - Câmara de Carga de uma Central Mini-Hídrica [17].

Um dos factores para o dimensionamento da câmara de carga consiste em saber a altura a que se encontra às turbinas, uma vez que quanto maior for a altura maior será o comprimento da conduta forçada, o que leva à necessidade de aumentar a capacidade do volume na câmara de carga, porque para preencher a conduta forçada de água é necessário uma maior quantidade de água.

#### 2.1.7.4 - Conduta Forçada

A conduta forçada encontra-se entre a câmara de carga até o edifício principal onde se encontram instaladas as turbinas e os geradores. A conduta forçada tem a função de transportar a água para as turbinas e que normalmente a sua constituição é feita de aço, cilíndrica e se encontra a superfície do terreno, como mostra a seguinte figura. Em certos casos pode-se estudar a hipótese da colocação da conduta forçada enterrada, para as situações em que não existe a possibilidade de montar na superfície. Mas esta solução tem que ser bem estudado pois aumenta os custos da colocação da conduta forçada enterrada.



Figura 2.8 - Conduita forçada de uma Central Mini-Hídrica [4].

Um dos aspectos que se deve ter bastante em conta é o desnível da conduita forçada, pois quanto maior for o desnível da conduita maior é a pressão da água devido o aumento da força gravítica da água, maximizando assim a produção de energia a produzir.

#### 2.1.7.5 - Edifício Central

É neste local em que a energia potencial gravítica se transforma em energia mecânica através da utilização das turbinas, e para a conversão de energia mecânica para a energia eléctrica usa-se os geradores. O edifício central tem as turbinas e os geradores como os principais equipamentos, sendo o seu custo bastante significativo para o estudo da viabilidade do projecto, porque são equipamentos que comporta muito os custos de sua construção. No caso de um aproveitamento de fio de água, a sua localização fica situado numa das margens perto do aproveitamento. Nos restantes casos dependem essencialmente da localização dos elementos do aproveitamento. Existem casos em que a sua localização se encontra a alguns quilómetros da tomada de água do rio.



Figura 2.9 - Edifício principal de uma Mini-Hídrica [4].

O impacto do edifício central é muito reduzido porque este edifício muito se assemelha à construção de uma casa da região e que facilmente se passa despercebido.

### 2.1.7.5.1 - Tipo de turbinas

Os principais equipamentos mecânicos são as turbinas hidráulicas e os geradores que correspondem a um custo muito significativo na construção da Central Mini-Hídrica. A turbina realiza a conversão da energia cinética que está relacionada ao movimento da água em energia de rotação para energia mecânica.

Na escolha da turbina deve-se ter em atenção os seguintes parâmetros envolvidos.

- Potência
- Queda
- Caudal

Pode-se classificar as turbinas como turbinas de acção e de reacção.

Tabela 2.6 – Classificação das turbinas.

Turbinas de Reacção	Turbinas de Acção
Francis e Kaplan	Pelton e Banki-Mitchell

Turbinas de acção: são movidas pela acção da água de um ou mais injectores de água.

Turbinas de reacção: os rotores das turbinas estão totalmente imersos em água e colocados dentro de uma caixa protectora em pressão. As pás do rotor têm um perfil adequado, para que as diferenças de pressão entre elas sejam impostas forças que impelem o movimento do rotor [4].

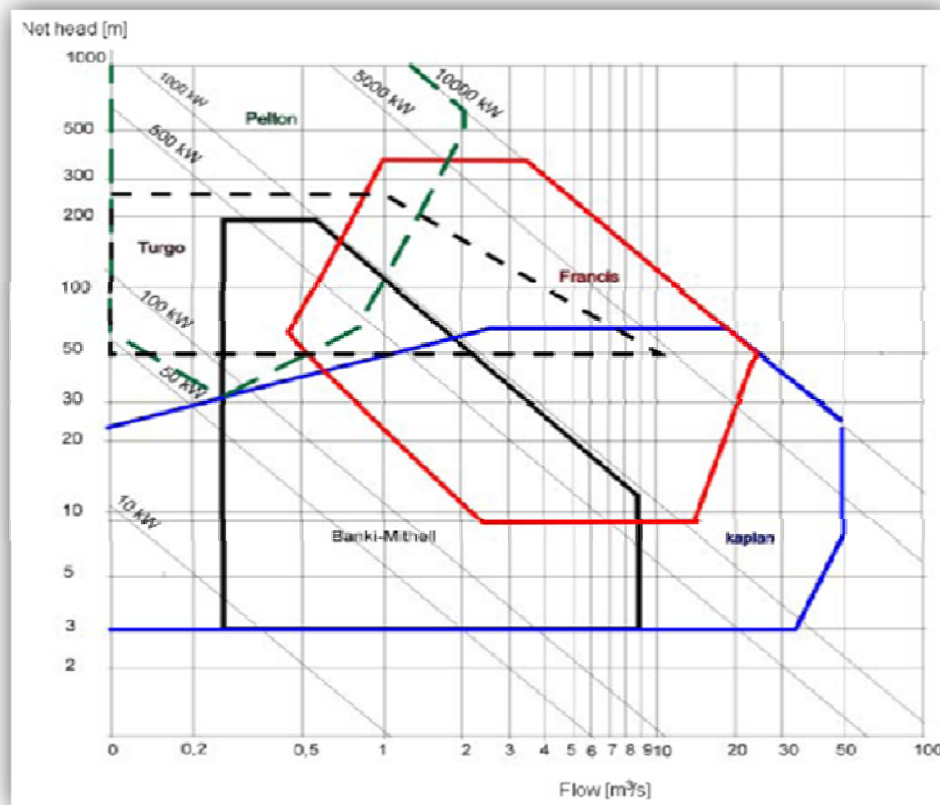


Figura 2.10 - Seleção da melhor turbina em função da altura de queda e do caudal[5] .

Para a escolha da turbina num Pequeno Aproveitamento Hidroeléctrico utiliza-se o seguinte ábaco da figura 2.10, bastando saber qual é a queda útil que o aproveitamento vai disponibilizar e o seu caudal previsível.

A seguinte tabela mostra os valores típicos para a escolha da turbina em função da queda de água.

Tabela 2.7 – Escolha da turbina em função da queda de água.

Designação Turbina	Altura (m)
Pelton	15m<H<1800m
Francis	10m<H<350m
Kaplan	2m<H<40m

A turbina hidráulica, devido ao seu princípio de funcionamento, possui perdas de energia que são variáveis com o regime de carga. Esta situação é caracterizada por curvas de rendimento, que para cada tipo de turbina têm um andamento próprio.

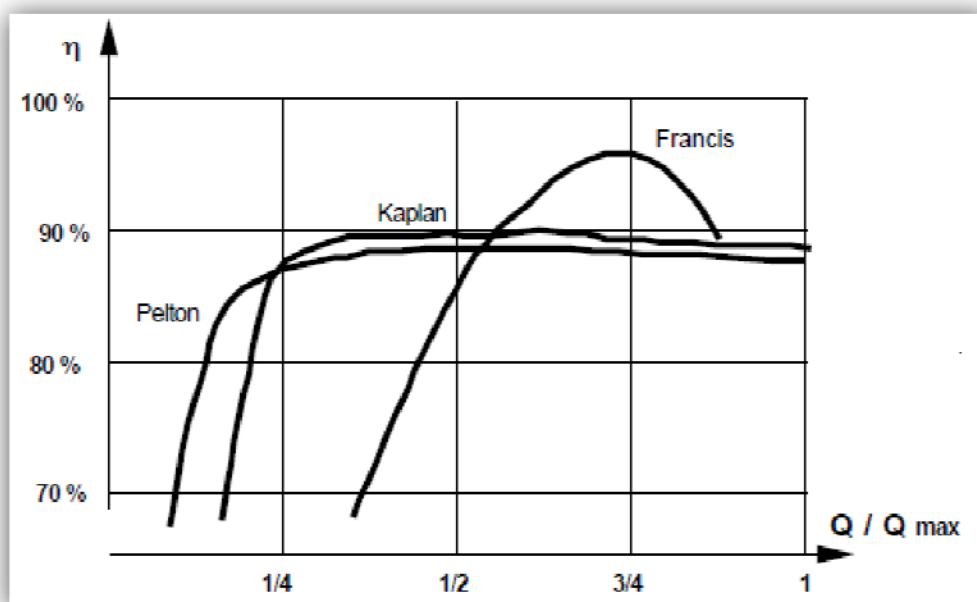


Figura 2.11 - Andamento típico das curvas de rendimento para diferentes tipos de turbinas [6].

Da figura 2.11 podemos verificar que quanto maior for o caudal ( $Q$ ) maior é a eficiência das turbinas. Assim a relação de  $Q/Q_{\text{máx}}$  se aproxima da unidade.

Para a relação de  $Q/Q_{\text{máx}}$  que está definido no intervalo [50%, 85%], a melhor solução é a escolha das turbinas de Francis, pois estas apresentam um rendimento muito superior em relação às outras turbinas. Para relação que está definida nos intervalos [25%, 50%] e de [85%, 100%] selecciona-se a turbina de Kaplan, porque possui um maior rendimento nesses intervalos em relação às outras turbinas. Para os intervalos que faltam, de [0%,25%] pode-se optar pela turbina de Pelton ou de Kaplan, pois os seus rendimentos nesse intervalo são quase iguais variando só o caudal nesse instante. Se o caudal previsível for muito baixo opta-se pelas turbinas de Pelton, senão opta-se pela turbina de Kaplan.

### 2.1.7.5.1.1 - Turbina de Francis

São turbinas adequadas para operação em condições intermédias de caudal, tem o seu maior uso em quedas com caudais médios e apresentam um rendimento de 80% a 90%. Esta turbina pode ser instalada em caixa espiral (médias quedas, acima de 10 m), ou em caixa aberta (baixa queda, abaixo de 10 m).

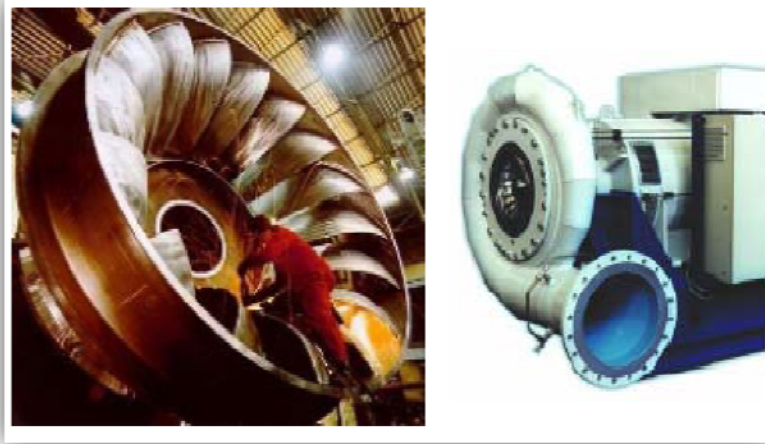


Figura 2.12 - Turbina de Francis[3][11].

As turbinas Francis são turbinas de reacção porque o escoamento na zona da roda se processa a uma pressão inferior à pressão atmosférica. Esta turbina caracteriza-se por ter uma roda formada por uma coroa de aletas fixas, possuindo uma série de canais hidráulicos que recebem a água radialmente e a orientam para a saída do rotor numa direcção axial.

A turbina Francis tem uma grande adaptabilidade a diferentes quedas e caudais. Emprega-se para quedas úteis superiores a vinte metros. Para valores inferiores da queda utilizam-se turbinas de caixa aberta. A queda útil pode ter grandes variações (60% a 125%) e o caudal também pode variar (40% a 125%) do valor nominal.

O distribuidor permite controlar a entrada da água na turbina e regular a sua potência, mantendo a velocidade de rotação das turbinas. Permite ainda fechar a admissão de água numa paragem de emergência da central. Nos Pequenos Aproveitamentos Hidroeléctricos instalam-se turbinas Francis de eixo horizontal para um mais fácil acoplamento aos geradores com construção normalizada [5].

#### 2.1.7.5.1.2 - Turbinas de Kaplan e de Hélice

São turbinas de reacção, adaptadas para quedas fracas e para os caudais elevados, possuindo uma câmara de entrada (aberta ou fechada), de um distribuidor e de uma roda com quatro ou cinco pás de uma forma de hélice. Se as pás são fixas a turbina é do tipo Hélice. Se as pás são móveis (ajustáveis  $\approx 30^\circ$ ) o que permite variar o seu ângulo de ataque com um maquinismo de orientação que é controlado pelo regulador da turbina, para aumentar a eficiência das turbinas [5].

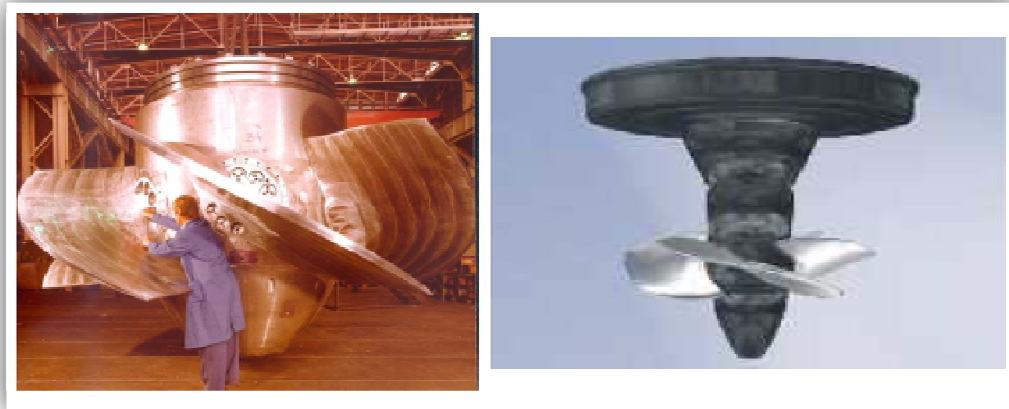


Figura 2.13 - Turbina de Kaplan e de Hélice [3][11].

As turbinas de Hélices não são reguláveis o que vai permitir pouca variação no caudal, apenas controlado pelo distribuidor.

As Kaplan são reguláveis, podendo ser feita esta regulação duplamente. Existe a mobilidade das pás da roda e do distribuidor para aumentar a sua eficácia de funcionamento.

As turbinas de Hélice e de Kaplan são usadas para grandes caudais e baixas quedas, mas existe uma enorme dificuldade no seu dimensionamento, levando assim a um aumento significativo dos seus custos de fabrico.

### 2.1.7.5.1.3 - Turbina Pelton

São classificadas como turbinas de acção por possuírem a característica de transformar a energia cinética no jacto injector em energia mecânica. O uso é adequado para locais onde existem altas quedas e pequeno caudal. Apresenta bons rendimentos onde existe uma grande variação de carga e podendo ser operadas entre 10% e 100% da sua potência máxima [4].



Figura 2.14 - Turbina de Pelton [3].

São constituídas por um disco circular, onde estão montados na periferia uns copos ou conchas sobre as quais incide tangencialmente um jacto de água, dirigido por um ou mais injectores distribuídos uniformemente na periferia da roda.

O injector possui uma válvula de agulha que regula o caudal de água para actuar sobre a roda e dessa forma regula a potência fornecida pela turbina.

A turbina de Pelton poderá ser aplicada em eixo horizontal ou vertical [5].

