

IMPACTO DA INTRODUÇÃO DE BATERIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM *SMART GRIDS*

Diogo Filipe Pinto Dantas Soares



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2015

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Diogo Filipe Pinto Dantas Soares, Nº 1100339, 1100339@isep.ipp.pt

Orientação científica: Maria Judite Madureira da Silva Ferreira, mju@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2015

«A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original»

Albert Einstein

Agradecimentos

A todos os que contribuíram para a viabilização deste relatório, um sincero agradecimento.

À Doutora Judite Ferreira pela disponibilidade, apoio e orientação dada no decurso do trabalho desenvolvido ao longo de várias semanas e que permitiu a consecução deste relatório.

À equipa do TID que possibilitou a integração no grupo de trabalho, abrindo caminhos e possibilitando um enriquecimento pessoal e profissional.

À minha família e à minha namorada, que sempre me acompanharam e encorajaram, ao longo desta nova etapa, com compreensão e carinho.

Resumo

De forma a não comprometer o conforto ou a qualidade de vida, nos dias de hoje, é obrigatório que a energia elétrica esteja presente. Sendo indispensável, torna-se necessário assegurar que a sua distribuição seja feita da forma mais qualitativa possível.

Uma resposta rápida e eficaz a possíveis falhas que ocorram na rede, irá garantir a tal qualidade de serviço desejada. Para isso, a automatização dos processos é uma grande evolução e objetivo de concretização do setor elétrico.

Neste contexto surge o conceito de *Smart Grid*, que tem como principal objetivo a combinação entre o setor elétrico e a evolução da tecnologia. A par desta característica, estes tipos de redes vêm também trazer evoluções no âmbito ambiental, pois a produção de energia elétrica é feita, maioritariamente, por fontes de energia renovável.

Este projeto incide na análise das vantagens técnicas e económicas da inclusão de equipamentos que detêm capacidades de armazenamento de energia, as Baterias de Armazenamento de Energia (BAE), neste tipo de redes.

Para tal, procedeu-se à utilização do método do Despacho Económico, que tem como principal objetivo a determinação dos níveis de produção de todas as unidades geradoras do sistema, satisfazendo a carga, ao mais baixo custo de produção. Com este método, foram criados vários cenários de estudo com vista a validar todo o propósito deste projeto.

Nesta dissertação, é também realizado um estudo de viabilidade económica destes equipamentos de armazenamento de energia.

Palavras-Chave

Smart Grid, baterias de armazenamento de energia, despacho económico, viabilidade económica.

Abstract

In order to not compromise the comfort or life quality, it is mandatory that electrical energy is present in it. Being indispensable, it is necessary to ensure that its distribution is made in the most qualitative way.

A quick and effective response to possible failures occurring on the network, will ensure the desired service quality. For this, the processes' automation is a great evolution and a electricity sector concretization purpose.

In this context, arises the Smart Grid concept, which has as main objective the combination of the electricity sector and technology evolution. Alongside this characteristic, these types of networks also brings changes in the environmental context, because the electricity production is done mostly by renewable energy sources.

This project focuses on the analysis of technical and economic advantages of including equipment that have energy storage capabilities, Battery Energy Storage, in this type of networks.

To achieve this, was used the Economic Dispatch method, which its goal is determine the production levels of all generating units' system, satisfying the charge, in the most economical way. With this method, it were created various study scenarios to validate the whole purpose of this project.

In this dissertation, is also realized a economic viability study of these energy storage devices.

Keywords

Smart Grid, batteries energy storage, economic dispatch, economic viability.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO	1
1.2. ENQUADRAMENTO GERAL	2
1.3. OBJETIVOS	4
1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO	5
2. SMART GRIDS	7
2.1. ASPETOS GERAIS	7
2.2. CARACTERÍSTICAS DAS <i>SMART GRIDS</i>	10
2.3. TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS	11
2.4. FUTURO DO SISTEMA ELÉTRICO DE ENERGIA	14
2.5. PRODUÇÃO DISTRIBUÍDA	16
2.6. IMPACTO DAS BATERIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NAS <i>SMART GRIDS</i>	22
2.7. REGULAMENTO DE QUALIDADE DE SERVIÇO	27
3. DESPACHO ECONÓMICO	29
3.1. PROBLEMA DO DESPACHO ECONÓMICO	29
3.2. FORMULAÇÃO DO DESPACHO ECONÓMICO	33
4. TRABALHO DESENVOLVIDO	35
5. SOFTWARE E DESENVOLVIMENTO	39
5.1. <i>SOFTWARE</i>	39
5.2. <i>SOLVER</i>	40
5.3. ETAPAS A TOMAR	45
5.4. SÍNTESE	48

6. CASOS DE ESTUDO	49
6.1. REDE DE ESTUDO.....	50
6.2. CENÁRIO 1: DESPACHO ECONÓMICO COM LIGAÇÃO À REDE PRINCIPAL.....	53
6.3. CENÁRIO 2: DESPACHO ECONÓMICO COM LIGAÇÃO À BATERIA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....	55
6.4. COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS	62
6.5. VIABILIDADE ECONÓMICA.....	65
7. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO	71
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	73

Índice de Figuras

Figura 1	<i>Smart Grids</i> [2]	3
Figura 2	Fluxo de Informação das <i>Smart Grids</i> [3]	8
Figura 3	InovGrid [5]	12
Figura 4	<i>Horizon</i> 2020 [9]	14
Figura 5	Produção Distribuída [12]	17
Figura 6	Peso das Diferentes Fontes de Produção de Eletricidade em Portugal Continental em 2014 [13]	19
Figura 7	Saldo Importador de Portugal, APREN [14]	19
Figura 8	Resultados do Protocolo de Quioto [15]	21
Figura 9	Componentes de uma BAE	23
Figura 10	Perfil de um Diagrama de Cargas [21]	25
Figura 11	<i>Smart Grid</i> de estudo	35
Figura 12	Diagrama de Blocos do Trabalho Desenvolvido	37
Figura 13	Passo Inicial	41
Figura 14	Extensão <i>Solver</i>	42
Figura 15	Solução da Função Exemplo	42
Figura 16	Resultados do Algoritmo <i>fmincon</i>	44

Figura 17 Fluxograma do Cenário 1	45
Figura 18 Fluxograma do Cenário 2	47
Figura 19 Rede de Estudo	50
Figura 20 Perfil de carga num período de 24 horas	51
Figura 21 Níveis de produção das unidades geradoras – Cenário 1	53
Figura 22 Custos de produção – Cenário 1	54
Figura 23 Perfil da Bateria de Armazenamento de Energia	55
Figura 24 Funcionamento da BAE	56
Figura 25 Perfil da Carga com Inclusão da Bateria de Armazenamento de Energia	57
Figura 26 Níveis de Produção das Unidades Geradoras – Cenário 2 (<i>Excel</i>)	59
Figura 27 Custos de Produção - Cenário 2 (<i>Excel</i>)	59
Figura 28 Níveis de Produção das Unidades Geradoras - Cenário 2 (<i>Matlab</i>)	60
Figura 29 Custos de Produção - Cenário 2 (<i>Matlab</i>)	60
Figura 30 Comparação dos Custos de Produção	62
Figura 31 Comparação das Perdas de Transmissão	63
Figura 32 Comportamento dos Limites Físicos das Linhas da Rede sem BAE	63
Figura 33 Comportamento dos Limites Físicos das Linhas da Rede com BAE	64
Figura 34 Diferença dos Gastos Acumulados Numa Visão de 6 anos	67
Figura 35 Diferença dos Gastos Acumulados Numa Visão de 20 anos	69

Índice de Tabelas

Tabela 1	Características das Linhas da Rede de Estudo	51
Tabela 2	Unidades Geradoras da Rede de Estudo	52
Tabela 3	Limites das Unidades Geradoras da Rede de Estudo	52
Tabela 4	Custos de produção das unidades geradoras	52
Tabela 5	Custo de Produção da Bateria de Armazenamento de Energia	56
Tabela 6	Colocação da Bateria de Armazenamento de Energia	58
Tabela 7	Preços de Investimento de 3 Tipos de Baterias	65
Tabela 8	Gastos Anuais de Produção	65
Tabela 9	Comparação dos Gastos Anuais Numa Visão de 6 Anos	66
Tabela 10	Comparação dos Gastos Anuais Numa Visão de 20 Anos	68

Acrónimos

AT	–	Alta Tensão
BT	–	Baixa Tensão
BAE	–	Bateria de Armazenamento de Energia
CI	–	Implementação Contínua
CIE	–	Comércio de Emissões ou Comércio Internacional de Emissões
CO ₂	–	Dióxido de Carbono
EE-SEE	–	Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia
ESAS	–	Escola Secundária Aurélia de Sousa
ESU	–	Energy Storage Unit
H2020	–	Horizonte 2020
ISEP	–	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MDL	–	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MT	–	Média Tensão
MEE-SEE	–	Mestrado de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia
ONU	–	Organização das Nações Unidas
PC	–	Produção Centralizada
PD	–	Produção Distribuída
PLC	–	Programmable Logic Controller

- REI – Redes Eléctricas Inteligentes
- RQS – Regulamento de Qualidade de Serviço
- SMES – Supercondutores Magnéticos
- SEE – Sistemas Eléctricos de Energia
- TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação
- TID – Tecnologia, Investigação e Desenvolvimento
- UE – União Europeia

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Este trabalho teve como autoria o aluno Diogo Soares, aluno do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Quanto ao seu percurso académico, o ensino secundário foi realizado na Escola Secundária Aurélia de Sousa (ESAS), tendo sido concluído em 2010. Depois de ter finalizado este grau de ensino, ingressou, no mesmo ano, no ensino superior, a saber: ISEP, no curso de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (EE-SEE). Atualmente, encontra-se a frequentar o Mestrado de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (MEE-SEE).

O orientador interno foi a Professora Doutora Maria Judite Madureira da Silva Ferreira, docente no ISEP, responsável pelas unidades curriculares de Introdução à Eletrotecnia, Sistemas Elétricos de Energia e Aplicações Informáticas em Sistemas Elétricos de Energia. Atualmente, é detentora do cargo de Diretora da LEE-SEE e Diretora do Centro de Prestação de Serviços – Tecnologias, Investigação e Desenvolvimento (TID).

Relativamente ao projeto, aborda a temática das *Smart Grids* – Redes Elétricas Inteligentes (REI) e visa incidir na perspetiva da sua eficiência.

1.2. ENQUADRAMENTO GERAL

Este projeto teve como base uma proposta submetida pelo aluno, à qual foi validada pelos responsáveis pelo MEE-SEE, denominado de “*Impacto da Introdução de Baterias de Armazenamento de Energia em Smart Grids*”.

Tal como é de conhecimento geral, o momento atual do setor energético toma grandes porções a nível de procura, as quais eram impensáveis há anos atrás. Este grande desenvolvimento que se figurou, traduz-se na enorme dependência do ser humano com a energia elétrica. Desta forma, é de extrema importância garantir a qualidade de serviço no fornecimento de energia elétrica, garantindo assim a satisfação e a comodidade dos clientes.

Para que a qualidade de serviço seja assegurada, é necessário que as redes para além de conseguirem responder corretamente à exigência da procura, se tornem mais eficientes e seguras.

A eficiência energética pode ser descrita como a relação entre a energia útil de um processo e a energia necessária para ativar esse mesmo processo. Para que esta relação seja cada vez melhor, surgiram as *Smart Grids* (Figura 1), que integram a evolução da eletrónica e da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) nos Sistemas Eléctricos de Energia (SEE).

Apesar de já existirem certos mecanismos automatizados nas redes elétricas, grande parte das operações das entidades responsáveis são feitas de forma manual e não integrada. Assim, integrando estas recentes tecnologias, o “trabalho humano” reduziria substancialmente, fazendo com que as operações passassem a ser automatizadas, resultando numa utilização mais eficiente da energia [1].

A implementação deste tipo de redes, apesar de se refletir em ganhos claros, necessita de uma preparação prévia das infraestruturas, que por sua vez engloba custos para a sua realização. Com isto, através de um programa europeu, o *Horizon 2020*, foram criados incentivos monetários para possibilitar a sua construção.



