



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação**



## **Avaliação económica da bombagem hidroelétrica no quadro do mercado ibérico de eletricidade**

**HUGO FILIPE SIMÃO BARRENTO**  
(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

Dissertação de Mestrado para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Eletrotécnica – ramo de Energia

Orientadores:

Prof.<sup>a</sup> Cristina Inês Camus

Prof. Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio

Júri:

Presidente: Professor Luís Manuel dos Santos Redondo

Vogais:

Professor António Moisés Ribeiro Antunes

Professora Cristina Inês Camus

**Dezembro de 2017**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação**



## **Avaliação económica da bombagem hidroelétrica no quadro do mercado ibérico de eletricidade**

**HUGO FILIPE SIMÃO BARRENTO**  
(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

Dissertação de Mestrado para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Eletrotécnica – ramo de Energia

Orientadores:

Prof.<sup>a</sup> Cristina Inês Camus  
Prof. Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio

Júri:

Presidente: Professor Luís Manuel dos Santos Redondo

Vogais:

Professor António Moisés Ribeiro Antunes  
Professora Cristina Inês Camus

**Dezembro de 2017**

**Dissertação realizada sob orientação de:**

**Professora Cristina Inês Camus**  
Professora Adjunta da Área Departamental  
de Engenharia Eletrotécnica de Energia e Automação

**Professor Eduardo Adelino Eusébio**  
Professor Adjunto da Área Departamental  
de Engenharia Eletrotécnica de Energia e Automação

## **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo a análise económica de dois aproveitamentos hidroelétricos reversíveis instalados em Portugal, tendo como cenários um ano húmido e um ano seco. Pretende ainda analisar a sua viabilidade económica em ambos os cenários, confrontado a análise real com uma hipotética sem bombagem, por forma a validar a utilização e investimento neste tipo de equipamento.

Conclui-se, assim, que quer em anos secos ou anos húmidos, e mesmo num cenário hipotético sem bombagem, a exploração de aproveitamentos hidroelétricos é mais lucrativa quando possuem equipamentos reversíveis.



## **Abstract**

The purpose of this work is the economic analysis of two reversible hydroelectric plants installed in Portugal, taking as scenario a wet year and a dry year, and analyze their economic viability in both scenarios, compared to the real analysis carried out with a hypothetical scenario without pumping, in order to validate the use and investment in this type of equipment.

It is concluded, that in dry or wet years, and even in a hypothetical scenario without pumping, the exploitation of hydroelectric uses is more profitable when they have reversible equipment.



## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer aos meus orientadores e amigos, a Professora Cristina Camus e o Professor Eduardo Eusébio, pela ajuda e apoio, não só no percurso de elaboração deste trabalho, mas também no meu percurso enquanto aluno do ISEL.

Ao Sr. Carlos Castro da EDP Produção, da Direção do Centro de Produção Tejo-Mondego, os meus mais profundos agradecimentos pela disponibilização de informação que permitiu elaborar este trabalho.

Gostaria de agradecer aos meus colegas cujo apoio e ajuda em momentos chave, me permitiram chegar até aqui.

Gostaria de agradecer aos meus amigos, para quem muitas vezes não tive disponibilidade, e que espero que daqui para a frente possa voltar a ter.

Gostaria de agradecer à minha namorada pelo apoio em todo este percurso, pela compreensão e pelos sacrifícios para atingir os meus objetivos.

Gostaria de agradecer à minha mãe, que sempre me manifestou o seu apoio, mesmo não entendendo por vezes a teimosia que me fazia insistir nesta jornada.

Por fim, gostava de dedicar ao meu pai as últimas linhas destes agradecimentos.

Com a entrega deste trabalho, pago a última dívida que mantinha para contigo. Realizo assim um dos teus últimos desejos, com a satisfação de o ter cumprido, mais tarde do que desejável, mas cumprido. Lamento apenas que já não o possamos celebrar em conjunto.



## Índice

1. Introdução.....	- 1 -
1.1. Enquadramento e Motivação .....	- 1 -
1.2. Objetivo e Objeto .....	- 2 -
1.3. Estrutura da Dissertação .....	- 2 -
2. Revisão da Literatura.....	- 5 -
2.1. Retrospectiva histórica .....	- 5 -
2.1.1. De 1878 a 1930 .....	- 5 -
2.1.2. De 1930 a 1950 .....	- 7 -
2.1.3. De 1950 a 1970 .....	- 9 -
2.1.4. De 1970 a 1990 .....	- 10 -
2.1.5. De 1990 à atualidade.....	- 11 -
2.2. O papel dos aproveitamentos hidroelétricos reversíveis .....	- 12 -
2.3. Estudos de caso .....	- 15 -
2.3.1. Aproveitamento hidroelétrico da Agueira .....	- 16 -
2.3.2. Aproveitamento hidroelétrico do Alqueva.....	- 17 -
2.3.3. Aproveitamento hidroelétrico do Alto Rabagão .....	- 18 -
2.3.4. Aproveitamento hidroelétrico de Frades I .....	- 19 -
2.3.5. Aproveitamento hidroelétrico do Torrão .....	- 20 -
2.3.6. Aproveitamento hidroelétrico de Vilarinho das Furnas .....	- 21 -
3. Metodologia .....	- 23 -
3.1. Abordagem Geral .....	- 23 -
3.2. Obtenção de Informação .....	- 23 -
3.3. Séries de Dados em Análise.....	- 25 -
3.3.1. Análise aos fatores que influenciam a bombagem e produção hidroelétricas ..	- 25 -
3.3.2. Análise aos valores de bombagem e produção hidroelétricas nos anos de 2014 e 2015.....	- 25 -
3.3.3. Análise ao preço marginal da energia no sistema português para os anos de 2014 e 2015.....	- 26 -

3.4. Abordagem .....	- 26 -
4. Resultados.....	- 33 -
4.1. Análise do preço marginal de energia elétrica .....	- 33 -
4.1.1. Ano de 2014 .....	- 33 -
4.1.2. Ano de 2015 .....	- 35 -
4.2. Cenário real .....	- 37 -
4.2.1. Ano húmido – 2014 – Aguieira.....	- 37 -
4.2.2. Ano seco – 2015 – Aguieira .....	- 42 -
4.2.3. Ano húmido – 2014 – Alqueva .....	- 47 -
4.2.4. Ano seco – 2015 – Alqueva .....	- 52 -
4.3. Cenário hipotético sem bombagem.....	- 57 -
4.3.1. Ano húmido – 2014 – Aguieira.....	- 58 -
4.3.2. Ano seco – 2015 – Aguieira .....	- 58 -
4.3.3. Ano húmido – 2014 – Alqueva .....	- 59 -
4.3.4. Ano seco – 2015 – Alqueva .....	- 59 -
4.4. Cenário Real vs. Cenário Hipotético .....	- 60 -
4.4.1. Ano húmido – 2014 – Resumo.....	- 60 -
4.4.2. Ano seco – 2015 – Resumo.....	- 60 -
4.5. Comparação entre 2014 e 2015 .....	- 60 -
4.5.1. Aproveitamento hidroelétrico de Aguieira .....	- 61 -
4.5.2. Aproveitamento hidroelétrico de Alqueva.....	- 65 -
5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros .....	- 69 -
6. Referências bibliográficas .....	- 71 -
7. Anexos .....	-76 -

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Momentos de bombagem e turbinagem.....	- 13 -
Figura 2.2 – Fluxo energético da bombagem.....	- 13 -
Figura 2.3 – Fluxo energético da turbinagem.....	- 14 -
Figura 2.4 – Diagrama de carga de 4/fev./2014 .....	- 14 -
Figura 2.5 – Diagrama de carga de 7/jan./2015 .....	- 15 -
Figura 2.6 – Aproveitamento hidroelétrico da Aguieira.....	- 16 -
Figura 2.7 – Aproveitamento hidroelétrico do Alqueva.....	- 17 -
Figura 2.8 – Aproveitamento hidroelétrico do Alto Rabagão .....	- 18 -
Figura 2.9 – Aproveitamento hidroelétrico de Frades I.....	- 19 -
Figura 2.10 – Aproveitamento hidroelétrico do Torrão .....	- 20 -
Figura 2.11 – Aproveitamento hidroelétrico de Vilarinho das Furnas .....	- 21 -
Figura 3.1 – Precipitação entre 2008 e 2016 .....	- 24 -
Figura 3.2 – Fatores que influenciam o volume de água numa albufeira.....	- 26 -
Figura 4.1 – Preço marginal da energia elétrica em Portugal em 2014 .....	- 34 -
Figura 4.2 – Preço marginal da energia elétrica em Portugal em 2015 .....	- 36 -
Figura 4.3 – Produção com turbinagem na central da Aguieira em 2014 .....	- 38 -
Figura 4.4 – Consumo com bombagem na central da Aguieira em 2014 .....	- 40 -
Figura 4.5 – Produção com turbinagem na central da Aguieira em 2015 .....	- 43 -
Figura 4.6 – Consumo com bombagem na central da Aguieira em 2015 .....	- 45 -
Figura 4.7 – Produção com turbinagem na central de Alqueva em 2014 .....	- 48 -
Figura 4.8 – Consumo com bombagem na central de Alqueva em 2014 .....	- 50 -
Figura 4.9 – Produção com turbinagem na central de Alqueva em 2015 .....	- 53 -
Figura 4.10 – Consumo com bombagem na central de Alqueva em 2015 .....	- 55 -
Figura 4.11 – Volume de água na albufeira de Aguieira ao final de cada ano.....	- 61 -
Figura 4.12 – Volume de água bombado no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano.....	- 61 -

Figura 4.13 – Volume de água turbinado no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano.....	- 62 -
Figura 4.14 – Custo com bombagem no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano.....	- 62 -
Figura 4.15 – Receita com turbinagem no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano.....	- 63 -
Figura 4.16 – Lucro no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano .....	- 63 -
Figura 4.17 – Preço médio para água turbinada no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano.....	- 64 -
Figura 4.18 – Preço médio para água bombada no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano.....	- 64 -
Figura 4.19 – Volume de água na albufeira de Alqueva ao final de cada ano .....	- 65 -
Figura 4.20 – Volume de água bombado no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano.....	- 65 -
Figura 4.21 – Volume de água turbinado no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano.....	- 66 -
Figura 4.22 – Custo com bombagem no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano.....	- 66 -
Figura 4.23 – Receita com turbinagem no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano.....	- 67 -
Figura 4.24 – Lucro no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano .....	- 67 -
Figura 4.25 – Preço médio para água turbinada no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano .....	- 68 -
Figura 4.26 – Preço médio para água bombada no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano .....	- 68 -

## Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Resumo de 2014 para a central da Agueira .....	- 42 -
Tabela 4.2 – Resumo de 2015 para a central da Agueira .....	- 47 -
Tabela 4.3 – Resumo de 2014 para a central da Alqueva.....	- 52 -
Tabela 4.4 – Resumo de 2015 para a central de Alqueva.....	- 57 -
Tabela 4.5 – Resumo hipotético de 2014 para a albufeira da Agueira .....	- 58 -
Tabela 4.6 – Resumo hipotético de 2015 para a albufeira da Agueira .....	- 58 -
Tabela 4.7 – Resumo hipotético de 2014 para a albufeira de Alqueva.....	- 59 -
Tabela 4.8 – Resumo hipotético de 2015 para a albufeira de Alqueva.....	- 59 -
Tabela 4.9 – Resumo de cenários de 2014.....	- 60 -
Tabela 4.10 – Resumo de cenários de 2015.....	- 60 -



## **Lista de Acrónimos**

EDP – Energias de Portugal

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

MIBEL – Mercado Ibérico de Energia Elétrica

OMIE – Operador do Mercado Ibérico de Energia

REN – Rede Elétrica Nacional

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono



## Lista de Variáveis

$V_{\text{inicial}}$  – Volume inicial da albufeira, [ $\text{hm}^3$ ]

$V_{\text{final}}$  – Volume final da albufeira, [ $\text{hm}^3$ ]

$V_{\text{caudais\_afuentes}}$  – Volume de água derivado a caudais afluentes ao longo do ano, [ $\text{hm}^3$ ]

$V_{\text{precipitação}}$  – Volume de água derivado de precipitação ao longo do ano, [ $\text{hm}^3$ ]

$V_{\text{bombado}}$  – Volume de água derivado da bombagem ao longo do ano, [ $\text{hm}^3$ ]

$V_{\text{turbinado}}$  – Volume de água derivado da turbinagem ao longo do ano, [ $\text{hm}^3$ ]

$V_{\text{sistema}}$  – Volume de água perdido no circuito hídrico durante a bombagem e turbinagem ao longo do ano, [ $\text{hm}^3$ ]

$V_{\text{evaporação}}$  – Volume de água perdido ao longo do ano devido a evaporação, [ $\text{hm}^3$ ]

$V_{\text{consumo}}$  – Volume de água perdido ao longo do ano devido a diversos consumos, como o humano, animal, regas, etc., [ $\text{hm}^3$ ]

$\Delta V_{\text{armazenamento}}$  – Variação de volume de água armazenada devido a fatores externos (precipitação, caudais afluentes, consumos, perdas no sistema, evaporação), [ $\text{hm}^3$ ]

$V_t^T$  – Volume de água turbinado na hora  $t$ , [ $\text{hm}^3$ ]

$Q_t^T$  – Caudal médio de água turbinado na hora  $t$ , [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$V_t^B$  – Volume de água bombado na hora  $t$ , [ $\text{hm}^3$ ]

$Q_t^B$  – Caudal médio de água bombado na hora  $t$ , [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$R_t^T$  – Valor total de receita com energia produzida na hora  $t$ , [€]

$P_t^T$  – Energia total produzida na hora  $t$ , [MWh]

$\pi_t$  – Preço unitário de energia na hora  $t$ , [€/MWh]

$C_t^B$  – Valor total do custo com energia produzida na hora  $t$ , [€]

$P_t^B$  – Energia total consumida na hora t, [MWh]

$P_{\text{turbinado}}$  – Valor total da receita com energia produzida no ano, [€]

$C_{\text{bombado}}$  – Valor total do custo com energia consumida no ano, [€]

$\Delta V$  – Diferença de volumes na albufeira ao final do ano, [hm<sup>3</sup>]

$\overline{\pi^T}$  – Preço médio de água turbinada no ano, [€/hm<sup>3</sup>]

$\overline{\pi^B}$  – Preço médio de água bombada no ano, [€/hm<sup>3</sup>]

$\varepsilon_{\text{total}}$  – Valor financeiro total no final no ano, [€]

$\varepsilon_{\text{turbinado}}$  – Valor financeiro total do volume de água turbinado no aproveitamento no final do ano, [€]

$\varepsilon_{\text{bombado}}$  – Valor financeiro total do volume de água bombado no aproveitamento no final no ano, [€]

$\varepsilon_{\Delta V}$  – Valor total do diferencial de volumes na albufeira no final no ano, [€]

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento e Motivação

A balança da influência das fontes que originam a produção de energia elétrica está a mudar. Numa altura em que a sensibilidade ambiental está amplamente desperta, o peso que as energias renováveis têm na equação da produção é cada vez mais preponderante ao ponto de se verificarem, com agrado, as notícias que surgem da capacidade de produção de energia elétrica com origem em fontes totalmente renováveis durante dias - no período de 7 a 11 de maio de 2016, Portugal [1] esteve alimentado exclusivamente de forma renovável durante 107 horas consecutivas.

Paralelamente, certas formas de produção - como a nuclear - perdem adeptos e semeiam receios, quando se verificam situações como o acidente da central nuclear de Fukushima em 11 de março de 2011, tornando-se o maior acidente nuclear desde o acidente da central de Chernobil em 26 de abril de 1986. As repercussões ambientais que ambos os acidentes tiveram, os anos que serão necessários para normalizar as situações do ponto de vista ambiental e todos os danos para a saúde humana já irreversíveis reúnem preocupações, de forma global. Estes não foram os únicos acidentes na história das centrais nucleares, mas são os mais danosos e que, por isso, refletem maior impacto.

Ainda antes deste acidente, já a Alemanha, em outubro de 2010, anunciava a decisão de fazer a transição do nuclear para o renovável, apresentando um plano de fecho das suas centrais nucleares até 2036, apesar do plano inicial ser até 2022 [2]. Posteriormente, também na Alemanha, em maio de 2012, verificou-se um pico de produção por aproveitamento solar suficiente para colmatar as necessidades de 50% do país [3], o que dá força ao argumento da transição para as fontes renováveis.

Será assim expectável que, nos próximos anos, se verifiquem pelo Mundo fora o encerramento de centrais, não só nucleares, mas também de centrais responsáveis por emissões de gases de efeito de estufa, e graduais entradas em serviço de novos parques eólicos, solares e aproveitamentos hidroelétricos.

Qual será então, neste novo cenário, o papel da bombagem na equação da produção de energia elétrica? Sabendo de antemão que a bombagem ganha relevo no ciclo de produção para utilizar o excesso de energia produzida pelas centrais convencionais, com a sua curva característica de produção praticamente constante, e que não era aproveitada nas horas de vazão [4], permitindo assim o retorno de água às albufeiras, sem estas centrais, qual a razão da sua existência? A resposta a esta pergunta está

exatamente nos sistemas que irão, à partida, substituir as centrais convencionais: os eólicos e os solares.

Em Portugal não existem centrais nucleares, mas existem centrais responsáveis por emissões de gases de efeito de estufa. No entanto, as centrais reversíveis instaladas no nosso país existem e são usadas não só para aproveitar a energia importada das centrais dos países com os quais estamos interligados, como também são usadas para aproveitar a energia produzida nos parques eólicos nacionais, que produzem energia durante as horas de vazio e que acabam por alimentar as bombas dos aproveitamentos [5]. Verifica-se assim, do ponto de vista económico, que a bombagem continua a desempenhar o seu papel, apesar do paradigma de produção estar a transitar do convencional para o renovável. Paralelamente, nem a produção eólica nem a produção solar conseguem manter uma curva característica de produção idêntica à das centrais convencionais, criando assim a necessidade de acumular energia elétrica através da água armazenada nas albufeiras, que irá transformar energia mecânica em elétrica e que será igualmente capaz de dar resposta aos picos de consumo que surgem ao longo dos dias devido às variações de carga.

## **1.2. Objetivo e Objeto**

O objetivo deste trabalho é o estudo económico da bombagem hidroelétrica em Portugal, recorrendo à análise da capacidade de bombagem instalada, através de uma avaliação dos preços de mercado na descarga e na bombagem de centrais hídricas reversíveis, à luz dos diferentes cenários.

Serão estudados os aproveitamentos hidroelétricos reversíveis portugueses, em particular, o da Aguieira e do Alqueva, num ano húmido e num ano seco.

## **1.3. Estrutura da Dissertação**

O presente texto está dividido em cinco capítulos organizados de forma sequencial.

O capítulo 1, *Enquadramento e motivação*, destina-se a fazer uma introdução breve ao conteúdo da dissertação, enunciado as motivações que culminaram com a escolha do tema e enumerando os objetivos propostos.

O capítulo 2, *Revisão da literatura*, pretende criar um enquadramento histórico da génese da produção de energia elétrica recorrendo a recursos hídricos, sua evolução no nosso País e seu enquadramento atual.

O capítulo 3, *Metodologia*, destina-se a apresentar os métodos utilizados com os dados disponíveis com vista à obtenção de resultados.

O capítulo 4, *Resultados*, utiliza os dados dos estudos de caso dos quais se dispõem de dados, para fazer uma análise analítica e financeira aos mesmos, criando um cenário hipotético para comparação de necessidades.

O capítulo 5, *Conclusões e Desenvolvimentos Futuros*, destina-se a compilar todas as conclusões e ilações obtidas ao longo deste trabalho e a apresentar possíveis desenvolvimentos futuros.

O capítulo 6, *Bibliografia*, compila todos os artigos, edições e informações técnicas consultados para a elaboração deste trabalho.

O capítulo 7, *Anexos*, apresenta um pequeno resumo de todos os aproveitamentos hidroelétricos em serviço à data de elaboração deste trabalho.



## **2. Revisão da Literatura**

### **2.1. Retrospectiva histórica**

#### **2.1.1. De 1878 a 1930**

Não é fácil apontar uma data concreta para a primeira utilização de energia elétrica em Portugal mas, recuando até final do século XIX, torna-se claro que a família real ficou claramente interessada nas demonstrações efetuadas nas exposições universais da década de 1870 ao ponto de, nos festejos do 15º aniversário do príncipe D. Carlos, em Cascais, em 28 de setembro de 1878, fosse ordenado que toda a cidade fosse iluminada por candeeiros semelhantes aos da entrada da Ópera de Paris [6].

Foi a partir desse momento, que se pode considerar como o momento zero para o avanço da utilização de eletricidade em Portugal, que se iniciaram várias tentativas, umas mais conseguidas que outras, particularmente na aplicação à iluminação pública.

A energia elétrica, manifestada por esta altura enquanto iluminação decorativa, era motivo de particular interesse um pouco por todo o país, mais do que duplicando os valores de entrada em exposições onde a mesma fosse utilizada [6].

Ainda assim, é dentro de portas que se verifica uma aplicação mais permanente da utilização de energia elétrica quando em 1884, após um incêndio ocorrido que obriga a uma reconstrução, a Real Fábrica de Fiação de Tomar instala várias lâmpadas elétricas, alimentadas a partir de uma central que utilizava uma queda de água num açude do rio Nabão. Terá sido provavelmente este o primeiro caso de utilização de águas fluviais para a produção de energia elétrica [6].

Foi ainda dentro de portas que se verificou outra aplicação significativa e mais permanente da utilização de energia elétrica quando em 1886 o Teatro São Carlos substitui a sua iluminação permanente a gás por uma alimentada por eletricidade [6].

É no seguimento de um dos muitos eventos realizados nesta altura em que existiam demonstrações da energia elétrica como iluminação decorativa, que a Câmara Municipal de Lisboa decide apostar de uma forma mais permanente em iluminação pública alimentada a eletricidade, inaugurando assim em 1889 o primeiro troço de iluminação a arcos voltaicos [6].

É no ano de 1894 que a então Companhia Elétrica e Industrial de Vila Real, fundada em 1892, termina pelas mãos de Emilio Biel (1838-1915), um aproveitamento no rio Corgo, iniciado em 1891, com o objetivo de instalar iluminação pública na cidade, com origem

em geração hídrica, sendo esta a primeira instalação hidroelétrica em Portugal, denominada como Poço Agueirinho [7] [8].

Continua a Norte o desenvolvimento dos aproveitamentos hídricos para produção de energia elétrica, desta feita por iniciativa da Sociedade de Eletricidade do Norte de Portugal, entrando em serviço em 1895 ou 1896 o aproveitamento hidroelétrico de Furada, instalada no rio Cávado, com objetivo de alimentar o serviço de iluminação pública de Braga [9].

É nos Açores que se verificam os investimentos seguintes, com a inauguração dos aproveitamentos hidroelétricos de Central da Vila (1899), Salto do Cabrito (1902), que sofreria uma ampliação em 1908, e Fábrica da Cidade (1904), enquanto no continente eram inaugurados o aproveitamento hidroelétrico de Riba Côa (1906), o aproveitamento hidroelétrico de Caniços (1908) e os aproveitamentos hidroelétricos de Varosa e da Senhora do Desterro (1909). Em 1911 inaugura-se nos Açores o aproveitamento hidroelétrico da Praia [9].

Verifica-se entre 1910 e 1919 um *boom* na corrida às concessões de aproveitamento de quedas de água, levando às entradas em serviço dos aproveitamentos hidroelétricos de serviço público de Covas (1911), Giestal (1912), Corvete (1915), Olo e Drizes (1917) e as de serviço privado de Delães e Hortas-Lever (1911), Moinho do Buraco (1912), Ronfe (1913), Campelos e Fábrica do Prado (1914) Mina do Pintor (1916) e Matrena (1917) [9].

Esta situação leva o Estado a intervir numa tentativa de acalmar a anarquia verificada. Assim, em maio de 1919, com o objetivo de estabelecer alguma ordem no concessionamento e nos pequenos monopólios existentes, é promulgada a Lei das Águas, para regulamentar as concessões de aproveitamento hidroelétrico, mas a mesma não teve o sucesso esperado, pois as vantagens que dava aos municípios situados no perímetro da concessão, apenas lhes permitia que a energia fosse utilizada para iluminação, revelando-se assim deficiente [10].

No entanto, esta lei acabou com as categorias de água existentes até à data, passando a defini-las entre públicas e privadas, sendo as públicas divididas entre as das autarquias locais e as do Estado [6].

Ainda assim depois desta data, verificam-se as entradas em serviços dos aproveitamentos hidroelétricos de serviço público do Lindoso (1922), Ponte de Jugais (1923) e Chocalho (1925) e os aproveitamentos hidroelétricos de serviço privado de

Palhal (1920), S. Martinho do Campo (1922), Barcarena (1923), Fábrica Mendes Godinho (1924) e Fervença (1925) [9].

Graças à expansão de centros produtores hídricos, ao crescimento do consumo e também graças à visão do Engenheiro Ezequiel de Campos (1874-1965), que insistia junto do Estado acerca da necessidade e urgência da eletrificação do País, surge em 1926 a Lei dos Aproveitamentos Hidráulicos, com intenção de regular a produção, transporte e distribuição de energia, sendo também abordada pela primeira vez a necessidade da criação de uma Rede Elétrica Nacional. Esta lei foi o propulsor que esteve na base da política de eletrificação nacional que desencadearia as construções dos grandes aproveitamentos hidroelétricos [9].

A rede elétrica foi-se expandindo por todos os distritos, de forma lenta e irregular, mas basicamente e até 1930, os aproveitamentos hidroelétricos que apareceram até esta data destinavam-se a abastecer certas indústrias ou consumos locais ao ponto das hidroelétricas de serviço público se poderem contar ainda pelos dedos [9].