#### 2.1.7.5.1.4 - Turbina de Banki-Mitchell

O seu rendimento é inferior aos das turbinas de projecto convencional, mas mantêm-se num valor elevado ao longo de uma extensa gama de caudais. De tecnologia bastante simples apenas requer poucos equipamentos para o seu fabrico e manutenção. Devido à sua facilidade de padronização pode apresentar rotações específicas entre 40 e 200 r.p.m. o que implica a utilização de multiplicadores de velocidade. O seu campo de aplicação atende para a queda de água de 3 a 100 metros de vazões de  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$  e de potência 1 a 100 KW.

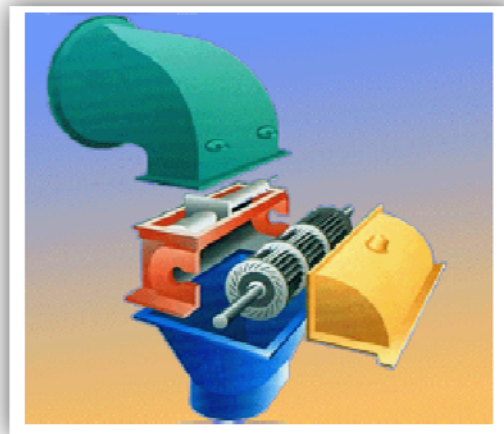


Figura 2.15 - Turbina de Banki-Mitchell [3].

#### 2.1.7.5.2 - Escolha do Gerador

A escolha do conversor mecano-eléctrico para equipar uma Central Mini-Hídrica depende das especificações impostas à turbina, no que diz respeito a rendimento, velocidade nominal de embalamento, constante de inércia e o tipo de regulação.

Nos Pequenos Aproveitamentos Hidroeléctricos, a conversão da energia mecânica de rotação da máquina primária (turbina) em energia eléctrica podem ser utilizadas máquinas eléctricas síncronas (alternador) ou assíncronas (ou de indução) [11].

O gerador assíncrono constitui, em geral, a solução técnica e economicamente preferível, devido às suas conhecidas características de robustez, fiabilidade e economia. Nas centrais de potência mais elevada são exigidas soluções técnicas mais elaboradas e os aspectos

económicos são menos críticos, pelo que o gerador síncrono é normalmente o conversor eleito.

Em Portugal, verifica-se que a maior parte das Centrais Mini-Hídricas está equipada com geradores síncronos, o que contraria a regra exposta acima.

Uma razão para explicar esta situação prende-se com o facto das Mini-Hídricas se começaram a espalhar pelo país (na década de oitenta) e de não haver experiência de operação das máquinas assíncronas no funcionamento como gerador. Esta circunstância terá levado os projectistas a tomarem uma atitude de prudência e optarem por soluções com méritos que já tinham sido comprovados.

Outra razão tem a ver com a operação das turbinas. Para as quedas baixas, as características da maior parte das Centrais Mini-Hídricas é da velocidade da turbina sendo essa velocidade baixa. Os fabricantes de motores de indução não ofereciam soluções equipadas com múltiplos, porque não tinham aplicação na indústria. Nestas condições, o uso deste tipo de conversor obrigava a recorrer a uma caixa de engrenagens para adaptação de velocidades. Independentemente do tipo construtivo o custo dos geradores aumenta sensivelmente com o número de pólos, ou seja, diminui com o aumento da velocidade nominal. Daí a vantagem económica associada ao uso de multiplicadores de velocidade e geradores de indução.

Contudo, este conjunto também apresentava inconvenientes de montagem: redução do rendimento conseqüentemente a diminuição da energia produzida. A necessidade de proceder frequentemente a manutenção e a sua menor fiabilidade de construção especial para protecção contra embalamento. Tudo visto e ponderado, levou os projectistas a escolher a solução habitual em aproveitamentos hidroeléctricos, que era a constituição de grupos turbina-alternador que dispensavam a caixas de velocidades.

Nas situações em que a potência do gerador é elevada, existe a necessidade de efectuar a interligação na rede eléctrica nacional, ou quando é necessário fornecer energia reactiva à instalação eléctrica em que o gerador está integrado para a correcção do factor de potência, ou quando é necessário um funcionamento com carga variável mas com tensão constante e quando existe a possibilidade financeira em fazer um investimento maior, opta-se então por utilizar um Alternado Síncrono Trifásico [5].

A máquina de indução trifásica, funcionando como gerador, necessita de um banco de condensadores capaz de lhe fornecer a energia reactiva de que a máquina precisa para criar e manter o campo magnético que é necessário para o seu funcionamento. Mas existe também a possibilidade de a máquina de indução trifásica trabalhar ligada a uma rede eléctrica.

Os geradores de indução apresentam um custo inferior ao gerador síncrono, sendo os mais adequados para aplicações ligadas à rede devido às suas características de robustez e de fiabilidade.

O gerador assíncrono dispensa um sistema de excitação, sendo esta fornecida pela própria rede à qual está ligado. A consequência é que o gerador assíncrono absorve energia reactiva, que deve ser localmente gerada por meio de uma bateria de condensadores, para evitar o inconveniente trânsito de energia reactiva através da rede.

#### 2.1.7.6 - Restituição da água

A água depois de turbinada é recolhida num canal, sendo conduzida para o leito do rio, ou para uma bacia artificial, para o caso em que o pequeno aproveitamento hidroeléctrico não seja de fio-de-água, pois nestes casos não existe a tomada de água, sendo a água turbinada devolvida para o leito do rio poucos metros a baixa da localização do aproveitamento.

#### 2.1.7.7 - Caudal ecológico

O caudal desempenha um papel fundamental na ecologia dos ecossistemas lóticos (de água corrente), constituindo um factor determinante na estrutura e na diversidade das comunidades bióticas.

Os aproveitamentos hidráulicos alteram o regime hidrológico a jusante, reduzindo o caudal médio anual, diminuindo a variação sazonal do caudal, alterando a época de ocorrência dos caudais extremos, reduzindo a magnitude das cheias e impondo descargas não naturais. A modificação do regime hidrológico conduz à alteração da velocidade e da profundidade do escoamento, do regime de transporte sólido e da morfologia do leito, da temperatura e da qualidade da água [17].

O caudal ecológico pode ser definido como o caudal que permite assegurar a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a produção das espécies com interesse desportivo ou comercial, assim como, a conservação e manutenção dos ecossistemas e os aspectos estéticos da paisagem ou outros de interesse científico ou cultural.

O caudal ecológico é definido como uma série temporal de valores de caudal, que consideram as necessidades das espécies ao longo dos seus ciclos de vida, flexível em função das condições hidrológicas naturais que se verificam em cada ano, sendo necessário garantir a jusante o caudal ecológico de modo a minimizar os impactos devido à construção do aproveitamento.

#### 2.1.8 - Potência a instalar

A potência da central hidroeléctrica ( $P_{inst}$ ) pode ser calculada pela variação de energia do sistema ( $\delta E$ ) num determinado intervalo de tempo ( $\delta t$ ) é dada pela seguinte expressão [10]:

$$P_{inst} = \frac{\partial E_p}{\partial t}$$

$$P_{inst} = \frac{\partial(m \times g \times H)}{\partial t}$$

$$P_{inst} = g \times H \times \rho \times \frac{\partial V}{\partial t}$$

$$P_{inst} = g \times H \times \rho \times Q \quad \text{(Equação 2.1)}$$

Na equação 2.1,  $g$  é o peso volúmico da água,  $Q$  corresponde o caudal nominal de água que passa pela central e  $H$  corresponde à altura de queda útil, que é conhecida. Se considerarmos o rendimento de transformação ( $\eta$ ), a potência que chega às pás das turbinas é dada pela seguinte equação:

$$P = \eta \times g \times H \times \rho \times Q \quad \text{(Equação 2.2)}$$

A parte do peso volúmico da água pode ser expresso em kN/m<sup>3</sup> para a potência vir expressa em kW, nenhuma das outras grandezas da expressão é constante. Esta circunstância torna o processo de escolha da potência a instalar e a sua repartição pelo número de grupos numa operação complexa.

O factor que mais influencia a potência a instalar é o caudal, porque é aquele que apresenta um maior espectro de variação. Nem todo o caudal afluyente é aproveitado para obter energia: pode haver limitações por exigências de água para abastecimento ou rega, ou pela garantia do caudal ecológico. Assim, não será económico instalar equipamentos que só seriam plenamente aproveitados poucas horas por ano. Por outro lado, também não interessa usar as turbinas para uma pequena fracção do seu caudal nominal, porque o rendimento é demasiado baixo.

Uma expressão, derivada da equação 2.2 é muito vulgarizada segundo [10]e[11] para o cálculo da potência eléctrica, em kW, é:

$$P = 8 \times Q \times H \quad \text{(Equação 2.3)}$$

O que equivale a tomar para rendimento global de todo o aproveitamento hidroeléctrico, o valor de 81,6%. O rendimento global depende do caudal, pois é o produto dos rendimentos do circuito hidráulico, da turbina, do gerador, do transformador e ainda os dispêndios de energia nos equipamentos auxiliares. O valor de 81,6% como valor médio deste rendimento global é demasiado optimista para os pequenos aproveitamentos. Nos pequenos aproveitamentos deve-se contar entre 60% a 70% para tornar mais credível, e então se deve alterar o factor de 8 da equação anterior para um factor dentro do intervalo [6,7]. Então para o calcula da potência eléctrica em KW numa Central Mini-Hídrica é dada pela seguinte equação:

$$P = [6; 7] \times Q \times H \quad (\text{Equação 2.4})$$

### 2.1.9 - Outras Configurações

Para além da configuração de uma Central Mini-Hídrica da figura 2.4 existe outras configurações que podem derivar desta, podendo eliminar alguns dos elementos devido às características do local, não serão necessários esses elementos para obter uma boa exploração do aproveitamento, diminuindo assim o custo de investimento. Em algumas situações em que não existe essa possibilidade de obter quedas úteis nas proximidades opta-se pela configuração da central encastrada na própria barragem, que são chamados de aproveitamentos de fio-de-água. Quando a configuração do terreno propicia quedas úteis perto das barragens a central apresenta-se com conduta forçada perto da barragem. Mas quando essa queda útil se encontra a uma distância considerável existe a necessidade de transportar a água através de um canal de adução, possuindo ou não uma câmara de carga, mas normalmente existe neste tipo de aproveitamentos, como se verifica na figura 2.4.

# Capítulo 3

## Análise Hidrológica

### 3.1 - Diversos tipos de Precipitação no Território Nacional

Chama-se precipitação à água que, sob a forros sólida ou líquida, atinge a superfície da Terra procedente das nuvens. A precipitação pode apresentar diversas formas segundo [18]:

- Chuva - Precipitação contínua de água líquida cujas gotas têm um diâmetro superior a 0,5 mm;
- Chuvisco - Precipitação bastante uniforme de gotas de água muito unidas e de diâmetros inferiores a 0,5 mm;
- Neve - Precipitação de cristais de gelo que na sua maioria são ramificados;
- Granizo - Precipitação de grãos de gelo de diâmetro inferior a 5 mm;
- Saraiva - Precipitação de grânulos ou fragmentos de gelo de diâmetro superior a 5 mm;
- Aguaceiro - Precipitação descontínua cuja queda raramente ultrapassa os 30 minutos. Pode ser constituído por chuva, saraiva ou granizo;
- Trovoada - Descargas eléctricas das nuvens associada a fenómenos acústicos e ópticos acompanhados ou não de queda de precipitação;

### 3.2 - Território Nacional

O território Português abrange uma área de cerca de 89 300 Km<sup>2</sup> e tem forma aproximadamente rectangular com valores máximos do comprimento e de largura de cerca de 560 e 220 km, respectivamente. Localiza-se na parte ocidental da Península Ibérica, sensivelmente entre os meridianos 6° W e 10° W e entre os paralelos 37° N e 42° N. É banhado a oeste e sul pelo Oceano Atlântico e confina a norte e Este com Espanha.

O clima de Portugal conjuga as influências atlânticas e mediterrânicas. A primeira faz-se sentir principalmente durante o Inverno e é responsável por precipitações elevadas, principalmente na região noroeste (Minho), e pela atenuação dos efeitos dos ventos secos e frios provenientes do interior da Península Ibérica. A influência mediterrânea faz-se sentir principalmente durante o Verão e nas regiões sul (Alentejo e Algarve) e Este (zona fronteira com a Espanha), originando temperaturas elevadas e a reduzida precipitação [19].

### 3.3 - Medição da Precipitação no Território Nacional

A quantidade de precipitação que ocorre num determinado período, pode ser medido com a instalação de dispositivos, a que se chamam de udómetros. Mas quando permitem o registo contínuo da água acumulada, denominam-se udógrafos, como mostra a figura seguinte.

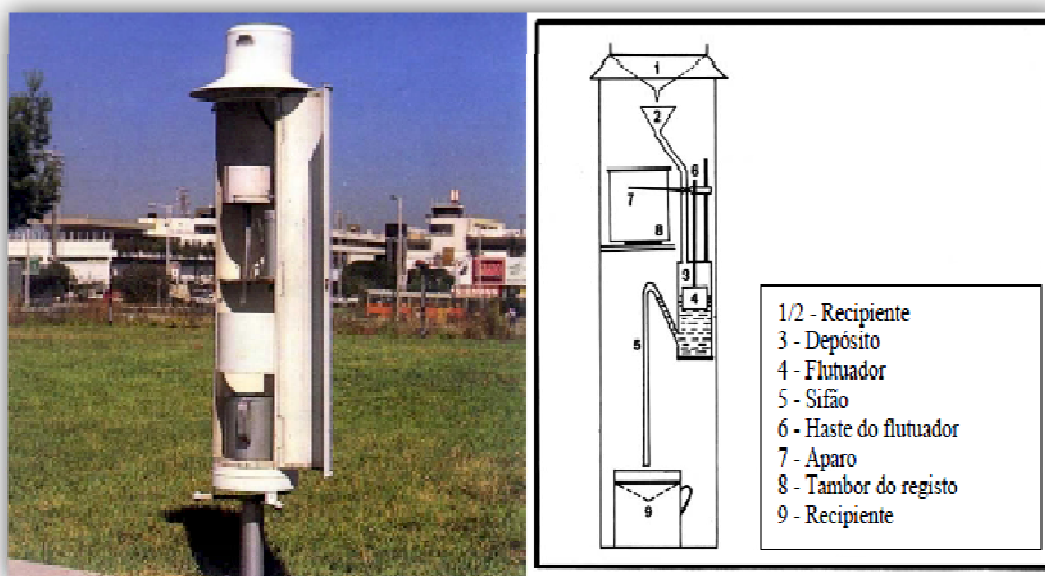


Figura 3.1 - Udógrafo e o seu esquema representativo[19].

A precipitação num dado intervalo de tempo (hora, dia, mês e ano) é habitualmente expressa em milímetros de altura de água (líquida). Como o volume de água correspondente a 1 mm de altura na área de 1 m<sup>2</sup> é de um litro, a unidade litro por metro quadrado (l/m<sup>2</sup>) substitui, por muitas vezes o milímetro (mm).

A precipitação anual num local ou numa zona, varia acentuadamente de ano para ano. No entanto, o respectivo valor médio num período superior a cerca de 30 anos é quase constante, independentemente da localização no tempo do período considerado [19].

### 3.4 - Precipitação no Território Nacional

A partir do conhecimento da precipitação anual média nos pontos em que se encontram instalados udómetros ou udógrafos, é possível traçar linhas ao longo das quais aquela grandeza toma valores constantes. Essas linhas designam-se por isolinhas da precipitação anual média, ou mais simplesmente por isoietas em ano médio.