Figura 1 *Smart Grids* [2]

Para além do melhoramento da qualidade de serviço e da segurança que está adjacente à criação de *Smart Grids*, este tipo de redes tem ainda uma outra grande vantagem: a utilização de fontes de energia renováveis.

Como também é de conhecimento geral, foram criados equipamentos com capacidade de armazenar energia, as Baterias de Armazenamento de Energia (BAE's). A sua recente incorporação em *Smart Grids*, veio ainda trazer mais benefícios, tanto a nível técnico como a nível económico.

Quanto à vertente económica, tal como sucede nas redes convencionais, os níveis de produção de cada unidade geradora e da própria BAE existente no sistema acarretam custos. Para isso, com a utilização de metodologias de cálculo, denominados por Despachos Económicos, tornou-se possível a minimização desses mesmos custos.

Utilizando essas metodologias, torna-se possível saber quais são os níveis de produção que cada unidade necessita de ter para satisfazer a procura, da forma mais eficiente do ponto de vista económico e técnico.

1.3. OBJETIVOS

O presente projeto iniciou-se no dia 4 de Fevereiro (4/02/2015) e teve o seu término no dia 26 de Maio (26/05/2015).

Este projeto trata a exploração de *Smart Grids*, centrando-se no estudo das tecnologias envolvidas, no estudo das BAE's e na aplicação do Despacho Económico.

No estudo das *Smart Grids*, esta dissertação foca essencialmente dois assuntos:

- O que são este tipo de redes;
- Que tecnologias estão envolvidas;

No estudo das Baterias de Armazenamento de Energia são realçados três aspetos:

- Diferentes formas de armazenar energia;
- Inclusão destes equipamentos em *Smart Grids*;
- Vantagens da sua utilização a nível técnico e económico;

Na aplicação do método do Despacho Económico é realizado a minimização de custos de produção em diferentes cenários de rede. Para se tornar passível de ser aplicado computacionalmente, utilizou-se duas ferramentas:

- *Excel*;
- *Matlab 2013b*;

Para além destes pontos, através desta dissertação pretende-se ainda a realização de um trabalho autónomo e de pesquisa, melhorando assim estes aspetos, que se podem tornar relevantes em ambientes futuros.

1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O relatório encontra-se dividido em 7 capítulos. O capítulo inicial é de caráter introdutório ao trabalho, dando conceitos gerais ao leitor. Relativamente ao segundo e terceiro capítulo referem-se ao estado da arte do trabalho, ou seja, é feita uma definição dos conceitos de forma mais aprofundada. O capítulo 4 apresenta ao leitor todo o raciocínio/processo usado pelo autor, de forma a ir ao encontro do objetivo do trabalho. O capítulo 5 descreve os *softwares* e algoritmos a ser utilizados ao longo do relatório. O capítulo 6 é constituído por casos de estudo, simulando os vários cenários importantes ao tema. No sétimo e último capítulo é apresentada uma conclusão do trabalho realizado e propostas para trabalhos futuros. A sequência de capítulos tem como objetivo guiar o leitor, de forma a obter um encadeamento lógico das ideias.

2. *SMART GRIDS*

O presente capítulo tem como objetivo apresentar ao utilizador todos os conceitos teóricos que irão ser posteriormente utilizados na componente prática. É ainda desenvolvida uma visão sobre o futuro dos Sistemas Elétricos de Energia, tendo por base os objetivos criados por programas europeus a favor da sustentabilidade ambiental e da eficiência energética.

2.1. ASPETOS GERAIS

Durante os últimos anos, o conceito de *Smart Grid* tem vindo a ser debatido praticamente por todo o mundo, através de seminários e eventos. O seu objetivo prende-se em fazer uma combinação entre a tecnologia e o setor elétrico - segmento este que é fundamental para todos os países, mas com pouco nível de desenvolvimento.

Este subdesenvolvimento é admissível, pois existem vários fatores que assim o tornam. Exemplo disso é o próprio sistema em si que, devido à sua topologia, complica a possibilidade de implementação de tecnologias, uma vez que a qualidade de fornecimento de energia aos consumidores iria ser afetada, implicando um desagrado destes.

Apesar disto, o aumento da exigência da procura faz com que os sistemas elétricos caminhem para o seu limite da capacidade, tornando-se fundamental melhorar os padrões de

fornecimento e uso da energia elétrica, criando sistemas mais inteligentes, eficientes e sustentáveis. As *Smart Grids* são assim fundamentais para atingir as metas propostas.

Para a sua implementação é necessário haver certas transformações relativas à infraestrutura, que deve ser modernizada através da incorporação de TIC e de capacidade de processamento de dados, e relativas à comercialização, de forma a abranger a maior carteira de clientes possível.

As tentativas de incorporar as TIC nas redes elétricas já advém de há vários anos, começando com a medição eletrónica, que tinha como propósito a monitorização do comportamento das cargas de certos consumidores. Combinando estes sistemas de medição com tecnologias de comunicação passaria a ser possível a gestão de trânsitos elétricos em tempo real.

Para além dos sistemas de medição eletrónicos, a instalação de sensores ao longo de uma rede elétrica, de forma a monitorizar e calcular as capacidades de carga das linhas, poderá ajudar na antecipação, deteção e resposta a potenciais problemas na rede, que reduzem a probabilidade de interrupções de fornecimento de energia elétrica, melhorando assim a qualidade de serviço.

Numa perspetiva mundial, a modernização das redes tem vindo a ser uma grande prioridade, onde já existem certos incentivos, através da criação de programas, por exemplo o caso dos Estados Unidos da América, em que contribuíram com cerca de US\$ 4 biliões para o efeito.

Toda a tecnologia utilizada não se limita à transmissão e distribuição, como também à utilização doméstica (aparelhos domésticos).

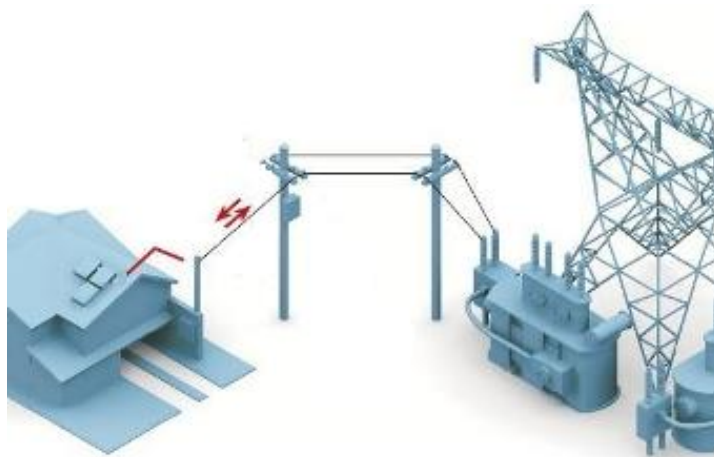


Figura 2 Fluxo de Informação das *Smart Grids* [3]

A comunicação existente nas redes inteligentes, tal como está representado na Figura 2, caracteriza-se por ser bidirecional, o que faz com que haja gestão e economização dos consumos.

Relativamente às formas de produção de energia, as redes inteligentes focam-se na Produção Distribuída (PD) que, como se encontram próximas do centro de consumo, reduzem significativamente as perdas do sistema. Mencionando novamente a integração das TIC, a proximidade das fontes de produção do centro de consumo e a capacidade dos consumidores terem produção própria permite, para além da compra de energia, a venda de toda a eletricidade excedente, por parte dos consumidores [4].

Em suma, as tecnologias intrínsecas nas Smart Grids incorporam-se em quatro grupos: a medição eletrónica, a comunicação, o sensoriamento e a computação.

2.2. CARACTERÍSTICAS DAS *SMART GRIDS*

Uma rede inteligente prevê um conjunto de características a si associadas. A cobertura total da rede através de sensores permite uma monitorização em tempo real, e tal como já referido, ajudam na antecipação, deteção e resposta a potenciais problemas na rede – sistemas autorreparáveis. Esta mesma monitorização em tempo real, permite uma gestão dos fluxos elétricos, gerindo-os e direcionando-os em prol da qualidade de serviço de zonas afetadas – sistemas resistentes a falhas. A interconexão entre as fontes de produção de energia, para além de permitir que todo o tipo de consumidor (particular, industrial ou comercial) tenha produção própria, possibilita que toda a eletricidade produzida em excesso seja fornecida à rede – sistemas com capacidade de acomodação de autoprodutores. Os consumidores, além de possuírem capacidade de produção, têm ainda controlo sobre os equipamentos das respetivas residências, gerindo-os de uma forma mais eficiente, e resultando numa possível redução de custos na fatura elétrica – sistemas que envolvem os consumidores. Por fim, os reduzidos custos de operação e manutenção, as reduzidas perdas técnicas na transmissão e na distribuição e o aumento no rendimento da geração, traduzem-se num aumento da sua eficiência – sistemas eficientes.

Em suma, e comparativamente com o sistema elétrico atual, as *Smart Grids* vêm trazer mais flexibilidade, mais inteligência, maior controlo e maior proteção.

2.3. TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS

Como já foi referido, as REI possuem quatro grupos de tecnologias: medição eletrónica, a comunicação, o sensoriamento e a computação, em que todas elas têm como finalidade a modernização da rede elétrica, “[...] monitorizando, protegendo e otimizando a operação dos seus elementos” [5].

2.3.1. MEDIÇÃO ELETRÓNICA

Os instrumentos eletrónicos de medição encontram-se instalados nos vários pontos da rede, desde a produção até ao consumo, passando assim pelas linhas de Alta Tensão (AT), Média Tensão (MT) e Baixa Tensão (BT).

Com a sua aplicação, devido à constante atualização dos dados feita em tempo real, a qualidade de controlo das perdas, o planeamento das redes e a sua operação sofrem um melhoramento. Graças à comunicação bidirecional destes instrumentos de medição, processos que eram feitos de forma manual, são agora feitos de forma remota, tal como por exemplo a interrupção de fornecimento de energia ou a sua religação (por parte das concessionárias), ou a deteção praticamente automática de possíveis avarias (eliminando assim a necessidade do consumidor informar as entidades responsáveis do sucedido).

Numa outra vertente, estes aparelhos possibilitam que os consumidores tenham a capacidade de aceder a dados de medição, a dados referentes aos níveis de consumo de cada equipamento, permitindo assim saber quais é que estão a consumir mais, e a outros tipos de dados que proporcionem uma gestão mais eficiente de energia.

Um exemplo de medição eletrónica já existente é o caso da solução tecnológica implementada na cidade de Évora, a InovGrid (Figura 3), que possui três níveis de medição: o nível baixo – medição para uso residencial, o nível intermediário – medição feita nas subestações MT/BT e o nível superior – medição feita nas centrais com a finalidade de operação e controlo da distribuição de energia, balanceamento de energia e monitorização da rede [5].

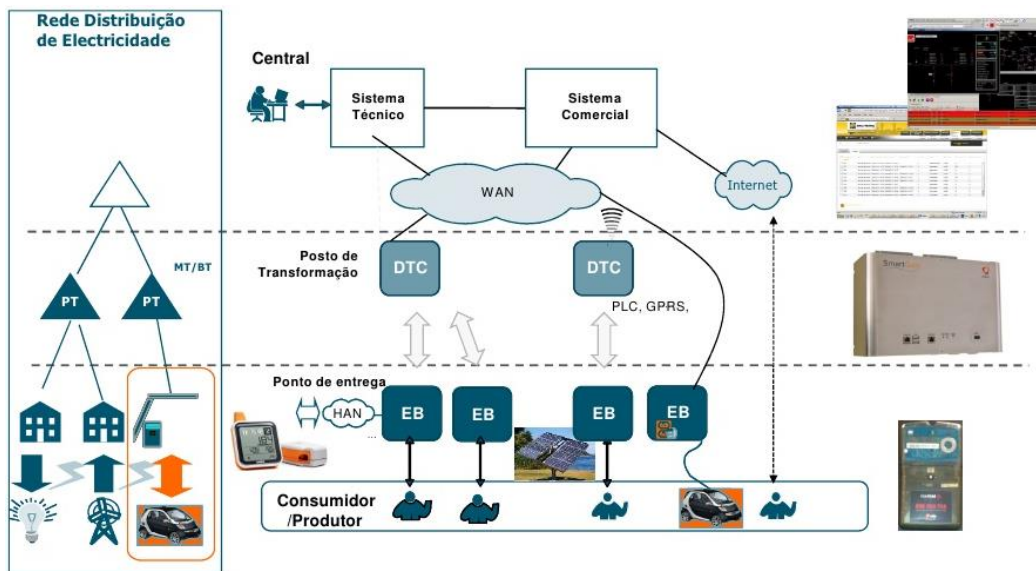


Figura 3 InovGrid [5]

2.3.2. COMUNICAÇÃO

O grande poder das REI consiste na tecnologia de comunicação que existe entre todos os equipamentos da rede e equipamentos domésticos.