#### **2.1.2. De 1930 a 1950**

É no ano de 1930 que o Estado começa a encarar os grandes aproveitamentos hidroelétricos como uma necessidade real, com vista ao aumento de produção agrícola e industrial, iniciando assim a realização de estudos sistemáticos das topologias e geologias dos rios e da viabilidade do seu aproveitamento com objetivos de produção de eletricidade, rega e abastecimento de águas [9].

O Estado começa assim a preparar o terreno para os aproveitamentos hidroelétricos, publicando alguns diplomas como medida de realização do que viria a efetuar, caducando concessões, tal como a das águas dos rios Rabagão e Borralha, outorgada em 1920 e caducada em 1935, criando a Junta de Eletrificação Nacional em 1936 e caducando a concessão do aproveitamento hidroelétrico das águas de Zêzere em 1937, que havia sido outorgada em 1930 [9].

É também em 1937 que entra em funcionamento o aproveitamento hidroelétrico do Ermal, localizado no rio Ave e em 1939 entra em funcionamento o aproveitamento hidroelétrico de Guilhofrei, localizado no mesmo rio [9].

É já no início da década de 1940 que é apresentado um anteprojecto para o aproveitamento hidroelétrico de Castelo de Bode, pela mão do Engenheiro Zuzarte de Mendonça (1877-1967), tendo o mesmo sofrido a sua revisão no ano de 1942,

promovido pela mão do ministro Engenheiro Duarte Pacheco (1899-1943) que pretendia a intensificação dos estudos dos Serviços Hidráulicos [9].

Entra em serviço, no ano de 1942, o aproveitamento hidroelétrico de Ponte de Esperança, no rio Ave [9].

No ano de 1943, os Serviços Hidráulicos apresentam o Plano geral de Aproveitamento do rio Zêzere, decidindo então o Estado iniciar a construção dos grandes aproveitamentos hidroelétricos. Fica nas mãos do Engenheiro Duarte Pacheco a responsabilidade das medidas necessárias para levar este empreendimento a bom porto, tais como a elaboração do caderno de encargos, apresentação dos programas financeiros e a remodelação dos estatutos da empresa concessionária necessária criar. No entanto, Duarte Pacheco já não participaria na reunião de Conselho de Ministros onde se discutiria este empreendimento, pois é vítima de um acidente de automóvel que se viria a revelar mortal [9].

É também no ano de 1943 que entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico de Santa Luzia, no rio Unhais [9].

Em 1944 são apresentados os planos gerais do aproveitamento hidroelétrico do Sistema Cávado-Rabagão pelos Serviços Hidráulicos [9], e em 1948 apresentam-se os do troço nacional do rio Douro, continuando a desenvolver-se estudos relativamente não só ao seu troço internacional e aos seus afluentes, mas também noutros rios, tal como o Lima, Guadiana e Mondego [11].

Em dezembro de 1944, é publicada a Lei n.º 2002, cuja autoria pertence ao Engenheiro Ferreira Dias (1900-1966), onde se estabelece as bases da produção, transporte e distribuição de energia elétrica, tendo como pontos fundamentais a preferência da energia hídrica sobre a térmica e o estabelecimento de normas para a regularização dos rios e seus aproveitamentos para fins de produção de energia [10].

Foram-se assim criando condições para a realização dos grandes aproveitamentos hidroelétricos, que na realidade só se iniciariam após o fim da Segunda Guerra Mundial, em 1945 [6], ano esse que o Estado define as políticas respeitantes à execução de novos aproveitamentos, anunciando também a decisão de promover a constituição de empresas para o estabelecimento e exploração de obras hidráulica e de centrais produtoras nos rios Cávado, Zêzere e Rabagão [9].

Em 1945, entra também em serviço o aproveitamento hidroelétrico da Senhora do Porto, no rio Ave [9].

Conclui-se em 1948, o Plano Geral de Aproveitamento do Douro Nacional, onde se definem os principais contornos dos escalões previstos para o aproveitamento, dando prioridade ao escalão do Carrapatelo [11].

É também no ano de 1948 que o Estado pede auxílio financeiro através do Plano Marshall, apesar da recusa inicial do Governo de Salazar, na perspetiva de manter o País economicamente autónomo. A verba que Portugal recebeu através deste plano foi fundamental para a recuperação da economia e para o investimento em muitas infraestruturas, nomeadamente aproveitamentos hidroelétricos [11].

### **2.1.3. De 1950 a 1970**

As décadas de 50 e de 60 são manifestamente reconhecidas como o período de maior crescimento do ponto de vista de hidroeletricidade em Portugal. É sob tutela do Estado e com o reconhecimento da energia elétrica como fator essencial para o desenvolvimento do País, conjugada com as potencialidades dos rios nacionais, que arrancam as construções dos novos centros produtores hídricos [6] [9] [10].

Em março de 1950, ao abrigo do Plano Marshall, Portugal faz um pedido de assistência técnica com vista ao aproveitamento do Douro, em que solicita a revisão do anteprojeto existente da barragem e da central do Carrapatelo. São enviados dois técnicos a Portugal para entrevistarem entidades privadas e públicas responsáveis pelo programa de eletrificação do País e também para visitarem as obras em curso e, em junho de 1950, elaboram um relatório onde manifestam de importância capital a prioridade de construção dos empreendimentos previstos com vista à atual política de eletrificação nacional em curso [11].

No ano de 1951 entram em serviço os aproveitamentos hidroelétricos de Castelo de Bode, Venda Nova, Pracana e Belver [9].

No mês de abril de 1953, é apresentado um relatório geral que contraria o anteprojeto português de construção da barragem e central do Carrapatelo, ao evidenciar um local de produção mais económico, no Douro Internacional, onde indicava a barragem do Picote como prioritária nos empreendimentos preparados para a bacia do Douro. O estudo defendia também o uso pleno das albufeiras quer do Cávado, quer do Zêzere, para garantir fornecimento de energia nos períodos de fraca corrente de água [11].

É também em 1953 que entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico de Salamonde. [9]

A década de 50 foi rica em empreendimentos. Além dos já referidos, inicia-se em 1954 a construção do aproveitamento hidroelétrico do Picote e entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico do Cabril. No ano de 1955 entram em serviço os aproveitamentos hidroelétricos da Caniçada e da Bouçã. Em 1956 entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico da Paradela, em 1958 o do Picote e em 1960 o de Miranda [10] [11].

Na década de 1960 regista-se uma desaceleração no investimento em aproveitamentos hidroelétricos, devido ao crescimento de consumos, que resulta num investimento mais forte em grupos térmicos, fruto da garantia de satisfação a nível global e ao seu mais curto tempo de construção. [9]

Ainda assim, em 1964 entram em serviço os aproveitamentos hidroelétricos da Bemposta e do Alto Rabagão, que é o primeiro aproveitamento a entrar em serviço equipado com instalação para bombagem das águas de jusante (Venda Nova) para montante, e em 1965 o aproveitamento hidroelétrico de Vilar-Tabuaço [9].

São ainda realizadas obras de reforço nos escalões de Paradela e Venda Nova e, na segunda metade da década regista-se um regresso à aposta nos aproveitamentos hidroelétricos, lançando as obras dos escalões do Carrapatelo, Vilarinho das Furnas e do Fratel [9].

#### **2.1.4. De 1970 a 1990**

Nas décadas de 70 e 80 a taxa de crescimento de consumo de eletricidade cresce, essencialmente caracterizada pela eletrificação que se expande pelo País e pelo desenvolvimento económico [9] [12].

Esta crescente necessidade energética é assegurada pela continuação de introdução de grupos térmicos, verificando-se ainda assim, uma retoma no programa hidroelétrico nacional.

Em 1971, entra finalmente em serviço o aproveitamento hidroelétrico do Carrapatelo [9] e em 1972 entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico de Vilarinho das Furnas, sendo este o último aproveitamento do Plano Hidroelétrico do Cávado-Rabagão [13].

Entram ainda em serviço os aproveitamentos hidroelétricos da Régua (1973) e Fratel (1974) [9].

Em 1976, já em regime democrático, assiste-se à entrada em serviço do aproveitamento hidroelétrico da Valeira, sendo este o último aproveitamento a ser colocado em funcionamento na década de 70 [9].

Em 1981, entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico da Agueira, estando equipado com instalação para bombagem, sendo a segunda instalação do País equipada para tal. Seguem-se as entradas em serviço dos aproveitamentos hidroelétricos de Raiva (1982), Pocinho (1983) e Crestuma (1985). Efetua-se em 1987 o aumento de potência de Vilarinho das Furnas, com a entrada em serviço dos seus equipamentos reversíveis e em 1988 entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico do Torrão, também ele equipado para bombagem.

#### **2.1.5. De 1990 à atualidade**

Na última década do século XX, o investimento em aproveitamentos hidroelétricos não desapareceu, apesar de alguns reveses encontrados.

Em 1992 entra em funcionamento o aproveitamento hidroelétrico do Alto Lindoso, tornando-se na altura o centro produtor hídrico português com maior potência instalada [9].

Em 1993, entra em funcionamento, a jusante do Alto Lindoso, o aproveitamento hidroelétrico do Touvedo, que funciona como atenuador dos altos caudais turbinados a montante [14] e os reforços de potência dos aproveitamentos hidroelétricos da Pracana e do Sabugueiro [9].

Durante a década de 90 registam-se mais duas entradas em serviço, sendo a do aproveitamento hidroelétrico do Caldeirão, em 1995 e o reforço de potência de Miranda em 1995 [14].

É, no entanto, em 1996 que se verifica o maior acontecimento da hidroeletricidade nesta década, com a suspensão e posterior abandono do projeto do aproveitamento hidroelétrico de Foz Côa, com o reconhecimento como património da humanidade das gravuras paleolíticas ali existentes [9].

A primeira década do século XXI assiste a uma continuidade de investimento com a entrada em serviço em 2003 do aproveitamento hidroelétrico da Lagoa Comprida. [6]

Em 2004, por sua vez, verifica-se a entrada em serviço do já muito esperado aproveitamento hidroelétrico de Alqueva, previsto no desenvolvimento de uma

estratégia para a rega da região já em 1957, estando equipado com instalação para bombagem [6].

No ano de 2005 entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico de Frades, também ele equipado com equipamento reversível [15].

No ano de 2006, a jusante do Alqueva, entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico do Pedrogão, integrada no Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva e o aproveitamento hidroelétrico do Rebordelo [6].

No ano de 2011 entram em serviço os aproveitamentos hidroelétricos de Alqueva II, de Picote II e de Bemposta II [6].

Em 2015, dá-se a entrada em serviço do aproveitamento hidroelétrico de Salamonde II [6].

No ano de 2016 entra em serviço o aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor, equipado com equipamento reversível, e já em 2017, entram em funcionamento os aproveitamentos hidroelétricos de Foz Tua e Frades II, também equipados com equipamento reversível [20].

## **2.2. O papel dos aproveitamentos hidroelétricos reversíveis**

O aproveitamento da energia da água, seja ela na forma gravítica, armazenada numa albufeira, ou cinética, aproveitando o seu fluxo num curso de água, para acionar mecanicamente uma turbina, transformando-se posteriormente em energia cinética, para que seja transformada em energia elétrica, já não é de agora.

A bombagem hidroelétrica é usada, já com um longo historial, para dar apoio à gestão do sistema elétrico, tipicamente em momento de excesso de produção e baixo consumo, por forma a transportar água dos reservatórios a jusante, em cotas inferiores, para os reservatórios a montante, em cotas superiores, possibilitando assim a capacidade de armazenamento de eletricidade na forma de água com energia potencial gravítica.

Esta funcionalidade é normalmente utilizada em momentos de restrição técnica da exploração, em que não há capacidade de adaptação à variação do consumo, como é o caso das centrais nucleares, que como já referido, apesar de não existirem em Portugal, estão na rede europeia à qual estamos eletricamente interligados, com as centrais convencionais que temos instaladas no nosso parque ou, mais atualmente, os grandes centros de produção eólica [4].

Não sendo viável desligar uma central convencional, devido ao seu longo tempo de retoma de produção, ou parar um parque eólico por falta de consumo, a opção lógica é a utilização da energia produzida em excesso para efetuar a bombagem, situação essa que se verifica nas horas de vazio.

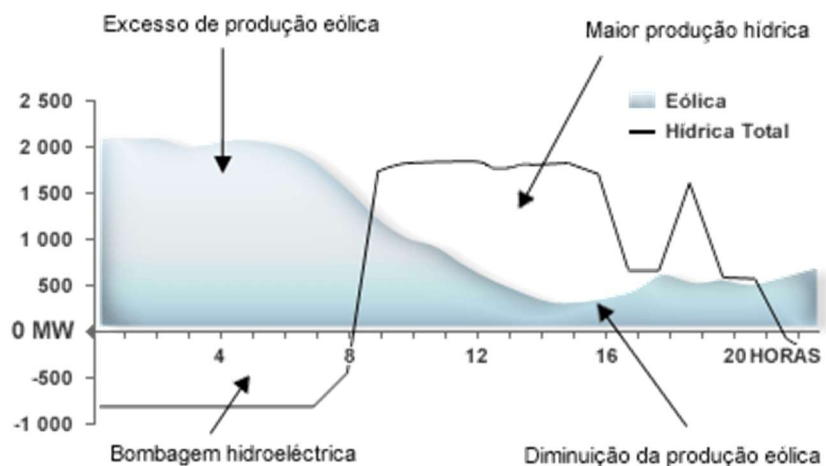


Figura 2.1 – Momentos de bombagem e turbinagem [16]

A partir do momento em que se cria o Mercado Ibérico de Energia Elétrica (MIBEL), e passando as nossas centrais a operar num mercado que não apenas o nacional, a utilização da capacidade de bombagem torna-se ainda mais interessante, pois abre a possibilidade de adquirir energia produzida além-fronteiras, a um preço bastante atrativo, que permita abastecer as nossas albufeiras de cotas superiores.

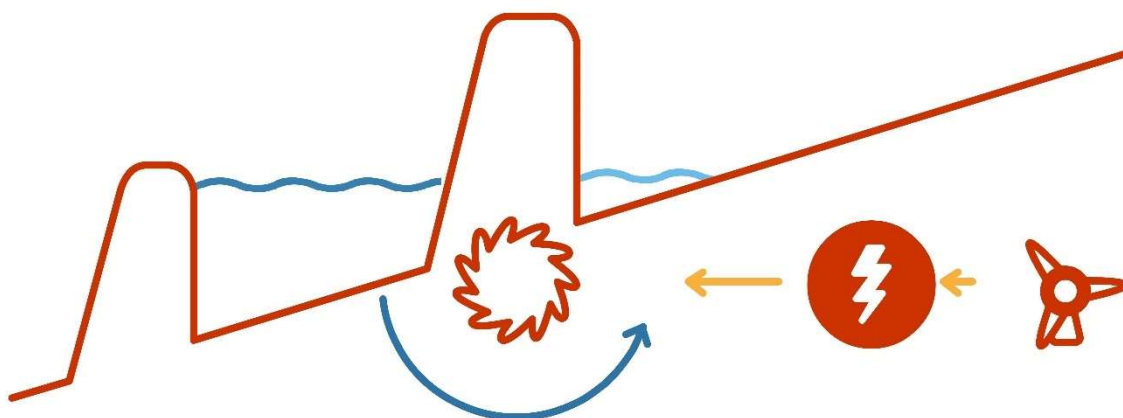


Figura 2.2 – Fluxo energético da bombagem [16] (adaptado)

O trajeto energético inverso é também aplicável e bastante interessante, tendo em conta que, em momentos de pico de consumo, a capacidade de resposta de uma central

hídrica é bastante mais flexível do que a de uma central térmica, associada ao facto de representarem para o sistema produtor um custo inferior ao de uma central térmica [4] pois não depende de combustíveis fósseis para produzir eletricidade, obtendo-se assim um preço mais estável e inferior [17].

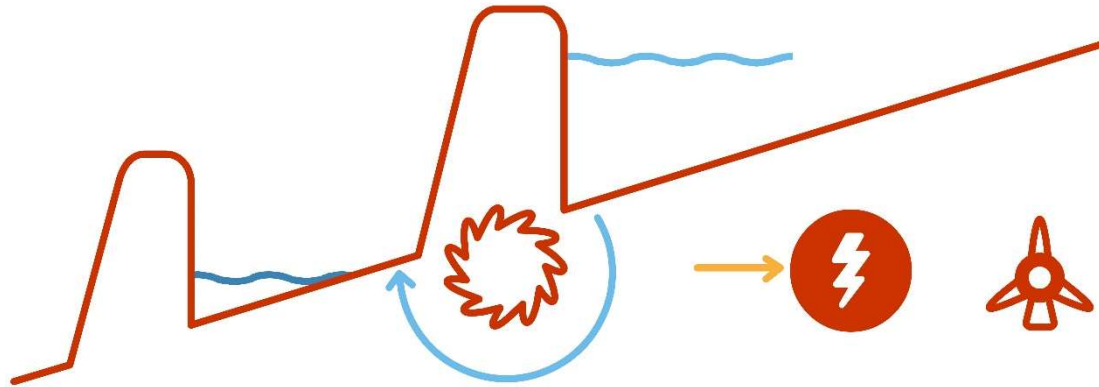


Figura 2.3 – Fluxo energético da turbinagem [16] (adaptado)

As centrais hídricas apresentam também a capacidade adicional de compensar desvios de consumo face às previsões realizadas [4], o que associado a todos os fatores anteriormente indicados, faz que com a produção hídrica originada em albufeira preencha os espaços irregulares do diagrama de carga da produção.

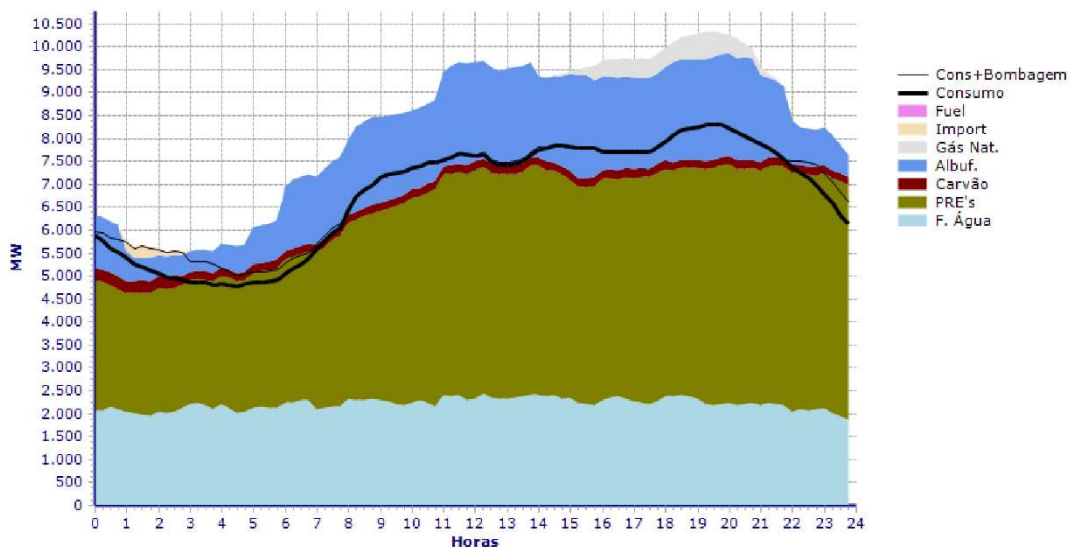


Figura 2.4 – Diagrama de carga de 4/fev./2014 [18]

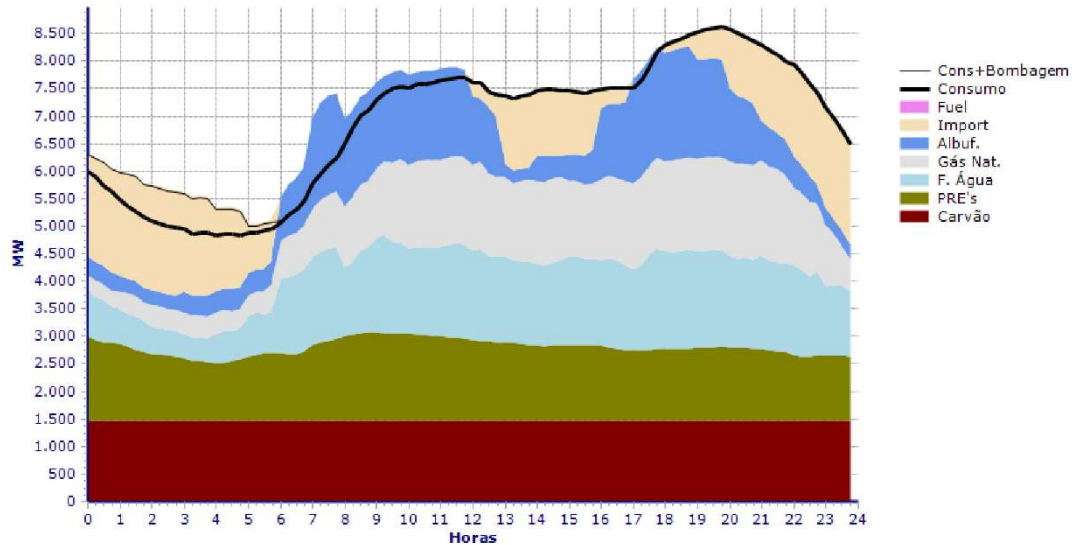


Figura 2.5 – Diagrama de carga de 7/jan./2015 [18]

Associado à vertente económica do papel da bombagem no ciclo de produção energética, surge também a vertente ecológica, pois havendo neste momento capacidade de criar um ciclo de bombagem-turbinagem nos nossos aproveitamentos hidroelétricos reversíveis, baseado em energia eólica, fotovoltaica e hídrica, consegue-se contribuir para uma diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> [4], e a existência de água nas albufeiras permite a rega e o consumo humano, contribuindo também para regularizar o caudal de certos rios em períodos de chuva elevados. [17]

### 2.3. Estudos de caso

Expõe-se de seguida um breve descritivo dos aproveitamentos hidroelétricos com bombagem, que estiveram em pleno funcionamento durante todo o ano, para os anos em estudo deste trabalho, que como se justifica mais à frente, foram os anos de 2014 e 2015.

### 2.3.1. Aproveitamento hidroelétrico da Aguieira

O aproveitamento hidroelétrico da Aguieira entrou em serviço em 1981 e situa-se no rio Mondego, estando integrado na Direção Centro de Produção Tejo-Mondego [6].

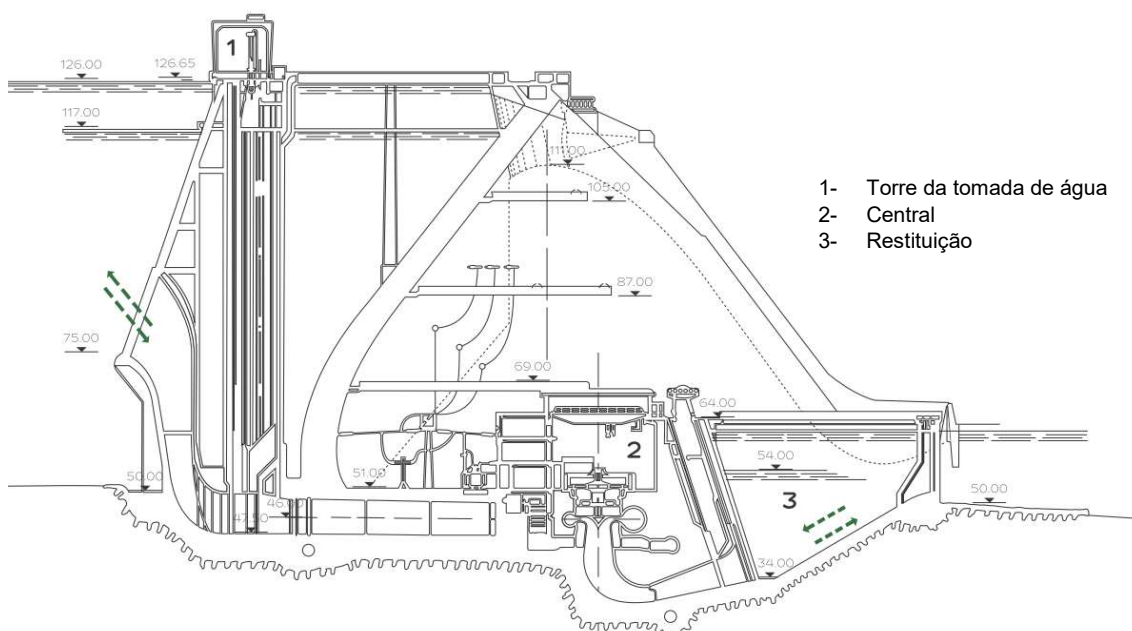


Figura 2.6 – Aproveitamento hidroelétrico da Aguieira [19]

Localiza-se em Travanca do Mondego, concelho de Penacova, distrito de Coimbra e é um aproveitamento com albufeira com uma área de bacia hidrográfica de 3.113 km<sup>2</sup> e uma capacidade útil de 216 hm<sup>3</sup>.

A barragem é em betão, do tipo abóbodas múltiplas, com 89 m de altura máxima e um desenvolvimento de coroamento de 400 m, estando a central equipada com três grupos geradores reversíveis, equipados com turbinas-bomba do tipo Francis de eixo vertical, com potências nominais de 112 MW, e com alternadores-motor de potências nominais de 112 MVA, sendo a sua produção média anual de 209,9 GWh.

Quando em funcionamento reversível consegue bombear um caudal máximo de 156 m<sup>3</sup>/s com um consumo máximo de 91 MW [20].

### 2.3.2. Aproveitamento hidroelétrico do Alqueva

O aproveitamento hidroelétrico do Alqueva entrou em serviço em 2012 e situa-se no rio Guadiana, estando integrado na Direção Centro de Produção Tejo-Mondego [6].