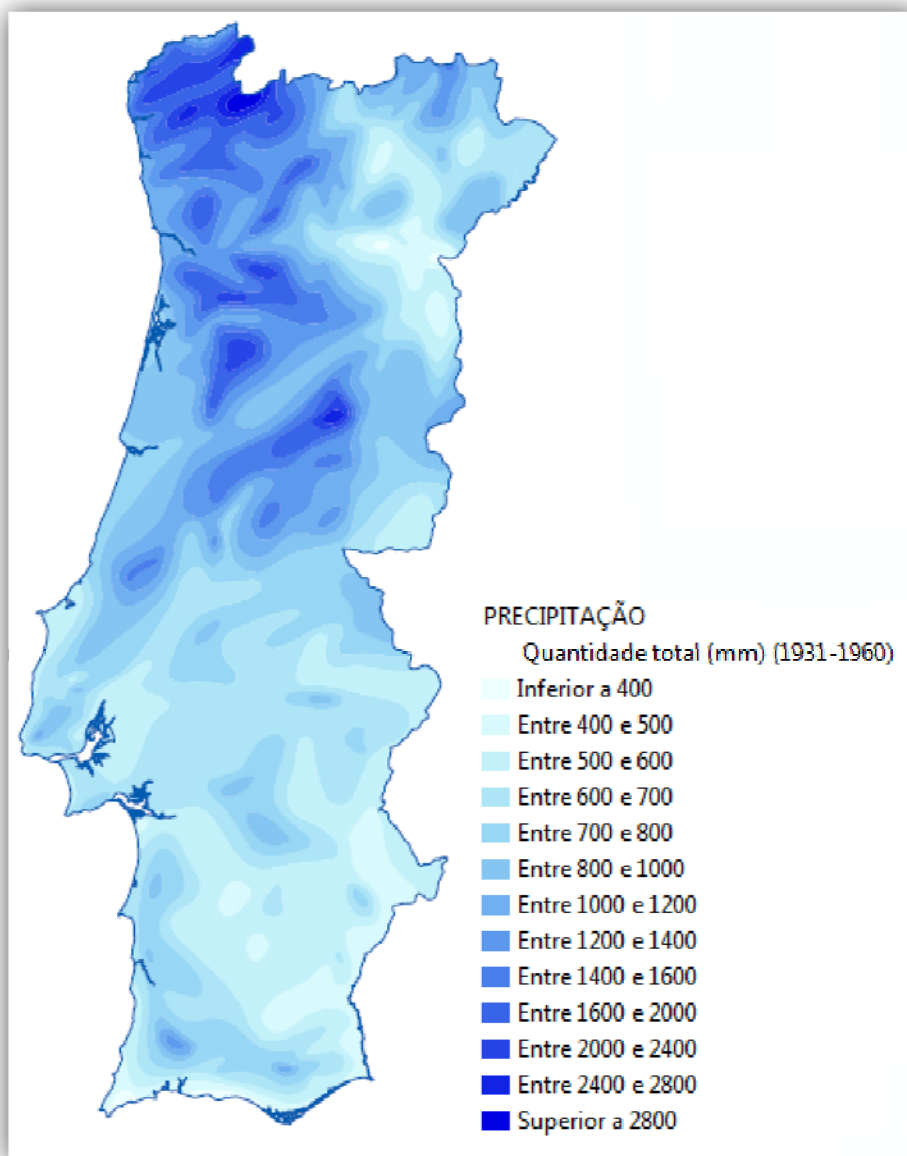


Figura 3.2 - Precipitação Total Anual do Território Nacional.

Segundo [19] o volume anual médio da precipitação sobre o território continental é de cerca de  $89\,000 \times 10^6 \text{m}^3$  (89 milhares de milhões de metros cúbicos), o que equivale a 1mm de altura uniforme de água sobre o território nacional, sendo a precipitação anual média expressa em altura de água é de cerca de 1000 mm.

Da análise das figuras 3.2 e 4.2 se pode verificar a influência que o relevo exerce na distribuição sobre o território nacional. A subida das massas de ar húmido provenientes do mar, provocada pelo relevo, origina em regra, precipitação nas zonas elevadas. A humidade do ar é assim diminuída, pelo que zonas posteriormente atingidas pelas massas de ar recebem menor precipitação.

Pela análise da precipitação total anual do território nacional, representada na figura 3.2 pode-se concluir que a região onde mais chove em Portugal Continental é a do Alto Minho, com valores da precipitação anual média superiores a 2 800 mm. A zona do Marão-Alvão regista valores em ano médio superiores a 1600 mm e condiciona a precipitação a Leste, onde se verificam valores entre 1 200 e 1400 mm nas terras altas e inferiores a 500 mm nas terras baixas.

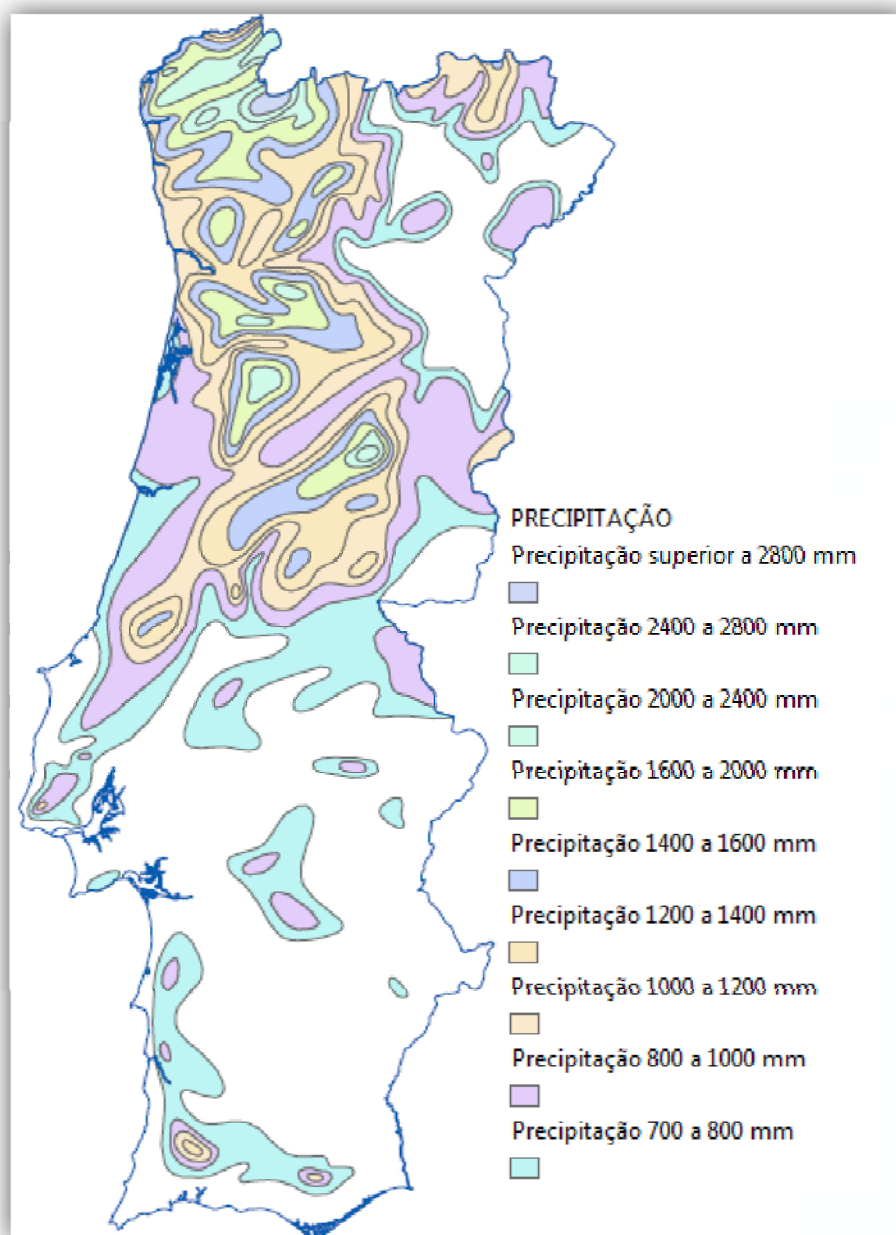


Figura 3.3 - Separação e Selecção da Precipitação Total Anual do Território Nacional.

Na figura anterior, se encontra evidenciado a selecção da precipitação total anual do território nacional, com a precipitação superior de 700 mm. Como se pode verificar, os locais onde ocorre uma maior quantidade de precipitação se localiza na zona Norte de Portugal. Para os valores de precipitação inferior a 700 mm se encontra principalmente na zona Sul de Portugal, existindo uma pequena zona do Norte de Portugal perto da fronteira com a Espanha, que está representado sem cor (a branco).

A precipitação num dado local varia de forma acentuada ao logo do ano, concentrando-se no semestre de Outubro a Março. Os maiores valores da precipitação correspondem, de modo geral, aos meses de Dezembro e Janeiro e sendo os menores nos meses de Julho e Agosto.

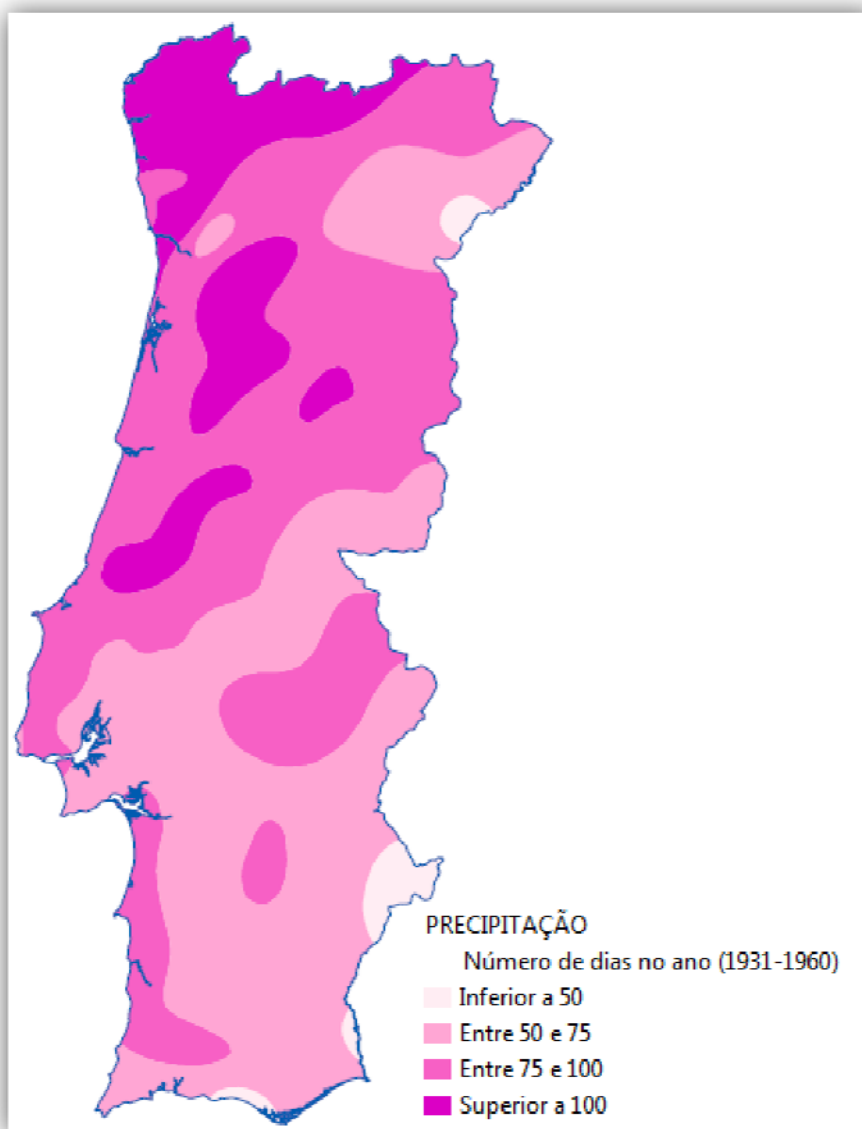


Figura 3.4 - Número de dias por ano com Precipitação no Território Nacional.

A distribuição da precipitação ao longo do ano pode ser caracterizada, entre outros elementos, pela frequência com que num determinado local ocorrem precipitações diárias superiores a um dado valor. Na figura anterior apresenta-se a carta de isolinhas do número médio de dias por ano com precipitação igual ou superior a 1 mm.

A precipitação em Portugal, além de se distribuir desordenadamente no território nacional, apresenta também grande variabilidade ao longo do ano e de ano para ano.

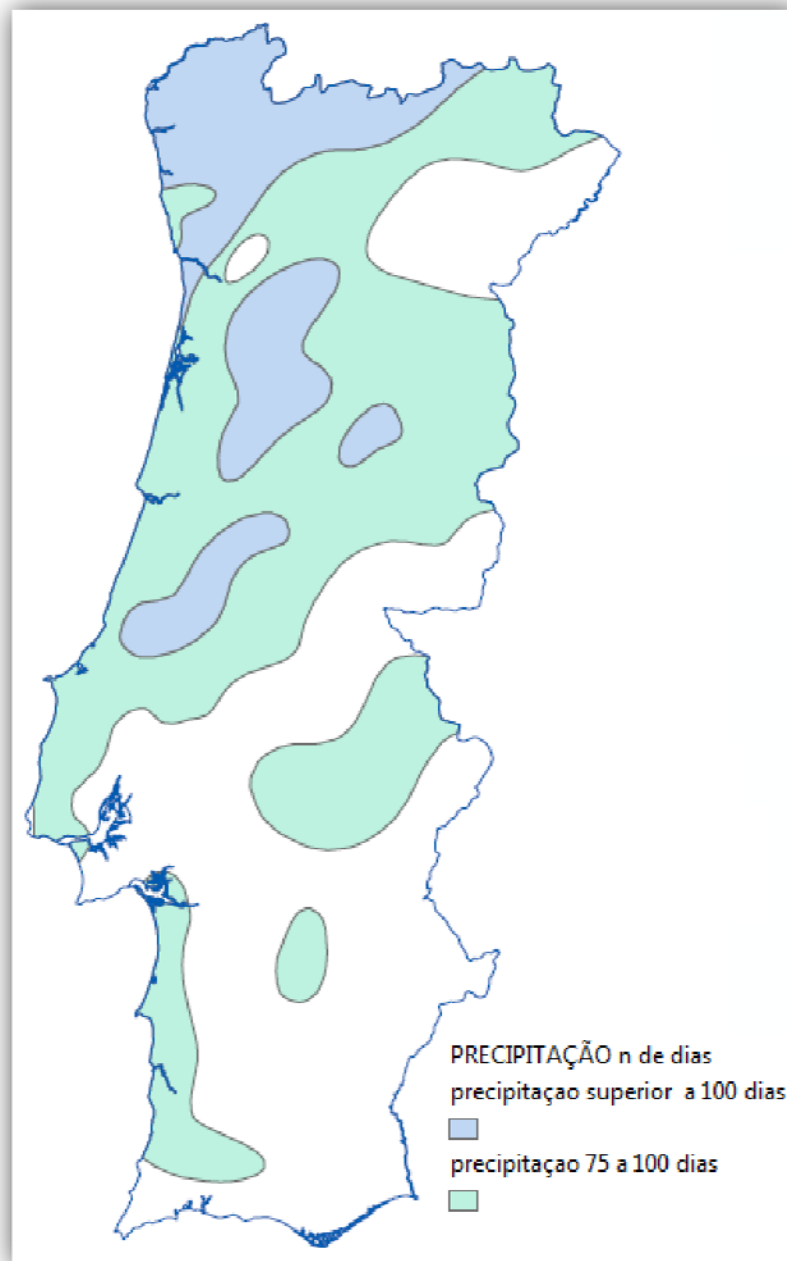


Figura 3.5 - Seleção do número de dias por ano com Precipitação no Território Nacional.