Como já referido, para garantir a eficiência de uma REI, a comunicação deve ser feita em duas direções, a da concessionária para o consumidor e a do consumidor para a concessionária. Por detrás da comunicação bidirecional está o poder computacional de *softwares* como, por exemplo, a tecnologia Programmable Logic Controller (PLC), a tecnologia ZigBee, ou outras linguagens também de grande relevo. Estes *softwares* devem ter a capacidade de trocar informação entre si. Isto é, receber um arquivo e saber interpretá-lo (leitura) e de submeter uma resposta (escrever) [6].

2.3.3. SENSORIAMENTO

A rede elétrica, ao longo do seu comprimento, deve estar equipada com equipamentos sensoriais, tornando-a assim mais inteligente. Estes sensores são os principais responsáveis pela capacidade da rede passar a ter autorrecuperação, em que, em caso de alguma falha, eles enviam a respetiva informação para a central de controlo que, posteriormente, será analisada pelos operadores da rede para poderem tomar uma decisão.

Uma das funções primárias destes sensores é a deteção da carga das linhas. Através disto, é possível:

- Identificar potenciais problemas;
- Reduzir a duração das interrupções;
- Identificar qual o trânsito real das linhas ou comportamento térmico.

Estes sensores detêm ainda a possibilidade de integração em aplicativos relativos à monitorização de energia. Com a sua utilização pode-se:

- Utilizar energia, tendo por base a sua mínima procura ou, então, a sua combinação com os recursos existentes;
- Fornecer conclusões baseadas em factos, no âmbito do planeamento e gestão das redes.

Numa perspetiva futura, a realidade da incorporação de automatismos, criará mais rapidez na religação das áreas não afetadas, aumentando o conforto dos clientes e a sua qualidade de serviço [6].

2.3.4. COMPUTAÇÃO

Todas as tecnologias referidas anteriormente (Medição Eletrónica, Comunicação e Sensoriamento), são diretamente dependentes de uma última: a Computação.

Com esta tecnologia, os numerosos dados recebidos na central de controlo, são transformados em informações que sejam úteis para os operadores, com vista ao melhoramento das condições da rede e não o inverso.

As centrais de controlo são compostas por diferentes sistemas de informação: a administração central, os dados de energia e os sistemas de supervisão e aquisição de dados. Todos estes sistemas operam para apoiar as atividades de operação e controlo de distribuição de energia [6].

2.4. FUTURO DO SISTEMA ELÉTRICO DE ENERGIA

Fatores como sustentabilidade ambiental ou eficiência energética são exemplos de dois conceitos que criam grande pressão para a evolução das redes elétricas de energia (tanto a nível europeu como a nível mundial), estando assim já nas perspetivas futuras de maior parte das entidades do setor elétrico, tal como se pode verificar nas diretivas europeias para a energia em 2020 [7].

2.4.1. HORIZON 2020

“Activities shall focus on research, development and full scale demonstration of new grid technologies, including storage, systems and market designs to plan, monitor, control and safely operate interoperable networks in an open, decarbonised, climate resilient and competitive market, under normal and emergency conditions.” [8].

Tendo por base o lema apresentado em cima, *Horizon 2020*, ou Horizonte 2020 (H2020) é o maior programa europeu sobre Investigação e Inovação e conta com aproximadamente 80 biliões de euros de fundos disponíveis ao longo de 7 anos (2014 - 2020). Este programa tem como foco três pilares: *Excellent Science*, *Industrial Leadership* e *Societal Challenges* (Figura 4).

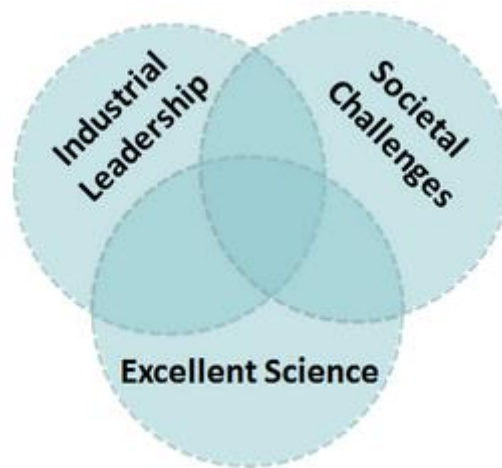


Figura 4 *Horizon 2020* [9]

Este programa tem como principal objetivo a procura de soluções para algumas das maiores dificuldades sentidas pelos cidadãos europeus, tais como a instabilidade social e laboral, os desafios ambientais ou os problemas demográficos.

Analisando o estado atual do sistema energético, é notório o impacto negativo criado sobre as alterações climáticas, bem como a necessidade de recursos (combustíveis fósseis) para alimentar todo o consumo existente.

Com isto, o H2020 tem como compromisso a redução das emissões de gases de efeito de estufa em 20% até 2020, e de 80 a 95% até 2050.

Para além da redução das emissões de carbono, o programa detém ainda três prioridades:

- **Eficiência Energética:** a União Europeia (UE) tem como objetivo a diminuição progressiva de consumo de energia primária em 2020 e 2030. Neste âmbito, a Investigação e Demonstração vai-se centrar em edifícios, indústrias, sistemas de aquecimento e arrefecimento e produtos e serviços relacionados com energia e integração de TIC.
- **Tecnologias de Baixo Carbono:** de forma a descarbonizar o sistema de energia de maneira sustentável, é fulcral desenvolver e implementar soluções tecnológicas com uma boa relação custo-benefício e que utilizem eficientemente os recursos. Exemplos dessas soluções, são a energia solar, energia eólica, energia das ondas, utilização de biocombustíveis e o aprisionamento/armazenamento de carbono.
- **Cidades e Comunidades Inteligentes:** desenvolvimento sustentável das zonas urbanas, através de tecnologias e serviços novos, eficientes e fáceis de utilizar, sobretudo nas áreas de energia e TIC [9].

2.5. PRODUÇÃO DISTRIBUÍDA

Quando se fala em REI, não se pode deixar de referir a produção distribuída como um dos aspetos importantes dentro do seu conceito.

O conceito de produção de energia elétrica, nos últimos anos, tem vindo a sofrer uma revolução. Na sua forma convencional, a produção é feita através da utilização de combustíveis fósseis como, por exemplo, o carvão e o petróleo.

Porém, com as necessidades da diminuição das emissões de gases de efeito de estufa impostas pelo programa europeu já referido e, ainda, pelo Protocolo de Quioto, foi criado um novo conceito de produção, a Produção Distribuída [10].

A Produção Distribuída (Figura 5), também conhecida como a Produção Descentralizada, tal como o nome indica, caracteriza-se por ser uma produção de energia de forma “espalhada” feita no próprio local de consumo. Esta forma de produção reduz consideravelmente os custos de transmissão e distribuição de energia elétrica, tratando-se então de uma solução eficaz tanto para o combate das questões ambientais, como das questões económicas.

As tecnologias usadas na PD, uma vez que têm escalas muito menores, são muito mais económicas, comparativamente com as tecnologias usadas na Produção Centralizada (PC). A Energia Eólica, Solar ou Hídrica (entre outras), são exemplos de tecnologias da PD. Uma característica predominante destas tecnologias é o facto de usarem Energias Renováveis.

Apesar dos grandes avanços que se deram na produção de energia a partir de energias renováveis, tanto a nível de rendimento como a nível de redução de preços, ainda não é possível a dependência única destas tecnologias, devido à imprevisibilidade de produção da sua grande maioria.

Com isto, a PD utiliza energias que, apesar de poluentes, possibilitam uma otimização na utilização dos recursos não renováveis, isto devido ao seu elevado rendimento. Exemplo disto são as centrais de cogeração e de micro-geração e as centrais de Biomassa, que apesar de ser renovável, não é propriamente limpa [11].

Para além das tecnologias referidas no parágrafo anterior, as redes com PD devem ainda possuir ligação com as redes de transmissão e distribuição, para que a consiga utilizar,

mesmo que seja com pouca frequência. Esta ligação com a rede “principal” é de grande importância, pois é ela que vai servir de apoio, garantindo a sua continuidade de serviço.

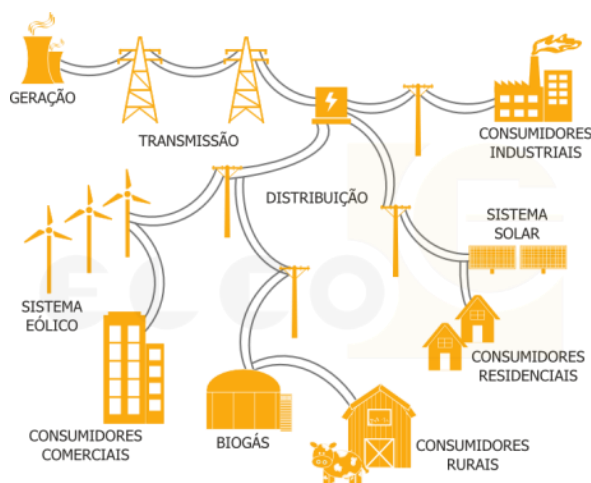


Figura 5 Produção Distribuída [12]

2.5.1. ENERGIAS RENOVÁVEIS

A Produção Distribuída está normalmente associada ao uso de energias renováveis (“verdes”), ou seja, tecnologias sem impacto ambiental.

As energias renováveis provêm de recursos naturais, como o Sol, o Vento ou a Água, que também apresentam uma renovabilidade naturalmente estabelecida.

Exemplos destas energias podem ser:

- Energia Solar: energia proveniente do Sol, que pode ser convertida em eletricidade ou em calor. Exemplos: Painéis solares fotovoltaicos ou térmicos, para aquecimento do ambiente ou de água.
- Energia Eólica: energia proveniente dos Ventos, que é convertida em eletricidade. Exemplos: Turbinas eólicas ou Aerogeradores.
- Energia Hídrica: energia proveniente da Água dos rios, marés ou das ondas, que é convertida em eletricidade. Exemplos: Barragens.
- Energia Geotérmica: energia proveniente da Terra, que é convertida em calor, para aquecimento do ambiente ou da água.

Os incentivos à utilização de energias renováveis, deve-se à possível escassez dos recursos fósseis, como o petróleo ou o carvão e, tal como já referido anteriormente, à necessidade de redução das emissões de gases de efeito de estufa [8].

Às energias renováveis estão naturalmente associadas as respetivas vantagens e desvantagens. Como vantagens, trata-se de energias que:

- Podem ser estimadas como inextinguíveis, comparando aos combustíveis fósseis;
- São ecológicas, pois não produzem dióxido de carbono ou outros gases com “efeito de estufa”;
- Reduzem a dependência energética da sociedade, em combustíveis fósseis;
- Utilizam tecnologias que permitem melhorar a eficiência energética;
- Concedem autonomia energética a um dado país, visto que a sua utilização não necessita da importação de combustíveis fósseis.

Por outro lado, as energias renováveis, como desvantagens apresentam:

- Imprevisibilidade;
- Altos custos de investimento;
- Necessidade de construção de infraestruturas apropriadas;
- Impactos visuais negativos.

Para além destas desvantagens, num contexto mais específico de cada tecnologia, existem ainda mais alguns inconvenientes, como por exemplo:

- No caso da Energia da Biomassa, em que o processo de combustão da biomassa liberta agentes nocivos para o ambiente;
- No caso da Energia Hidroelétrica, em que a erosão dos solos, podem destruir a vegetação do local;
- No caso da Energia das Ondas, que depende muito da localização e é bastante dispendiosa;
- No caso da Energia Eólica, que cria muito barulho.