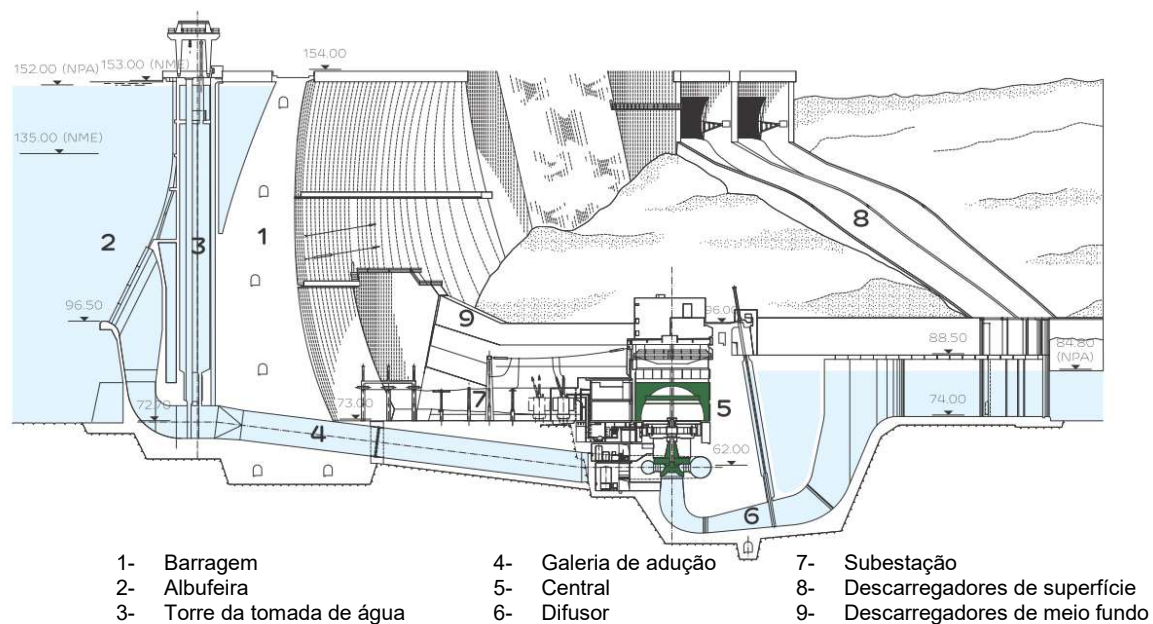


Figura 2.7 – Aproveitamento hidroelétrico do Alqueva [19]

Localiza-se próximo de Moura, distrito de Beja e é um aproveitamento com albufeira com uma área de bacia hidrográfica de 250 km<sup>2</sup>.

A barragem é em betão, do tipo abóboda de dupla curvatura, com 72 m de altura máxima, estando a central equipada com dois grupos geradores reversíveis, equipados com turbinas-bomba do tipo Francis de eixo vertical, com potências nominais de 127,8 MW, e alternadores-motor com potência nominais unitárias de 294 MVA, tendo sido construída em 2012 uma segunda central, na margem direita, a jusante da barragem, que com os seus dois grupos reversíveis duplicou a capacidade hidroelétrica, aumentando para 300 GWh a sua produção média anual [20].

### 2.3.3. Aproveitamento hidroelétrico do Alto Rabagão

O aproveitamento hidroelétrico do Alto Rabagão entrou em serviço em 1964 e situa-se no rio Rabagão, que é um afluente do Cávado, pertencendo à Direção Centro de Produção Cávado-Lima [6].

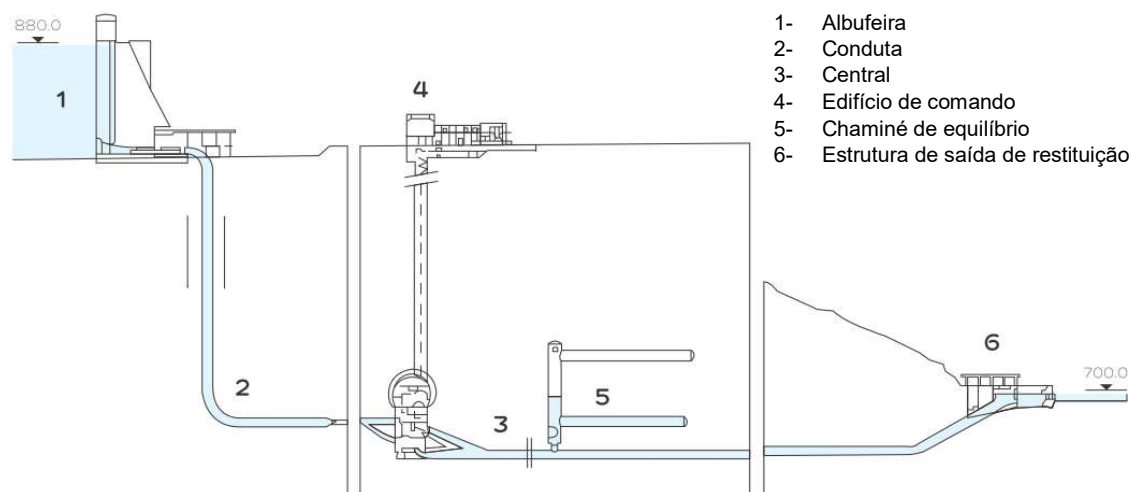


Figura 2.8 – Aproveitamento hidroelétrico do Alto Rabagão [19]

Localiza-se em Viade de Baixo, concelho de Montalegre, distrito de Vila Real e é um aproveitamento com albufeira com uma bacia hidrográfica com 210 km<sup>2</sup> e uma capacidade útil de 550,1 hm<sup>3</sup>.

Foi o primeiro aproveitamento construído com objetivo de regularização hidrológica interanual e foi também o primeiro aproveitamento de grande escala a receber equipamento para bombagem.

A barragem é em betão, do tipo abóboda delgada e gravidade, e tem 94 m de altura máxima e um desenvolvimento do coroamento de 1970 m, estando a central equipada com dois grupos geradores reversíveis, equipados com turbinas-bomba Francis de eixo vertical, com potências nominais de 34 MW, e alternadores-motor com potências nominais de 45 MVA, sendo a sua produção média anual de 85,2 GWh.

Quando em funcionamento reversível consegue bombear um caudal máximo de 18 m<sup>3</sup>/s, com um consumo máximo de 31,7 MW [20].

### 2.3.4. Aproveitamento hidroelétrico de Frades I

O aproveitamento hidroelétrico de Frades I situa-se no rio Rabagão e entrou em serviço em 2005, pertencendo à Direção Centro de Produção Cávado-Lima [6].

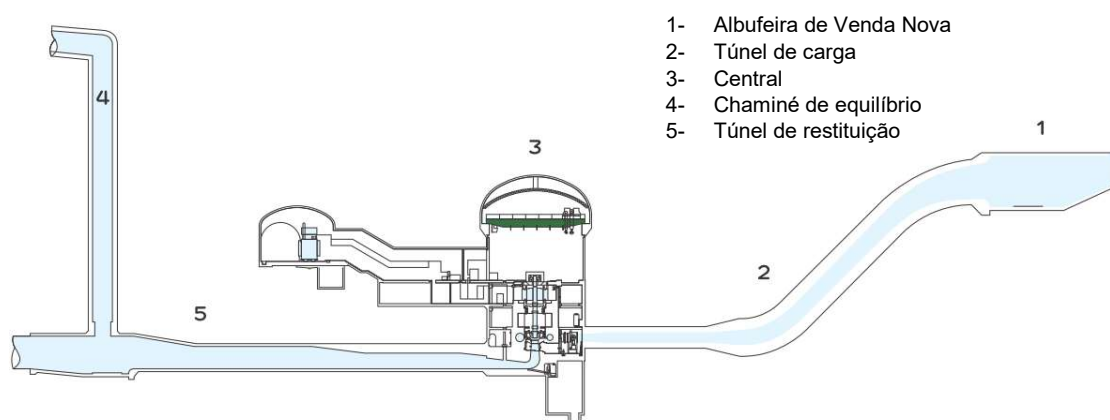


Figura 2.9 – Aproveitamento hidroelétrico de Frades I [19]

Localiza-se em Ruivães, concelho de Vieira do Minho, distrito de Braga e foi concebido para, recorrendo a um esquema reversível, turbinar água da albufeira de Venda Nova para a albufeira de Salamonde e vice-versa. A albufeira de Venda Nova, que se localiza a montante da central, tem uma bacia hidrográfica com uma área de 356 km<sup>2</sup> e uma capacidade útil de 92,1 hm<sup>3</sup>.

A barragem é em betão, do tipo arco gravidade com uma altura máxima de 97 m e um desenvolvimento de coroamento de 230 m, estando a central equipada com dois grupos reversíveis tipo Francis, de eixo vertical, com potências nominais de 95,7 MW, e alternadores-motor com potências nominais de 106,4 MVA, sendo a sua produção média de 220 GWh, contabilizando a bombagem [20].

### 2.3.5. Aproveitamento hidroelétrico do Torrão

O aproveitamento hidroelétrico do Torrão entrou em serviço em 1988 e situa-se no rio Tâmega, pertencendo à Direção Centro de Produção Douro [6].

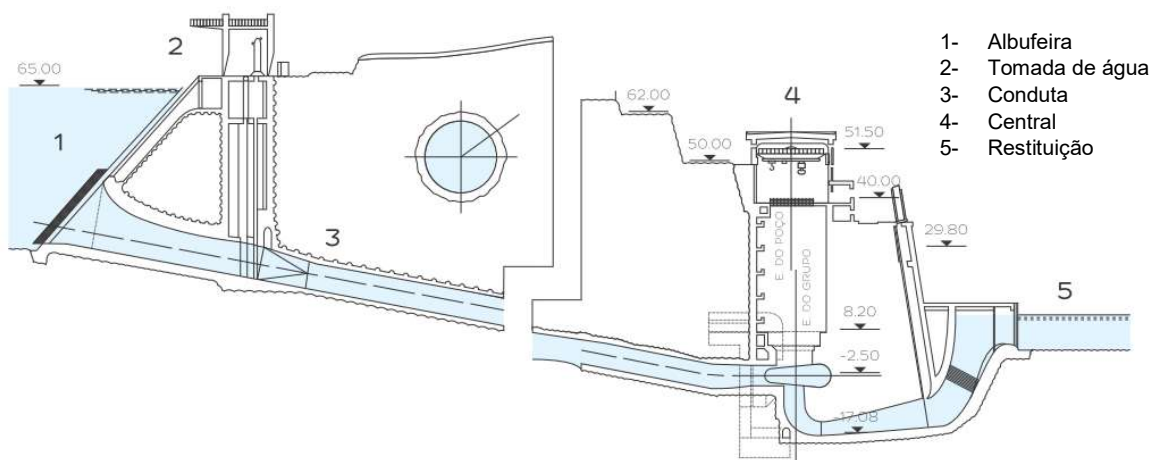


Figura 2.10 – Aproveitamento hidroelétrico do Torrão [19]

Localiza-se no Torrão, concelho de Marco de Canavezes, distrito do Porto e é um aproveitamento com albufeira, com uma bacia hidrográfica de 3.252 km<sup>2</sup> e uma capacidade útil de 22 hm<sup>3</sup>.

A barragem é em betão, do tipo gravidade aligeirada, com uma altura máxima de 70 m e um desenvolvimento do coroamento de 218 m, estando a central equipada com dois grupos geradores reversíveis, equipados com turbinas-bomba tipo Francis de eixo vertical, com potências nominais de 70 MW, e com alternadores-motor de potências nominais de 80 MVA, sendo a sua produção média anual de 222,3 GWh.

Quando em funcionamento reversível consegue bombear um caudal máximo de 163 m<sup>3</sup>/s com um consumo máximo de 73,3 MW [20].

### 2.3.6. Aproveitamento hidroelétrico de Vilarinho das Furnas

O aproveitamento hidroelétrico de Vilarinho das Furnas entrou em serviço em 1988 e localiza-se no rio Homem, pertencendo à Direção Centro de Produção Douro [6].

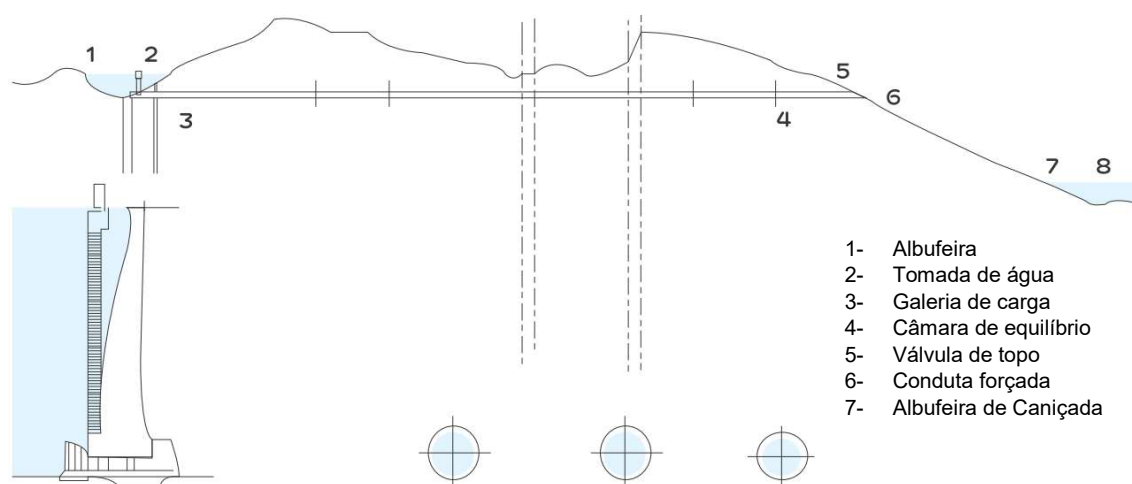


Figura 2.11 – Aproveitamento hidroelétrico de Vilarinho das Furnas [19]

Localiza-se em S. João do Campo, concelho de Terras de Bouro, distrito de Braga e é um aproveitamento com albufeira, com uma área de bacia hidrográfica de 77 km<sup>2</sup> e uma capacidade útil de 69,7 hm<sup>3</sup>.

A barragem é em betão, do tipo abóboda assimétrica de dupla curvatura, com 94 m de altura máxima e um desenvolvimento de coroamento de 398,3 m, estando a central equipada com dois grupos geradores, um dos quais reversível, equipados com turbinas tipo Francis de eixo vertical, com potências nominais de 62,5 MW, e alternadores com potência nominais de 80 MVA e 81 MVA.

Quando em funcionamento reversível consegue bombear um caudal máximo de 19,2 m<sup>3</sup>/s com um consumo máximo de 78,6 MW [20].



## **3. Metodologia**

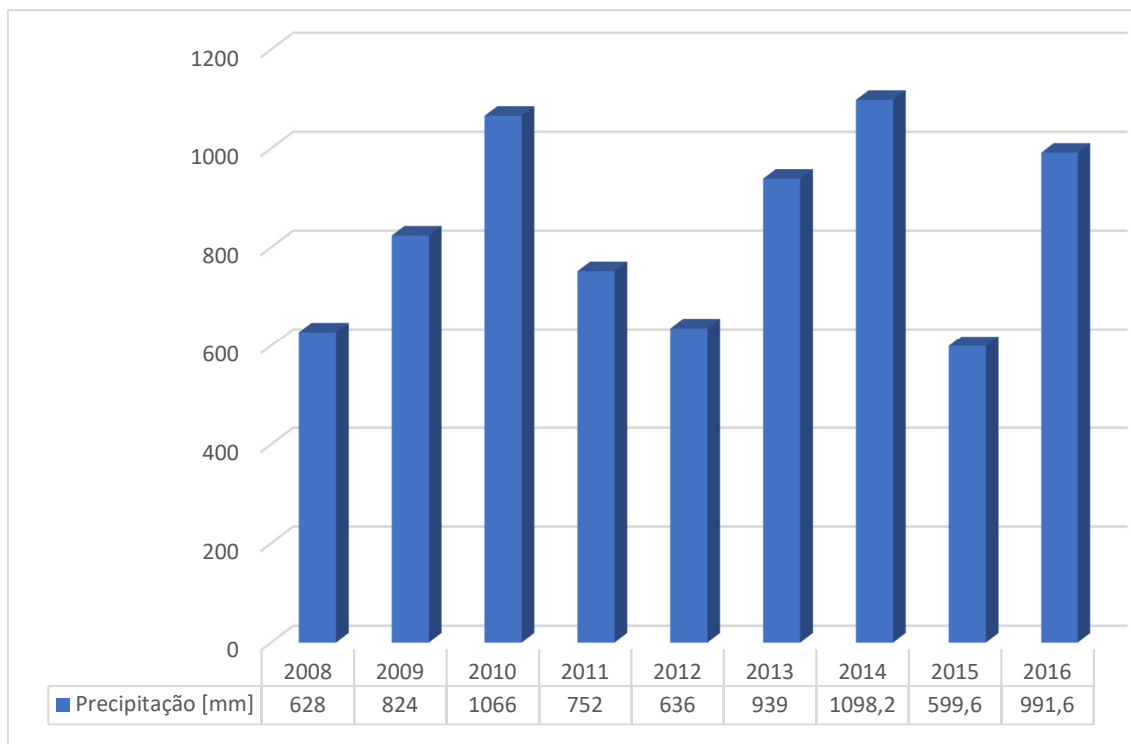
### **3.1. Abordagem Geral**

Os métodos utilizados para atingir os objetivos propostos nesta dissertação foram os seguintes:

- Revisão de literatura sobre o funcionamento do Sistema Elétrico Português, particularmente Sistema Hidroprodutor Português;
- Análise aos dados disponibilizados pelo IPMA para a precipitação em Portugal Continental;
- Análise aos dados disponibilizados pela EDP no que a bombagem e produção diz respeito;
- Análise aos preços de compra e venda de energia elétrica disponibilizada pelo OMIE;
- Análise aos volumes de água bombada/turbinada, respetivos valores e balanços financeiros;

### **3.2. Obtenção de Informação**

Na presente dissertação procedeu-se à análise dos dados de precipitação disponibilizados pelo IPMA para Portugal Continental [21], entre os anos de 2008 e 2016, por forma a escolher o ano considerado mais seco e ano considerado mais húmido do intervalo.



**Figura 3.1 – Precipitação entre 2008 e 2016 [21] [22]**

A análise feita aos dados necessários para o estudo, leva à conclusão que os anos em causa a serem estudados deverão ser os anos de 2014, por se tratar do ano mais húmido do intervalo, e o de 2015, por se tratar do ano mais seco do intervalo.

Após escolha dos anos a estudar, solicitou-se à EDP os dados referentes à energia produzida, energia despendida para bombagem, volume de água turbinada e volume de água bombada e volume de água no início e fim do ano para os anos de 2014 e 2015 para centrais reversíveis instaladas em Portugal Continental nos anos em causa, tendo apenas sido disponibilizados os dados para as centrais de Aguieira, Alqueva I e Alqueva II.

Efetuiu-se também a recolha de preços diários no site do OMIE [23] para os anos de 2014 e 2015, com que se fez a análise financeira aos dados disponibilizados.

### **3.3. Séries de Dados em Análise**

#### **3.3.1. Análise aos fatores que influenciam a bombagem e produção hidroelétricas**

A bombagem hidroelétrica é um recurso estratégico que permite acumular energia elétrica na forma de energia potencial, utilizando como recurso a água das albufeiras.

Essa estratégia passa também por poder bombear a água turbinada em horários de baixo custo (horas de vazio e super-vazio) permitindo assim uma poupança económica que rentabilize o processo. Sendo assim, não faz sentido falar ou pensar em bombagem em cascatas de albufeiras onde não se consiga fazer a retenção da água a jusante das turbinas reversíveis, pois assim não teríamos nada para reaproveitar nos ditos horários economicamente vantajosos.

Da mesma maneira, não faz sentido pensar em bombagem em grande escala em anos húmidos, em que as albufeiras a montante estão no limite máximo da sua capacidade, não havendo assim para onde bombear a água turbinada, sendo o volume de água bombada tipicamente baixo.

São estes os principais fatores que condicionam a decisão de bombear água turbinada: custo de o fazer, existência de água a jusante e disponibilidade para acumular água a montante.

Adicionalmente aos fatores acima referidos, há que não esquecer que a bombagem hidroelétrica é amplamente utilizada para escoar a energia produzida em centrais de produção ininterrupta, tipicamente as nucleares ou eólicas, sejam horas de cheia ou de vazio.

#### **3.3.2. Análise aos valores de bombagem e produção hidroelétricas nos anos de 2014 e 2015**

A análise foi efetuada com os valores disponibilizados pela EDP, que apresentam os valores médios de energia consumida ou produzida, e volume de água turbinado ou bombado, em intervalos de 1 hora, ao longo das 8760 horas anuais, para os anos de 2014 e 2015.

Consegue-se assim obter uma análise bastante realista e fidedigna dos valores em causa durante os anos em estudo.

### 3.3.3. Análise ao preço marginal da energia no sistema português para os anos de 2014 e 2015

Esta análise foi efetuada com os valores disponibilizados no site do OMIE, que são apresentados em mapas mensais, subdivididos em intervalos de 1 hora, que correspondem na totalidade aos intervalos de potências anteriormente referidos, permitindo assim uma relação direta ao longo do ano em estudo.

Não é, no entanto, possível obter através desta plataforma, os preços de compra e venda de energia, tendo sido utilizado o preço marginal disponibilizado para o mercado português.

### 3.4. Abordagem

A albufeira de um aproveitamento hidroelétrico não é um sistema fechado. Está sujeita a ações externas por parte de diversos intervenientes, sejam eles de origem natural ou humana.

Os passos seguintes refletem a abordagem utilizada no tratamento de dados disponibilizados e que foram analisados [24].

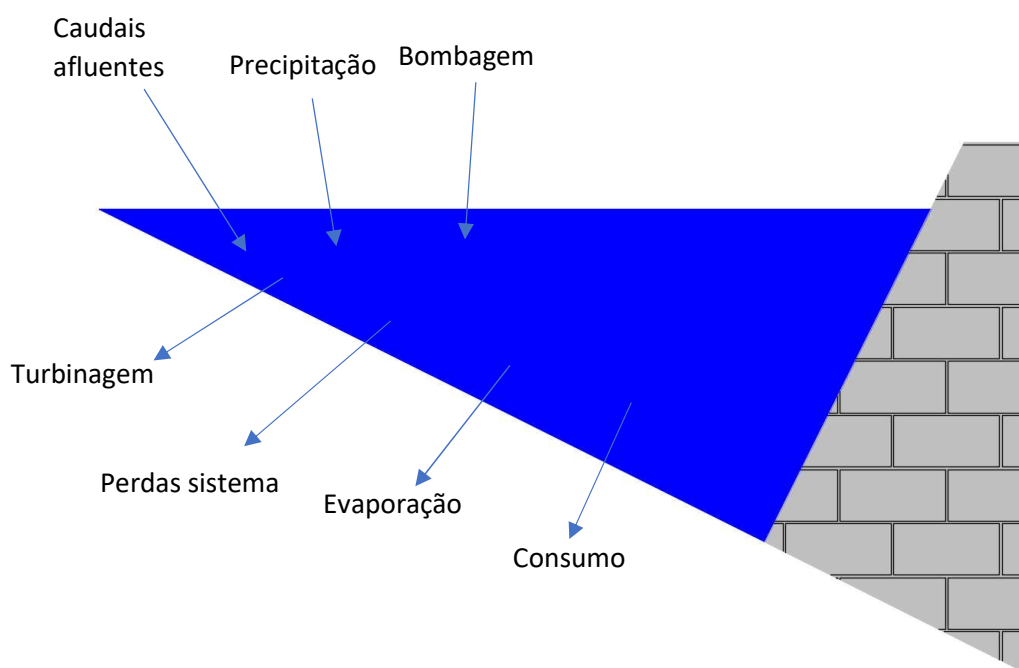


Figura 3.2 – Fatores que influenciam o volume de água numa albufeira

Podemos assim dizer que o balanço do volume de água numa albufeira pode ser descrito com a seguinte expressão:

$$V_{\text{inicial}} = V_{\text{final}} - (V_{\text{caudais\_afluentes}} + V_{\text{precipitação}} + V_{\text{bombado}} - V_{\text{turbinado}} - V_{\text{sistema}} - V_{\text{evaporação}} - V_{\text{consumo}}) \quad (3.1)$$

Em que:

$V_{\text{inicial}}$  – Volume inicial da albufeira, [hm<sup>3</sup>]

$V_{\text{final}}$  – Volume final da albufeira, [hm<sup>3</sup>]

$V_{\text{caudais\_afluentes}}$  – Volume de água derivado a caudais afluentes ao longo do ano, [hm<sup>3</sup>]

$V_{\text{precipitação}}$  – Volume de água derivado de precipitação ao longo do ano, [hm<sup>3</sup>]

$V_{\text{bombado}}$  – Volume de água derivado da bombagem ao longo do ano, [hm<sup>3</sup>]

$V_{\text{turbinado}}$  – Volume de água derivado da turbinagem ao longo do ano, [hm<sup>3</sup>]

$V_{\text{sistema}}$  – Volume de água perdido no sistema durante a bombagem e turbinagem ao longo do ano, [hm<sup>3</sup>]

$V_{\text{evaporação}}$  – Volume de água perdido ao longo do ano devido a evaporação, [hm<sup>3</sup>]

$V_{\text{consumo}}$  – Volume de água perdido ao longo do ano devido a diversos consumos, como o humano, animal, regas, etc., [hm<sup>3</sup>]

Se colocarmos os volumes iniciais e finais do mesmo lado, uma vez que são dados disponibilizados, obtém-se a seguinte expressão, organizada da seguinte forma:

$$V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}} = V_{\text{caudais\_afluentes}} + V_{\text{precipitação}} + V_{\text{bombado}} - V_{\text{turbinado}} - V_{\text{sistema}} - V_{\text{evaporação}} - V_{\text{consumo}} \quad (3.2)$$

Além dos volumes inicial e final já referidos, que são valores conhecidos, outros valores de cálculo fácil são o volume de água turbinada e volume de água bombada, pelo que se agrupam os restantes fatores num só, ficando a expressão com o seguinte aspecto:

$$V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}} = V_{\text{bombado}} - V_{\text{turbinado}} + \Delta V_{\text{armazenamento}} \quad (3.3)$$

E:

$$\begin{aligned} & \Delta V_{\text{armazenamento}} \quad (3.4) \\ & = V_{\text{caudais\_afluentes}} + V_{\text{precipitação}} - V_{\text{sistema}} - V_{\text{evaporação}} \\ & - V_{\text{consumo}} \end{aligned}$$

Em que:

$\Delta V_{\text{armazenamento}}$  – Variação de volume de água armazenada devido a fatores externos (precipitação, caudais afluentes, consumos, perdas no sistema, evaporação), [hm<sup>3</sup>]

Outros dados que nos são fornecidos, são os caudais médios ao longo das horas, quer para bombagem quer para turbinagem. Através desses caudais, conseguimos calcular os volumes turbinados e bombados quer por hora, quer no ano:

$$V_t^T = Q_t^T \times 3600 \times 10^{-6} \quad (3.5)$$

Em que:

$V_t^T$  – Volume de água turbinado na hora t, [hm<sup>3</sup>]

$Q_t^T$  – Caudal médio de água turbinado na hora t, [m<sup>3</sup>/s]

Faz-se cálculo análogo para os volumes de água bombados:

$$V_t^B = Q_t^B \times 3600 \times 10^{-6} \quad (3.6)$$

Em que:

$V_t^B$  – Volume de água bombado na hora t, [hm<sup>3</sup>]

$Q_t^B$  – Caudal médio de água bombado na hora t, [m<sup>3</sup>/s]

Podemos assim obter os volumes de água turbinados ou bombados em qualquer hora do ano. No entanto, como vamos necessitar nos volumes totais do ano, teremos que fazer o seguinte cálculo:

$$V_{\text{turbinado}} = \sum_{t=1}^{8760} V_t^T \quad (3.7)$$

$$V_{\text{bombado}} = \sum_{t=1}^{8760} V_t^B \quad (3.8)$$

Passamos assim a ter a capacidade de saber quais os volumes totais do ano, podendo aplicá-los em (3.3) e assim passar a conhecer o valor do volume de água que depende dos fatores externos.