Como se pode ver na figura 3.5, o número de dias com precipitação superior a 100 dias, se encontra na zona Norte do território nacional. Para o número de dias cuja precipitação

está compreendida de 75 a 100 dias, já se desloca para a região centro do território nacional. Os restantes valores com o número de dias cuja precipitação é inferior a 75 dias se situa principalmente na região sul de Portugal Continental.

Uma parte de água é devolvida para a atmosfera pelo processo de evapotranspiração e a restante ou dá lugar a escoamento superficial, que atinge directamente os cursos de água, ou vai alimentar os lençóis de água subterrâneos, originado o escoamento subterrâneo. Os lençóis de água subterrânea constituem-se no seio de formações geológicas permeáveis e designa-se por aquíferos. Estes ou cedem água aos cursos de água, à qual se junta, portanto, a parcela correspondente ao escoamento superficial, ou escoam directamente para o mar.

Sendo a precipitação expressa em milímetros de altura ou litros por metro quadrado e constituindo o escoamento uma parcela da precipitação, é habitual utilizar as mesmas unidades para o escoamento produzido pela precipitação incidente numa dada área, durante um determinado intervalo de tempo [19].

O volume de água que num dado instante atravessa uma dada secção de um curso de água, na unidade de tempo, designa-se por caudal.

O caudal é a variável que mais influência a potência extraível de uma Central Mini-Hídrica, porque é a que sofre uma maior variação ao longo do tempo.

Segundo [20] pode determinar-se o caudal fluente num rio a partir da pluviosidade e da área da bacia, com a seguinte expressão:

$$Q_{med} = Pluv \times \frac{A_b}{31536000} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

- Pluv - Pluviosidade que atinge uma região durante um ano (m/ano);
- $A_b$  - Área da bacia ( $m^2$ );
- 31536000 - É o número de segundos num ano;

Através da equação 3.1 se pode verificar que o caudal fluente depende directamente da pluviosidade e da área da bacia hidrográfica.

O caudal não é constante ao longo do tempo, como se pode ver no seguinte exemplo [21], onde se recolheu os dados num determinado.

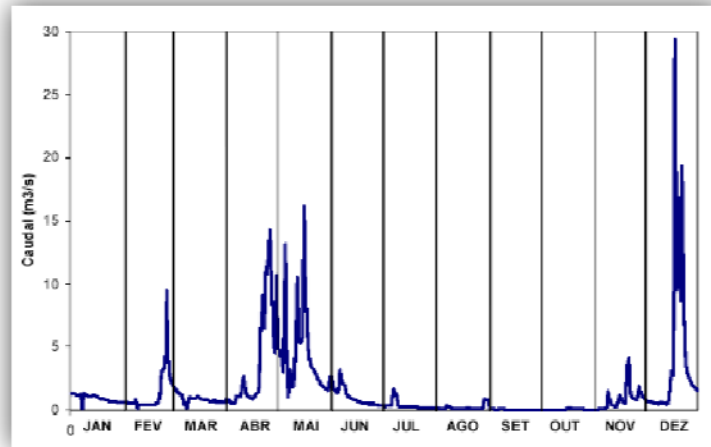


Figura 3.6 - Curva dos caudais cronológicos [21].

A curva dos caudais cronológicos permite visualizar a intensidade do caudal num determinado instante a que se pretende analisar. A intensidade do caudal é máximo no mês de Dezembro como era de esperar, devido ao aumento da probabilidade de precipitação. Neste exemplo o mês de Abril e de Maio possuiu um forte caudal, uma das possível explicações pode ser dada pela precipitação ocorrida nesses meses. Mas a curva dos caudais cronológicos não permitem responder à seguinte questão: Quantos dias por ano têm caudais superiores a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ?

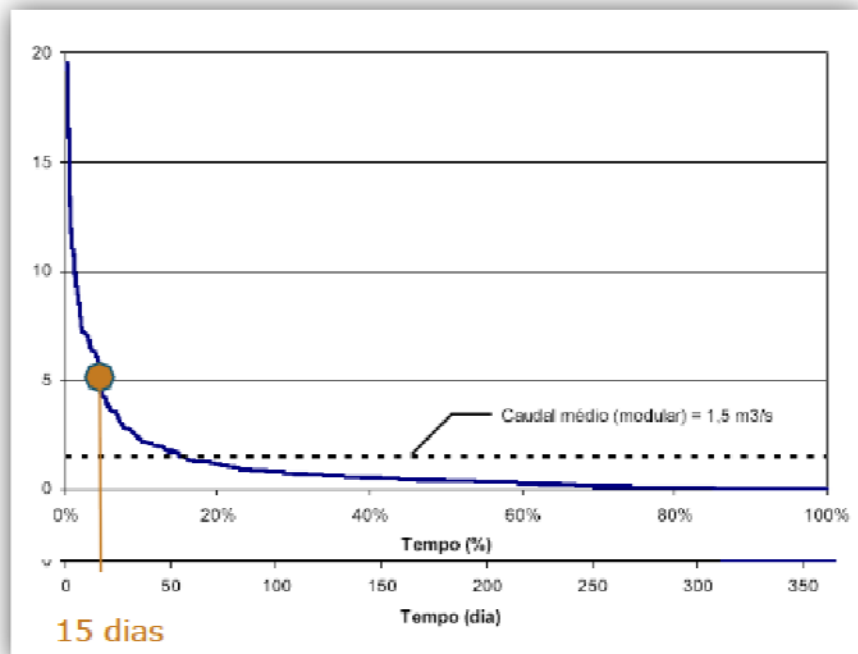


Figura 3.7 - Curva de caudais Classificados [21].

Para responder a questão anterior, existe a necessidade de efectuar a curva dos caudais classificados, que é a representação gráfica da percentagem de tempo durante a qual o

caudal é igual ou superior a uma dada quantidade, independentemente da sua continuidade no tempo. Com a representação da curva de caudais classificados já é possível responder a questão. Neste caso existem 15 dias por ano com caudais superiores a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Segundo [4], sabe-se da experiência que o valor óptimo de dimensionamento se encontra para  $t$  entre 20% e 30%. Este valor pode ser encontrado por optimização sobre o modelo de avaliação económica e que o dimensionamento óptimo económico não corresponde ao óptimo de energia produzida, que é conseguido para valores de  $t$  bastante mais baixos.

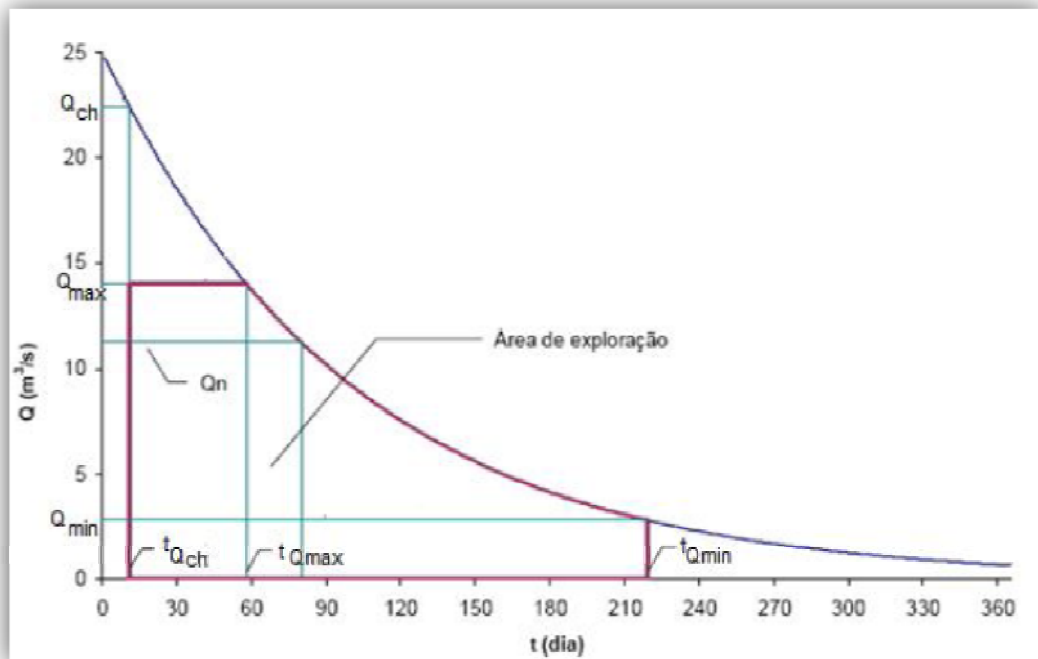


Figura 3.8 - Curva de duração de caudais [22] .

O tempo de funcionamento da turbina é dado a partir da curva de duração de caudais. Esse tempo vai ser o tempo entre o caudal de cheias ( $Q_{ch}$ ) e o caudal mínimo ( $Q_{min}$ ) turbinável pela turbina. O caudal de cheias a partir do qual não é possível turbinar é normalmente  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  e o caudal mínimo depende de vários factores, como a distância, diâmetro da conduta e o dimensionamento do tipo de turbina a utilizar.

Na figura 3.8 está ilustrada a curva de duração de caudais, onde está representado a roxo a área onde a turbina hidráulica se encontra a funcionar, que corresponde ao volume de água que é possível turbinar.

### 3.5 - Evapotranspiração Real

A evapotranspiração é considerada como a perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas. A evapotranspiração é importante para o balanço hídrico de uma bacia como um todo [30].

Como se pode verificar na figura seguinte, a maior quantidade de evapotranspiração real se situa no Norte de Portugal, pois também existe uma maior quantidade de precipitação nesses locais, logo existe uma maior quantidade de água no solo o que aumenta a probabilidade de perda de água através de evapotranspiração.

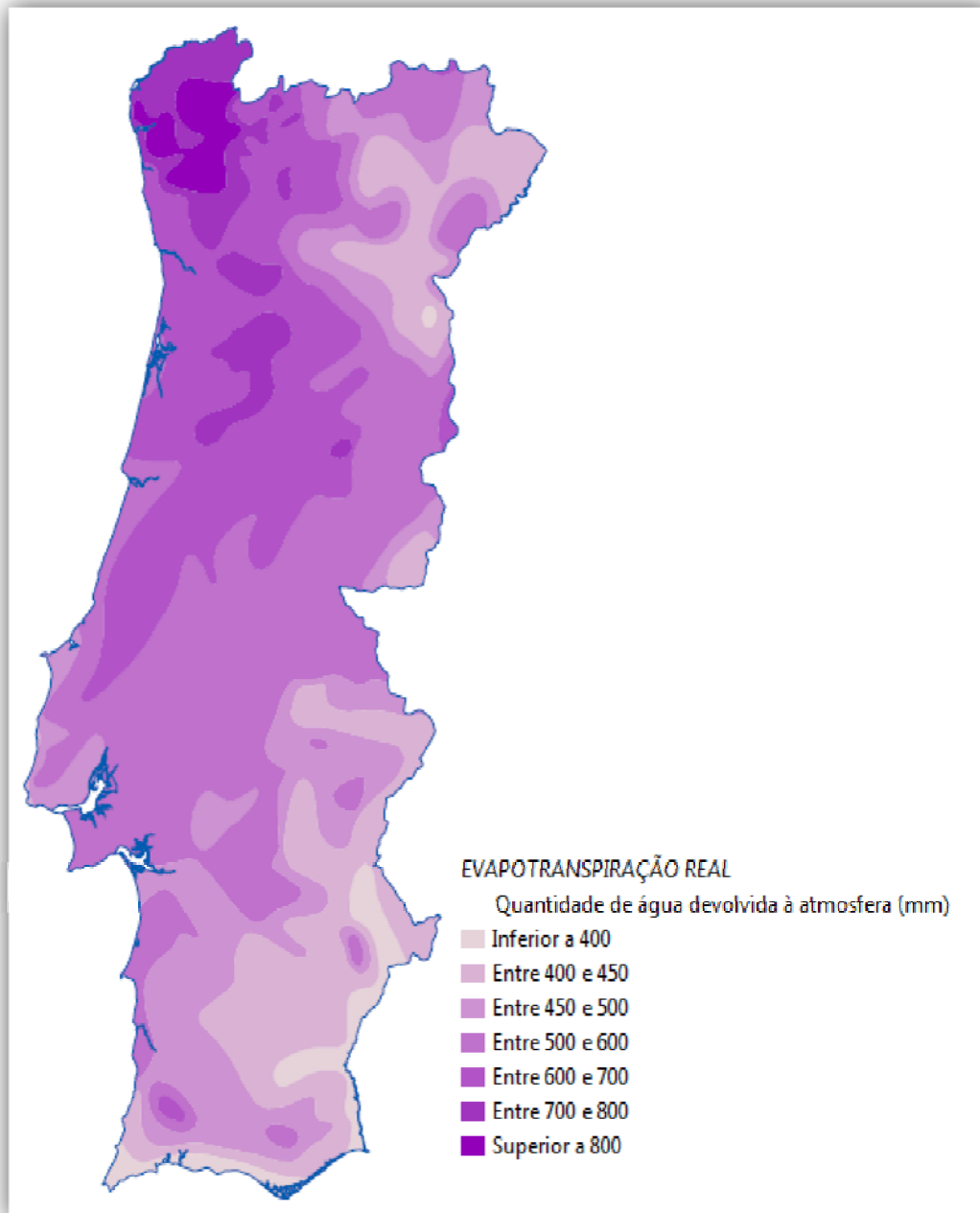


Figura 3.9 - Evapotranspiração Real no Território Nacional.

A medição de caudais nem sempre existe, por isso muitas das vezes se recorre à estimativa de caudais a partir do conhecimento da bacia hidrográfica e aos níveis de precipitação. Segundo o autor [28] pode-se estimar o caudal pela seguinte equação:

$$Caudal = A_{bacia} \times (P_{recep} - E_{vap} - I_{fil}) \quad (\text{Equação 3.2})$$

- $A_{bacia}$  - Área da bacia Hidrográfica (Km<sup>2</sup>);
- $P_{recep}$  - Precipitação (mm);
- $I_{fil}$  - Infiltração (mm);
- $E_{vap}$  - Evapotranspiração (mm);

Considerando que a infiltração é quase nula,  $I_{fil} = 0$ , então a equação fica assim simplificada:

$$Caudal = A_{bacia} \times (P_{recep} - E_{vap}) \quad (\text{Equação 3.3})$$

Mas existem outros factores que influenciam o caudal de um rio como a constituição do solo da Área da bacia Hidrográfica.

### 3.6 - Localização das Centrais Mini-Hídricas

Como se pode ver na figura 3.10 existe um claro domínio de Centrais Mini-Hídricas do tipo a fio-de-água. Pois neste tipo de aproveitamento requer um caudal que seja satisfeito, sem ter em consideração a queda, pois este é efectuado com a construção da barreira artificial, logo em Portugal já se encontra com o potencial todo ou quase todo explorado.