Passando agora para uma análise nacional a cerca do uso de fontes renováveis e, tal como ilustrado na Figura 6, é de notar que estas fontes de energia foram a principal fonte de produção de eletricidade em Portugal, apresentando um valor de 62,7% da produção total.

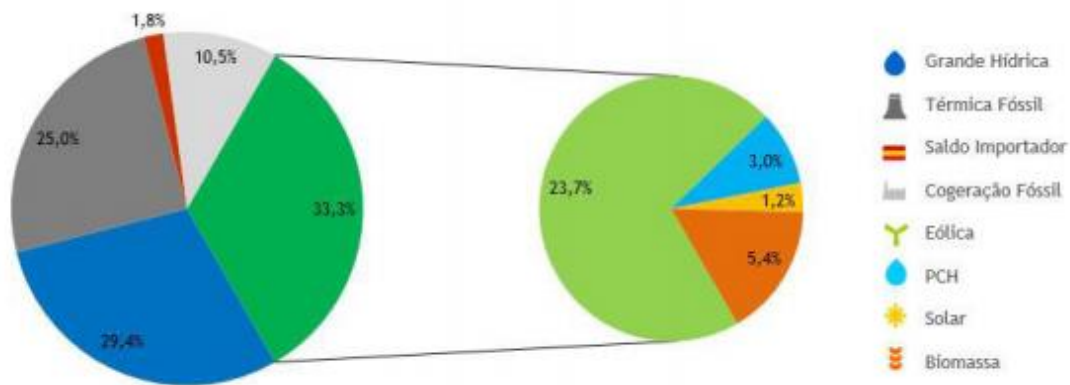


Figura 6 Peso das Diferentes Fontes de Produção de Eletricidade em Portugal Continental em 2014 [13]

A fonte de produção renovável mais utilizada foi a grande hídrica, contribuindo com 29,4% da produção elétrica, vindo de seguida a eólica com 23,7% e em terceiro lugar a biomassa com 5,4%.

É ainda de referir que em 2014, o saldo importador foi de 1,8%. Relativamente a este último valor, este é fortemente condicionado pelas energias renováveis.

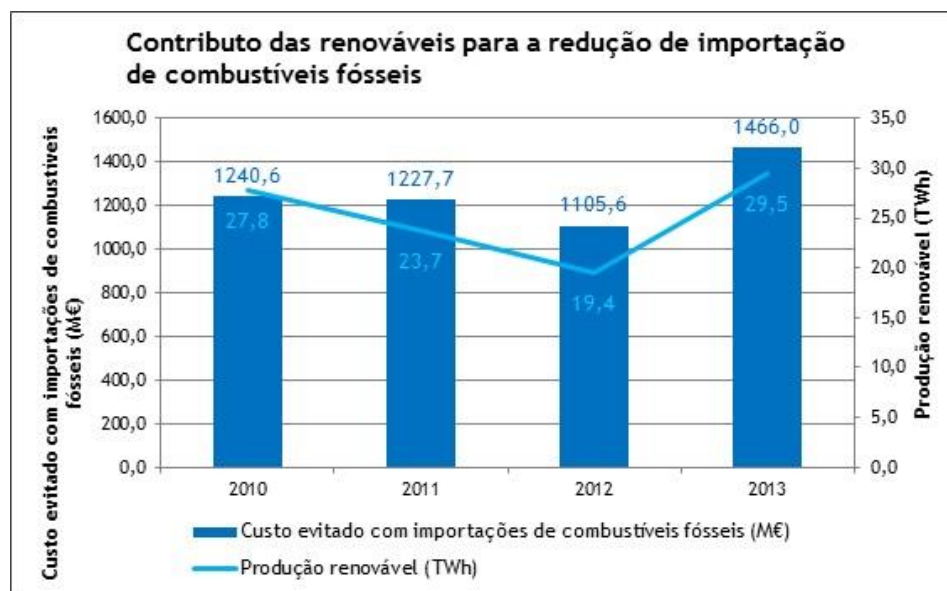


Figura 7 Saldo Importador de Portugal, APREN [14]

Tal como demonstra a Figura 7, a capacidade de produção através de recursos renováveis têm permitido uma poupança económica na importação de combustíveis fósseis. Em termos numéricos, em 2013 houve uma poupança de 1 466 milhões de euros.

Desta forma, conclui-se que o valor do saldo importador é indiretamente proporcional ao valor da produção energia renovável. Assim, a reduzida fatia percentual de saldo importador é satisfatoriamente bom para o país, numa análise do contributo das energias renováveis para a redução de importação de combustíveis fósseis para a produção de energia elétrica [14].

2.5.2. PROTOCOLO DE QUIOTO

Nos dias de hoje é usual ouvir-se falar acerca do buraco de ozono, do efeito de estufa e de outros efeitos provenientes do uso e produção de energia elétrica. Com isto, tornou-se também habitual ouvir-se falar sobre ações/reuniões organizadas por entidades pró-ambientalistas, que têm como objetivo a redução destes mesmos problemas. Estas reuniões sofreram um grande impulsionamento com as reuniões de Quioto, resultando assim no conhecido Protocolo de Quioto.

O Protocolo de Quioto é um protocolo criado com o objetivo de fazer com que os países desenvolvidos assumam o compromisso de reduzir a emissão de gases de efeito de estufa, atenuando assim os impactos causados pelo aquecimento global.

A ideia deste tratado teve início em 1988 na “*Toronto Conference on the Changing Atmosphere*” e nos anos seguintes sucederam-se diversas conferências acerca do Meio Ambiente. Finalmente, em 1997, no Japão, foi discutido e criado o Protocolo de Quioto.

Para o cumprimento do objetivo proposto, foram criados três Mecanismos de Flexibilização: a Implementação Conjunta (CI), o Comércio de Emissões ou Comércio Internacional de Emissões (CIE) e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O primeiro mecanismo (CI), consiste num mecanismo que promove a criação de alternativas que reduzam a emissão de gases de efeito de estufa. O segundo mecanismo (CIE), consiste num mecanismo dirigido para os países que já reduziram a emissão de gases e que permite que estes países possam comercializar o excedente das suas emissões para países que ainda não se encontrem na mesma situação. Por fim, o terceiro mecanismo (MDL), consiste num mecanismo que implementa projetos para o desenvolvimento sustentável.

Em 2012, o protocolo expira mas, apesar da contestação de vários países e com vontade de o extinguir, a Organização das Nações Unidas (ONU), juntamente com alguns governos, assumiram o compromisso de criar uma nova versão do Protocolo de Quioto, com a criação de novas metas.

Em 2013, foi então criado o segundo período de vigoração do Protocolo de Quioto, em que um dos principais assuntos abordados consiste na aplicação do programa “Desmatamento Evitado”, uma medida de redução de emissões de gases de efeito de estufa, reduzindo o desmatamento através da queima de florestas, pois trata-se de um fator com grande relevo nas emissões de dióxido de carbono (CO₂).

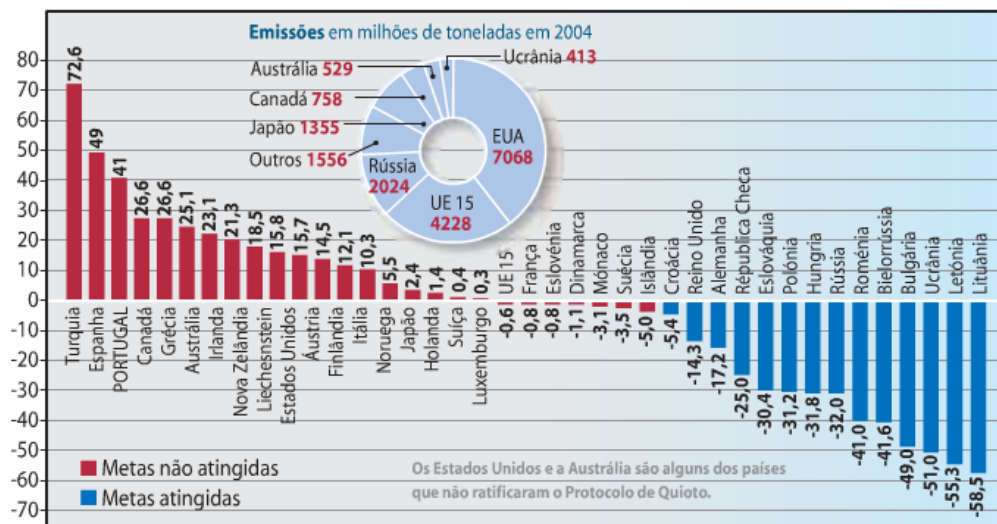


Figura 8 Resultados do Protocolo de Quioto [15]

Com este protocolo, e pela análise da Figura 8, conclui-se que dos 39 países envolventes, 14 países conseguiram atingir as metas e 25 ainda não o conseguiram, sendo que 7 deles estão no limiar da sua concretização [15].

Quanto à situação de Portugal, o Protocolo de Quioto fixou uma meta de 8% de redução das emissões de CO₂ para a UE de 2008 até 2012, em relação a 1990. Porém, devido a uma economia menos desenvolvida, a Portugal foi permitido aumentar até 27% as suas emissões. Tendo em conta os últimos dados fornecidos, o aumento foi de apenas 19%, excluindo o efeito das florestas, fazendo assim com que Portugal cumprisse o protocolo [16].

2.6. IMPACTO DAS BATERIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NAS *SMART GRIDS*

O objetivo da implementação de REI baseia-se na preocupação de reduzir o impacto ambiental resultante da gestão do setor elétrico.

A utilização deste tipo de redes integra as energias renováveis como produtores de energia. Apesar de permitirem, de forma indireta, a diminuição do uso de combustíveis fósseis, as energias renováveis têm a grande desvantagem da imprevisibilidade, devido ao facto deste tipo de produção estar diretamente associada às condições climáticas, época do ano ou hora do dia. Por exemplo, a energia solar está sujeita à presença ou não de radiações solares.

Como se sabe, o equilíbrio existente entre a produção de energia e o consumo é extremamente importante, tornando-se necessária a implementação de equipamentos que garantam esse mesmo equilíbrio. A BAE, designado por *Battery Energy Storage* na literatura anglo-saxónica, é um equipamento que pode ser usado para contribuir para esse mesmo equilíbrio, permitindo atenuar o problema da intermitência de produção de energia por parte das energias renováveis [17]. Assim, a introdução das BAE's, para além de melhorarem a eficiência de um sistema, permitem uma maior racionalidade a nível económico, pois os custos associados à produção de energia assumem grandes dimensões.

As BAE's, num SEE, podem ter duas funções: funcionar como “carga” – referente aos períodos de tempo que estão a armazenar energia elétrica; ou funcionar como “gerador” – referente aos períodos de tempo que estão a injetar energia elétrica na rede.

Relativamente à função como “carga”, uma BAE armazena energia nos períodos de tempo em que há excesso da produção de energia elétrica relativamente à procura (horas de vazio), reduzindo assim o desperdício de energia e, conseqüentemente, a redução do consumo de recursos naturais [17].

Na função contrária, como “gerador”, a BAE injeta energia na rede nos períodos de tempo em que existe maior exigência por parte dos consumidores (horas de ponta). Nesta fase, as unidades geradoras são obrigadas a acompanhar a procura, elevando assim os seus níveis de produção e aumentando os custos associados. Com a introdução de BAE's, este facto passa a não ser obrigatório, pois toda energia armazenada, anteriormente, nas horas de vazio, é aproveitada, sendo injetada na rede para uso da procura.

Para uma melhor explicação do seu funcionamento, passa-se a apresentar um exemplo de uma unidade de armazenamento elétrico: os Supercondutores Magnéticos (SMES). Os SMES funcionam de acordo com o princípio da eletrodinâmica, ou seja, a energia é armazenada sob a forma de um campo magnético criado através de um fluxo de corrente contínua por uma bobina supercondutora. Como a corrente existente nos barramentos da rede apresenta a forma de alternada, esta tem que ser convertida em corrente contínua, para poder ser injetada na referida bobina (função de “carga”). No processo inverso, acontece a mesma situação, em que a corrente armazenada na bobina tem que ser convertida em alternada, de forma a poder ser aproveitada pela rede elétrica (função de “gerador”). Estas conversões são feitas por um equipamento específico, denominados por conversores eletrônicos de potência.