São também fornecidos os dados referentes às energias geradas, enquanto se turбина, ou consumidas, enquanto se bomba. Esses dados, associados ao preço comercializado da energia para o período respetivo, permite-nos saber em cada hora, o lucro ou o custo associado à operação em causa. Ou seja:

$$R_t^T = P_t^T \times \pi_t \quad (3.9)$$

Em que:

$R_t^T$  – Valor total de receita com energia produzida na hora t, [€]

$P_t^T$  – Energia total produzida na hora t, [MWh]

$\pi_t$  – Preço unitário de energia na hora t, [€/MWh]

Realiza-se um cálculo análogo para a energia consumida:

$$C_t^B = P_t^B \times \pi_t \quad (3.10)$$

Em que:

$C_t^B$  – Valor total do custo com energia produzida na hora t, [€]

$P_t^B$  – Energia total consumida na hora t, [MWh]

$\pi_t$  – Preço unitário de energia na hora t, [€/MWh]

Passamos assim a ter acesso aos valores monetários de energia consumida e produzida, que nos permite saber o valor num período horário em causa, ou o valor total do ano, através da seguinte expressão:

$$P_{\text{turbinado}} = \sum_{t=1}^{8760} R_t^T \quad (3.11)$$

$$C_{\text{bombado}} = \sum_{t=1}^{8760} C_t^B \quad (3.12)$$

Em que:

$P_{\text{turbinado}}$  – Valor total da receita com energia produzida no ano, [€]

$C_{\text{bombado}}$  – Valor total do custo com energia consumida no ano, [€]

Há, no entanto, que ter em atenção, como já referido anteriormente, que uma albufeira de um aproveitamento hidroelétrico não é um sistema fechado, e há que estabelecer um ponto de comparação para uma análise de receitas/custos que faça sentido. Optou-se assim, por fazer uma comparação monetária, tendo um volume final na albufeira,

igual ao volume inicial. Ou seja, é necessário saber a diferença de volumes do início para o fim do ano:

$$\Delta V = V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}} \quad (3.13)$$

Em que:

$\Delta V$  – Diferença de volumes na albufeira ao final do ano, [hm<sup>3</sup>]

Sabendo este diferencial, será possível do ponto de vista financeiro, ajustar os valores de receita/custo, tendo um crédito/débito de água nulo na albufeira. No entanto, para quantificar financeiramente este valor, é necessário saber além do sentido dele (turbinado ou bombado), o quanto ele simboliza. Uma vez que não há dados horários da indicação das alterações de volume na albufeira, que permitam fazer este apanhado, o mesmo efetua-se calculando o lucro ou custo médio do volume de água no ano:

$$\overline{\pi^T} = \sum_{t=1}^{8760} \frac{R_t^T}{V_t^T} \quad (3.14)$$

Em que:

$\overline{\pi^T}$  – Preço médio de água turbinada no ano, [€/hm<sup>3</sup>]

E:

$$\overline{\pi^B} = \sum_{t=1}^{8760} \frac{C_t^B}{V_t^B} \quad (3.15)$$

Em que:

$\overline{\pi^B}$  – Preço médio de água bombada no ano, [€/hm<sup>3</sup>]

Podemos assim fazer a análise financeira do ano na albufeira em estudo, através do seguinte cálculo:

$$\varepsilon_{\text{total}} = \varepsilon_{\text{turbinado}} - \varepsilon_{\text{bombado}} + \varepsilon_{\Delta V} \quad (3.16)$$

Em que:

$\varepsilon_{\text{total}}$  – Valor financeiro total no final no ano, [€]

$\varepsilon_{\text{turbinado}}$  – Valor financeiro total do volume de água turbinado no aproveitamento no final do ano, [€]

$\varepsilon_{\text{bombado}}$  – Valor financeiro total do volume de água bombado no aproveitamento no final no ano, [€]

$\varepsilon_{\Delta V}$  – Valor financeiro total do diferencial de volumes de água na albufeira no final no ano, [€]

E em que se deverá ter em conta que:

Se  $\Delta V > 0$ , indica que a albufeira chega ao final do ano com mais volume de água do que inicialmente, logo esse diferencial no volume de água na albufeira foi bombado. Nesse sentido o acerto deverá ser feito da seguinte forma:

$$\varepsilon_{\Delta V} = \overline{\pi^T} \times \Delta V \quad (3.17)$$

Se  $\Delta V < 0$ , indica que a albufeira chega ao final do ano com menos volume de água do que inicialmente, logo esse diferencial no volume de água na albufeira foi turbinado. Assim, o acerto deverá ser feito da seguinte forma:

$$\varepsilon_{\Delta V} = \overline{\pi^B} \times \Delta V \quad (3.18)$$

Passamos assim a conseguir fazer o balanço financeiro do ano na albufeira sem variações de volume de água.

## **4. Resultados**

Com base nos dados disponibilizados pela EDP, foi possível quantificar e analisar ao longo do ano de 2014 e 2015, em intervalos de 1 hora, os volumes de água bombados e turbinados e as potências produzidas e consumidas neste trânsito de água.

Estes dados permitiram fazer o estudo das albufeiras da Aqueira, Alqueva I e Alqueva II, não tendo sido disponibilizados dados para fazer análise das restantes albufeiras equipadas com turbinas reversíveis em serviço à data da análise de dados para elaboração desta dissertação, ou seja, Frades, Alto Rabagão, Torrão e Vilarinho das Furnas, que eram os aproveitamentos em pleno funcionamento nos anos em estudo.

### **4.1. Análise do preço marginal de energia elétrica**

Com base nos dados do OMIE disponibilizados no seu *site*, como já referido anteriormente, foi possível reunir os valores para os anos em estudo, que se resumem de seguida.

#### **4.1.1. Ano de 2014**

O seu valor médio foi de 41,86 €, o seu valor mínimo foi de 0,00€, atingido a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 14, 27, 28 e 29 de janeiro, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 17, 21 e 23 de fevereiro e 2, 3, 4, 5 e 9 de março, e o seu valor máximo foi de 110,00 €, atingido a 17 de fevereiro.

No dia de maior consumo anual, registado a 4 de fevereiro, o seu máximo foi de 44,27 € e o seu mínimo de 4,84 €.

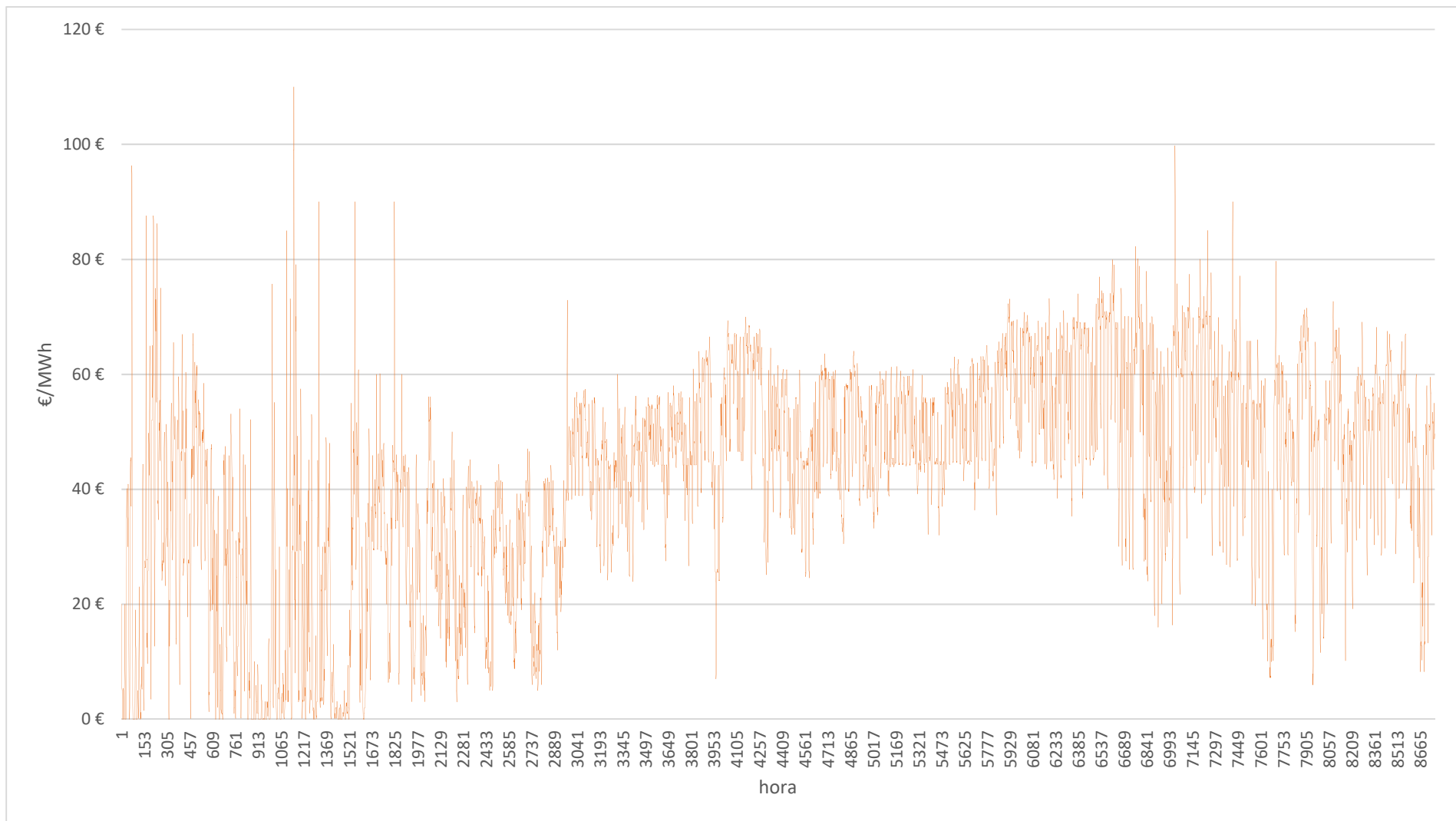


Figura 4.1 – Preço marginal da energia elétrica em Portugal em 2014 [23]

#### **4.1.2. Ano de 2015**

O seu valor médio foi de 50,47 €, o seu valor mínimo foi de 4,00€, atingido a 1 e 24 de fevereiro, e o seu valor máximo foi de 85,05 €, atingido a 7 de janeiro.

No dia de maior consumo anual, registado a 7 de janeiro, o seu valor máximo foi de 85,05 € e o seu mínimo de 47,73 €.

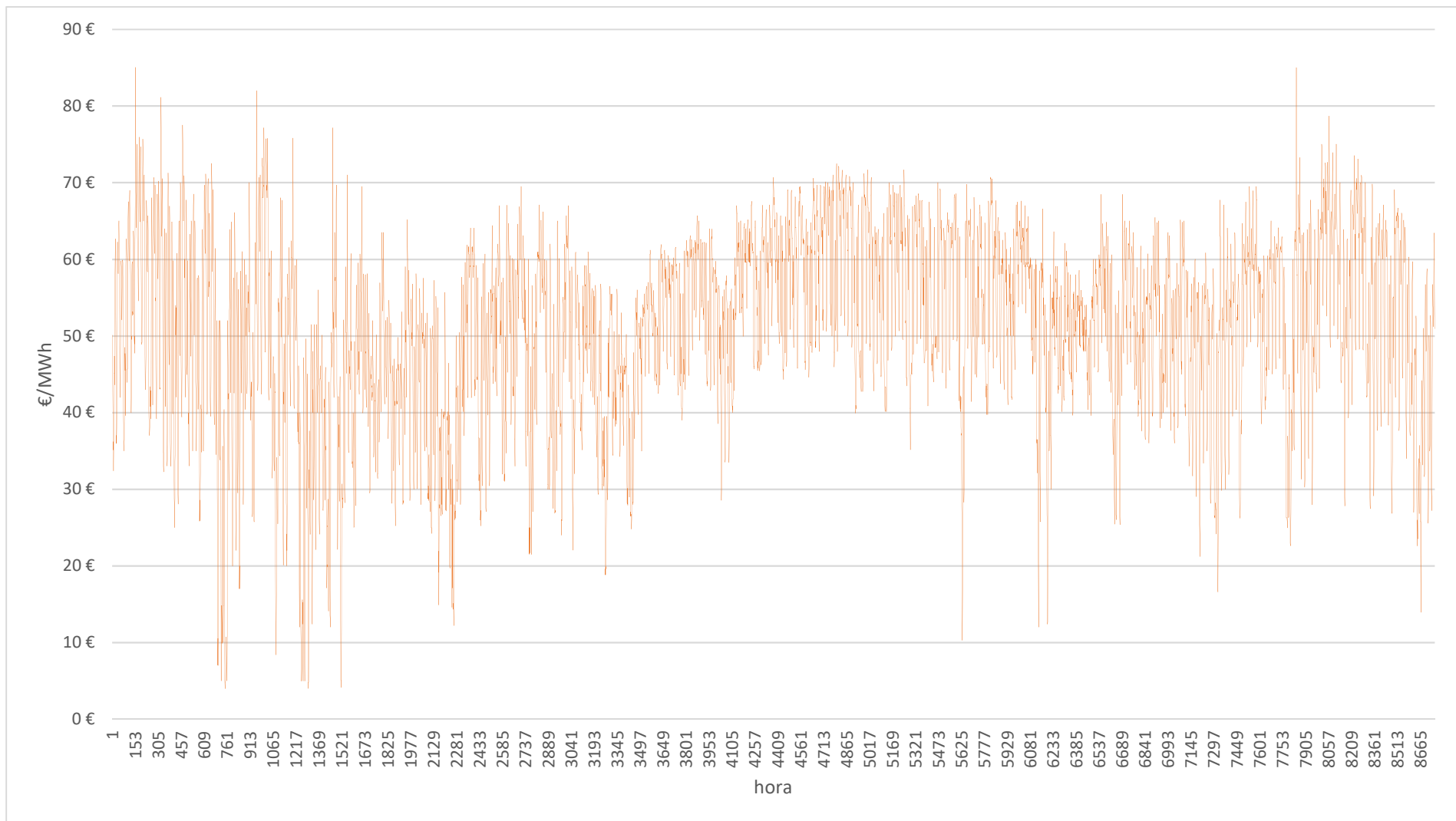


Figura 4.2 – Preço marginal da energia elétrica em Portugal em 2015 [23]

## **4.2. Cenário real**

### **4.2.1. Ano húmido – 2014 – Agueira**

A figura abaixo apresenta a produção ao longo do ano, com um valor médio de 123,55 MWh nas 4201 horas em que se verificou produção, tendo atingido um valor máximo de 274,32 MWh. Não existiu produção em 4559 horas do ano.

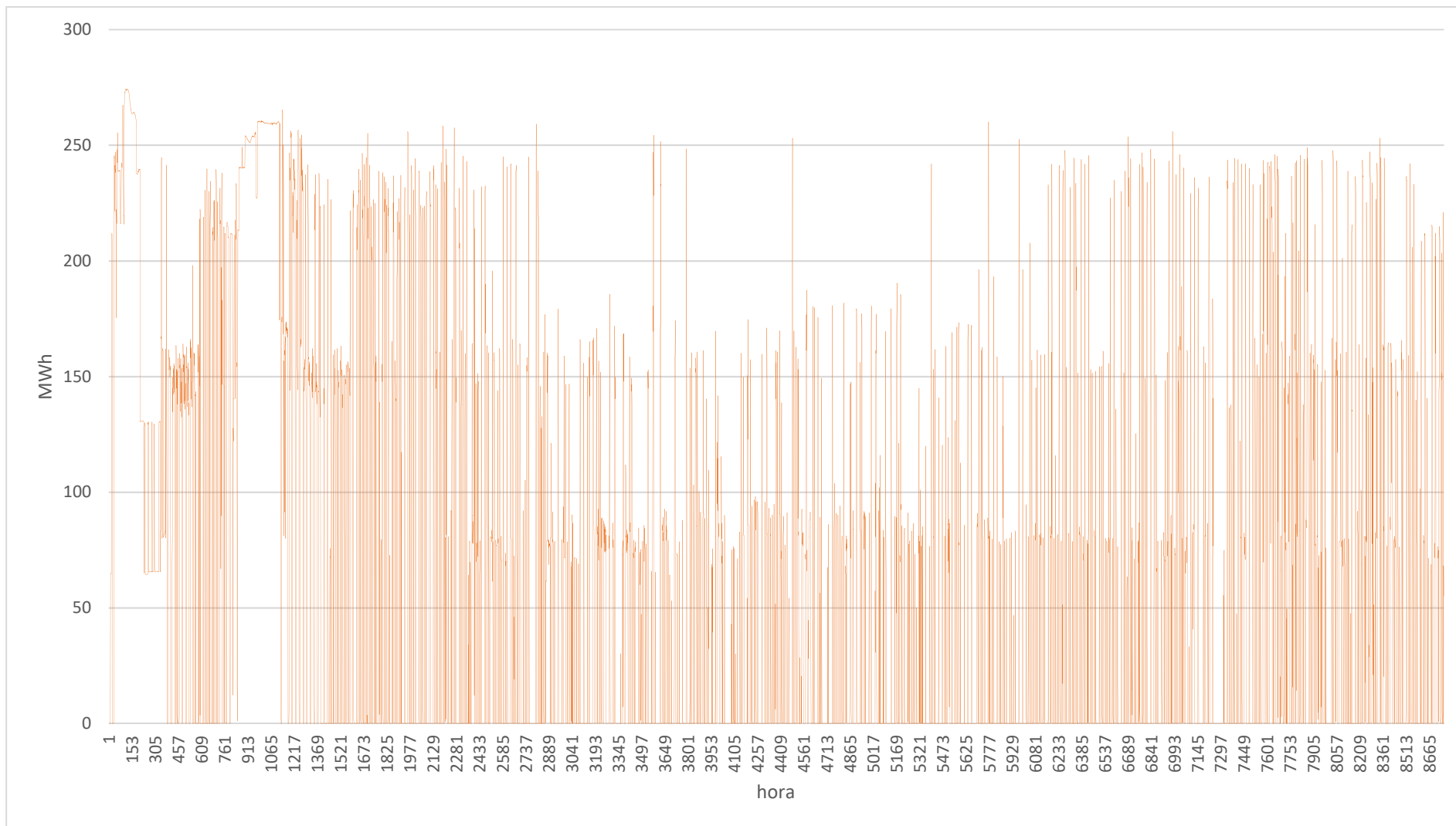


Figura 4.3 – Produção com turbinagem na central da Aguieira em 2014 [25]

A figura abaixo apresenta o consumo com bombagem ao longo do ano, com um valor médio de 40,61 MWh nas 4242 horas em que se verificou bombagem, tendo atingido um valor máximo de 274,63 MWh. Não existiu bombagem em 4518 horas do ano.

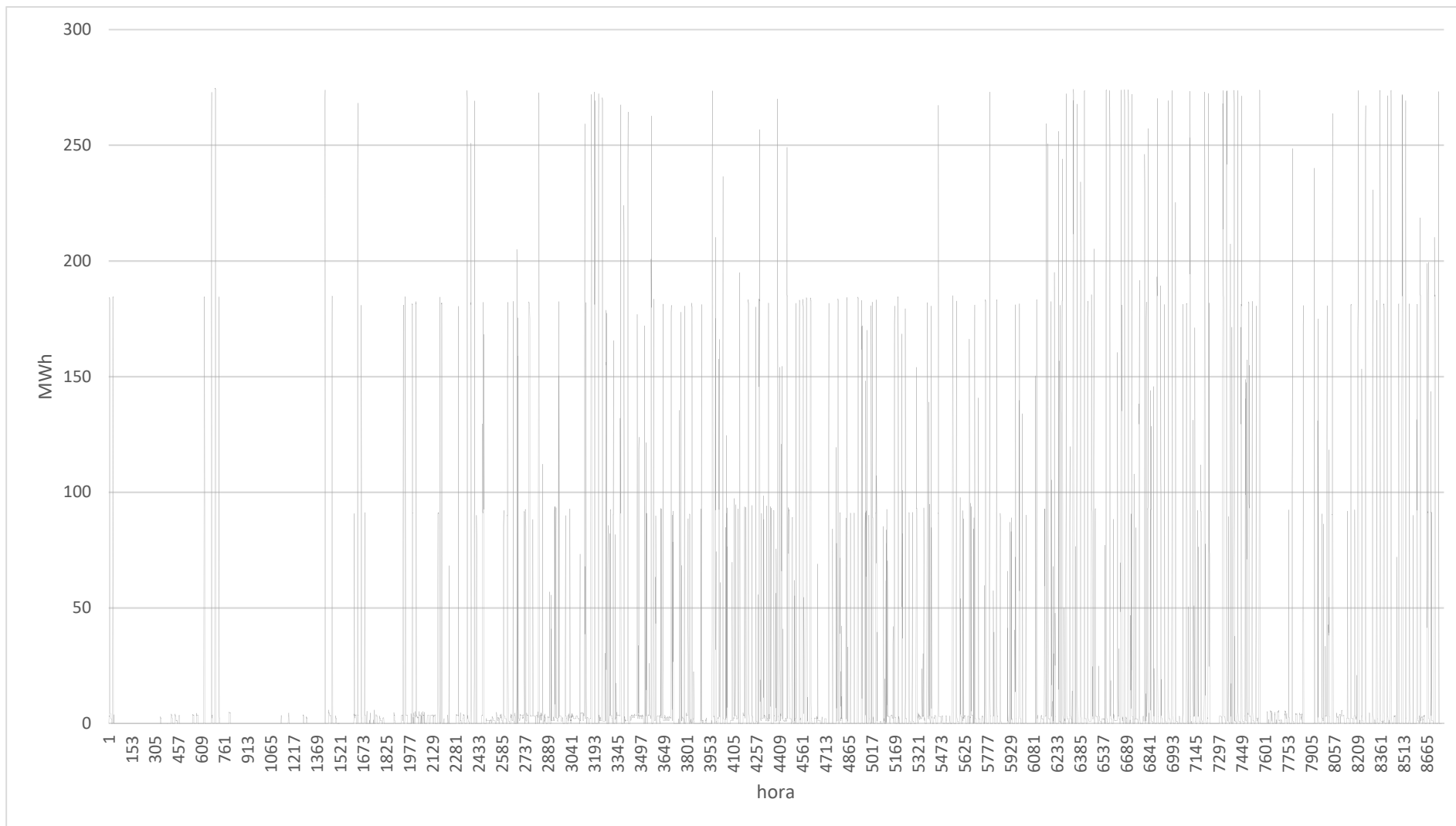


Figura 4.4 – Consumo com bombagem na central da Aguieira em 2014 [26]

Dos dados disponibilizados, sabe-se que a capacidade inicial da albufeira era de 294,610 hm<sup>3</sup> e a capacidade no final do ano era de 279,377 hm<sup>3</sup>.

Sabe-se assim, através da análise dos resultados, que o volume total de água turbinada foi de 3.539,953 hm<sup>3</sup>, que correspondeu a uma receita de 39.115.825,087 € e o volume total de água bombada foi de 941,770 hm<sup>3</sup>, que correspondeu a um custo de 8.997.024,014 €.

Uma vez que não é possível contabilizar de forma cronológica o valor das perdas e caudais afluentes, pois não foram disponibilizados dados horários ao longo do ano da capacidade da albufeira, assumiu-se um valor médio de compra ou venda de energia para acertos finais. Esse valor médio foi apurado com base nos valores anuais de água turbinada/bombada e a sua receita/custo anual, sendo apurados os valores médios de 11.049,815 €/hm<sup>3</sup> para volume de água turbinado e de 9.553,310 €/hm<sup>3</sup> para volume de água bombado.