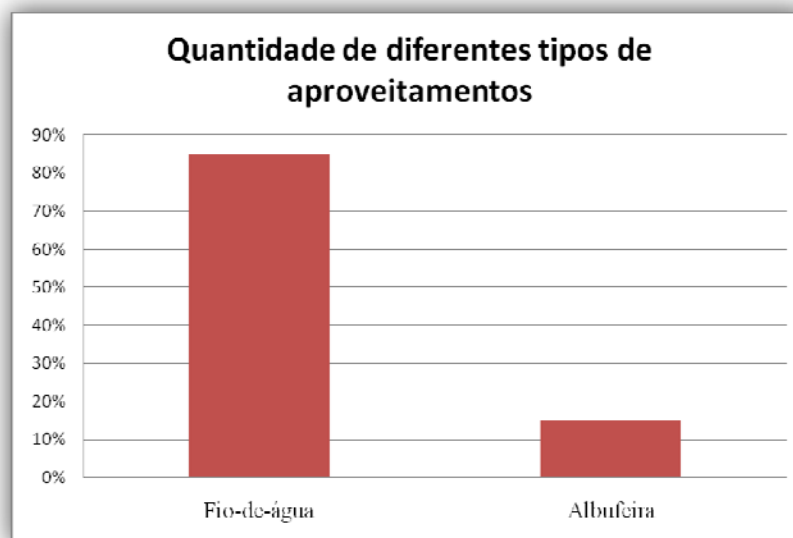


Figura 3.10 - Quantidade de diferentes tipos de aproveitamentos em percentagem.

Então existe a necessidade de encontrar novos locais onde se pode aumentar o desnível da tomada de água e o seu turbinamento, através da exploração de aproveitamentos de Albufeira.

Em conclusão, existirá potencialmente um maior desenvolvimento de instalações de Centrais Mini-Hídricas nas zonas situadas a Norte de Portugal, devido à existência de maiores quantidades de recurso hídrico para assegurar o seu funcionamento.

A localização das Mini-Hídricas existentes em Portugal se encontra localizadas na figura seguinte 3.9, segundo os dados recolhidos. Como era de esperar a concentração das Centrais Mini-Hídricas se encontram principalmente no norte do território nacional.

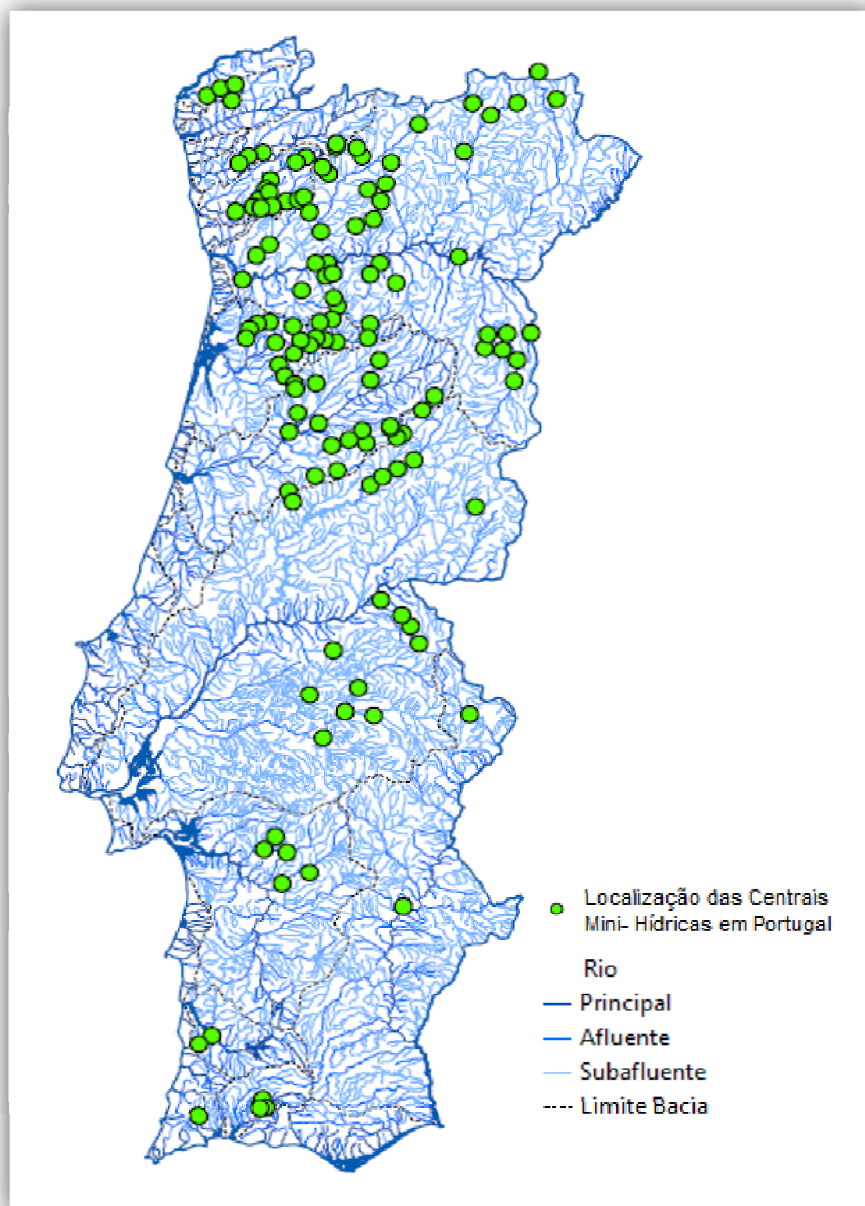


Figura 3.11 - Localização das Centrais Mini-Hídricas no Território Nacional.

Como as Centrais Mini-Hídricas já existentes se encontram no norte de Portugal e como a precipitação é mais abundante na zona norte do país, então um dos factores que influencia economicamente a implementação de uma central está directamente relacionada com a precipitação que cai nesse dado local, para a produção de energia eléctrica.



# Capítulo 4

## Análise de Altimetria

Portugal é um prolongamento das formações montanhosas da Península Ibérica. Na sua fisionomia distinguem-se dois tipos de relevo: a Sul e a Norte do rio Tejo. A Norte, o relevo é mais acidentado, sendo o terreno escarpado e cortado por vales profundos. A erosão decorrente de fenómenos atmosféricos esculpiu as elevações de terreno, dando-lhes um cunho distinto. Entre o Douro e o Tejo elevam-se os picos mais elevados, a Serra do Marão e a Serra da Estrela (1 993m). A Sul do Tejo, aparecem as terras mais uniformes, de escasso relevo e pantanosas.

### 4.1 - Altimetria

A altimetria é a parte da topografia que trata dos métodos e instrumentos empregados no estudo e representação do relevo do solo. O estudo do relevo de um terreno consiste na determinação das alturas de seus pontos característicos e definidores da altimetria, relacionados com uma superfície de nível que se toma como elemento de comparação [23].

A determinação da cota/altitude de um ponto é uma actividade fundamental em engenharia, para projectos de estradas, planeamento urbano e para o nosso caso em estudo. A determinação do valor da cota/altitude está baseada em métodos que permitem obter desníveis entre pontos. Conhecendo um ponto de referência inicial é possível calcular as demais cotas ou altitudes. A altitude é a distância medida na vertical entre o ponto da superfície física da terra e a superfície de referência altimétrica, que neste caso das altitudes é o nível médio dos mares prolongados nos continentes [23][23] .

## 4.2 - Aparelhos para a medição de Altimetria

A medição e sua construção da altimetria são utilizados uns aparelhos a que se chama de níveis, que permitem definir com precisão um plano horizontal ortogonal à vertical definida pelo eixo principal do equipamento.

São três os eixos principais de nível, como mostra a figura seguinte:

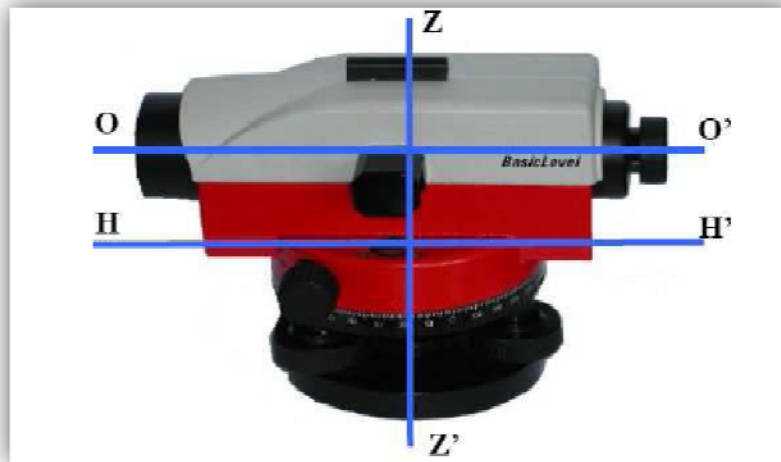


Figura 4.1 - Aparelho para a medição da altimetria [23].

Sendo os seus eixos designados por:

- $ZZ'$  = eixo principal ou de rotação do nível
- $OO'$  = eixo óptico/ linha de visada/ eixo de colimação
- $HH'$  = eixo do nível tubular ou tangente central

Quanto ao funcionamento, os equipamentos podem ser classificados em ópticos, digitais e a laser. Nos digitais, a leitura na mira é efectuada automaticamente empregando miras em código de barra. Nos níveis lasers, o equipamento lança um feixe de raios laser no plano horizontal, invisível ou visível, e em 360°. Este feixe pode ser captado por um sensor acoplado, ou a uma mira, ou a alguma máquina de terraplenagem. Se visível, o feixe pode ser visto directamente sobre a mira.

## 4.3 - Altimetria no Território Nacional

A altimetria do território nacional se encontra representado nas seguintes duas figuras:

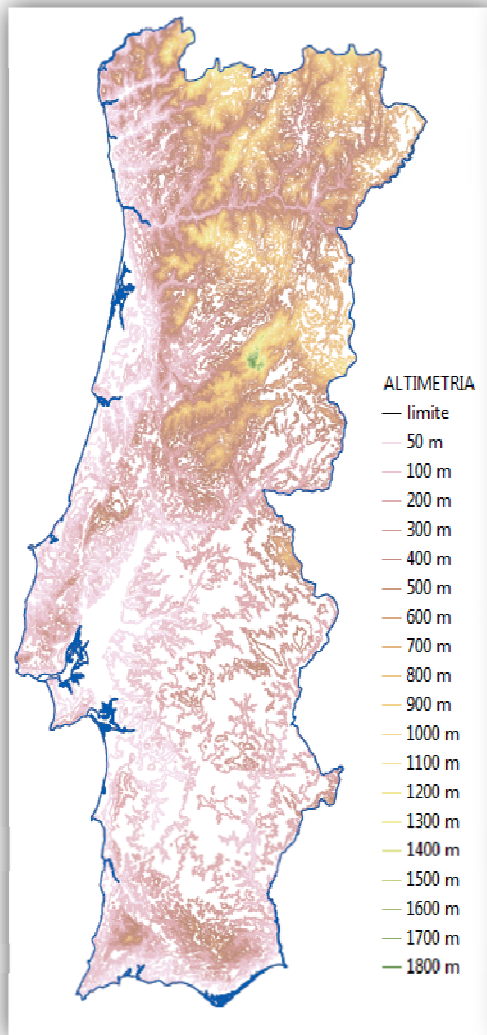


Figura 4.2 - Mapa de Altimetria de Portugal Continental.

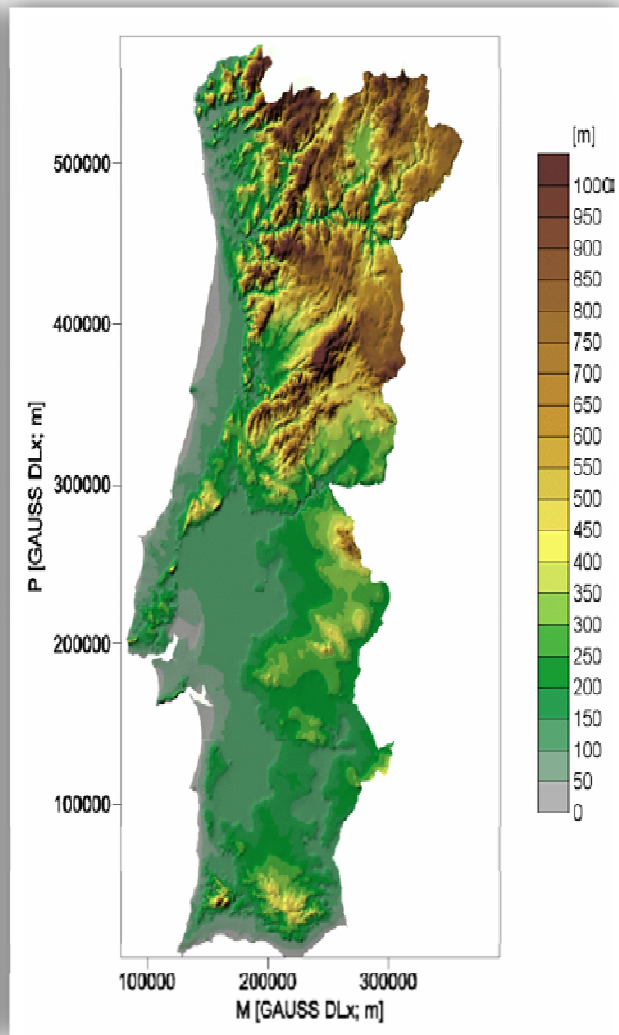


Figura 4.3 - Mapa de Altimetria de Portugal Continental [24].

As duas figuras anteriores apresentam os declives ao longo do perfil do território nacional, permitindo identificar as zonas onde se pode retirar um maior proveito de uma das características que varia directamente com a produção de energia a que se designa pela queda. Da figura 4.3 se pode observar que os locais cuja altitude no território nacional continental é mais elevada se situam na zona Norte de Portugal representado pela cor acastanhado. Aí se encontra os locais onde pode ser possível a obtenção de uma queda de água bastante favorável para a exploração de Centrais Mini-Hídricas. Nas zonas que estão representadas a verde a probabilidade de encontrar um “bom” desnivelamento de água é bastante mais reduzida em comparação com a zona Norte.