2.6.1. COMPONENTES DAS BAE'S

Tal como se pode verificar na Figura 9, as BAE's são constituídas por quatro componentes: o processo de Monitorização e Controlo, o Sistema de Carregamento, o Sistema de Descarregamento e o próprio Mecanismo de Armazenamento.

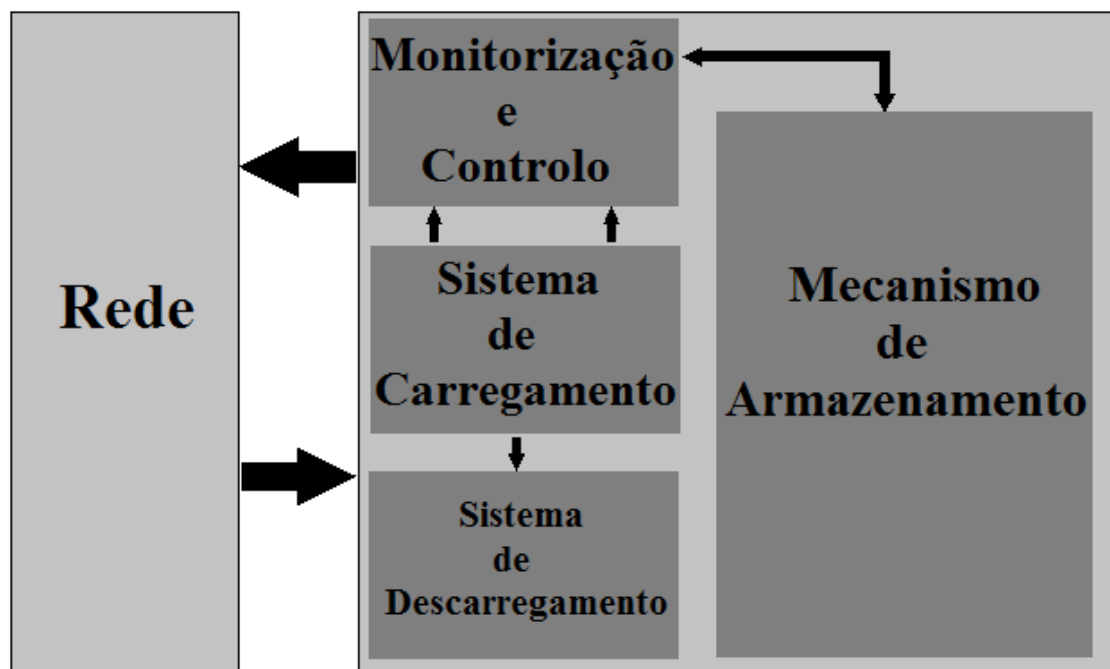


Figura 9 Componentes de uma BAE

O Mecanismo de Armazenamento corresponde ao alusivo meio de armazenamento e define os limites superiores e inferiores de capacidade de armazenamento de energia.

Relativamente ao Sistema de Carregamento e de Descarregamento refere-se, respetivamente, ao processo de conversão de energia que provenha da rede sob a forma de outro tipo de energia, caso seja necessário, de maneira a que esta seja possível de ser armazenada e, ao processo inverso, isto é, converter a energia que se encontra armazenada, numa energia que seja passível de ser utilizada na rede.

Por fim, tem-se o processo de monitorização e controlo, que compreende dois subsistemas: o sistema responsável por monitorizar e controlar todo o equipamento em si (primeira fase de controlo) e o sistema responsável por controlar o sistema de armazenamento (segunda fase de controlo) [17].

Numa perspetiva prática, temos o exemplo da tecnologia de armazenamento *flywheels*. Nesta tecnologia, o armazenamento é feito através da aceleração do rotor (*flywheel*) até este atingir grandes velocidades, o que permite que a energia seja mantida no sistema como energia rotacional.

Quando está em fase de descarregamento, dá-se a inversão do campo do motor, passando a funcionar como gerador. Devido ao efeito da conservação de energia, dá-se ainda uma redução de velocidade de rotação do rotor. Aquando da fase de carregamento, a velocidade de rotação do rotor aumenta.

A partir deste exemplo, consegue-se aplicar a distinção dos dois subsistemas. A primeira fase de controlo é referente à “comunicação” que existe com o equipamento, de forma a que este seja ativado e assim, funcionar como motor ou como gerador, possibilitando que o fluxo de energia seja o necessário para acelerar ou desacelerar o *flywheel*. Caso seja necessário, este subsistema tem ainda como funções de ativar as proteções para a fase de descarregamento.

A segunda fase de controlo é relativa ao controlo da energia que necessita de ser debitada para a rede, para satisfazer a procura num dado momento. Esta fase é ainda responsável pelos fatores de natureza económica, ou seja, pela definição do preço a que esta energia irá ser transacionada [18].

2.6.2. VANTAGENS TÉCNICAS E ECONÓMICAS DAS BAE'S

A introdução das BAE's tem diversas vantagens, tanto técnicas como económicas.

Numa vertente técnica, estes equipamentos estão diretamente associados a dois tipos de produção de energia, para os quais o armazenamento é bastante importante: a produção de energia convencional e a produção de energia renovável.

Para o caso da produção de energia convencional, o armazenamento de energia ativa-se quando se dá uma perda temporária de produção de energia, por parte de alguma das unidades geradoras. Esta situação pode evitar que as concessionárias tenham que pagar multas relativas a falhas de abastecimento de energia elétrica, mencionadas no Regulamento de Qualidade de Serviço (RQS) e ainda nas Diretivas n.º 25/2013, de 13 de Dezembro e n.º 1/2015, de 15 de Dezembro [19].

Para o caso da energia renovável, o armazenamento de energia ativa-se em horas em que a procura é mais baixa e a sua injeção na rede dá-se durante o período de horas de pico. Novamente, o objetivo deste equipamento é de garantir o compromisso contratual referido a cima. Nesta situação, o custo de armazenamento deve ser considerado e, a energia armazenada apenas poderá garantir o fornecimento de energia a uma parte da capacidade nominal de produção [20].

Numa vertente económica, tal como se sabe, o consumo diário não é constante ao longo de um dia (24 horas). Tal como se pode verificar na Figura 10, a energia necessária para satisfazer as horas de pico (12h00 e 20h00) são praticamente o dobro das horas de baixa (17h00 às 19h00).

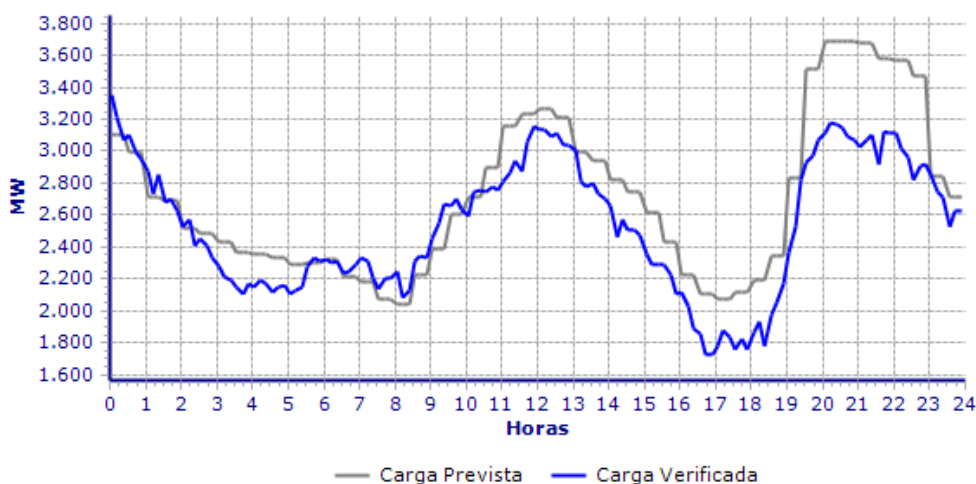


Figura 10 Perfil de um Diagrama de Cargas [21]

Desta forma e sabendo que os dimensionamentos dos componentes elétricos são feitos com base nestas horas de maior exigência, conclui-se que na maior parte do dia, estes encontram-se sobredimensionados.

Com base nesta informação, em vez da energia produzida ser dimensionada da forma que é feita atualmente, se fosse nivelada de acordo com um valor médio de procura, haveria momentos em que a energia se encontrava em excesso face à procura, mas haveria igualmente períodos em que a energia produzida se encontrava insuficiente face à procura, sendo então necessário a introdução de BAE's, cujas funções seriam armazenar energia quando a energia produzida se encontrasse em excesso e funções de injetar energia, quando a energia produzida se encontrasse em falta.

Assim, haveria possibilidade de reduzir os gastos associados ao sobredimensionamento dos componentes elétricos.

2.7. REGULAMENTO DE QUALIDADE DE SERVIÇO

O bem-estar e satisfação dos clientes é o principal fator que deve ser obedecido por todas as entidades do Sistema Elétrico Nacional (SEN) de Portugal. Para tal, teve que ser criado um regulamento que abrangesse esses aspetos e que estabelecesse os níveis adequados de qualidade de serviço, o Regulamento de Qualidade de Serviço (RQS) [19].

A referida qualidade de serviço pode ser analisada sob a forma de natureza técnica e sob a forma de natureza comercial:

- Natureza técnica abrange:
 - As interrupções de fornecimento de energia (número máximo de interrupções por ano, duração total das interrupções);
 - A qualidade de onda de tensão, características de amplitude, frequência;
- Natureza comercial abrange:
 - A qualidade de assistência aos clientes (atendimento, informação fornecida, avaliação da satisfação).

3. DESPACHO ECONÓMICO

O presente capítulo tem como principal objetivo a descrição do problema do Despacho Económico que irá ser estudado neste trabalho. Primeiramente irá ser feita uma introdução a esta temática, recorrendo-se à sua definição e, posteriormente, irá ser apresentada a sua formulação matemática.

3.1. PROBLEMA DO DESPACHO ECONÓMICO

O rápido crescimento dos custos de investimento das unidades produtoras de um SEE e até uma maior escassez dos recursos necessários para as suas operações são, atualmente, fatores que se verificam em grande escala. Desta forma, uma maior racionalização do uso destes mesmos recursos enquadra-se nos objetivos dos mercados de eletricidade.

O aumento, tanto de energia consumida mundialmente, como do preço do petróleo, são dois fatores que tornam a redução dos custos de produção um assunto de ainda maior relevo.

Assim, conjugando a racionalização do uso dos recursos energéticos com a redução dos custos de produção, torna-se bastante fulcral, para o ponto de vista da gestão da rede, incidir no problema do Despacho Económico.

O Despacho Económico pode então ser definido como um método de atribuição de níveis de produção das diferentes unidades produtoras, existentes num SEE, que estejam em operação, de tal forma que a carga do sistema seja totalmente satisfeita, tendo em vista os menores custos associados. Por outras palavras, este problema tem como objetivo a minimização dos custos de produção de energia associados ao custo de combustível.

Um SEE contempla um determinado número de centrais produtoras com funções de alimentar totalmente as cargas impostas pelos consumidores. Cada uma destas centrais tem diversos custos operacionais associados, tais como os custos de combustível, os custos de manutenção e, ainda, custos referentes à própria estação. Estes últimos podem assumir grande relevância, por exemplo, para os casos das centrais de energia nuclear. Para além destes fatores, existem ainda outros que tornam o problema mais complexo a nível da sua análise, tais como as perdas de transmissão das linhas.

Numa vertente mais prática, maior parte dos estudos realizados no âmbito da otimização do Despacho Económico, modelam a função objetivo do custo de combustível das unidades produtoras de uma forma simplista, através de uma função quadrática, que por sua vez facilitam a sua resolução. Porém, na realidade, existem condicionantes que criam perturbações na curva representativa da função e até mesmo incapacidade da sua representação. Exemplo disso é o efeito criado pela abertura das válvulas de emissão dos geradores. Assim, a forma mais correta de representar a função é através da combinação da função quadrática com uma função periódica.

Para que o problema do Despacho Económico seja garantido eficazmente, é necessário ter em consideração alguns aspetos restritivos do próprio sistema, como as Restrições do Equilíbrio da Carga, os Limites de Geração ou as Zonas de Operação Proibidas das Unidades Geradoras (ZOP) [22].