Assumindo o valor da capacidade inicial da albufeira como um valor de referência para comparação, e comparando com o valor final da capacidade da albufeira, temos um diferencial negativo de 15,233 hm<sup>3</sup> na albufeira. Como não sabemos em que período do ano seguinte esta quantidade de água será bombada, assume-se o preço médio indicado anteriormente, por forma a virtualmente igualar o volume de água na albufeira no final do ano ao do início do ano, fazendo assim um ajuste de -168.321,834 €.

Com os fatores acima contabilizados, facilmente chegamos à conclusão que o volume de água que diz respeito às perdas no sistema, perdas por evaporação e ganhos por caudais afluentes e por precipitação foi de 2.613,416 hm<sup>3</sup>, que são originários das variações anteriormente referidas ao longo do ano. Este valor simboliza um ganho já contabilizado no volume de água turbinado.

Não estão, no entanto, refletidos nestes valores os custos com manutenções do equipamento e das infraestruturas.

Pode-se então resumir a informação, conforme indicado na tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Resumo de 2014 para a central da Aguieira

<b>Volume inicial da albufeira</b>	294,610	hm <sup>3</sup>
<b>Volume final da albufeira</b>	279,377	hm <sup>3</sup>
<b>Diferencial volumes inicio e fim do ano</b>	-15,233	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água turbinada no ano</b>	3 539,953	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água bombada no ano</b>	941,770	hm <sup>3</sup>
<b>Varição no volume armazenado</b>	2 613,416	hm <sup>3</sup>
<b>Valor total da receita com energia produzida</b>	39 115 825,087	€
<b>Valor total do custo com energia consumida</b>	8 997 024,014	€
<b>Preço médio de água turbinada anual</b>	11 049,815	€/hm <sup>3</sup>
<b>Preço médio de água bombada anual</b>	9 553,310	€/hm <sup>3</sup>
<b>Valor do diferencial de volumes</b>	-168.321,834	€
<b>Receita total</b>	29 950 479,239	€

#### 4.2.2. Ano seco – 2015 – Aguieira

A figura abaixo apresenta a produção ao longo do ano, com um valor médio de 94,98 MWh nas 2555 horas em que se verificou produção, tendo atingido um valor máximo de 280,14 MWh. Não existiu produção em 6205 horas do ano.

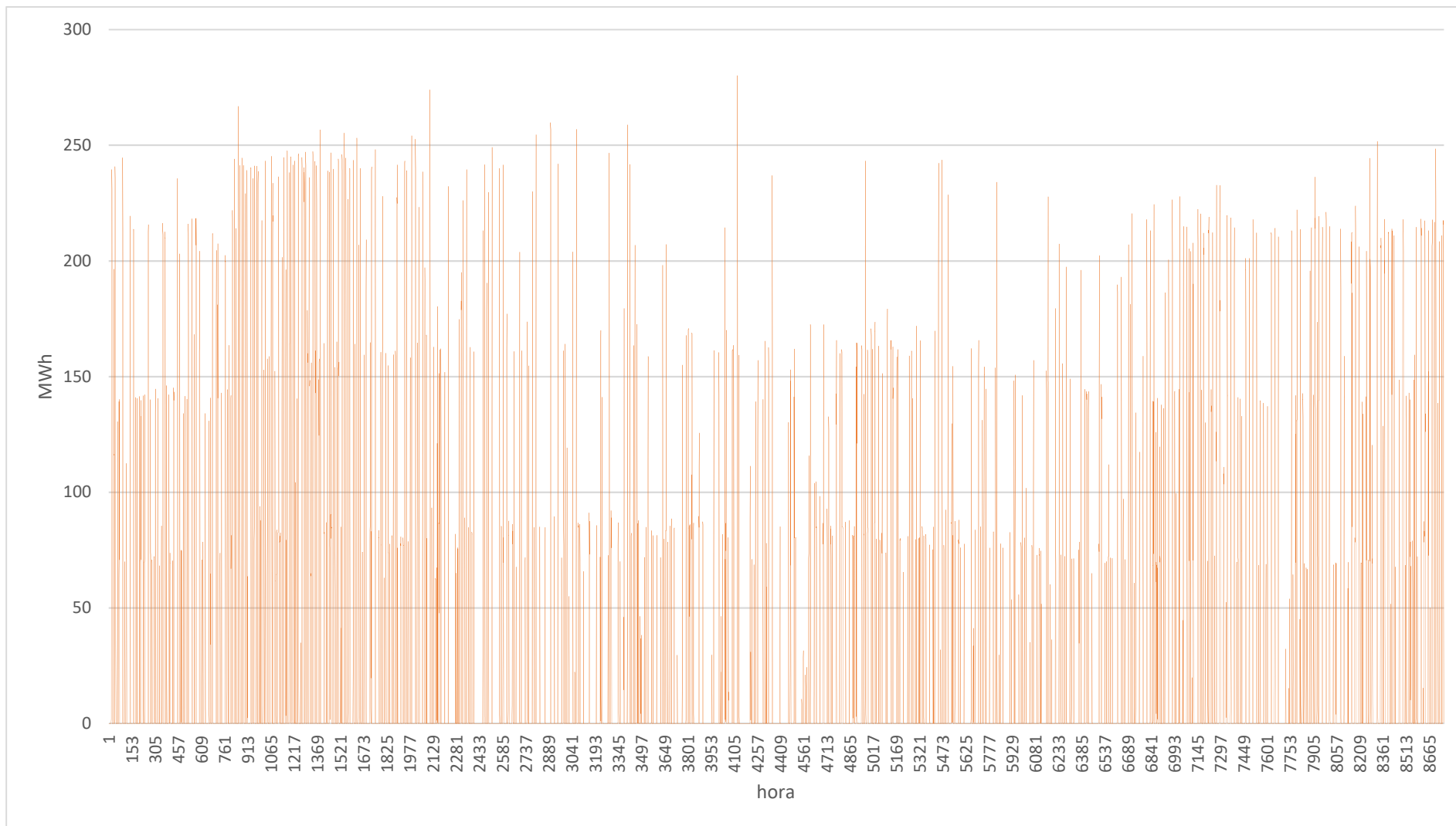


Figura 4.5 – Produção com turbinagem na central da Aguieira em 2015 [26]

A figura abaixo apresenta o consumo com bombagem ao longo do ano, com um valor médio de 50,12 MWh nas 4239 horas em que se verificou bombagem, tendo atingido um valor máximo de 274,46 MWh. Não existiu bombagem em 4521 horas do ano.

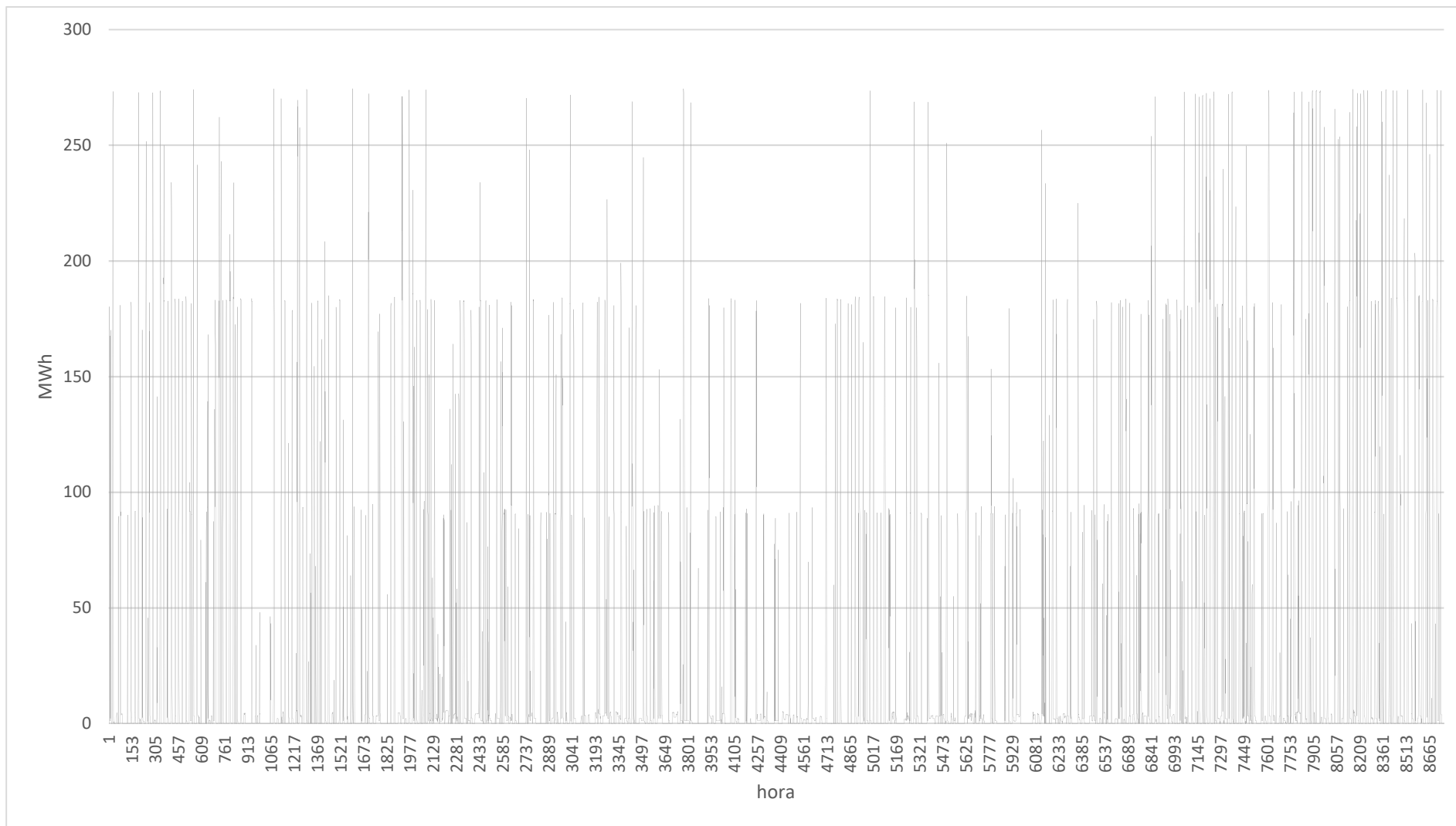


Figura 4.6 – Consumo com bombagem na central da Aguieira em 2015 [26]

Dos dados disponibilizados, sabe-se que a capacidade inicial da albufeira era de 279,377 hm<sup>3</sup> e a capacidade no final do ano era de 303,090 hm<sup>3</sup>.

Sabe-se assim, através da análise dos resultados, que o volume total de água turbinada foi de 1.678,864 hm<sup>3</sup>, que correspondeu a uma receita de 26.744.009,32 € e o volume total de água bombada foi de 1.196,678 hm<sup>3</sup>, que correspondeu a um custo de 12.556.457,31 €.

Uma vez que não é possível contabilizar de forma cronológica o valor das perdas e caudais afluentes, pois não foram disponibilizados dados horários ao longo do ano da capacidade da albufeira, assumiu-se um valor médio de compra ou venda de energia para acertos finais. Esse valor médio foi apurado com base nos valores anuais de água turbinada/bombada e a sua receita/custo anual, sendo apurados os valores médios de 15.929,824 €/hm<sup>3</sup> para volume de água turbinado e de 10.492,759 €/hm<sup>3</sup> para volume de água bombado.

Assumindo o valor da capacidade inicial da albufeira como um valor de referência para comparação, e comparando com o valor final da capacidade da albufeira, temos um diferencial positivo de 23,713 hm<sup>3</sup> na albufeira. Como não sabemos em que período do ano seguinte esta quantidade de água será turbinada, assume-se o preço médio indicado anteriormente, por forma a virtualmente igualar o volume de água na albufeira no final do ano ao do início do ano, fazendo assim um ajuste de 248.814,784€.

Com os fatores acima contabilizados, facilmente chegamos à conclusão que o volume de água que diz respeito às perdas no sistema, perdas por evaporação e ganhos por caudais afluentes e por precipitação foi de 458,473 hm<sup>3</sup>, que são originários das variações anteriormente referidas ao longo do ano. Este valor simboliza um ganho já contabilizado no volume de água turbinado.

Não estão, no entanto, refletidos nestes valores os custos com manutenções do equipamento e das infraestruturas.

Pode-se então resumir a informação, conforme indicado na tabela 4.2:

Tabela 4.2 – Resumo de 2015 para a central da Aguieira

<b>Volume inicial da albufeira</b>	279,377	hm <sup>3</sup>
<b>Volume final da albufeira</b>	303,090	hm <sup>3</sup>
<b>Diferencial volumes inicio e fim do ano</b>	23,713	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água turbinada no ano</b>	1 678,864	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água bombada no ano</b>	1 196,678	hm <sup>3</sup>
<b>Varição no volume armazenado</b>	458,473	hm <sup>3</sup>
<b>Valor total da receita com energia produzida</b>	26 744 009,324	€
<b>Valor total do custo com energia consumida</b>	12 556 457,305	€
<b>Preço médio de água turbinada anual</b>	15 929,824	€/hm <sup>3</sup>
<b>Preço médio de água bombada anual</b>	10 492,759	€/hm <sup>3</sup>
<b>Valor do diferencial de volumes</b>	248 814,784	€
<b>Receita total</b>	14 436 366,803	€

#### 4.2.3. Ano húmido – 2014 – Alqueva

A figura abaixo apresenta a produção ao longo do ano, com um valor médio de 190,19 MWh nas 4906 horas em que se verificou produção, tendo atingido um valor máximo de 466,93 MWh. Não existiu produção em 3854 horas do ano.

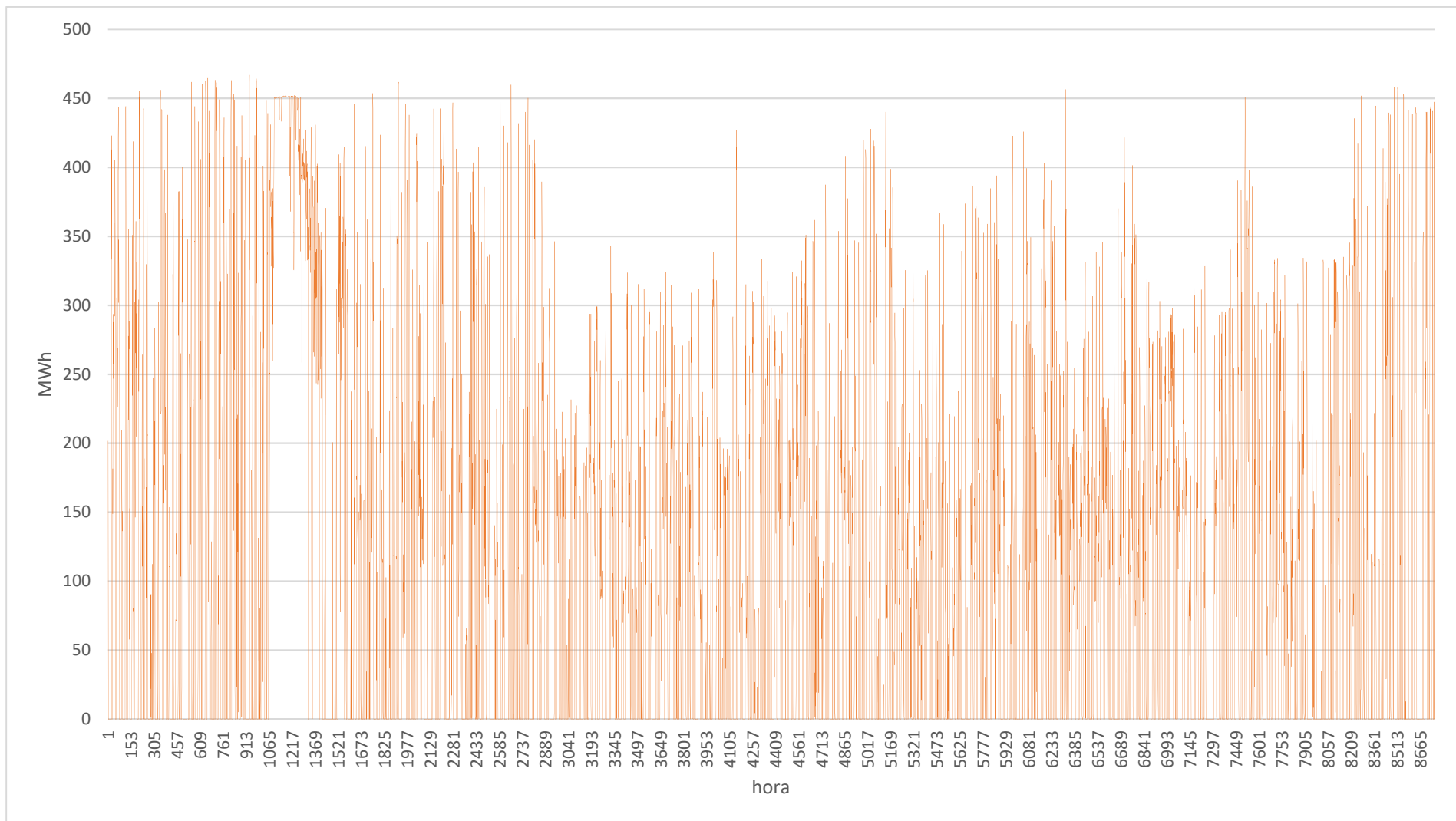


Figura 4.7 – Produção com turbinagem na central de Alqueva em 2014 [27]

A figura abaixo apresenta o consumo com bombagem ao longo do ano, com um valor médio de 140,19 MWh nas 5498 horas em que se verificou bombagem, tendo atingido um valor máximo de 460,2 MWh. Não existiu bombagem em 3262 horas do ano.

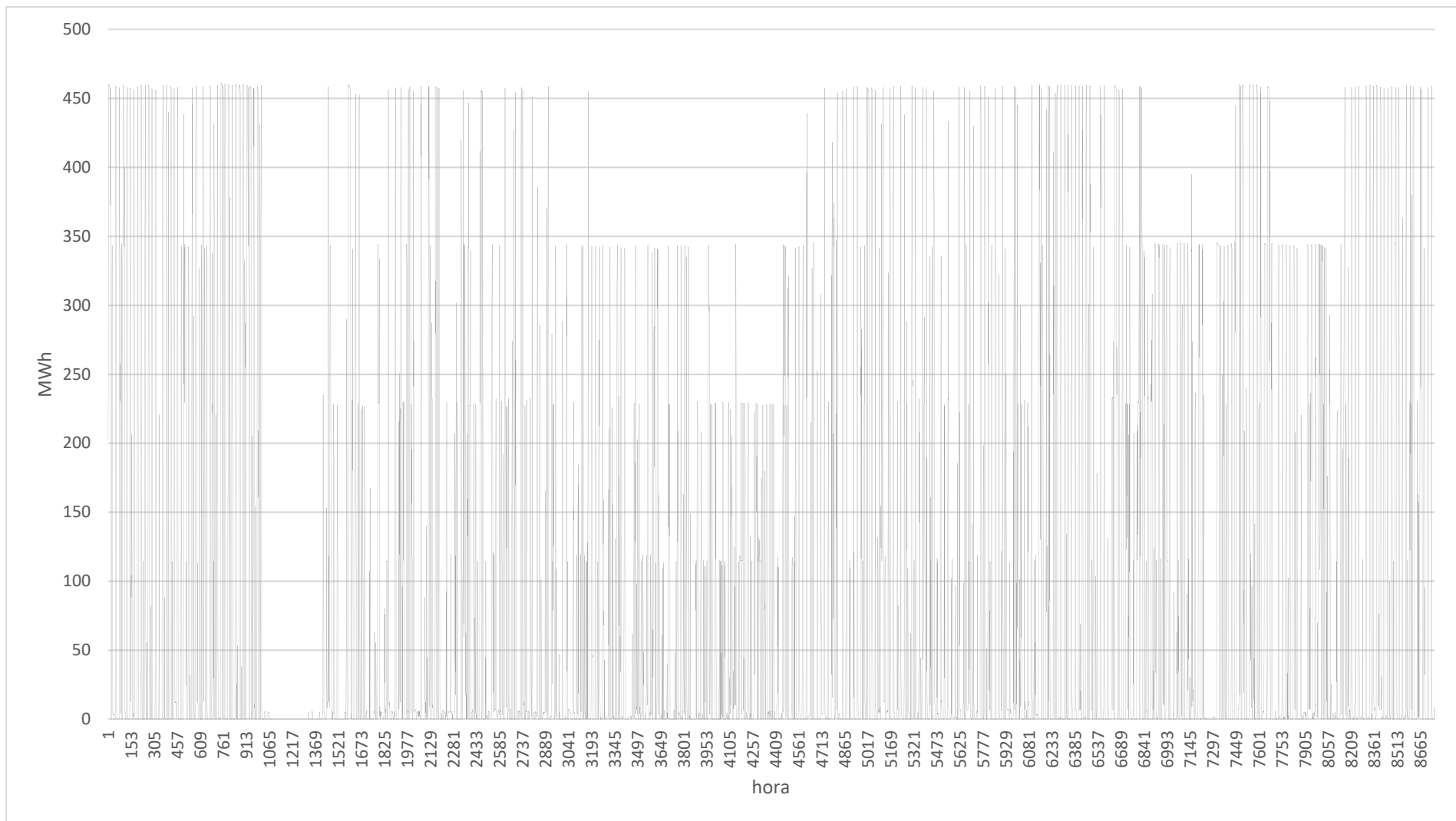


Figura 4.8 – Consumo com bombagem na central de Alqueva em 2014 [28]

Dos dados disponibilizados, sabe-se que a capacidade inicial da albufeira era de 3.590,710 hm<sup>3</sup> e a capacidade no final do ano era a mesma.

Sabe-se assim, através da análise dos resultados, que o volume total de água turbinada foi de 5.810,336 hm<sup>3</sup>, que correspondeu a uma receita de 73.885.970,981 € e o volume total de água bombada foi de 3.804,075 hm<sup>3</sup>, que correspondeu a um custo de 32.209.091,783 €.

Uma vez que não é possível contabilizar de forma cronológica o valor das perdas e caudais afluentes, pois não foram disponibilizados dados horários ao longo do ano da capacidade da albufeira, assumiu-se um valor médio de compra ou venda de energia para acertos finais. Esse valor médio foi apurado com base nos valores anuais de água turbinada/bombada e a sua receita/custo anual, sendo apurados os valores médios de 12.716,299 €/hm<sup>3</sup> para volume de água turbinado e de 8.466,997 €/hm<sup>3</sup> para volume de água bombado.

Assumindo o valor da capacidade inicial da albufeira como um valor de referência para comparação, e comparando com o valor final da capacidade da albufeira, não temos diferencial, uma vez que são volumes idênticos. Com os fatores acima contabilizados, facilmente chegamos à conclusão que o volume de água que diz respeito às perdas no sistema, perdas por evaporação e ganhos por caudais afluentes e por precipitação foi de 2.006,261 hm<sup>3</sup>, que são originários das variações anteriormente referidas ao longo do ano. Este valor simboliza um ganho já contabilizado no volume de água turbinado.

Não estão, no entanto, refletidos nestes valores os custos com manutenções do equipamento e das infraestruturas.

Pode-se então resumir a informação, como indicado tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Resumo de 2014 para a central da Alqueva

<b>Volume inicial da albufeira</b>	3 590,710	hm <sup>3</sup>
<b>Volume final da albufeira</b>	3 590,710	hm <sup>3</sup>
<b>Diferencial volumes inicio e fim do ano</b>	0,000	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água turbinada no ano</b>	5 810,336	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água bombada no ano</b>	3 804,075	hm <sup>3</sup>
<b>Varição do volume armazenado</b>	2 006,261	hm <sup>3</sup>
<b>Valor total da receita com energia produzida</b>	73 885 970,981	€
<b>Valor total do custo com energia consumida</b>	32 209 091,783	€
<b>Preço médio de água turbinada anual</b>	12 716,299	€/hm <sup>3</sup>
<b>Preço médio de água bombada anual</b>	8 466,997	€/hm <sup>3</sup>
<b>Valor do diferencial de volumes</b>	0,000	€
<b>Receita total</b>	41 676 879,198	€

#### 4.2.4. Ano seco – 2015 – Alqueva

A figura abaixo apresenta a produção ao longo do ano, com um valor médio de 174,11 MWh nas 4460 horas em que se verificou produção, tendo atingido um valor máximo de 464,95 MWh. Não existiu produção em 4300 horas do ano.