Analisando as curvas de nível no território nacional como um todo:

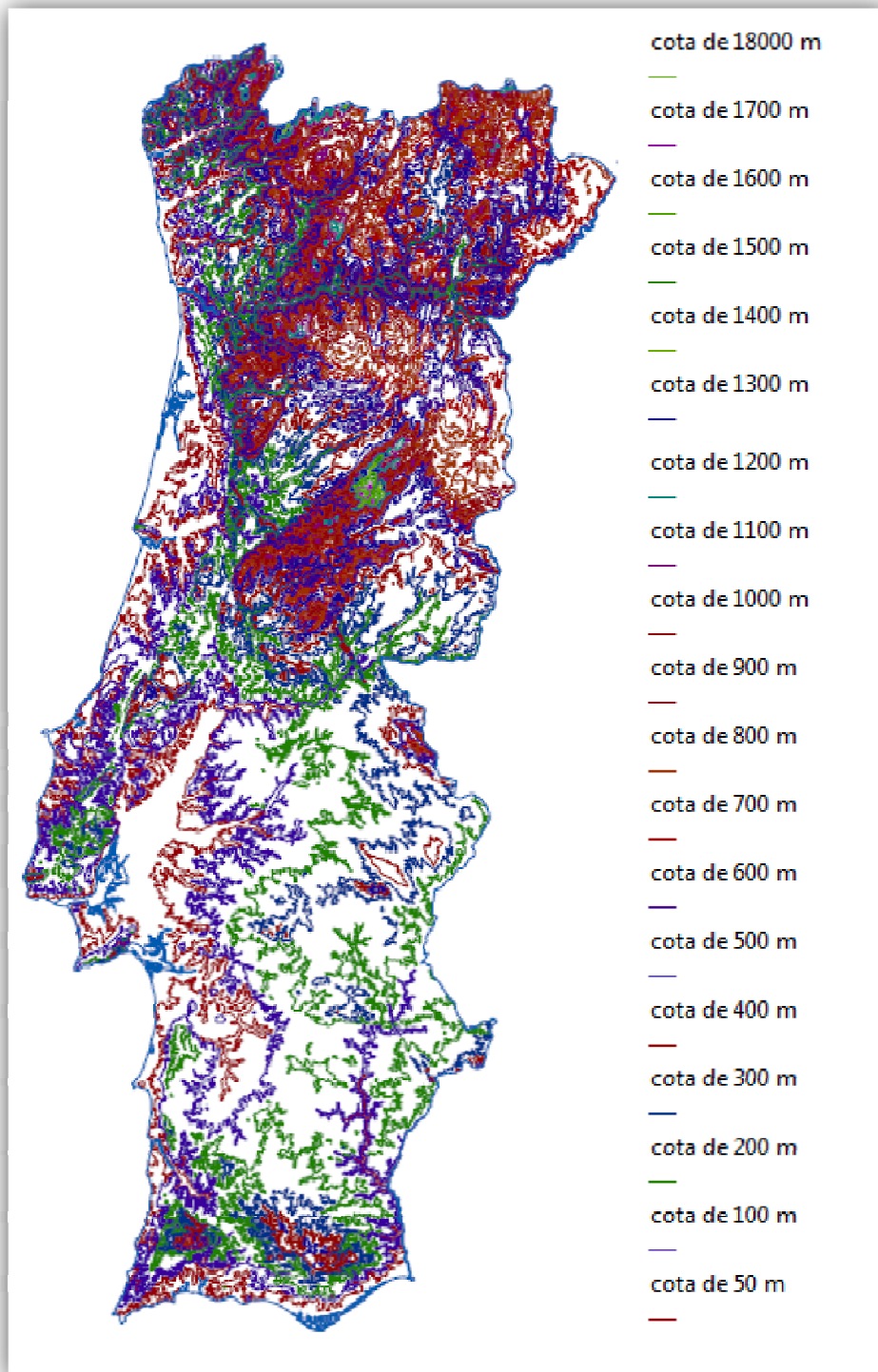


Figura 4.4 - Representação de todas as curvas de nível em Portugal Continental.

Na figura anterior está representado todas as curvas de nível em Portugal Continental. Pode-se verificar que existe uma maior concentração (densidade) das curvas de nível na região Norte do País pelo um maior preenchimento dos espaços de diversas cores. A cor branca indica que não existe nenhuma representação de curvas de nível. Então para analisar

melhor as curvas de nível em Portugal Continental, então este mapa foi dividido em 3 mapas para uma maior percepção.

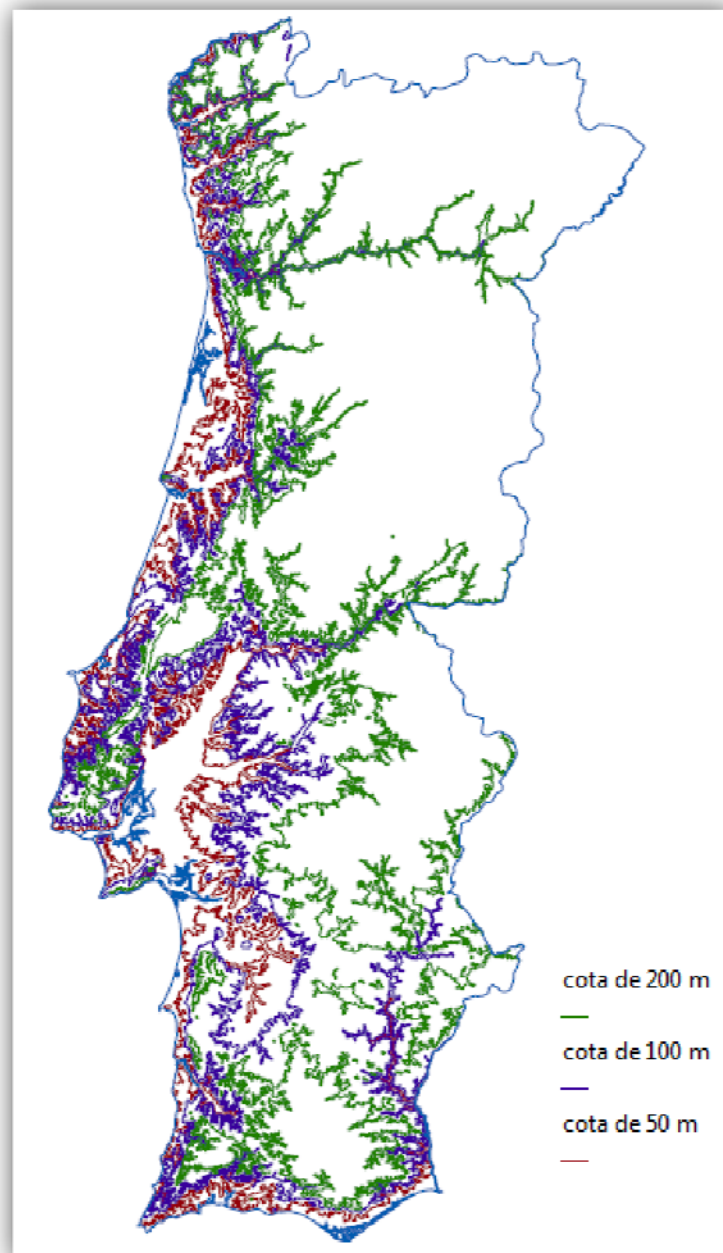


Figura 4.5 - Representação das curvas de nível mais baixas em Portugal Continental.

Na figura anterior 4.5 está representado as curvas de nível com as cotas mais baixas, que são as cotas de 50, 100 e de 200 metros. Analisando as cotas globalmente, estas se situam principalmente na zona litoral e a Sul do País. A curva de nível com cota de 50 metros se encontra principalmente na zona litoral. Para as curvas de nível de 100 e 200 metros já se situam mais espalhados pelo país e estando mais ramificadas pelo território nacional. Na zona Norte e fora do litoral existe as curvas de nível principalmente de 200 metros que situam no

alongamento do rio Douro. Mas fora do litoral e no alongamento do rio Douro, a região Norte não possui curvas de nível das mais baixas.

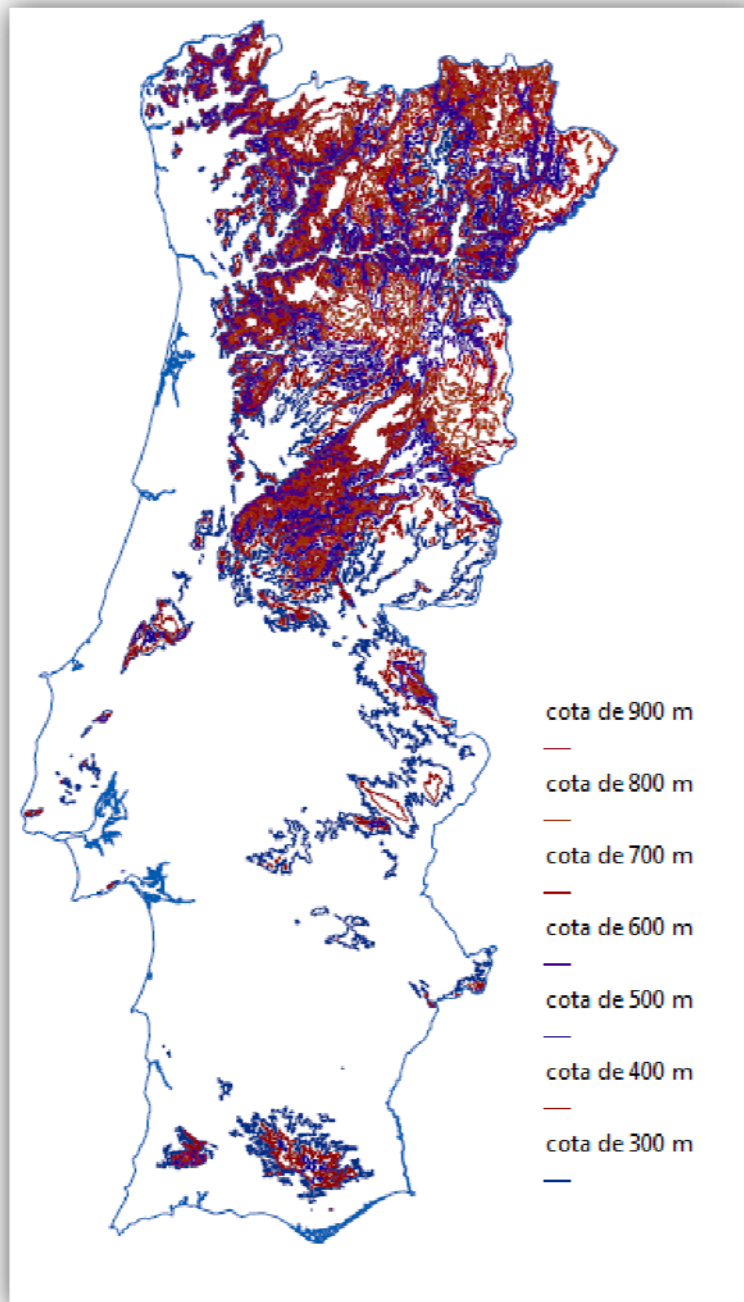


Figura 4.6 - Representação das curvas de nível intermédias em Portugal Continental.

Na figura anterior 4.6 está representado as curvas de nível com as cotas de 300 a 900 metros. Como era de esperar na parte litoral de Portugal não se encontra representado as curvas de nível, então não existe cotas superiores a 300 metros. Pode-se verificar que existe uma grande densidade de curvas de nível na região Norte, porque na região Norte a sua principal característica é ser montanhosa, enquanto na região Sul é predominantes as planícies.

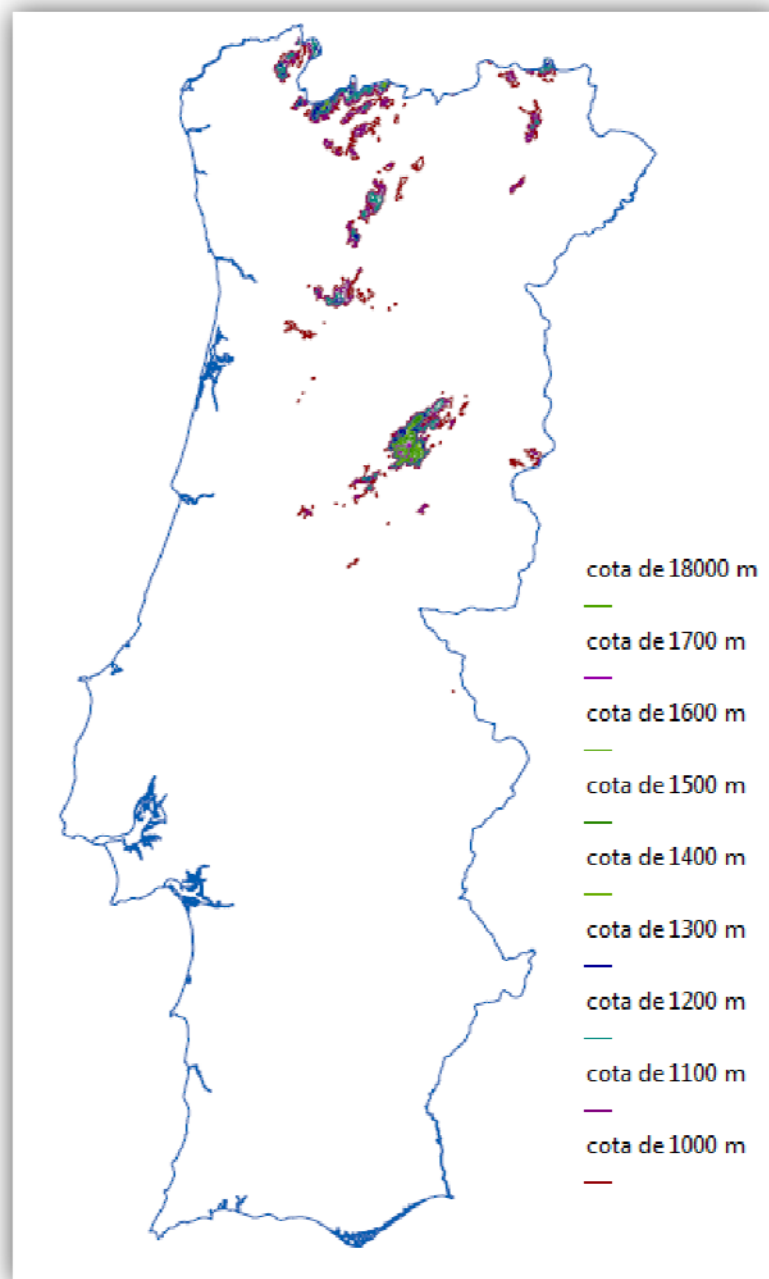


Figura 4.7 - Representação das curvas de nível mais altas em Portugal Continental.

Como se pode verificar na figura anterior 4.7 com as curvas de nível superiores a 1000 metros em Portugal Continental se situam no Norte de Portugal. A sua localização está muito concentrada, principalmente na zona da Serra da Estrela que é o local mais elevado de Portugal Continental, logo a sua existência de concentração das curvas de nível nesse local. Nos outros locais com curvas de nível superiores a 1000 metros se situam principalmente a Norte de Portugal e a fronteira com a Espanha. Como se pode verificar a Sul do País e toda a zona litoral de Portugal, não existe curvas de nível superiores ou igual de cota de 1000 m.

Um dos factores que influênciam directamente para o aumento da potência eléctrica que um pequeno aproveitamento pode extrair, é conseguir aumentar a altura da queda de água, então um dos melhores locais para conseguir esse aumento é na região Norte porque possui uma maior densidade de curvas de nível com diferentes cotas, logo a possibilidade de conseguir um aumento da altura de queda de água devido às características do terreno. Nas regiões do Sul e do Litoral a densidade de curvas de nível são inferiores, sendo essas curvas de nível predominante baixas. Logo a possibilidade de explorar um aproveitamento rentável do ponto de vista económico é muito baixo.