Normalmente, a restrição ZOP (caracterizada por representar as zonas em que uma unidade geradora não deve produzir energia, preservando a boa qualidade de operação de máquinas e acessórios, tais como bombas ou caldeiras) é a que mais vezes se exclui, principalmente por aumentar o grau de dificuldade do processo de cálculo. No entanto, a sua integração, torna o problema bastante mais real e fidedigno [22].

3.1.1. METODOLOGIAS ADOTADAS

Até aos dias de hoje, foram criadas diversas formas de resolver o problema da otimização do Despacho Económico. Nos últimos anos, maior parte dos métodos desenvolvidos utilizam programação matemática e a representação da função do custo é recorrida à função quadrática, ignorando assim o efeito do ponto de válvula. Alguns exemplos deste género são:

- Método do Gradiente [23];
- Método Lambda [24];
- Programação Quadrática [25];
- Programação Linear [26];
- Programação Dinâmica [27].

Porém, estes métodos ficam presos num ótimo local, tornando-se assim débeis no fornecimento da solução ótima. Assim, mais recentemente, têm vindo a ser desenvolvidos algoritmos que conseguem ultrapassar este problema, nos quais:

- Arrefecimento Simulado [28];
- Pesquisa Tabu [29];
- Programação Evolutiva [30];
- Pesquisa Estocástica como Otimização de Nuvem de Partículas [31];
- Algoritmos de Evolução Diferencial [32];
- Algoritmo Genético [33].

Estes últimos métodos têm-se mostrado eficazes na resolução do problema, não havendo restrições sobre as características não convexas e não lineares da função do custo de combustível. Apesar disto e tais como os primeiros métodos a serem apresentados, estes determinam pontos ótimos que nem sempre coincidem com a solução ótima.

De uma forma mais pormenorizada, cada um destes últimos métodos possuem desvantagens particulares, como por exemplo, o Algoritmo Genético que sofre de convergência prematura; o Arrefecimento Simulado que possui grande dificuldade no processo de ajuste dos parâmetros de controlo dos parâmetros relativos ao esquema de arrefecimento, tornando-o lento quando utilizados no problema do despacho; e, por fim, na Pesquisa Estocástica como Otimização de Nuvem de Partículas e no Algoritmo de Evolução Diferencial que, devido à

possibilidade de se prenderem num ótimo local, têm pouca capacidade de otimização, num problema de despacho.

3.1.2. CATEGORIAS DO PROBLEMA

O problema do Despacho Económico pode ser dividido em duas versões: a versão estática e a versão dinâmica.

A primeira versão procura a melhor solução, também designada de solução ótima, em cada período de tempo, de forma independente, isto é, sem haver relação entre os diferentes períodos de tempo.

A segunda versão considera o acoplamento no domínio do tempo, tal como a restrição das ZOP [34].

Numa comparação entre as duas versões, os resultados da versão dinâmica apresenta soluções mais eficazes, bem como mais indicados para análises de *Smart Grids*.

Apesar disto, este relatório propõe a aplicação de um Despacho Económico estático para uma *Smart Grid*, sob a forma de diversos cenários de estudo.

3.2. FORMULAÇÃO DO DESPACHO ECONÓMICO

O Despacho Económico para *Smart Grids* consiste em determinar a potência necessária proveniente das unidades geradoras, bem como a potência de saída (ou de entrada) das BAE's (representado também por Unidades de Armazenamento de Energia, designado também por *Energy Storage Unit* (ESU) na literatura anglo-saxónica) e da rede principal em cada período de tempo, com vista à otimização (minimização) dos custos operacionais de geração de energia.

Desta forma, a respetiva função objetivo irá ser representada pela equação (1):

$$\min C = \sum_{k=0}^m F_k(P_k) + F_{rede}(P_{rede}) + F_{BAE}(P_{BAE}) \quad (1)$$

Como a *Smart Grid* se encontra conectada com a rede principal, esta inclui m unidades geradoras e uma BAE. Na equação (1), P_k é a potência fornecida pela unidade geradora k , P_{rede} é a potência fornecida pela rede principal e P_{BAE} é a potência fornecida pela BAE (neste último caso, aquando do aparecimento de valores negativos, significa que a potência em vez de estar a ser fornecida, está a ser “consumida”). Quanto às restantes notações, F_k é a função do custo da unidade geradora k , F_{rede} é a função do custo da rede principal e F_{BAE} é a função do custo da BAE (onde os valores negativos são considerados para a receita de venda de energia).

Relativamente às restrições:

$$\sum_{k=1}^m P_k + P_{rede} + P_{BAE} + P_{trans} = P_{carga} \quad (2)$$

$$P_k^{min} \leq P_k \leq P_k^{max} \quad (3)$$

$$P_{rede}^{min} \leq |P_{rede}| \leq P_{rede}^{max} \quad (4)$$

$$-P_{car}^{max} \leq P_{BAE} \leq P_{descar}^{max} \quad (5)$$

A equação (2) diz respeito à restrição do equilíbrio de carga, em que P_{carga} são as cargas totais e P_{trans} são as perdas de transmissão. Na equação (3) está representada a restrição dos limites de geração das unidades geradoras existentes. A equação (4) é referente à restrição de transmissão de energia entre a rede principal e a *Smart Grid*, onde P_{rede}^{max} e P_{rede}^{min} são, respectivamente, os limites superiores e inferiores da potência proveniente da rede principal. A restrição da potência da BAE é representada pela equação (5), onde P_{car}^{max} e P_{descar}^{max} são, respectivamente, a potência máxima de carga e de descarga da BAE.

4. TRABALHO DESENVOLVIDO

Esta dissertação teve como objetivo o estudo do impacto da introdução de BAE's em *Smart Grids*.

Para tal, de forma a se iniciar o processo, definiu-se a *Smart Grid* a ser estudada (Figura 11).

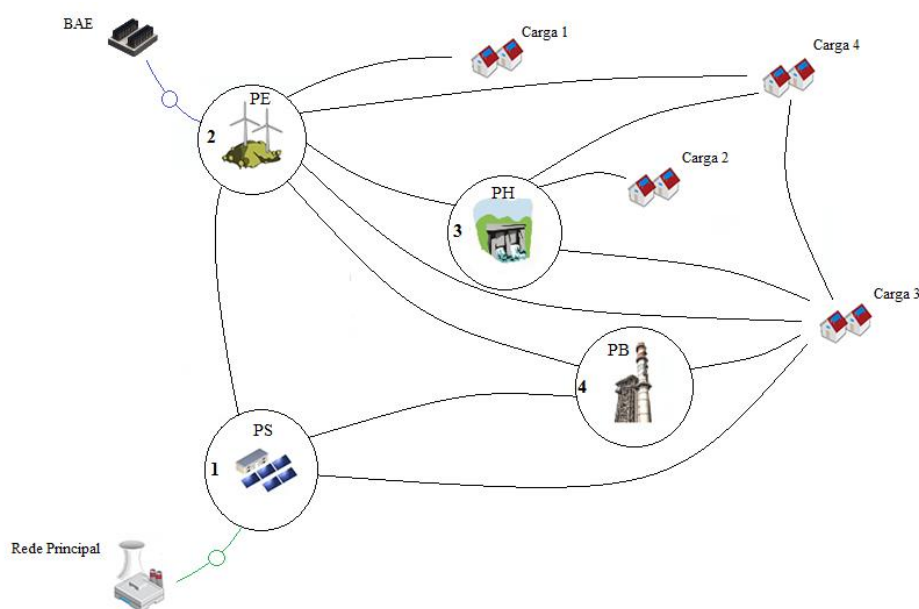


Figura 11 *Smart Grid* de estudo

A rede apresenta um conjunto de 6 sistemas de produção, em que no nó 1 está instalado um sistema fotovoltaico, no nó 2 um sistema eólico, no nó 3 um sistema hídrico e no nó 4 um sistema de produção a partir da biomassa. Para além destes sistemas, a rede possui ainda duas conexões com a Rede Principal e com a BAE em que, para o mesmo instante, apenas uma das duas se encontra em funcionamento. Os respetivos valores de potência instalada e das cargas serão apresentados no desenvolvimento do relatório.

Escolhida a rede de estudo, o desenvolvimento deste trabalho seguiu uma estrutura, tal como representado no diagrama de blocos da Figura 12.

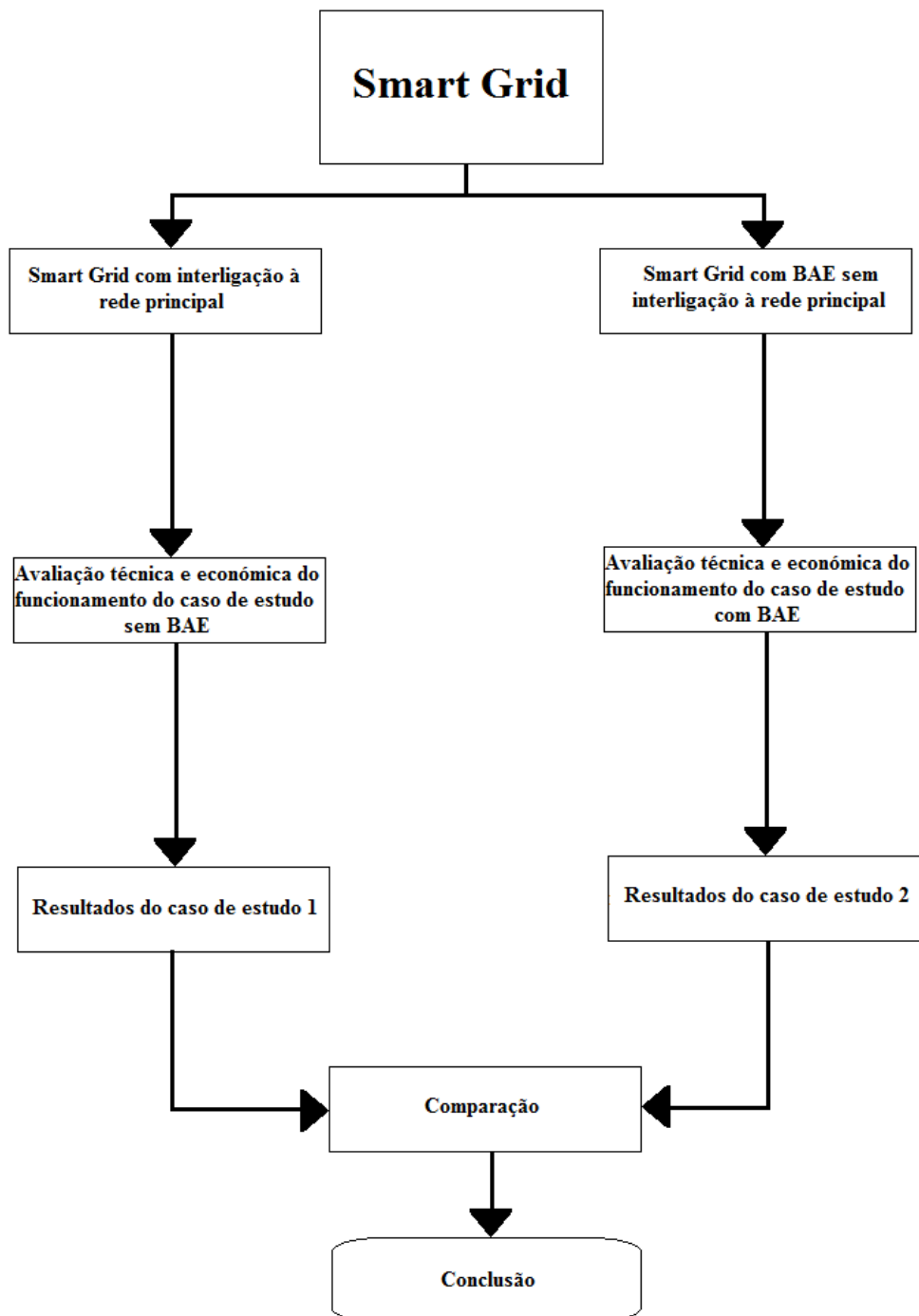


Figura 12 Diagrama de Blocos do Trabalho Desenvolvido

Este estudo assentou na criação de dois cenários de estudo distintos: a *Smart Grid* com interligação à rede principal (fechando o dispositivo representado pela cor verde, permitindo o trânsito de potências entre a rede principal e a rede de estudo) e a *Smart Grid* com BAE e sem interligação com a rede principal (fechando o dispositivo representado pela cor azul e mantendo o dispositivo verde no seu estado inicial – aberto, fazendo com que a rede de estudo se torne isolada da rede principal e com que haja trânsito de potências entre ela e a BAE).