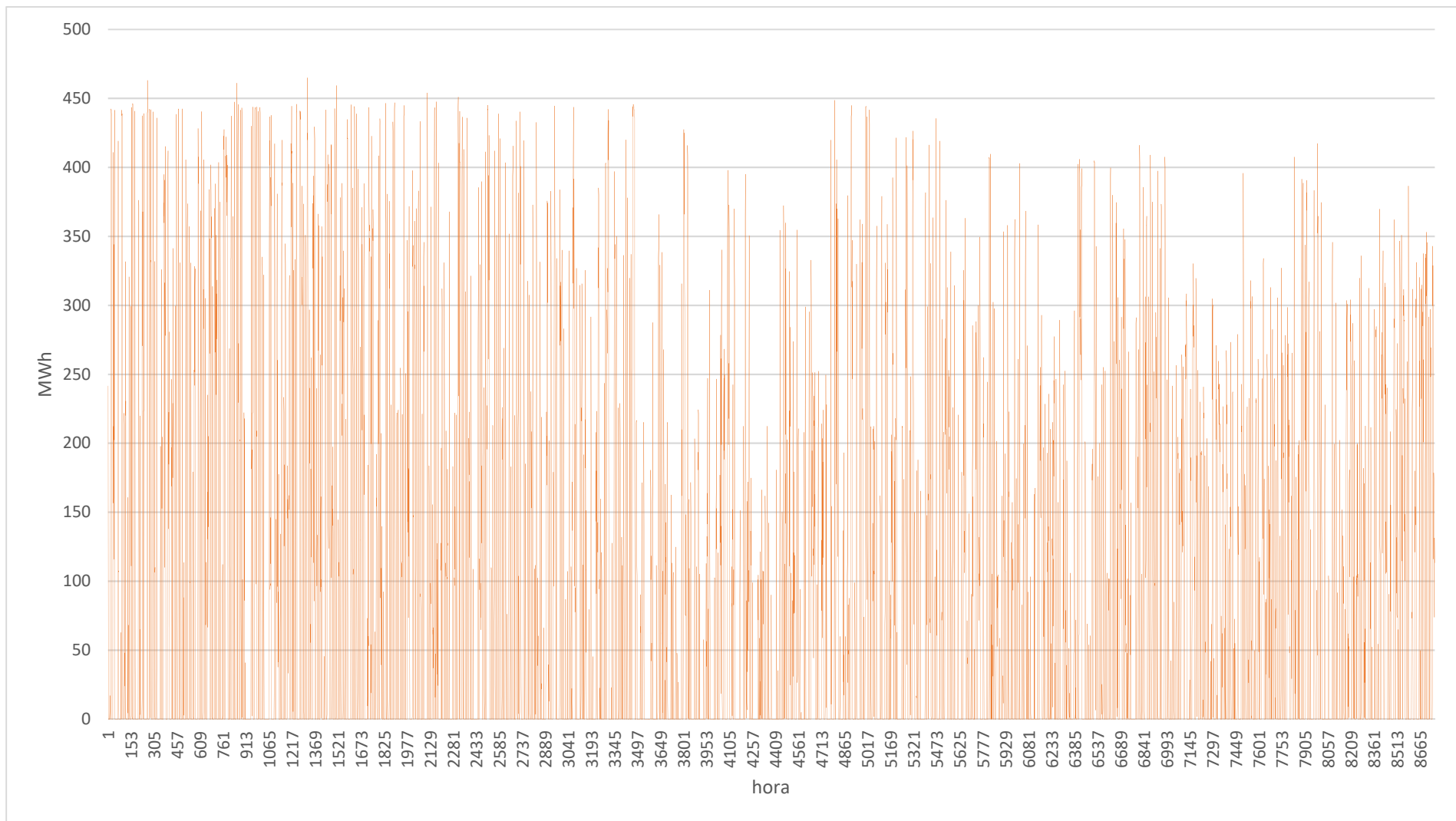


Figura 4.9 – Produção com turbinagem na central de Alqueva em 2015 [28]

A figura abaixo apresenta o consumo com bombagem ao longo do ano, com um valor médio de 151,38 MWh nas 5715 horas em que se verificou bombagem, tendo atingido um valor máximo de 460,82 MWh. Não existiu bombagem em 3045 horas do ano.

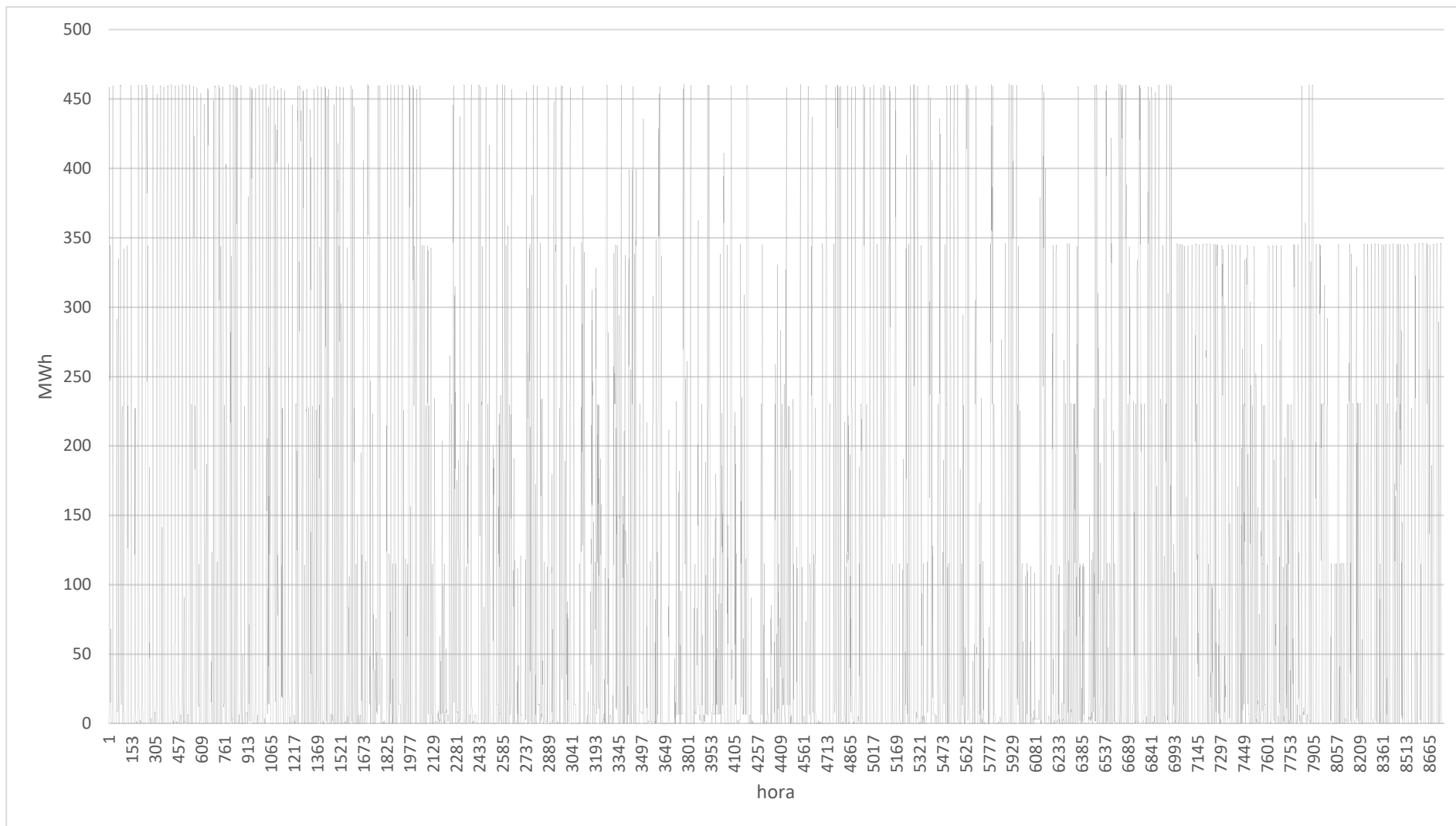


Figura 4.10 – Consumo com bombagem na central de Alqueva em 2015 [28]

Dos dados disponibilizados, sabe-se que a capacidade inicial da albufeira era de 3.590,710 hm<sup>3</sup> e a capacidade no final do ano era de 3.071,530 hm<sup>3</sup>.

Sabe-se assim, através da análise dos resultados, que o volume total de água turbinada foi de 4.986,570 hm<sup>3</sup>, que correspondeu a uma receita de 78.174.358,152 € e o volume total de água bombada foi de 4.337,067 hm<sup>3</sup>, que correspondeu a um custo de 48.674.836,186 €.

Uma vez que não é possível contabilizar de forma cronológica o valor das perdas e caudais afluentes, pois não foram disponibilizados dados horários ao longo do ano da capacidade da albufeira, assumiu-se um valor médio de compra ou venda de energia para acertos finais. Esse valor médio foi apurado com base nos valores anuais de água turbinada/bombada e a sua receita/custo anual, sendo apurados os valores médios de 15.676,979 €/hm<sup>3</sup> para volume de água turbinado e de 11.222,984 €/hm<sup>3</sup> para volume de água bombado.

Assumindo o valor da capacidade inicial da albufeira como um valor de referência para comparação, e comparando com o valor final da capacidade da albufeira, temos um diferencial negativo de 519,180 hm<sup>3</sup> na albufeira. Como não sabemos em que período do ano seguinte esta quantidade de água será bombada, assume-se o preço médio indicado anteriormente, por forma a virtualmente igualar o volume de água na albufeira no final do ano ao do início do ano, fazendo assim um ajuste de -5.826.748,778 €. Com os fatores acima contabilizados, facilmente chegamos à conclusão que o volume de água que diz respeito às perdas no sistema, perdas por evaporação e ganhos por caudais afluentes e por precipitação foi de 130,323 hm<sup>3</sup>, que são originários das variações anteriormente referidas ao longo do ano. Este valor simboliza um ganho já contabilizado no volume de água turbinado.

Não estão, no entanto, refletidos nestes valores os custos com manutenções do equipamento e das infraestruturas.

Pode-se então resumir a informação como indicado tabela 4.4:

Tabela 4.4 – Resumo de 2015 para a central de Alqueva

<b>Volume inicial da albufeira</b>	3 590,710	hm <sup>3</sup>
<b>Volume final da albufeira</b>	3 071,530	hm <sup>3</sup>
<b>Diferencial volumes inicio e fim do ano</b>	-519,180	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água turbinada no ano</b>	4 986,570	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água bombada no ano</b>	4 337,067	hm <sup>3</sup>
<b>Varição do volume armazenado</b>	130,323	hm <sup>3</sup>
<b>Valor total da receita com energia produzida</b>	78 174 358,152	€
<b>Valor total do custo com energia consumida</b>	48 674 836,186	€
<b>Preço médio de água turbinada anual</b>	15 676,979	€/hm <sup>3</sup>
<b>Preço médio de água bombada anual</b>	11 222,984	€/hm <sup>3</sup>
<b>Valor do diferencial de volumes</b>	-5 826 748,778	€
<b>Receita total</b>	23 672 773,188	€

### 4.3. Cenário hipotético sem bombagem

Utilizando os mesmos aproveitamentos hidroelétricos dos quais dispomos de dados, e que foram indicados anteriormente, criemos um cenário em que a bombagem não existe, para efeitos de comparação da necessidade da mesma.

Sem bombagem, não haverá reposição de água nas albufeiras nos períodos de vazio. Sendo assim, o volume de água disponível para utilizar, por forma a manter exatamente o mesmo ponto de comparação, e que é o volume de água na albufeira no início do ano ser o mesmo que o volume de água na albufeira no final do ano, será apenas e somente o volume de água respeitante à variação de armazenamento (caudais afluentes, perdas, consumos, etc.) calculado anteriormente.

### 4.3.1. Ano húmido – 2014 – Aguieira

Obtém-se assim, neste cenário hipotético, a tabela 4.5 que apresenta o resumo para o aproveitamento hidroelétrico da Aguieira:

Tabela 4.5 – Resumo hipotético de 2014 para a albufeira da Aguieira

<b>Volume inicial da albufeira</b>	294,610	hm <sup>3</sup>
<b>Volume final da albufeira</b>	294,610	hm <sup>3</sup>
<b>Diferencial volumes inicio e fim do ano</b>	0,000	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água turbinada no ano</b>	2 613,416	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água bombada no ano</b>	0,000	hm <sup>3</sup>
<b>Variação do volume armazenado</b>	2 613,416	hm <sup>3</sup>
<b>Valor total da receita com energia produzida</b>	28 877 758,864	€
<b>Valor total do custo com energia consumida</b>	0,000	€
<b>Preço médio de água turbinada anual</b>	11 049,815	€/hm <sup>3</sup>
<b>Preço médio de água bombada anual</b>	0,000	€/hm <sup>3</sup>
<b>Valor do diferencial de volumes</b>	0,000	€
<b>Receita total</b>	28 877 758,864	€

### 4.3.2. Ano seco – 2015 – Aguieira

Obtém-se assim, neste cenário hipotético, a tabela 4.6 que apresenta o resumo para o aproveitamento hidroelétrico da Aguieira:

Tabela 4.6 – Resumo hipotético de 2015 para a albufeira da Aguieira

<b>Volume inicial da albufeira</b>	279,377	hm <sup>3</sup>
<b>Volume final da albufeira</b>	279,377	hm <sup>3</sup>
<b>Diferencial volumes inicio e fim do ano</b>	0,000	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água turbinada no ano</b>	458,473	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água bombada no ano</b>	0,000	hm <sup>3</sup>
<b>Variação do volume armazenado</b>	458,473	hm <sup>3</sup>
<b>Valor total da receita com energia produzida</b>	7 303 389,347	€
<b>Valor total do custo com energia consumida</b>	0,000	€
<b>Preço médio de água turbinada anual</b>	15 929,824	€/hm <sup>3</sup>
<b>Preço médio de água bombada anual</b>	0,000	€/hm <sup>3</sup>
<b>Valor do diferencial de volumes</b>	0,000	€
<b>Receita total</b>	7 303 389,347	€

### 4.3.3. Ano húmido – 2014 – Alqueva

Obtém-se assim, neste cenário hipotético, a tabela 4.7 que apresenta o resumo para o aproveitamento hidroelétrico da Alqueva:

Tabela 4.7 – Resumo hipotético de 2014 para a albufeira de Alqueva

<b>Volume inicial da albufeira</b>	3 590,710	hm <sup>3</sup>
<b>Volume final da albufeira</b>	3 590,710	hm <sup>3</sup>
<b>Diferencial volumes inicio e fim do ano</b>	0,000	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água turbinada no ano</b>	2 006,261	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água bombada no ano</b>	0,000	hm <sup>3</sup>
<b>Variação do volume armazenado</b>	2 006,261	hm <sup>3</sup>
<b>Valor total da receita com energia produzida</b>	25 512 215,649	€
<b>Valor total do custo com energia consumida</b>	0,000	€
<b>Preço médio de água turbinada anual</b>	12 716,299	€/hm <sup>3</sup>
<b>Preço médio de água bombada anual</b>	0,000	€/hm <sup>3</sup>
<b>Valor do diferencial de volumes</b>	0,000	€
<b>Receita total</b>	25 512 215,649	€

### 4.3.4. Ano seco – 2015 – Alqueva

Obtém-se assim, neste cenário hipotético, a tabela 4.8 que apresenta o resumo para o aproveitamento hidroelétrico da Alqueva:

Tabela 4.8 – Resumo hipotético de 2015 para a albufeira de Alqueva

<b>Volume inicial da albufeira</b>	3 590,710	hm <sup>3</sup>
<b>Volume final da albufeira</b>	3 590,710	hm <sup>3</sup>
<b>Diferencial volumes inicio e fim do ano</b>	0,000	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água turbinada no ano</b>	130,323	hm <sup>3</sup>
<b>Volume total de água bombada no ano</b>	0,000	hm <sup>3</sup>
<b>Variação do volume armazenado</b>	130,323	hm <sup>3</sup>
<b>Valor total da receita com energia produzida</b>	2 043 072,600	€
<b>Valor total do custo com energia consumida</b>	0,000	€
<b>Preço médio de água turbinada anual</b>	15 676,979	€/hm <sup>3</sup>
<b>Preço médio de água bombada anual</b>	0,000	€/hm <sup>3</sup>
<b>Valor do diferencial de volumes</b>	0,000	€
<b>Receita total</b>	2 043 072,600	€

#### 4.4. Cenário Real vs. Cenário Hipotético

##### 4.4.1. Ano húmido – 2014 – Resumo

Comparando os valores obtidos entre a situação real e a situação hipotética, mantendo os volumes de início e fim de ano idênticos em ambas as albufeiras, o balanço financeiro resume-se na tabela 4.9:

Tabela 4.9 – Resumo de cenários de 2014

<b>Albufeira</b>	<b>Receita real</b>	<b>Receita hipotética</b>
<i>Alqueva</i>	<b>41 676 879,20 €</b>	<b>25 512 215,65 €</b>
<i>Aguieira</i>	<b>29 950 479,24 €</b>	<b>28 877 758,86 €</b>

##### 4.4.2. Ano seco – 2015 – Resumo

Comparando os valores obtidos entre a situação real e a situação hipotética, mantendo os volumes de início e fim de ano idênticos em ambas as albufeiras, o balanço financeiro resume-se na tabela 4.10:

Tabela 4.10 – Resumo de cenários de 2015

<b>Albufeira</b>	<b>Receita real</b>	<b>Receita hipotética</b>
<i>Alqueva</i>	<b>23 672 773,19 €</b>	<b>2 043 072,60 €</b>
<i>Aguieira</i>	<b>14 436 366,80 €</b>	<b>7 303 389,35 €</b>

#### 4.5. Comparação entre 2014 e 2015

As figuras abaixo refletem as principais comparações realizadas. As mesmas serão relevantes para a obtenção de conclusões, nos aproveitamentos hidroelétricos em estudo, para os anos anteriormente indicados.

#### 4.5.1. Aproveitamento hidroelétrico de Aguieira

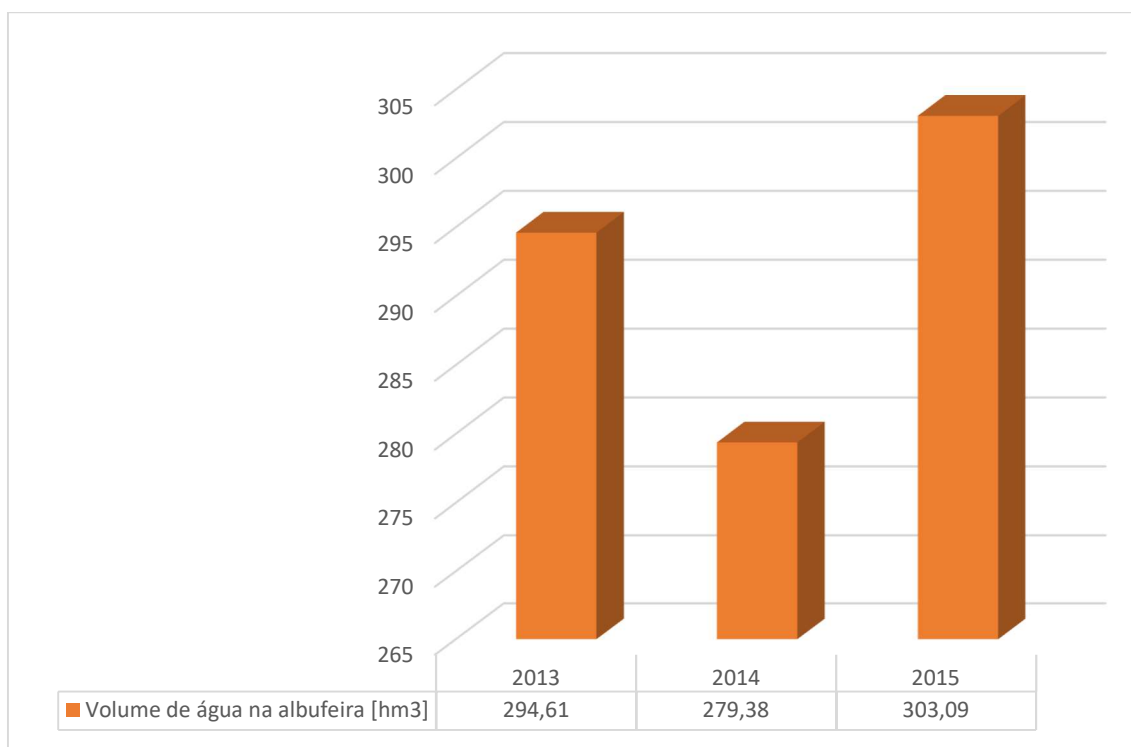


Figura 4.11 – Volume de água na albufeira de Aguieira ao final de cada ano

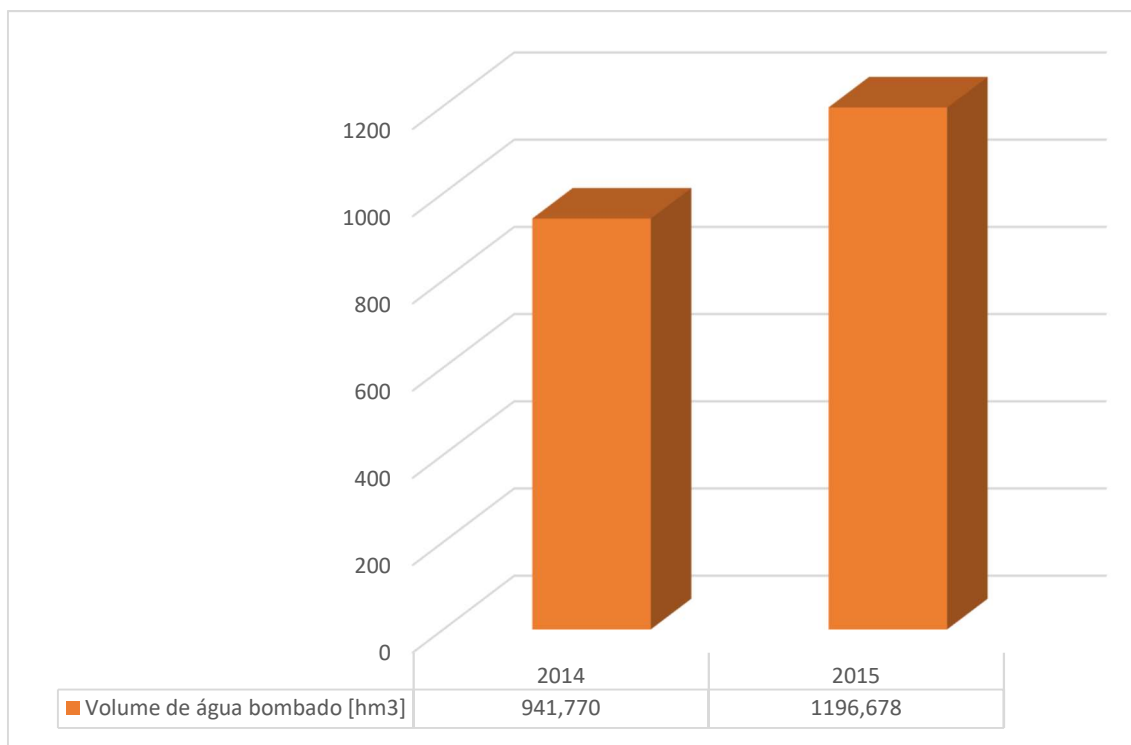
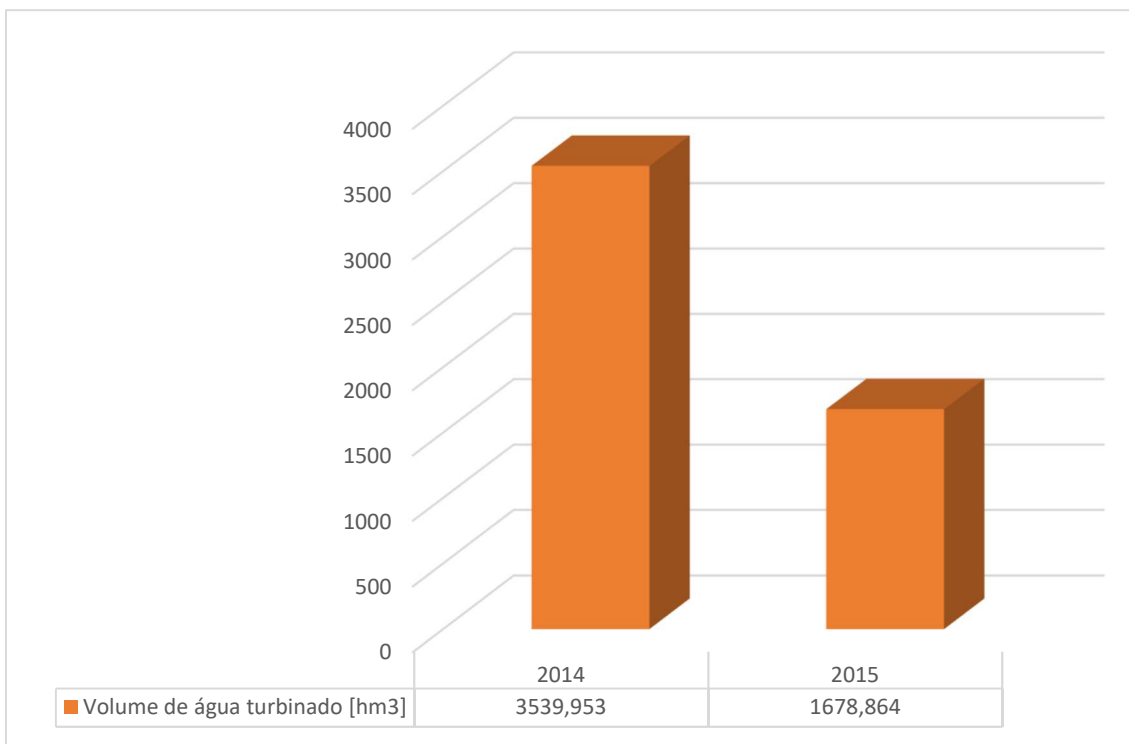
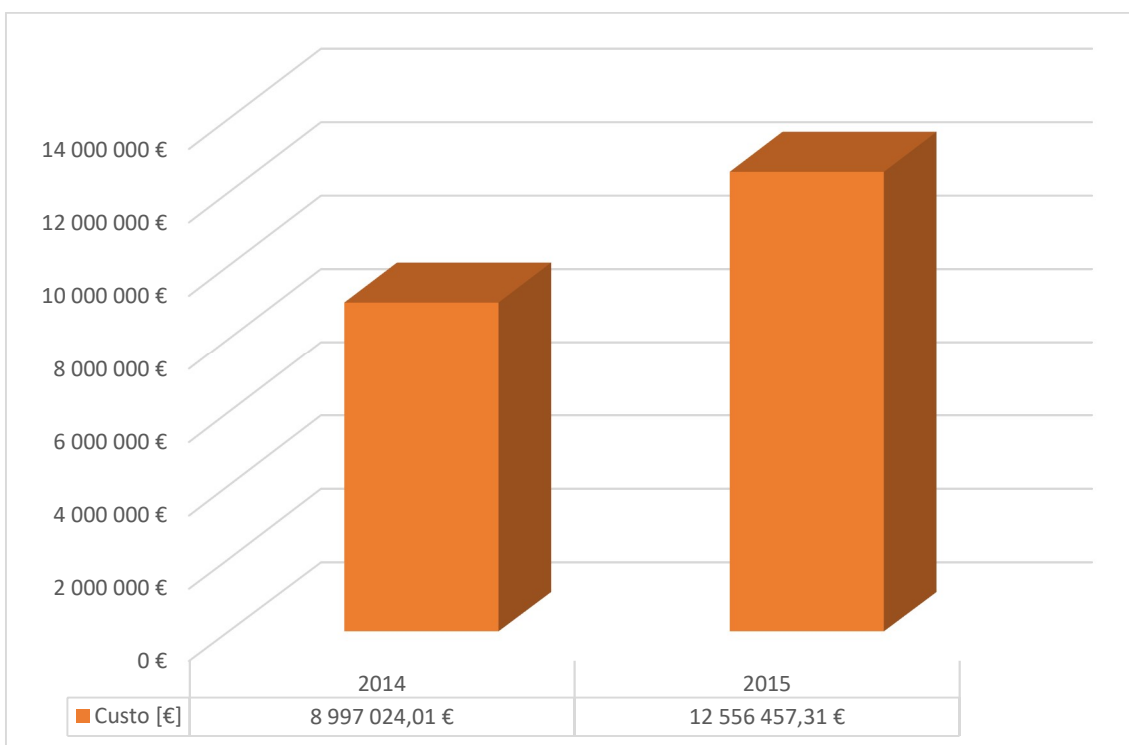