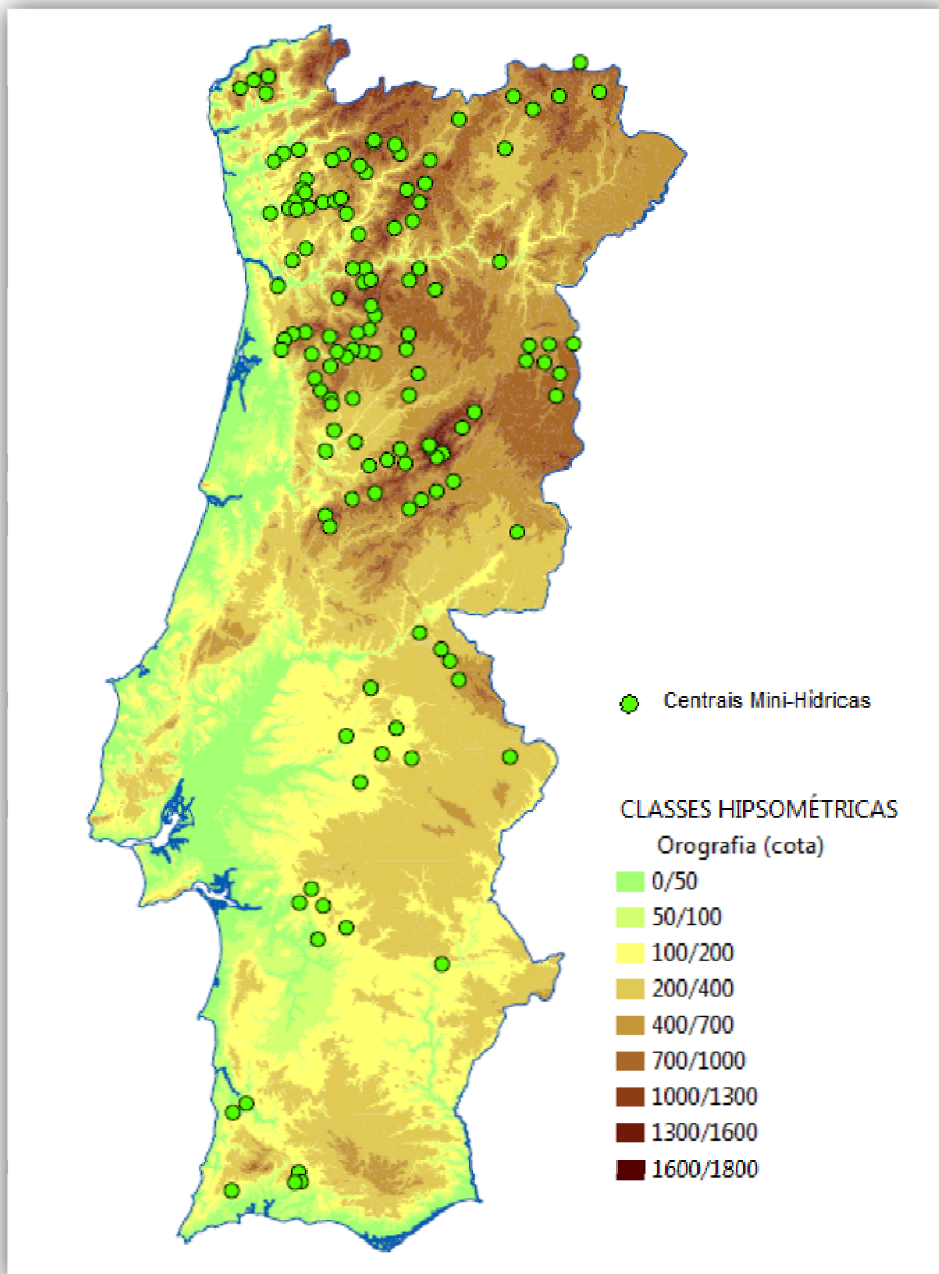


Figura 4.8 - Classes Hipsométricas com as Centrais Mini-Hídricas.

Como se pode ver da figura anterior a localização das Mini-Hídricas se encontra principalmente nas classes Hipsométricas para cotas superiores a 400/700 metros. Essa localização se encontra no Norte de Portugal, como era de espera pois se encontra as curvas de nível mais elevadas. As Classes Hipsométricas são o agrupamento de um intervalo de curvas de nível.



## Capítulo 5

# Análise dos Solos e as Áreas Protegidas

O escoamento subterrâneo depende não só da precipitação ocorrida, como também das condições do solo em relação à filtração e das características dos aquíferos<sup>2</sup>. Este escoamento tem menor variabilidade no tempo do que o escoamento superficial, em consequência da capacidade de armazenamento da água dos aquíferos e no caso de formações porosas, da lentidão do movimento da água. Assim, os rios alimentados por aquíferos apresentam um regime de caudal mais regular. A quantidade de água que a longo prazo é possível extrair dum aquífero sem conduzir a um abaixamento irrecuperável dos seus níveis de água é limitada pela alimentação que aquele recebe [19].

### 5.1 - Distribuição de tipos de solos

Os solos resultam de alterações químicas, físicas e biológicas das formações geológicas, as quais dependem em grande parte, do tipo de clima e do ritmo do tempo. Sendo os solos eluvionares, em geral pouco espessos, pedregosos e de baixa produtividade. São o resultado da acumulação de detritos transportados pelos cursos de água. Os aluviões ou solos aluvionares, em geral mais profundos do que aqueles, mas que só se encontram em áreas reduzidas nos vales largos do norte e nuns largos quilómetros quadrados nas bacias do Tejo-Sado. Seja qual for a sua origem, os solos estão sujeitos a vários tipos de erosão que contribuem para aumentar a sua degradação e o seu empobrecimento.

---

<sup>2</sup> Aquífero é uma formação ou grupo de formações geológicas que pode armazenar água subterrânea. São rochas porosas e permeáveis, capazes de reter água e de cedê-la. Esses reservatórios móveis aos poucos abastecem rios e poços artesianos [25].

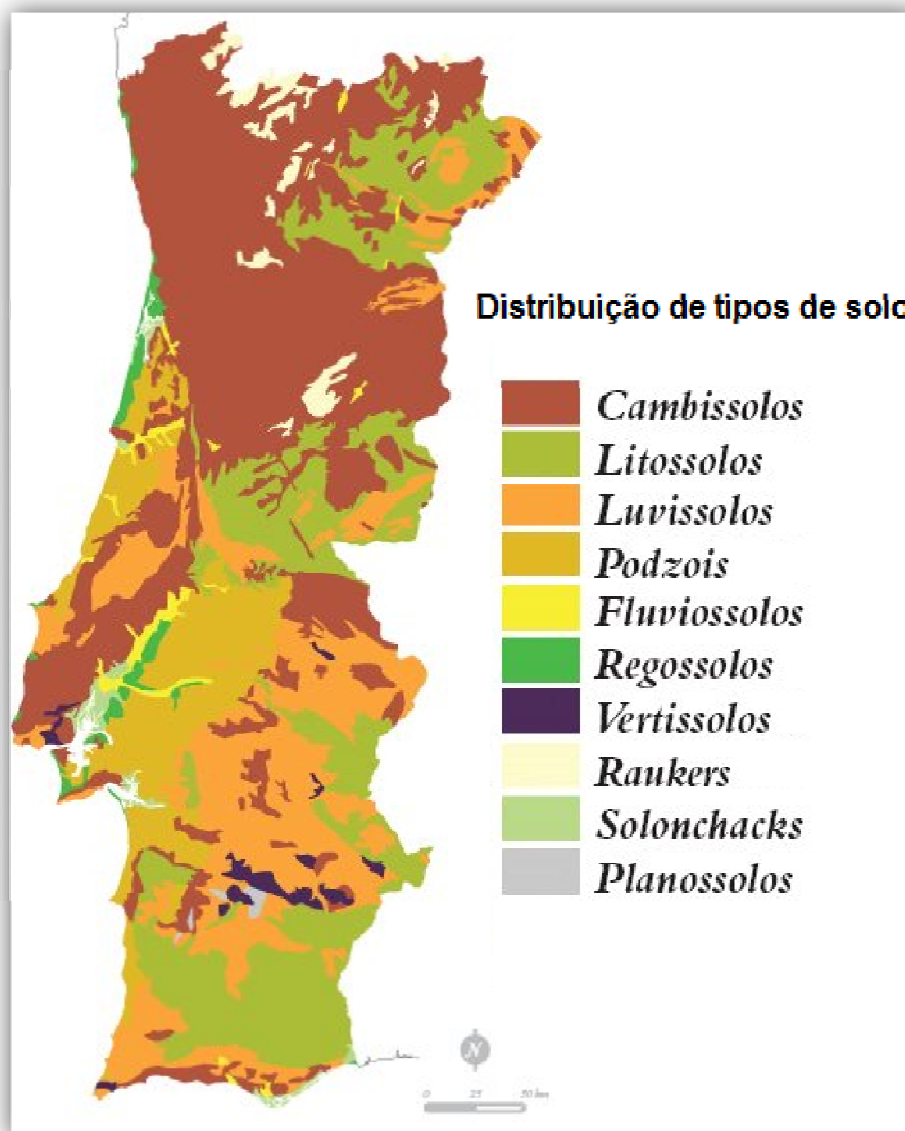


Figura 5.1 - Distribuição de tipos de solos [26].

- Solos Cambissolos - Solos castanhos relativamente móveis, produto de complexos rochosos antigos.
- Solos Litossolos - Solos pedregosos muito pouco espessos e muito pouco evoluídos, estabelecidos sobre rochas-mãe duras.
- Solos Luvisolos - solos argilosos com elevado grau de saturação em bases
- Solos Podzois - solos ácidos cuja evolução é condicionada pela presença de um húmus caracterizado por mineralização lenta da matéria orgânica fresca, são característicos de florestas degradadas de resinosas.
- Solos Fluviossolos - Solos formados sobre depósitos fluviais recentes.
- Solos Regossolos - Solos muito pouco evoluídos, estabelecidos sobre rochas-mãe moles.

- Solos Vertissolos - Solos negros e argilosos de regiões quentes com estação quente.
- Solos Raukers - Solos pouco evoluídos, principalmente em áreas montanhosas de regiões temperadas.
- Solos Solonchacks - Solos ligados à existência de toalhas de água salgada.
- Solos Planossolos - solos fracamente permeáveis, com características hidromorfas.

As características dos solos são um dos pontos fundamentais, pois um tipo de solo que tem a capacidade de reter uma quantidade de água considerável, então nesses locais se torna com mais água disponível principalmente nos períodos de tempo em que não exista precipitação. A colocação das Mini-Hídricas nesses locais e a existência de uma bacia hidrográfica de área considerável, juntamente com a precipitação e a queda da altura de água poderá ser viável economicamente a exploração de uma Central Mini-Hídrica nesses locais.

## 5.2 - Áreas Protegidas

Área protegida é um espaço geográfico claramente definido, reconhecido, dedicado e gerido através de meios legais ou outros igualmente eficientes, com o fim de obter a conservação do longo do tempo da natureza com os serviços associados ao ecossistema e os valores culturais.

Os principais objectivos na gestão de uma área protegida são:

- Projecção de zonas florestais;
- Preservação das espécies e da diversidade genética;
- Manutenção dos serviços ambientais;
- Protecção dos serviços ambientais;
- Protecção de características naturais e culturais específicas;
- Utilização sustentável dos recursos derivados de ecossistemas naturais;
- Investigação científica;

A actual legislação portuguesa respeitante a Áreas Protegidas consagra cinco quanto à sua classificação segundo [27]:

- Parque Nacional - Área com ecossistemas pouco alterados pelo Homem, amostras de regiões naturais características, paisagens naturais ou humanizadas, locais geomorfológicos ou habitats de espécies com interesse ecológico, científico e educacional.

- Parque Natural - Área que se caracteriza por conter paisagens naturais, seminaturais e humanizadas, de interesse nacional, sendo exemplo de integração harmoniosa da actividade humana e de Natureza e que se apresenta amostras de um bioma ou região natural.
- Reserva Natural - Área destinada à protecção de habitats de flora e fauna.
- Paisagem Protegida - Área com paisagens naturais, seminaturais e humanizadas, de interesse regional ou local, resultantes da interacção harmoniosas do homem e da Natureza que evidência grande valor estético ou natural.
- Monumento Natural - Ocorrência natural contendo um ou mais aspectos que, pela singularidade, raridade ou representatividade em termos ecológicos, estéticos, científicos e culturais exigem a sua conservação e a manutenção da sua integridade.

Na seguinte figura se encontra todas as áreas Protegidas de Portugal Continental:

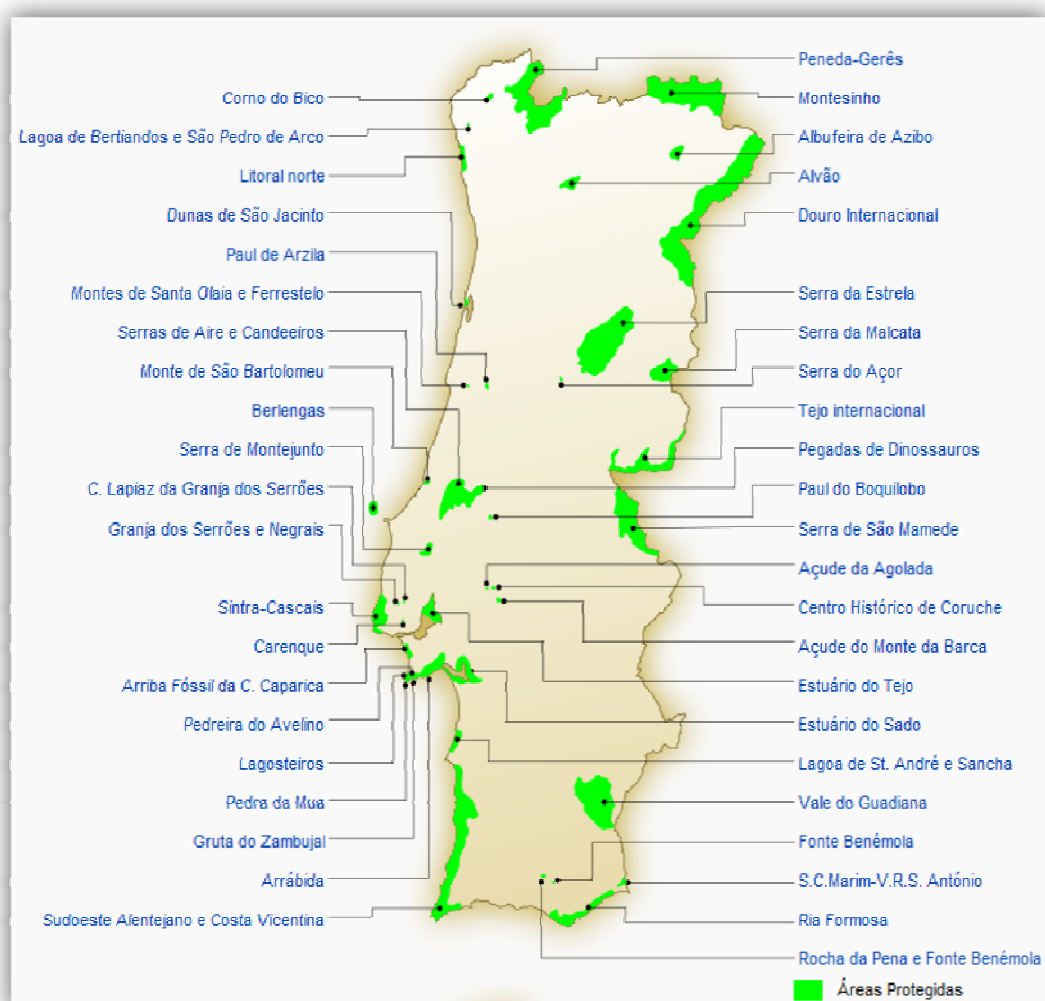


Figura 5.2 - Áreas Protegidas em Portugal Continental [26].

Na figura anterior é possível identificar no mapa as Áreas Protegidas em Portugal Continental, que estão representados pela cor verde.

Agora consiste em analisar o mapa das Áreas Protegidas obtido pelo do SIG com as Centrais Mini-Hídricas presentes no território nacional.