Tanto para um cenário, como para o outro, foi realizado um estudo do Despacho Económico Ótimo e do Trânsito de Potências, em que se obteve os níveis de produção e respetivos custos de cada unidade geradora, bem como o congestionamento das linhas da rede.

Com os resultados de cada cenário já obtidos, passou-se à comparação dos mesmos, em que se conseguiu determinar as respetivas diferenças percentuais entre cada estudo. Ainda dentro da análise económica, foi efetuado o estudo da viabilidade económica, oferecendo ao leitor uma estimativa do tempo de retorno de investimento de uma BAE.

Por fim, através de uma análise crítica a todos os valores obtidos, foi possível concluir qual dos dois cenários é que se apresenta como mais propício para ser aplicado, ou seja, qual dos dois cenários é que é mais benéfico para a rede, sob o ponto de vista do consumidor e sob o ponto de vista do produtor.

Nota: Os dispositivos utilizados (representados pela cor verde e azul) são apenas de carácter ilustrativo e explicativo e não tiveram qual existência no desenvolvimento do trabalho.

5. *SOFTWARE* E DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é mencionada toda a componente prática dos assuntos abordados anteriormente:

- *Softwares*/algoritmos e breve explicação:
 - *Excel Solver*;
 - *Matlab 2013b*;
- Etapas a tomar.

5.1. *SOFTWARE*

A evolução da tecnologia trouxe grandes benefícios no aspeto da simplificação de metodologias de cálculo, sendo que este tema não foge à exceção. Todo o processo de cálculo de um Despacho Económico é passível de ser executado com independência de ferramentas computacionais. Porém, com a sua interligação, todo esse processo torna-se mais rápido e fidedigno.

5.2. SOLVER

O *Solver* é uma ferramenta que tem como principal função a resolução de problemas matemáticos, mais precisamente a utilização de técnicas de pesquisa de operações, com o fim de encontrar a solução ótima de problemas de decisão [35].

De forma a se perceber melhor a metodologia de implementação do *Solver* foi tomado um problema aleatório, de forma a ilustrar um exemplo de utilização das duas ferramentas usadas: o *Excel* e o *Matlab*.

Este exemplo trata-se de um problema de maximização de uma função, com as respectivas restrições.

A função exemplo é:

$$f(x, y, z) = 0,5x + 0,4y + 0,6z \quad (6)$$

E as suas restrições são:

$$x + y + z = 10$$

$$x \geq 2$$

$$y \geq 2$$

$$z \geq 2$$

5.2.1. EXCEL SOLVER

A primeira ferramenta ser usada é o *Excel* do *Office*, que se caracteriza por ser bastante perceptível e simples.

Então, com a ferramenta *Excel* aberta, o primeiro passo é criar uma área de trabalho agradável em termos visuais, que faz com que se torne o problema compreensível.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5		Variáveis de Decisão								
6		x	y	z						
7							Função			
8							Objectivo			
9		0,5	0,4	0,6			0			
10										
11										
12		Restrições								
13										
14		1	1	1	r1		0	=	10	
15		1	0	0	r2		0	>=	2	
16		0	1	0	r3		0	>=	2	
17		0	0	1	r4		0	>=	2	
18										

Figura 13 Passo Inicial

A estética escolhida é a demonstrada na Figura 13, em que na célula G9 está representada a função exemplo e, nas células G14, G15, G16 e G17 estão representadas as restrições do problema. Em cada uma destas células referidas, está inserida uma função denominada por SUMPRODUCT.

Por exemplo: na célula G9, está inserida a função SUMPRODUCT(B9:D9;B7:D7). A lógica é a mesma para as restantes células.

De seguida, tem que se executar a extensão *Solver*, que vai abrir a janela representada na Figura 14.

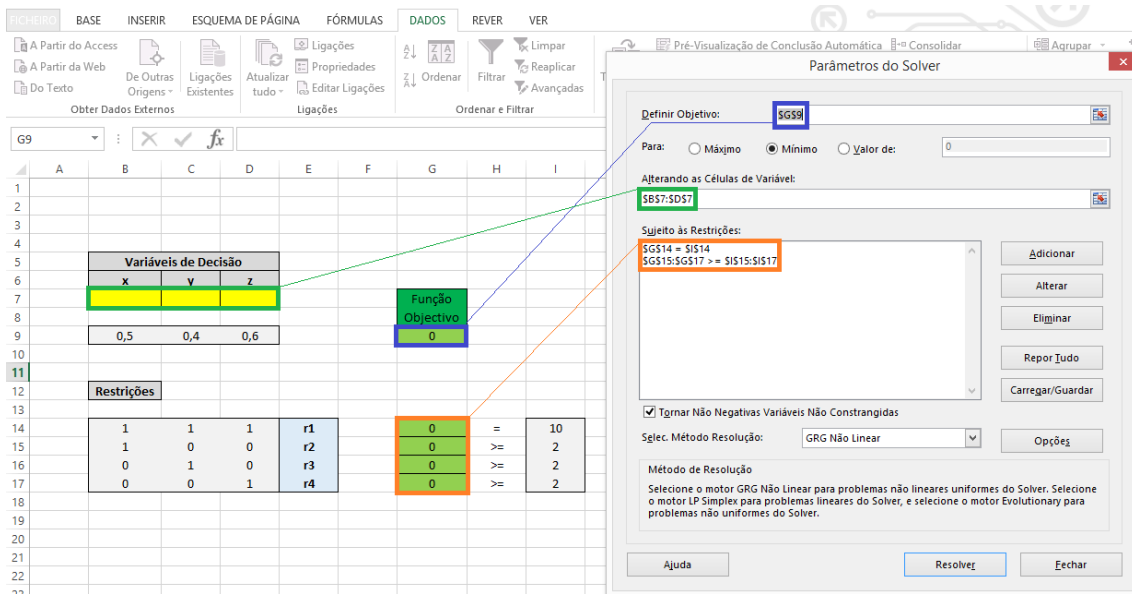


Figura 14 Extensão Solver

Neste passo, o utilizador deve preencher os campos conforme indicado e, no fim, clicar em “Resolver”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5		Variáveis de Decisão								
6		x	y	z						
7		2	6,000001	2			Função			
8							Objectivo			
9		0,5	0,4	0,6			4,60000044			
10										
11										
12		Restrições								
13										
14		1	1	1	r1		10,000001	=	10	
15		1	0	0	r2		2	>=	2	
16		0	1	0	r3		6,0000008	>=	2	
17		0	0	1	r4		2,0000002	>=	2	
18										
19										

Figura 15 Solução da Função Exemplo

No final, caso o *Solver* consiga determinar a solução ótima, os campos irão ser preenchidos automaticamente com os respectivos valores. Assim, para este exemplo (Figura 15), os resultados iriam ser:

$$f(x, y, z) = 4,60$$

$$x = 2$$

$$y = 6$$

$$z = 2$$

5.2.2. **MATLAB 2013B (FMINCON)**

A segunda ferramenta ser utilizada é o *Matlab*. Neste caso, o *Solver* é calculado através de uma função já pré-definida, denominada por *fmincon*.

A função *fmincon* do *Matlab* tem como função encontrar a solução ótima de um problema. Enquanto que no *Excel* o utilizador pode definir se pretende um problema de maximização ou de minimização, esta função apenas permite determinar a solução ótima de problemas de minimização.

Para este caso, a função exemplo deve ser especificada da seguinte forma:

$$\min f(x, y, z) \text{ tal que } \begin{cases} A * b \leq b \\ Aeq * x = beq \\ lb \leq x \leq ub \end{cases}$$

Em que, *b* e *beq* são vetores e *A* e *Aeq* são matrizes. *x*, *lb* e *ub* podem ser definidos como vetores ou matrizes [36].

Utilizando novamente a função exemplo da equação (6), ela seria traduzida por:

```
function f = exemplo(x)
f = 0.5*x(1)+0.4*x(2)+0.6*x(3);
end
```

Com a função exemplo definida, desenvolve-se a *fmincon*:

```
Aeq = [1 1 1];  
beq = [10];  
lb = [2 2 2];  
x0 = [0; 0; 0];  
  
[x, fval]=fmincon(@exemplo,x0,[],[],Aeq,beq,lb)
```

Para a resolução do problema, o algoritmo necessita de conhecer o ponto inicial x_0 , ao qual foi arbitrado um valor para cada variável.

Os resultados associados ao algoritmo estão representados na Figura 16:

```
x =  
  
    2.0000  
    6.0000  
    2.0000  
  
fval =  
  
    4.6000
```

Figura 16 Resultados do Algoritmo *fmincon*

Como se pode verificar, os resultados obtidos no Solver e no algoritmo *fmincon* são iguais, visto se tratar de uma função bastante simples. Contudo, como se poderá detetar no prolongamento do relatório, para problemas de maior complexidade, os resultados entre ambos irá sofrer umas ligeiras discrepâncias.

5.3. ETAPAS A TOMAR

O *software* deste relatório seguiu uma estrutura lógica de etapas para ambos os cenários de estudo. Para o primeiro cenário, em que a rede se encontra conectada à rede principal, o fluxograma está representado na Figura 17.

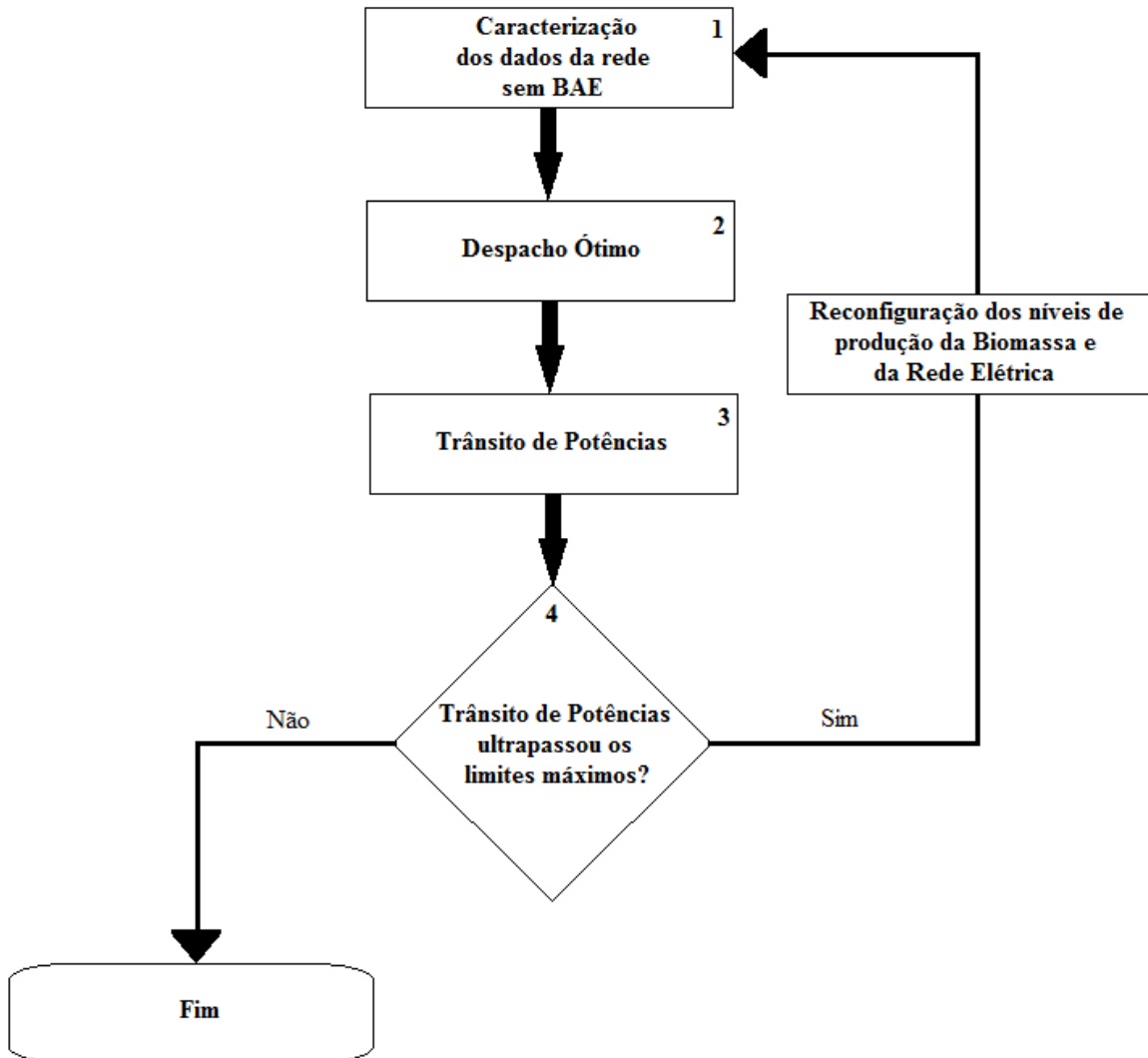


Figura 17 Fluxograma do Cenário 1

A sequência de etapas a ser tomadas foi numerada de 1 a 4: Caracterização, Despacho Económico Ótimo, Trânsito de Potências e Análise do Congestionamento das Linhas.