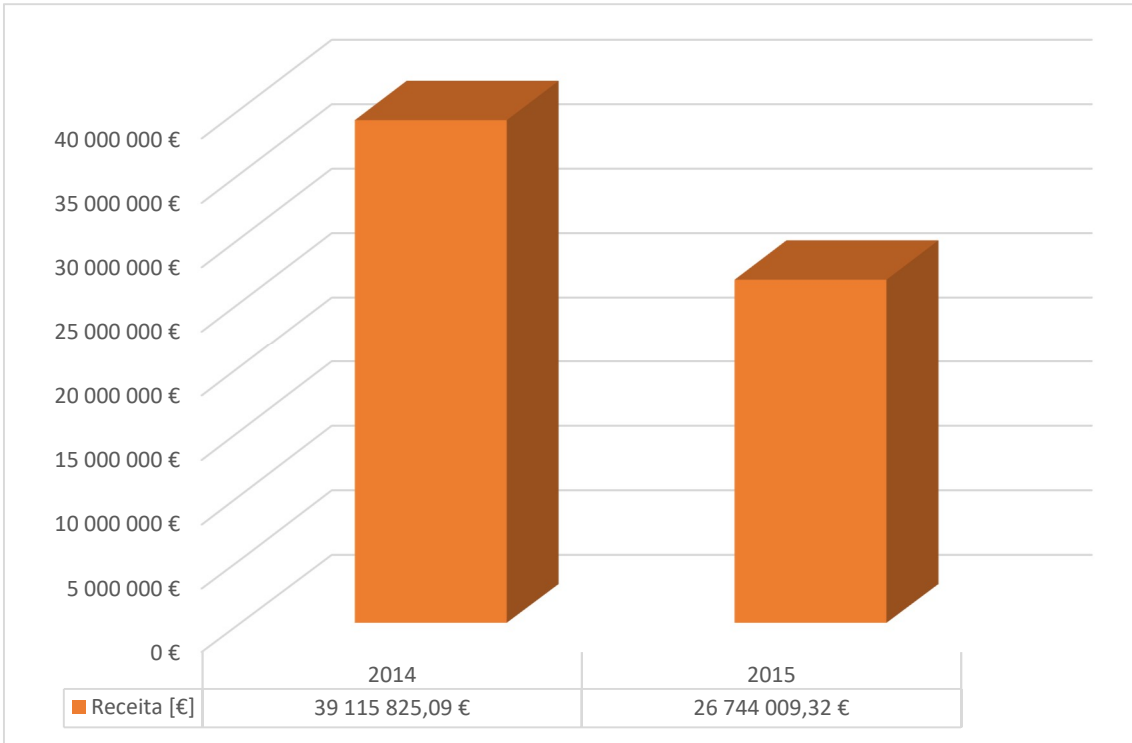
Figura 4.12 – Volume de água bombado no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano



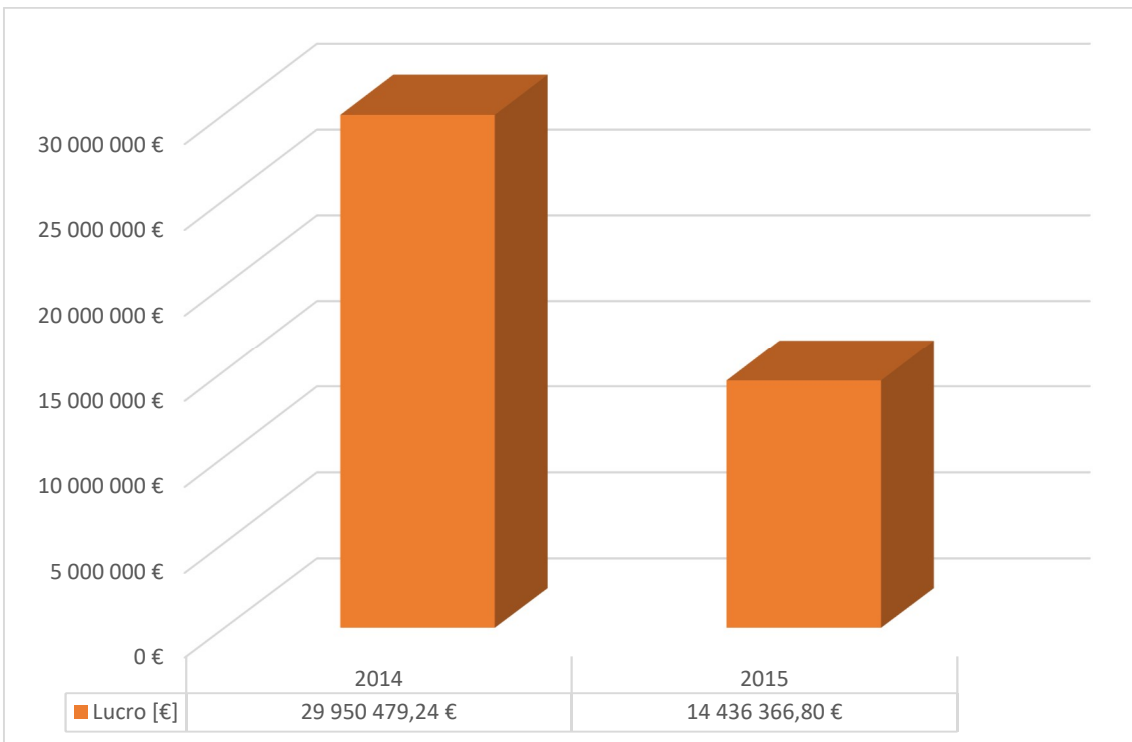
**Figura 4.13 – Volume de água turbinado no aproveitamento hidroelétrico de Agueira em cada ano**



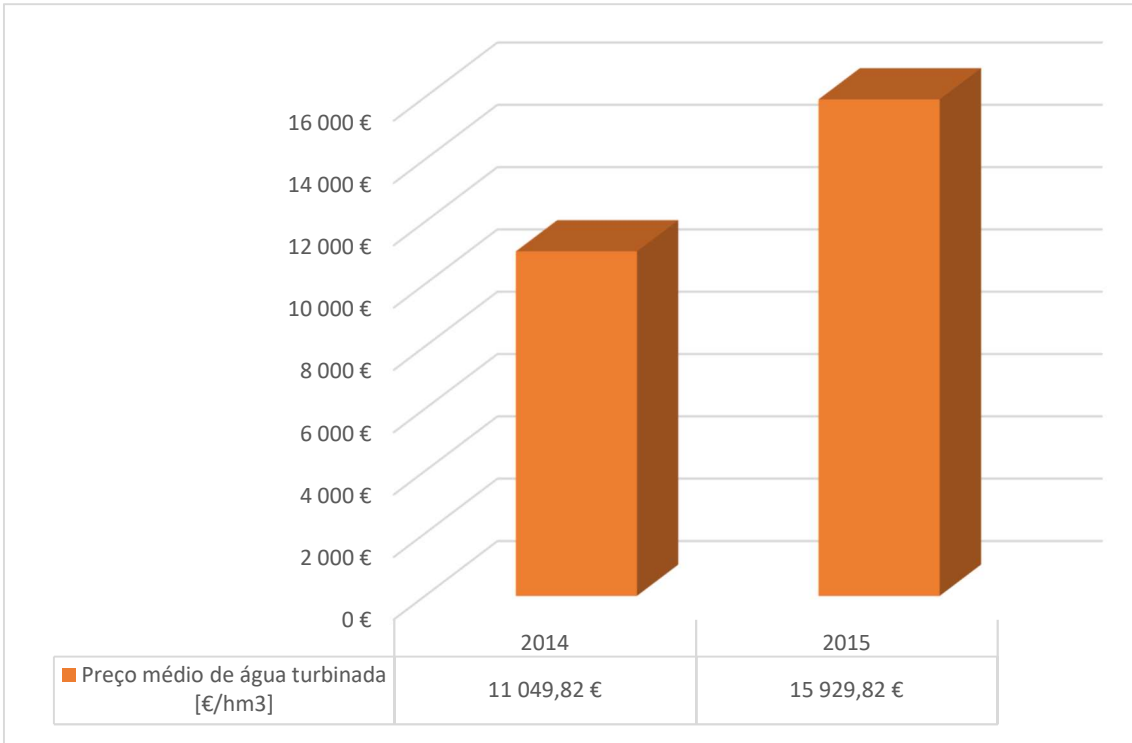
**Figura 4.14 – Custo com bombagem no aproveitamento hidroelétrico de Agueira em cada ano**



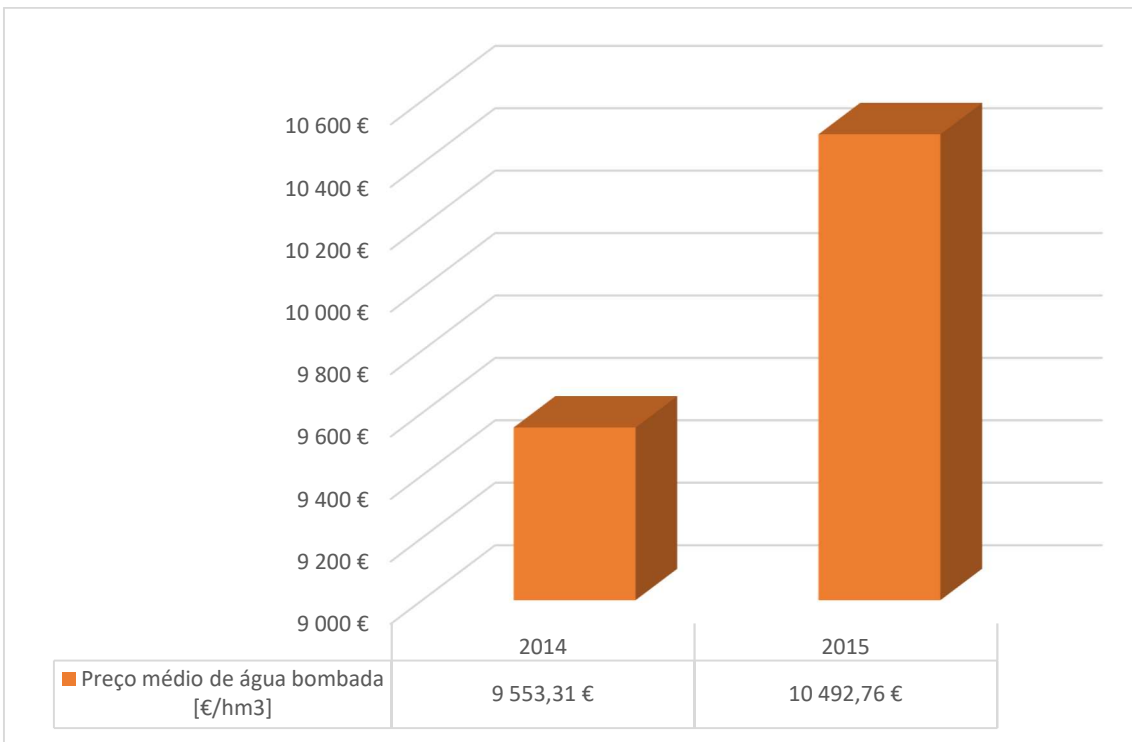
**Figura 4.15 – Receita com turbinagem no aproveitamento hidroelétrico de Agueira em cada ano**



**Figura 4.16 – Lucro no aproveitamento hidroelétrico de Agueira em cada ano**



**Figura 4.17 – Preço médio para água turbinada no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano**



**Figura 4.18 – Preço médio para água bombeada no aproveitamento hidroelétrico de Aguieira em cada ano**

#### 4.5.2. Aproveitamento hidroelétrico de Alqueva

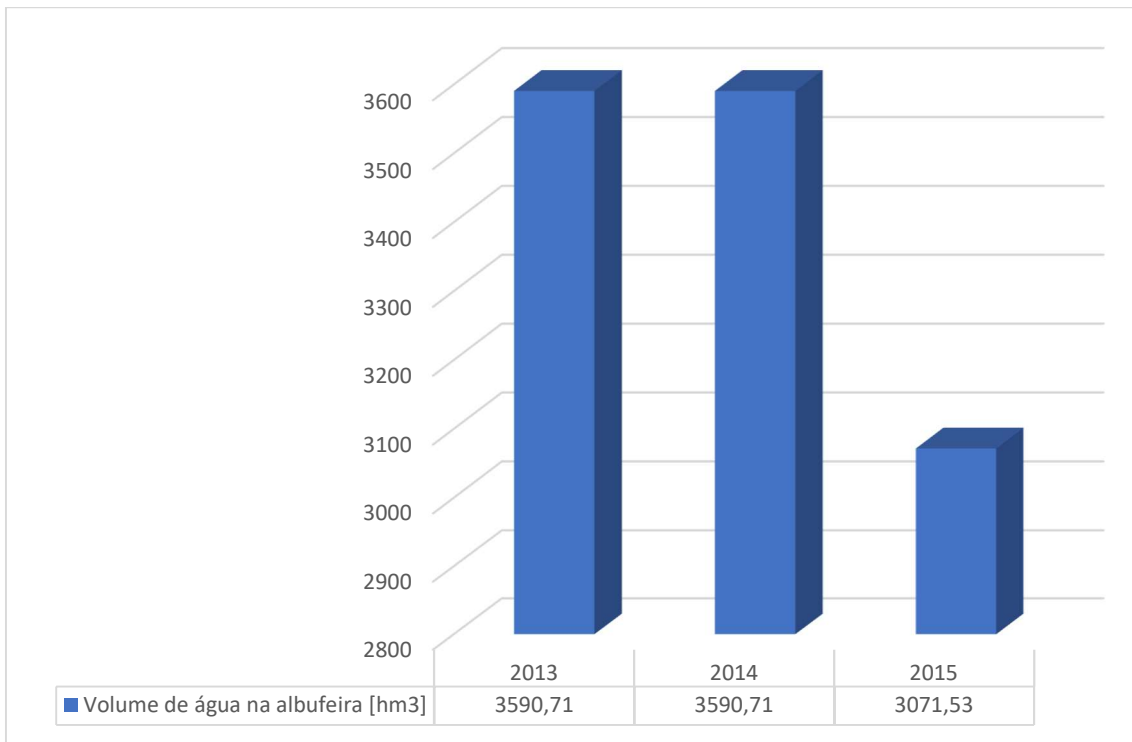


Figura 4.19 – Volume de água na albufeira de Alqueva ao final de cada ano

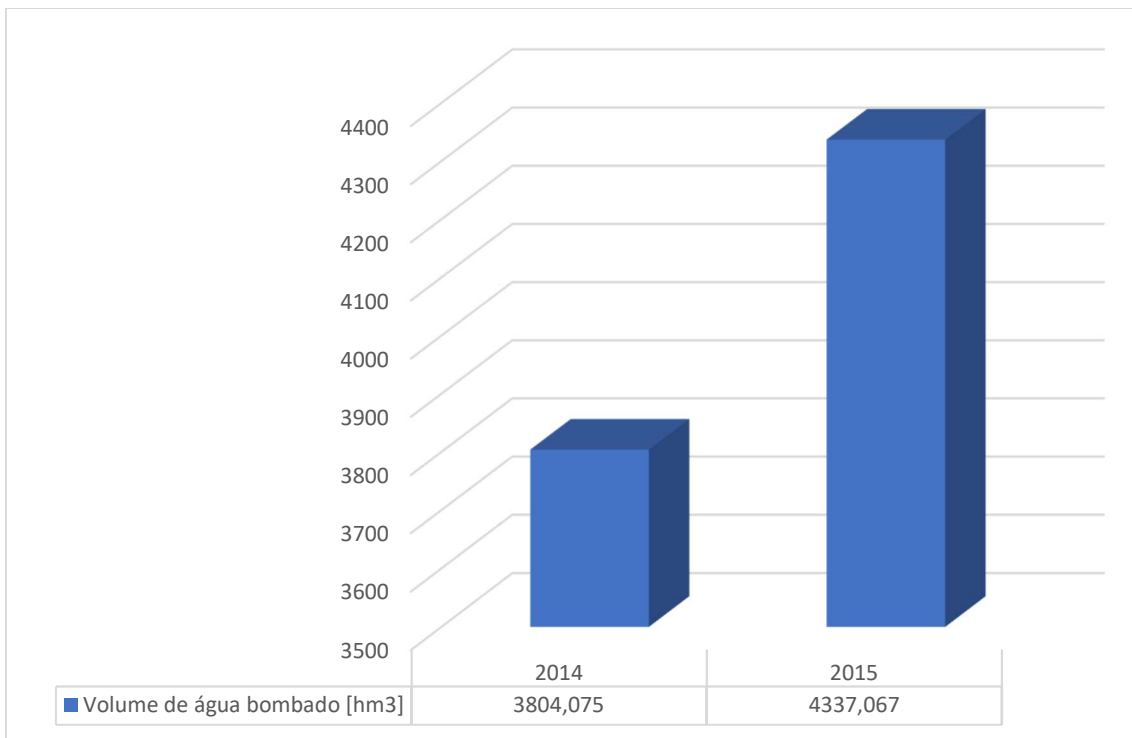
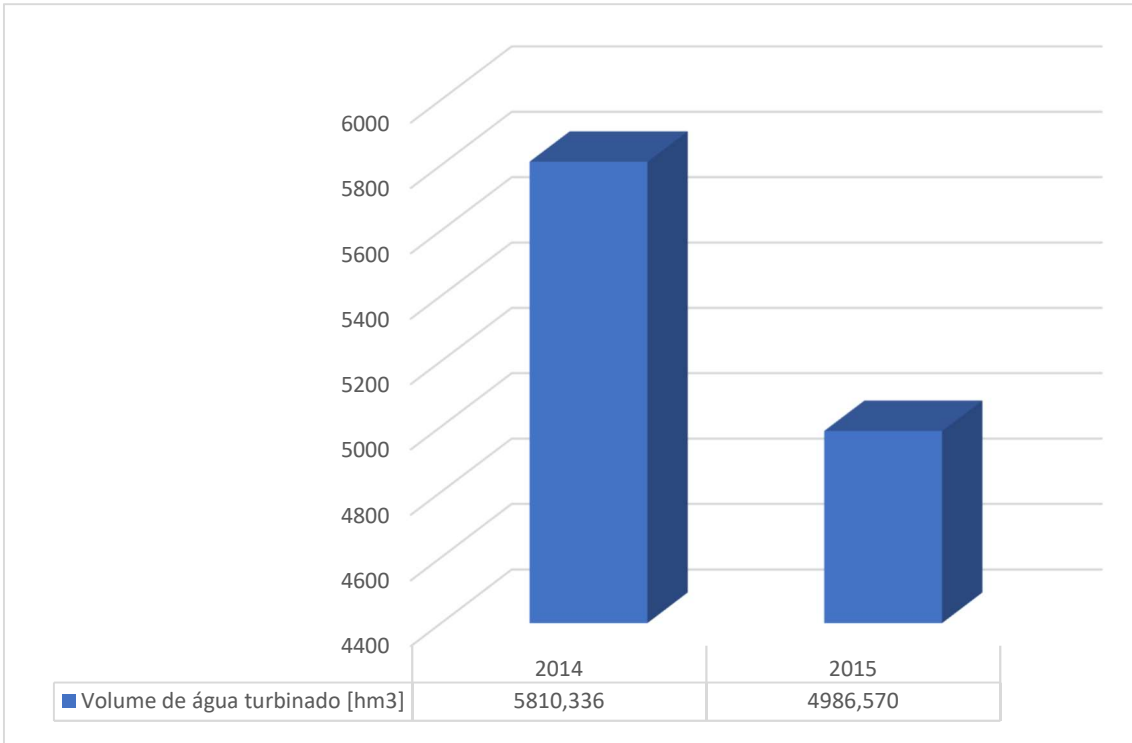
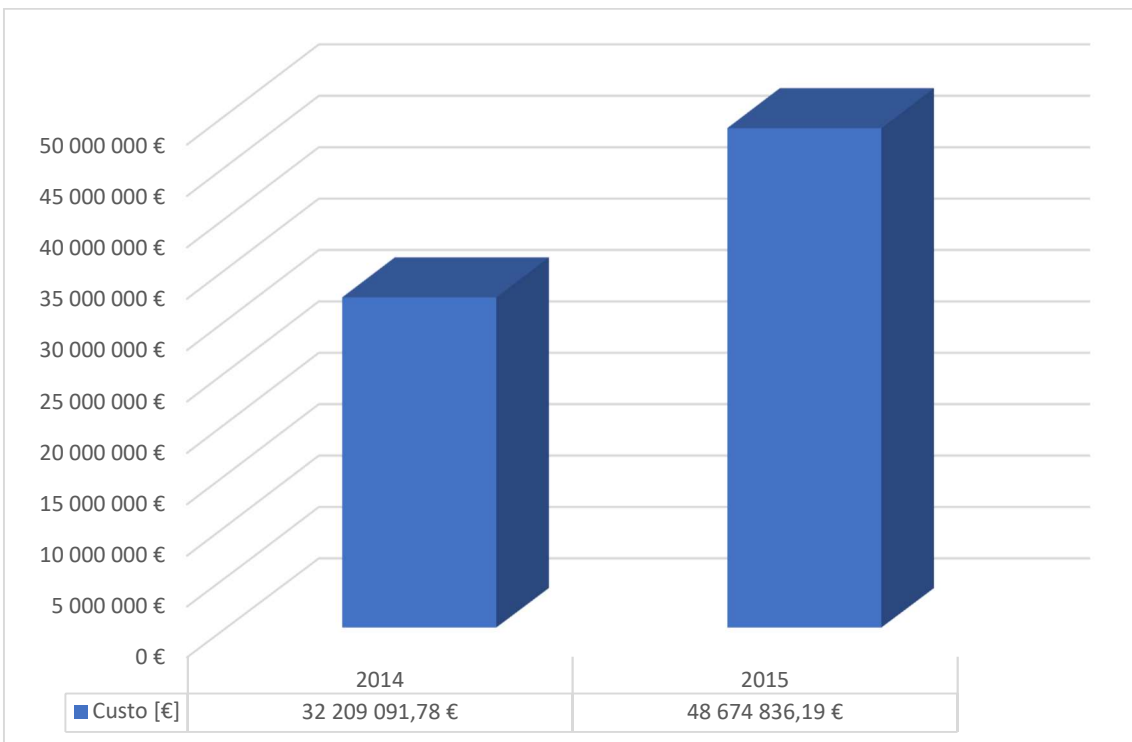


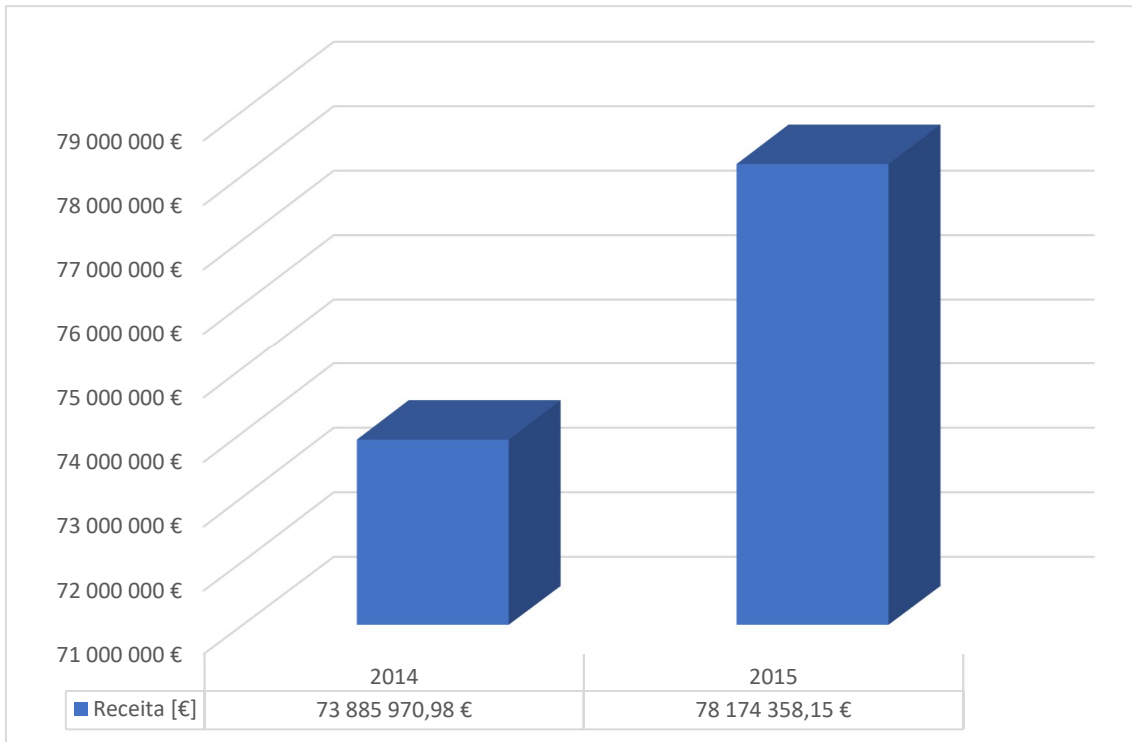
Figura 4.20 – Volume de água bombeado no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano