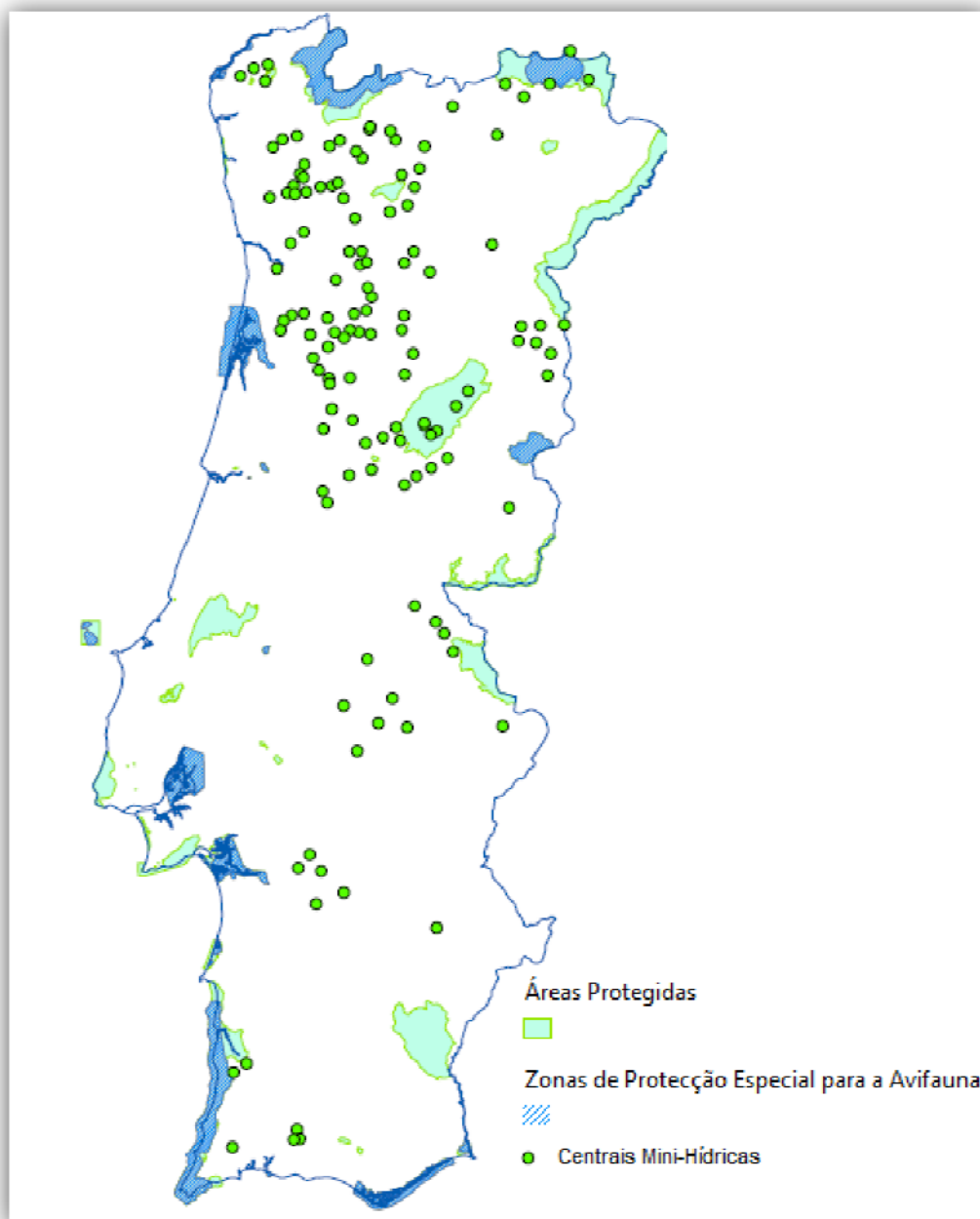


Figura 5.3 - Áreas Protegidas em Portugal Continental e as Centrais Mini-Hídricas.

Da figura anterior se pode verificar que existe a exploração de Centrais Mini-Hídricas na Área protegida designada de Serra da Estrela. Uma das explicações para essa possibilidade poderá ser devido a altura de queda de água nessa região ser bastante elevada, como os

impactos na construção e de exploração são muito diminutos, o que possibilita a construção da Central Mini-Hídrica nessa Área Protegida. Nos restantes locais onde se assinala as Áreas Protegidas não existe nenhuma Central de Mini-Hídrica construída.

Para as zonas de Protecção Especial para a Avifauna existe uma Central Mini-Hídrica que se encontra nessa zona Protegida, com o nome de Montesinho. Para as restantes Zonas de Protecção Especial para a Avifauna não existe nenhuma Central Mini-Hídrica.

## Capítulo 6

### Potencial Mini-Hídrico

Avaliar o potencial regional é um problema que intervém vários factores. Para a avaliação da quantidade de potência que se pode ser instalada numa determinada região torna-se muito importante, na medida que permite identificar zonas com maior potencial.

Neste estudo apresentar-se-á uma avaliação do potencial existente ao longo do território nacional dividido por distritos.

Assim o potencial por explorar num determinado distrito é dado pela seguinte equação:

$$Potencial = \rho \times g \times \eta \times f_u \times P_{luv} \times \frac{A}{31536000} \times H_{méd} - P_{expl} \quad (\text{Equação 6.1})$$

Onde:

Potencial - Potencial por explorar (KW);

$\rho$  - Densidade da Água ( $\text{Kg/m}^3$ );

$g$  - Aceleração da Gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );

$\eta$  - Rendimento do Sistema (%);

$f_u$  - Factor de utilização;

$P_{luv}$  - Pluviosidade Anual (m);

$A$  - Área do distrito ( $\text{m}^2$ );

$H_{méd}$  - Queda média por distrito (m);

$P_{expl}$  - Potência já em exploração (KW);

Na realização dos cálculos foi considerada um rendimento do sistema de 60%, um factor de utilização de 20% e sendo o valor de queda média obtida pela diferença da queda mais elevada com a queda mais baixa do distrito.

Assim foi obtido em percentagem o potencial por explorar no território nacional, como se pode verificar na figura seguinte:

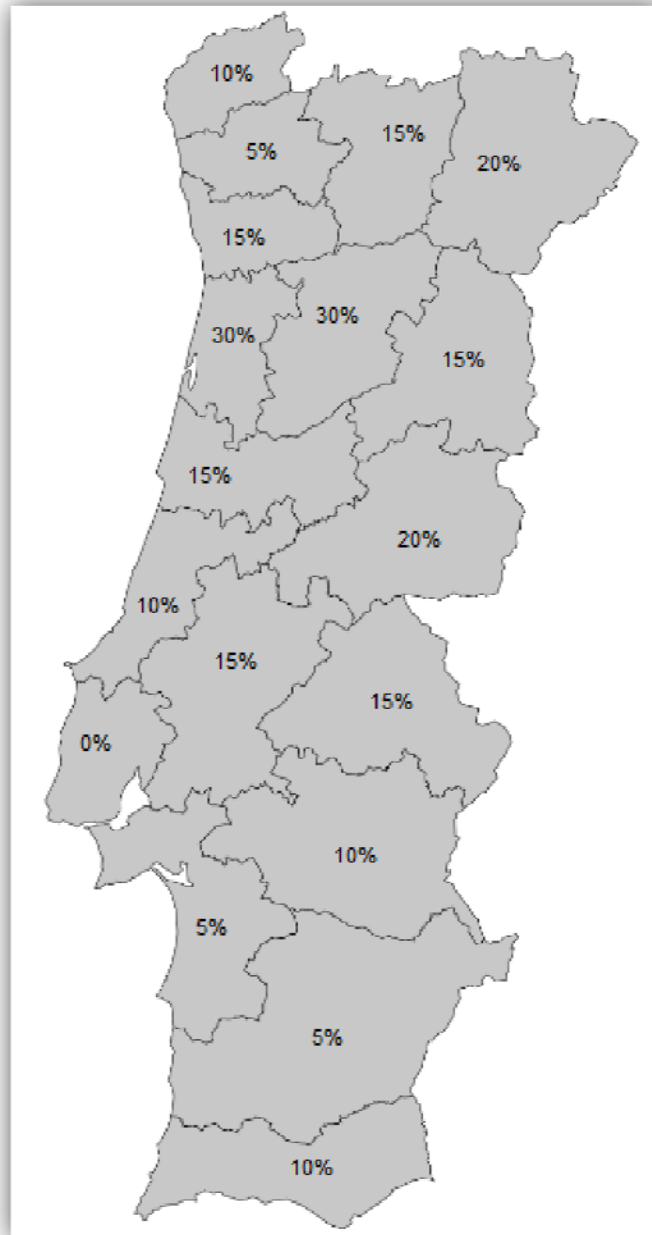


Figura 6.1 - Divisão por distritos do Potencial por explorar em Portugal.

Na análise da figura anterior se pode concluir que os distritos que têm um maior potencial para exploração através das Centrais Mini-Hídricas se situam nos distritos a Norte de Portugal. Nos distritos de Aveiro e Coimbra possuem os maiores Potenciais por explorar. Enquanto no distrito de Lisboa não existe potencial por explorar, mas se nos deslocarmos para Sul de Portugal o potencial por explorar é muito fraco.

## Capítulo 7

# Conclusões e Trabalhos Futuros

### 7.1 - Conclusões

As Centrais Mini-Hídricas ainda não mereceram o destaque em relação às outras tecnologias como a eólica e a solar, sendo uma explicação possível a reduzida fracção de produção de energia face às outras tecnologias. Mas a energia hídrica é uma das prioridades contempladas pelas políticas energéticas nacionais, por isso é de enorme interesse o estudo e o desenvolvimento para a sua caracterização a nível nacional.

A principal conclusão retirada no desenvolvimento desta tese é a existência de um grande potencial na Região Norte de Portugal Continental por explorar através da tecnologia de Centrais Mini-Hídricas. Sendo os factores favoráveis para essa região a quantidade de precipitação, quer em quantidade de precipitação e o número de dias em que chove. Mas o factor mais importante é a existência da possibilidade de conseguir uma altura de queda de água bastante favorável para a exploração deste tipo de aproveitamentos.

O principal objectivo foi atingido que é:

- Desenvolvimento de metodologias baseadas em Sistemas de Informação Geográfica para avaliar o potencial nacional de aproveitamentos de Pequenas Centrais Hidroeléctricas;

Ficando por fazer a análise de uma dada região pois a construção dos modelos incidiram na análise por Distrito.

## 7.2 - Trabalhos Futuros

Nesta dissertação realizou-se um estudo muito abrangente sobre os vários dados que influenciam directamente na produção de energia, através do uso de Sistemas de Informação Geográfica

No entanto, existe uma quantidade de trabalhos futuros a serem desenvolvidos, sugerindo os seguintes:

- A constituição de equipas para o levantamento dos dados e comparar os dados obtidos com os dados existentes, pois esses dados de recolha foram medidos há vários anos;
- Recolha da informação dos caudais dos rios, pois só existem estimativas dos caudais através do desenvolvimento de modelos;
- Realização de uma pesquisa para analisar a constituição dos solos que estão presentes na área da bacia hidrográfica e verificar quais os solos com a maior capacidade de reter água da precipitação e elaborando modelos para todo o território nacional;
- Recolha de todos os pontos de ligação disponíveis na Rede Eléctrica Nacional, estudando a sua viabilidade de projecto;
- Análise da legislação Portuguesa sobre as áreas protegidas, se existe a possibilidade de exploração de uma Central Mini-Hídrica nesse local, porque os impactos ambientais são muito reduzidos;
- Recolha de informação sobre os custos de investimento nas várias fases do processo e dos seus principais elementos constituintes de Centrais Mini-Hídricas;

# Referências

- [1] António Gonçalves Henriques, “Energias do Presente e do Futuro”. Disponível em [http://www.cfn.ist.utl.pt/conf\\_energia](http://www.cfn.ist.utl.pt/conf_energia). Acesso em 21/Março/2010.
- [2] Sociedade Térmica Portuguesa, S.A. Disponível em <http://www.endesaportugal.pt>. Acesso em 24/Março/2010.
- [3] Cristiana Campus Eduardo Eusébio, “Gestão de Energia - Energia Mini-Hídrica”, Março 2006.
- [4] “Mini-Hídricas”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Outubro de 2009.
- [5] Hélder Teixeira, Caracterização da Produção de Centrais Mini-Hídricas, de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. Manuel Vaz Guedes, “O Alternador Síncrono Trifásico nos Pequenos Aproveitamentos Hidroeléctricos, Novembro de 2008”
- [6] “Aproveitamentos Hídricos para Fins Múltiplos”, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Aníbal Traçada de Almeida, Julho de 2005
- [7] Victor Manuel Gonçalves de Sousa, “Modelação da Gestão Integrada de Mini-Hídricas”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1989.
- [8] “Renewable Energy Scenario to 2040”, European Renewable Energy Council. Disponível em [www.erec-renewables.org](http://www.erec-renewables.org). Acesso em 20/Março/2010.
- [9] Potencial Hidroeléctrico Nacional. Disponível em <http://www.ren.pt/>. Acesso em 20/Março/2010.
- [10] “Aproveitamentos Hidroeléctricos”, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2006/2007.
- [11] “Introdução À Energia Mini-Hídrica”, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Rui M.G. Castro, Dezembro 2002 (edição 1).
- [12] “On how to develop a small hydro site”, Layman’s Guidebook, European Small Hydropower Association. Disponível em <http://www.microhydropower.net/>. Acesso em 24/Abril/2010.
- [13] Energias de Portugal (EDP) “Produção Hidroeléctrica, Centrais da EDP Produção” Disponível em <http://www.edp.pt/>. Acesso em 28/Abril/2010.
- [14] Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGGE) “ Caracterização Energética Nacional” Disponível em <http://www.dgge.pt/>. Acesso em 28/Abril/2010.
- [15] European Commision “A alteração climática está a acontecer” Disponível em <http://ec.europa.eu/>. Acesso em 28/Abril/2010.

## Referências

- [16] “Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricos”, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Março 2006.
- [17] Maria Helena Alves, António Gonçalves Henriques “O caudal ecológico como medida de minimização. Métodos para a sua determinação”. Disponível em <http://www.inag.pt/>. Acesso em 15/Junho/2010.
- [18] Meteo Queluz. Disponível em <http://www.meteoqueluz.info/precipitacao>. Acesso em 20/Junho/2010.
- [19] Instituto da Água “Água em Portugal”. Disponível em <http://www.inag.pt/inag2004>. Acesso em 18/Junho/2010.
- [20] Hélder Teixeira, Caracterização da Produção de Centrais Mini-Hídricas, de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [21] Cláudio Monteiro, *Mini-Hídricas*. Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto.
- [22] Nelson Cerejo, Conceptualização e Análise de um Conjunto Integrado de Projectos para um Parque de Energia, da Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [23] “Altimetria”, Centro Federal de Educação Tecnológica, curso técnico de Geomensura.
- [24] Teresa Esteves, Base de Dados do Potencial Energético do Vento em Portugal - Metodologia e Desenvolvimento, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2004.
- [25] “Definição de Aquífero” Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Aquífero> Acesso em 20/Junho/2010.
- [26] Atlas de Portugal “Clima e suas Influências - Os solos”. Disponível em [http://www.igeo.pt/atlas/Cap1/Cap1d\\_6.html](http://www.igeo.pt/atlas/Cap1/Cap1d_6.html) Acesso em 20/Junho/2010.
- [27] Instituto da Conservação da Natureza “Áreas Protegidas”. Disponível em <http://portal.icnb.pt> Acesso em 20/Junho/2010.
- [28] J.A. Peças Lopes, “Produção distribuída e Energias Renováveis - Centrais Mini-Hídricas, 2004/2005”
- [29] Ministério da Economia e da Inovação, “Energia e Alterações Climáticas” Publicação do MEI, 2007.
- [30] “Evaporação e Evapotranspiração”, Universidade Federal da Bahia de Hidráulica e Saneamento, 2006.