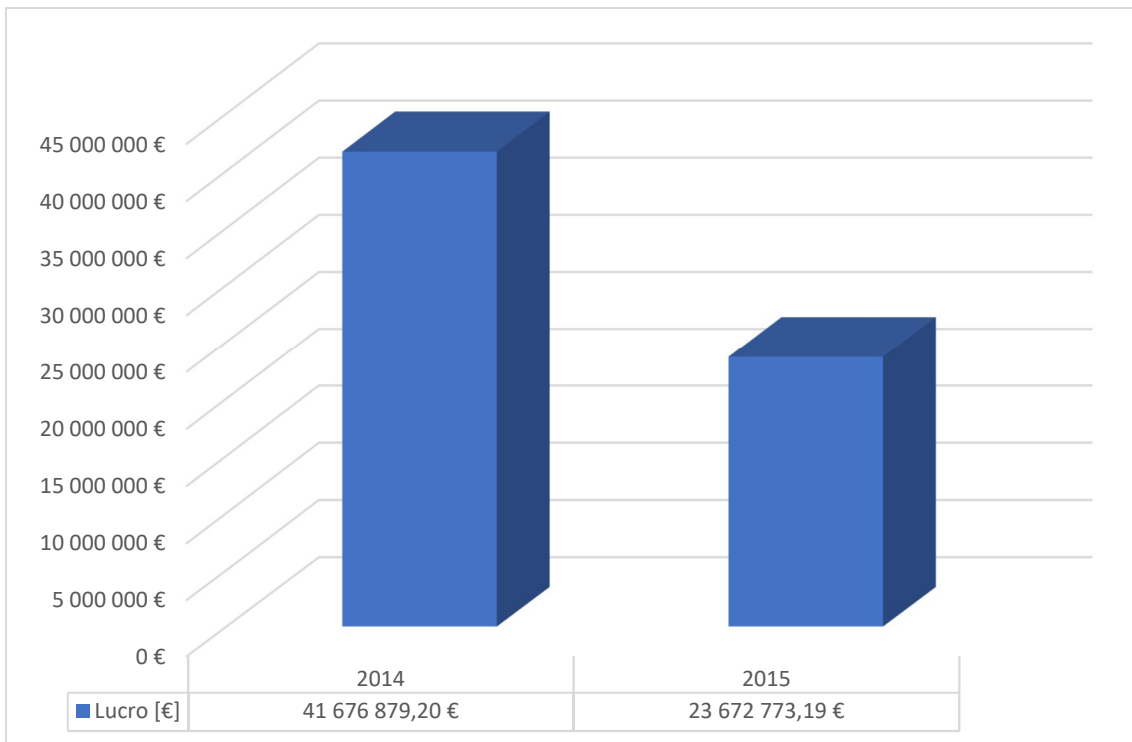
**Figura 4.21 – Volume de água turbinado no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano**



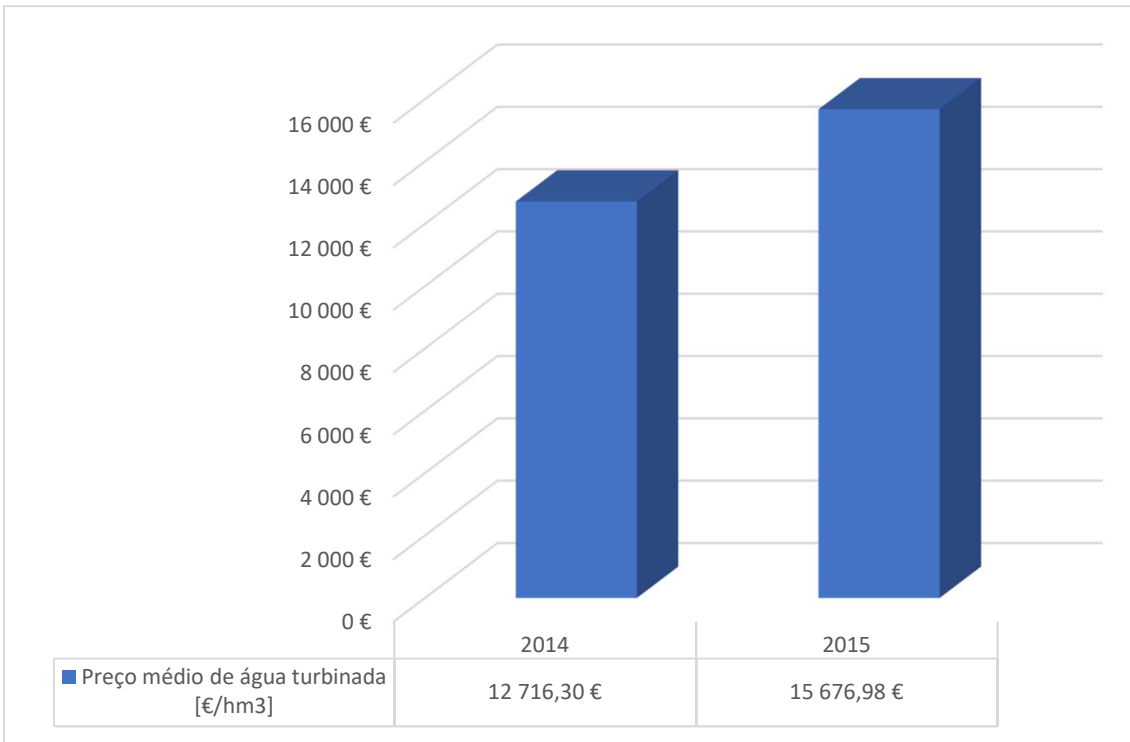
**Figura 4.22 – Custo com bombagem no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano**



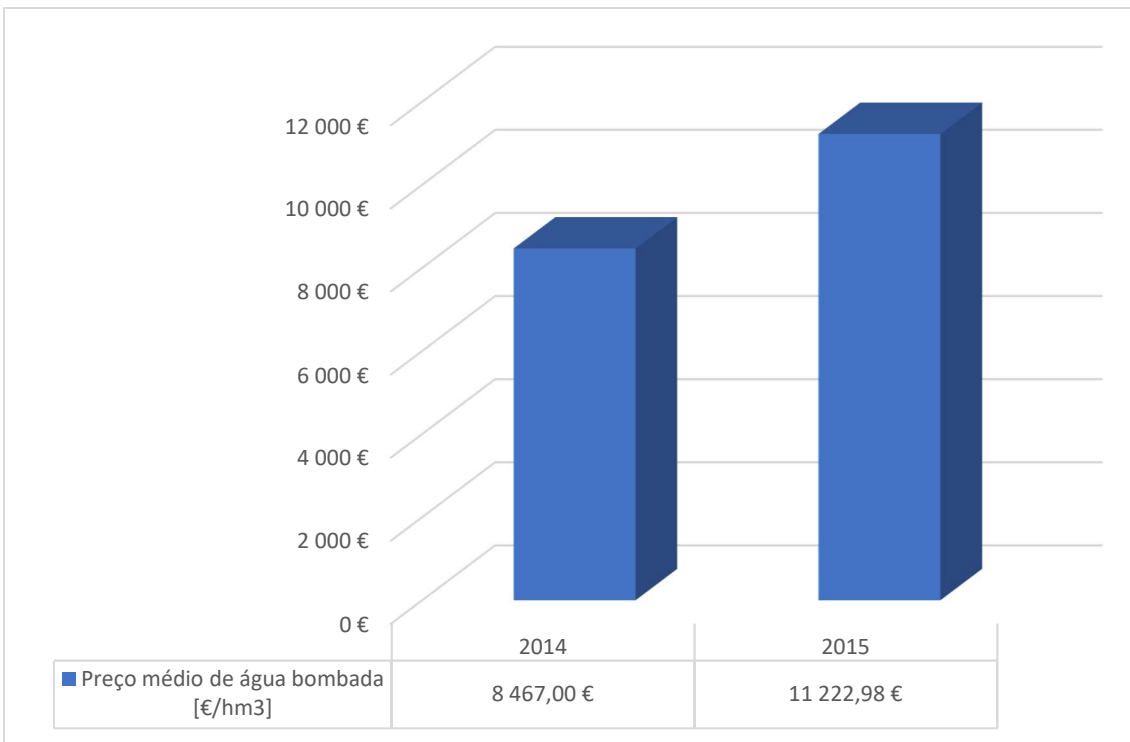
**Figura 4.23 – Receita com turbinagem no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano**



**Figura 4.24 – Lucro no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano**



**Figura 4.25 – Preço médio para água turbinada no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano**



**Figura 4.26 – Preço médio para água bombada no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em cada ano**

## **5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros**

Dos dados obtidos e cedidos, chega-se à conclusão de que os volumes de água existentes nas respetivas albufeiras sofreram alterações, mas não de forma esperada tendo em conta a classificação dos anos em estudo. Na albufeira da Agueira, seria expectável no final de 2014 ter um volume de água armazenado superior ao volume que se registava no início do ano, coisa que não aconteceu. No final de 2015 seria também expectável ter um volume inferior na albufeira face ao valor do final de 2014, coisa que também não aconteceu. Por outro lado, na albufeira do Alqueva, houve uma manutenção do valor armazenado do início de 2014 para o início de 2015, com uma queda previsível nessa capacidade no final de 2015.

Também de forma previsível, verifica-se em ambos os aproveitamentos um valor superior de água turbinada em 2014 face um maior volume de água bombada em 2015. Esta situação prende-se claramente com a disponibilidade de água existente em 2014, devido a ser um ano húmido, e ao mais que provável facto de as albufeiras estarem no limite da sua capacidade máxima. Verifica-se o oposto em 2015, daí a inversão de cenários face ao bombado e ao turbinado.

Também devido à tipologia dos anos em estudo, é fácil verificar que o custo total em ambos os aproveitamentos para bombagem foi inferior em 2014, que sendo húmido, não carece de falta de água. Este fator influencia também o preço médio da bombagem, mais baixo também em 2014, onde inclusivamente houve 195 horas com comercialização a 0,00 €, devido ao excesso de produção, tendo 133 dessas horas sido utilizadas para bombear água para a albufeira da Agueira e 147 horas para bombear água para a albufeira de Alqueva. A abundância de recursos implicou também excesso de produção ao nível hídrico, o que fez com que o preço médio para água turbinada fosse mais baixo, devido ao excesso de oferta.

Em 2015, um ano seco, assiste-se à inversão total dos valores, aumentando o volume de água bombada e diminuindo o volume de água turbinada. Tudo devido ao facto da carência de água disponível, que faz também com que o preço médio quer de bombagem, quer de turbinagem, aumente em comparação com o ano anterior, havendo menos oferta do que em 2014.

Estes fatores acabam por influenciar diretamente a relação custo/receita anual, com maiores lucros devido à turbinagem, e menores custos devido à bombagem em 2014, e o oposto em 2015. Verifica-se, assim, no lucro de cada aproveitamento, um decréscimo de 2014 para 2015, devido aos aumentos dos custos e quebra das receitas.

No entanto, a mais relevante conclusão vem dos cenários hipotéticos sem bombagem apresentados. Os valores obtidos demonstram que, quer num ano seco, quer num ano húmido, a solução com bombagem nos aproveitamentos estudados é mais rentável que a solução sem bombagem.

No ano de 2014, no aproveitamento hidroelétrico da Agueira, o lucro do cenário sem bombagem foi 96% do lucro do cenário real. Já no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva, para a mesma situação, a relação foi de 61% do lucro do cenário real.

Seria expectável, num ano húmido, ter diferenças mínimas como a que se verifica na Agueira, devido a não haver necessidade de bombear água, mesmo a baixo ou nenhum custo e existir uma grande capacidade para turbinagem, mesmo a um preço mais baixo. A diferença verificada no aproveitamento de Alqueva já é bastante considerável face ao expectável, e num ano sem escassez de água.

É, no entanto, em 2015, um ano seco, que se verificam as maiores diferenças. No aproveitamento hidroelétrico da Agueira, o lucro do cenário sem bombagem foi de 51% do lucro do cenário real. Pior cenário se apresenta no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva, em que o lucro do cenário sem bombagem é de apenas 9% face ao lucro do cenário real.

Verifica-se assim, com base numa análise de dois anos classificados como opostos (ano húmido e ano seco), que o investimento previsto em aproveitamentos hidroelétricos reversíveis tem razão de ser, pois apresenta, mesmo num ano húmido, viabilidade económica.

Aguarda-se com grande expectativa por uma realidade em que se consiga manter uma produção quase total com base em energias renováveis, fugindo às inevitáveis fontes fósseis ainda utilizadas largamente e que em muito contribuíram para o nosso clima atual.

Para isso, será necessário fazer crescer não só o parque hidroprodutor já instalado, mas também o eólico, acompanhado da coordenação eólica-hídrica referida neste trabalho.

## 6. Referências bibliográficas

---

[1] Diário de Notícias

“Renováveis alimentaram o país quatro dias e meio”

Publicado a 18 de maio de 2016

Disponível em <http://www.dn.pt/dinheiro/interior/renovaveis-alimentaram-o-pais-quatro-dias-e-meio-5176232.html>

Acesso em junho de 2017

[2] Jornal de Negócios

“Alemanha vai acelerar abandono da energia nuclear”

Publicado em 17 de março de 2011

Disponível em

[http://www.jornaldenegocios.pt/economia/detalhe/alemanha\\_vai\\_acelerar\\_abandono\\_da\\_energia\\_nuclear](http://www.jornaldenegocios.pt/economia/detalhe/alemanha_vai_acelerar_abandono_da_energia_nuclear)

Publicado a 18 de maio de 2016

Acesso em junho de 2017

[3] Expresso

“Alemanha produz mais energia solar que 20 centrais nucleares”

Disponível em [http://expresso.sapo.pt/economia/economia\\_energia/alemanha-produz-mais-energia-solar-que-20-centrais-nucleares=f729484](http://expresso.sapo.pt/economia/economia_energia/alemanha-produz-mais-energia-solar-que-20-centrais-nucleares=f729484)

Publicado em 29 de maio de 2012

Acesso em junho de 2017

[4] LOPES, João A. Peças

“O que é a bombagem hidroelétrica e quais os seus benefícios “

Disponível em <http://connect.inesctec.pt/events-pt/o-que-e-a-bombagem-hidroelectrica-e-quais-os-seus-beneficios>

Acesso em junho de 2017

[5] Complementaridade Hídrica-Eólica

EDP (Eletricidade de Portugal), S.A

Disponível em [http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros\\_produtores/complementariedade\\_hidroeolica\\_he.php](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/complementariedade_hidroeolica_he.php)

Acesso em junho de 2017

---

[6] LOUREIRO, Teresa

“Energia”

EDP (Eletricidade de Portugal), S.A., 2016

[7] SIMÕES, Ilídio Mariz

“A luz elétrica em Vila Real”

Disponível em

<http://www.colecoesfundacaoedp.edp.pt/Nyron/Library/catalog/winlibimg.aspx?skey=0AC84D2E953B45A0B532AC61826DFE7A&doc=166734&img=169361>

Acesso em junho de 2017

[8] LEITÃO, Rui Manuel

“A Hidroeletricidade na bacia portuguesa do rio Douro – situação e perspectivas de desenvolvimento”

Disponível em <http://www.unizar.es/fnca/duero/docu/p213c.pdf>

Acesso em junho de 2017

[9] MADUREIRA, Carlos e BAPTISTA Victor

“Hidroeletricidade em Portugal: memória e desafio”

REN (Rede Elétrica Nacional), S.A., 2002

[10] MOREIRA, Rui André Correia

“Potencial hidroelétrico Português desaproveitado”

Dissertação para obtenção do grau de Mestre

FEUP, junho de 2017

[11] ROLLO, Maria Fernanda

“De Picote a Carrapatelo, ou como o Plano Marshall alterou a hierarquia do aproveitamento hidroelétrico do Douro”

INGENIUM, II Série, nº 103, janeiro/fevereiro de 2008, páginas 78-81

Disponível em [http://www.ordemengenheiros.pt/file\\_manager/loja.php?id=62](http://www.ordemengenheiros.pt/file_manager/loja.php?id=62)

Acesso em junho de 2017

---

[12] SOUSA, Francisco de Almeida

“Subsídios para a história da eletrificação portuguesa”

A indústria portuense em perspetiva histórica, 1998, páginas 141-164

Disponível em <http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/5285.pdf>

Acesso em junho de 2017

[13] ALVES, Fernandes Jorge

“Uma história de eletrificação rural: A Cooperativa Elétrica de Vale d’Este”

Disponível em <http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/1184.pdf>

Acesso em junho de 2017

[14] FARIA, Fernando

“O sistema electroprodutor da EDP”

Disponível em

<http://esa.ipb.pt/~jpmc/ArquivoEA/O%20sistema%20electroprodutor%20da%20EDP.pdf>

Acesso em junho de 2017

[15] “Reforço de potência do aproveitamento hidroelétrico de Vila Nova/Venda Nova – Frades”

Relatório de visita de Estudo, ISEL – DEEA, 3 de junho de 2005

Disponível em [http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/ssenergia/Doc/Venda\\_Nova\\_II.pdf](http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/ssenergia/Doc/Venda_Nova_II.pdf)

Acesso em junho de 2017

[16 ]Complementaridade Hídrica-Eólica

EDP (Eletricidade de Portugal), S.A

Disponível em [http://www.a-nossa-](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/complementariedade_hidroeolica_he.php)

[energia.edp.pt/centros\\_produtores/complementariedade\\_hidroeolica\\_he.php](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/complementariedade_hidroeolica_he.php)

Acesso em junho de 2017

[17 ]MARQUES, Joana Alexandra Reis

“Hidroeletricidade e Barragens reversíveis: Panorama atual”

Dissertação para obtenção do grau de Mestre

FCUP – dezembro de 2015

---

[18] Dados Técnicos REN

REN – Rede Elétrica Nacional

Disponível em <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/Paginas/CIHomePage.aspx>

Acesso em junho de 2017

[19] Declaração Ambiental 2015 EDP

EDP (Eletricidade de Portugal), S.A

Disponível em [http://www.a-nossa-](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/pdf/desempenho_ambiental/Declaracao_Ambiental_Aproveitamentos_Hidroeletricos_2015.pdf)

[energia.edp.pt/pdf/desempenho\\_ambiental/Declaracao\\_Ambiental\\_Aproveitamentos\\_Hidroeletricos\\_2015.pdf](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/pdf/desempenho_ambiental/Declaracao_Ambiental_Aproveitamentos_Hidroeletricos_2015.pdf)

Acesso em junho de 2017

[20] Mapa de Produção Hidroelétrica EDP

EDP (Eletricidade de Portugal), S.A

Disponível em [http://www.a-nossa-](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/producao.php?cp_type=he&map_type=he)

[energia.edp.pt/centros\\_produtores/producao.php?cp\\_type=he&map\\_type=he](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/producao.php?cp_type=he&map_type=he)

Acesso em junho de 2017

[21] Boletins Climatológicos para Portugal Continental (2011 a 2016)

IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera)

Disponível em <http://www.ipma.pt/>

Acesso em abril de 2017

[22 ]FREITAS, Tiago Belerique

A bombagem hidroelétrica em Portugal no quadro do mercado ibérico

Dissertação para obtenção do grau de Mestre

FCT – setembro de 2015

[23] Resultados do Mercado Ibérico de Eletricidade

OMIE (Operador do Mercado Ibérico de Eletricidade)

Disponível em <http://www.omie.es/pt>

Acesso em janeiro de 2017

[24] EUSÉBIO, Eduardo Adelino Mateus

Valor Económico da água na operação de curto-prazo de uma cascata hídrica

Dissertação para obtenção do grau de Mestre

IST – julho de 2008

---

[25 ]Dados de produção do aproveitamento hidroelétrico de Agueira para 2014

Disponibilizados pela EDP Produção em julho de 2017

Informação não acessível ao público

[26 ]Dados de produção do aproveitamento hidroelétrico de Agueira para 2015

Disponibilizados pela EDP Produção em março de 2017

Informação não acessível ao público

[27] Dados de produção do aproveitamento hidroelétrico de Alqueva para 2014

Disponibilizados pela EDP Produção em julho de 2017

Informação não acessível ao público

[28] Dados de produção do aproveitamento hidroelétrico de Alqueva para 2015

Disponibilizados pela EDP Produção em março de 2017

Informação não acessível ao público

## 7. Anexos

## Anexo 1 – Principais aproveitamentos hidroelétricos da EDP

Aproveitamento	Entrada ao Serviço	Curso de água	Tipo de Aproveitamento	Centro de Produção
<b>Riba Côa</b>	1906	Rio Côa	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Ribafeita</b>	1907	Rio Vouga	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Drizes</b>	1917	Rio Vouga	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Lindoso</b>	1922	Rio Rabagão	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Ponte de Jugais</b>	1923	Rio Alva	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Póvoa</b>	1927	Ribeira de Nisa	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Rei de Moinhos</b>	1927	Rio Alva	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Bruceira</b>	1928	Ribeira de Nisa	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Figueiral</b>	1932	Rio Carvalhinho	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Varosa</b>	1934	Rio Varosa	Albufeira	Douro
<b>Velada</b>	1935	Ribeira de Nisa	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Ermal</b>	1937	Rio Ave	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Pateiro</b>	1938	Rio Mondego	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Guilhofrei</b>	1939	Rio Ave	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Ponte da Esperança</b>	1942	Rio Ave	Alufeira	Cávado-Lima
<b>Ermida</b>	1943	Ribeira de S. João	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Santa Luzia</b>	1943	Ribeira de Unhais	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Senhora do Porto</b>	1945	Rio Ave	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Canços</b>	1946	Rio Ave	Fio de água	Cávado-Lima
<b>Sabugueiro I</b>	1947	Ribeira das Naves	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Belver</b>	1951	Ribeira de Unhais	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Castelo de Bode</b>	1951	Rio Zêzere	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Penide</b>	1951	Rio Cávado	Fio de água	Cávado-Lima

<b>Venda Nova</b>	1951	Rio Rabagão	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Salamonde</b>	1953	Rio Cávado	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Cabril</b>	1954	Rio Zêzere	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Caniçada</b>	1954	Rio Cávado	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Bouçã</b>	1955	Rio Zêzere	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Paradela</b>	1956	Rio Cávado	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Aregos</b>	1958	Rio Cabrum	Fio de água	Douro
<b>Picote</b>	1958	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Desterro</b>	1959	Rio Alva	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Miranda</b>	1960	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Alto Rabagão</b>	1964	Rio Rabagão	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Bemposta</b>	1964	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Vilar-Tabuaço</b>	1965	Rio Távora	Albufeira	Douro
<b>Carrapatelo</b>	1971	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Vilarinho das Furnas</b>	1972	Rio Homem	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Régua</b>	1973	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>France</b>	1974	Rio Coura	Fio de água	Cávado-Lima
<b>Fratel</b>	1974	Rio Tejo	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Valeira</b>	1976	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Aguieira</b>	1981	Rio Mondego	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Raiva</b>	1982	Rio Mondego	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Pocinho</b>	1983	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Crestuma-Lever</b>	1985	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Freigil</b>	1988	Rio Cabrum	Fio de água	Douro
<b>Torrão</b>	1988	Rio Tâmega	Albufeira	Douro
<b>Palhal</b>	1991	Rio Caima	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Alto Lindoso</b>	1992	Rio Lima	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Labruja</b>	1992	Rio Mestre	Fio de água	Cávado-Lima
<b>Terragido</b>	1992	Rio Corgo	Fio de água	Douro
<b>Ovadas</b>	1993	Rio Cabrum	Fio de água	Douro
<b>Pracana</b>	1993	Rio Ocreza	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Sabugueiro II</b>	1993	Ribeira Covão do Urso	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Torga</b>	1993	Rio Tuela	Fio de água	Douro

<b>Touvedo</b>	1993	Rio Lima	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Caldeirão</b>	1994	Rio Caldeirão	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Cefra</b>	1995	Rio Ouro	Fio de água	Cávado-Lima
<b>Miranda II</b>	1995	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Nunes</b>	1995	Rio Tuela	Fio de água	Douro
<b>Sôrdo</b>	1995	Rio Sordo	Fio de água	Douro
<b>Alforfa</b>	1997	Ribeira de Alforfa	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Estrela</b>	1997	Ribeira de Alforfa	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Nave</b>	1997	Ribeira de Alforfa	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Pedra Figueira</b>	1997	Ribeira de Alforfa	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Fagilde</b>	1998	Rio Dão	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Penacova</b>	2001	Rio Mondego	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Vila Cova</b>	2001	Rio Alva	Fio de água	Tejo-Mondego
<b>Lagoa Comprida</b>	2003	Ribeira da Lagoa	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Alqueva</b>	2004	Rio Guadiana	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Frades</b>	2005	Rio Rabagão	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Bouçoais-Sonin</b>	2006	Rio Rabaçal	Albufeira	Douro
<b>Pedrógão</b>	2006	Rio Guadiana	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Rebordelo</b>	2006	Rio Rabaçal	Albufeira	Douro
<b>Alqueva II</b>	2011	Rio Guadiana	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Bemposta II</b>	2011	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Picote II</b>	2011	Rio Douro	Fio de água	Douro
<b>Ribeiradio-Ermida</b>	2015	Rio Vouga	Albufeira	Tejo-Mondego
<b>Salamonde II</b>	2015	Rio Cávado	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Baixo Sabor</b>	2016	Rio Sabor	Albufeira	Douro
<b>Frades II – Venda Nova III</b>	2017	Rio Rabagão	Albufeira	Cávado-Lima
<b>Foz Tua</b>	2017	Rio Tua	Albufeira	Tejo-Mondego