A etapa 1 diz respeito à fase de caracterização de todos os componentes da rede (linhas, unidades geradoras e cargas) e da rede principal.

A etapa 2 consiste na execução do problema do Despacho Económico da rede sob a forma do primeiro cenário. A resolução do problema é feita através do *Excel*.

Na etapa 3 utiliza-se um método de resolução do Trânsito de Potências (*Newton-Raphson*), para que as soluções encontradas dos níveis de produção sejam concordantes com os limites das linhas de distribuição e com as perdas do sistema.

A etapa 4 é a parte responsável pela análise dos valores resultantes do Trânsito de Potências. Aqui, vai ser discutido se os resultados obtidos estão, ou não, dentro das gamas aceitáveis.

Caso a condição dos limites das linhas não seja verificada, dá-se uma reconfiguração da rede em termos de níveis de produção da central de Biomassa e da rede principal, visto serem as únicas centrais produtoras com possibilidade de controlabilidade. Com os novos valores definidos, executa-se novamente todo o processo.

Caso a condição seja satisfeita, dá-se o fim do processo, em que se tem os valores do Despacho Económico e do Trânsito de Potências.

Relativamente ao fluxograma do segundo cenário, com a rede de estudo a deter uma conexão com a BAE e a se encontrar isolada da rede principal, está representado na Figura 18.

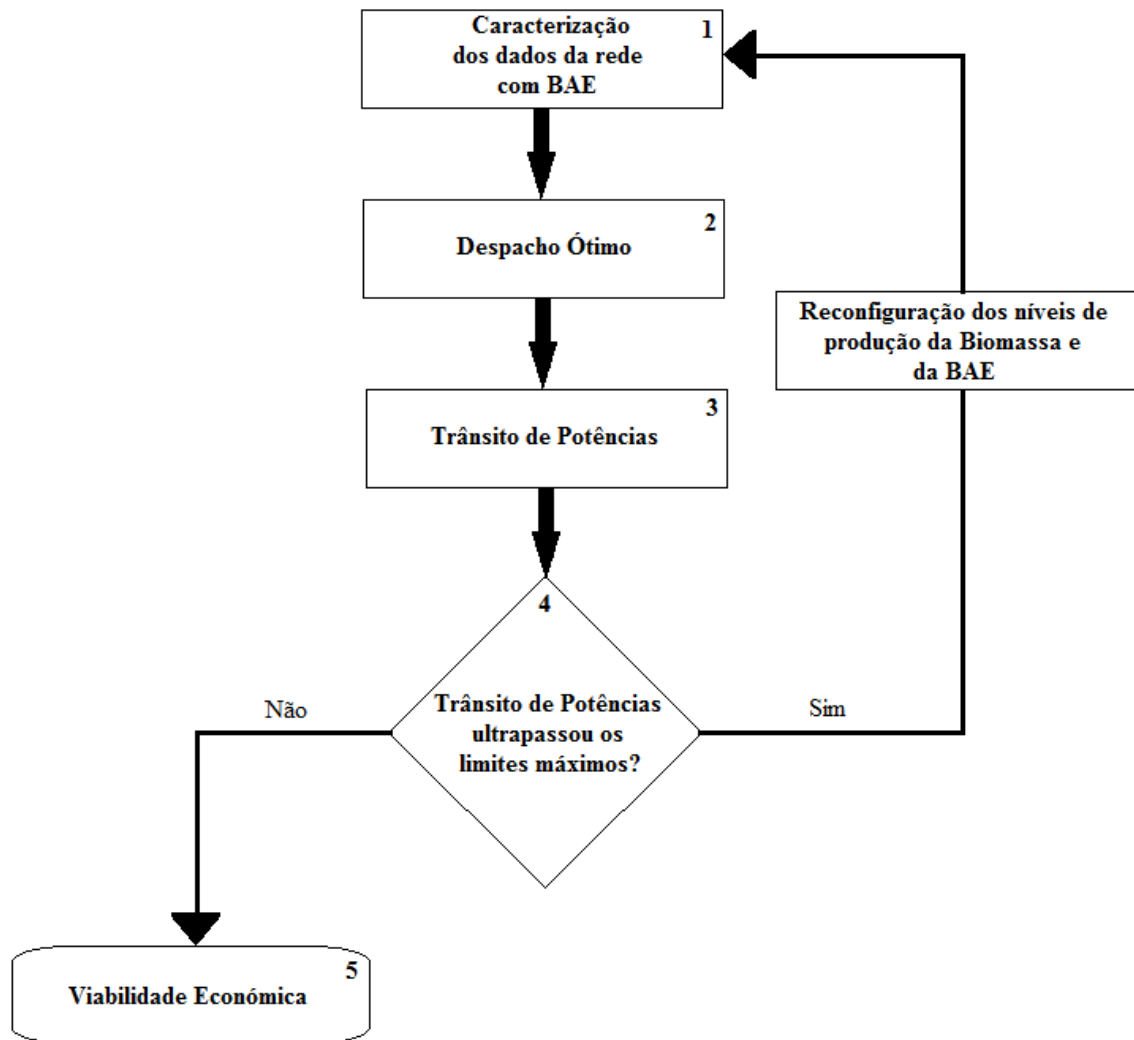


Figura 18 Fluxograma do Cenário 2

Neste cenário, o processo é muito semelhante ao anterior, tendo apenas algumas alterações a nível estrutural.

Para este caso, a sequência das etapas foi numerada de 1 a 5: Caracterização, Despacho Económico Ótimo, Trânsito de Potências, Análise do Congestionamento das Linhas e Viabilidade Económica.

Na etapa 1, é feita a caracterização da rede, tal como no cenário anterior, e da BAE. Na parte referente à BAE, através do estudo explicitado no capítulo 6.3.2., foi ainda determinada a sua localização ótima, ou seja, em que nó da rede é que a BAE deve estar instalada.

Nas três etapas seguintes, o processo é exatamente igual ao anterior, apenas com o acréscimo da utilização do *Matlab* na resolução do problema do Despacho Económico, passando assim

ao processamento do cálculo em duas ferramentas distintas, e com uma ligeira diferença no processo de reconfiguração da rede, feita na etapa 4.

Isto é, se nessa mesma etapa a condição dos limites das linhas não seja satisfeita (e usando a mesma justificação que no cenário anterior), a estrutura da rede obriga a que a sua reconfiguração seja feita de forma diferente, em que em vez de ser trabalhada a nível da produção da rede principal e da central de Biomassa, passa a ser feita através da BAE e da central de Biomassa.

No fim do processo, surge ainda uma nova etapa, a etapa 5. Nesta etapa, já com os valores finais dos níveis de produção e do Trânsito de Potências da rede, efetua-se o cálculo da Viabilidade Económica da implementação de BAE's numa *Smart Grid*.

5.4. SÍNTESE

Este capítulo abordou toda a metodologia do referente estudo, desde os *softwares* e algoritmos até à descrição de cada processo a ser realizado para cada cenário.

6. CASOS DE ESTUDO

No presente capítulo são apresentados os casos de estudo realizados no âmbito desta dissertação. Na sua primeira secção é apresentada a *Smart Grid* de estudo, fazendo a identificação e caracterização de todas as unidades geradoras, das cargas e a das linhas. A segunda e terceira secção inicia a fase de análise e discussão dos resultados obtidos no problema do Despacho Económico para o cenário da rede com interligação à rede principal e para o cenário da rede com BAE e sem interligação à rede principal, respetivamente. A quarta secção é referente à comparação dos valores obtidos em cada cenário de estudo. Por fim, na quinta secção, é feita uma análise económica, com vista à viabilidade que uma BAE oferece ao sistema.

6.1. REDE DE ESTUDO

Para a realização do problema do Despacho Económico, já como referido anteriormente, o primeiro passo a ser tomado é a escolha da rede de estudo.

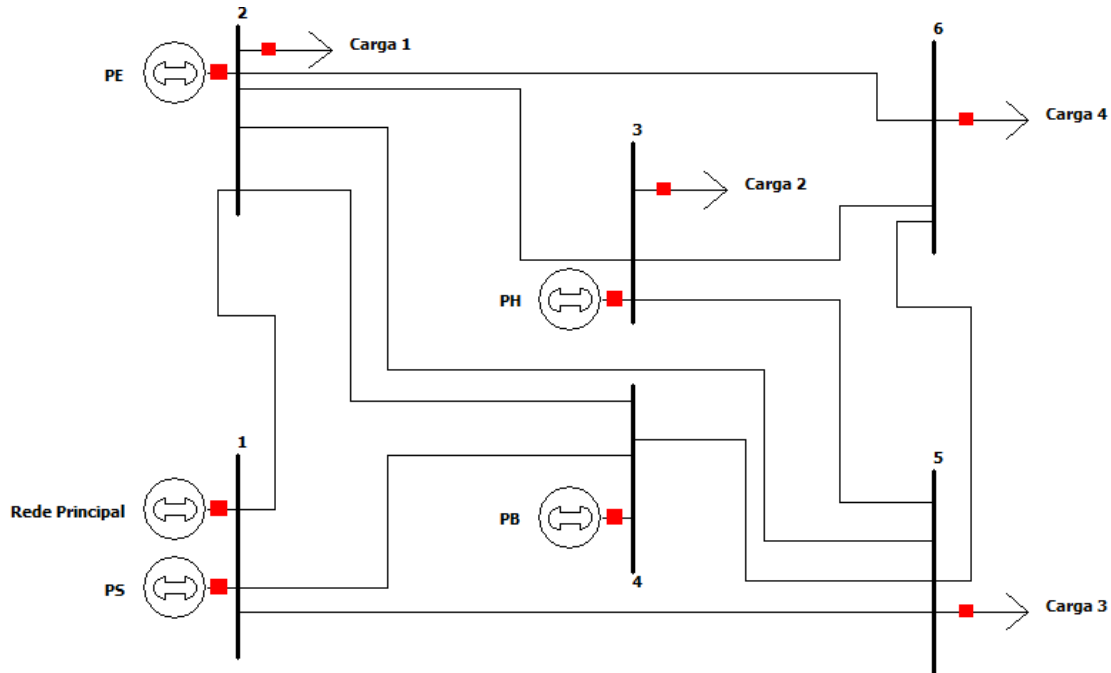


Figura 19 Rede de Estudo

Neste contexto e tal como representado na Figura 19 foi selecionada uma rede de 6 barramentos, 4 unidades geradoras, 4 cargas e ainda uma ligação à rede principal. Um dos pressupostos do problema consiste que a rede principal apenas injeta energia na rede, quando a totalidade da produção das quatro unidades geradoras não consegue contemplar as necessidades da carga.

Quanto aos níveis de carga, estes são apresentados de forma dinâmica, ou seja, sofrem variações ao longo do tempo, mais precisamente ao longo de um dia (24 horas).

Desta forma, foi utilizado o perfil de carga desenvolvido em [21] e representado na Figura 20 (ver também Anexo B), em que os valores de cada hora foram distribuídos uniformemente pelos quatro barramentos de consumo.

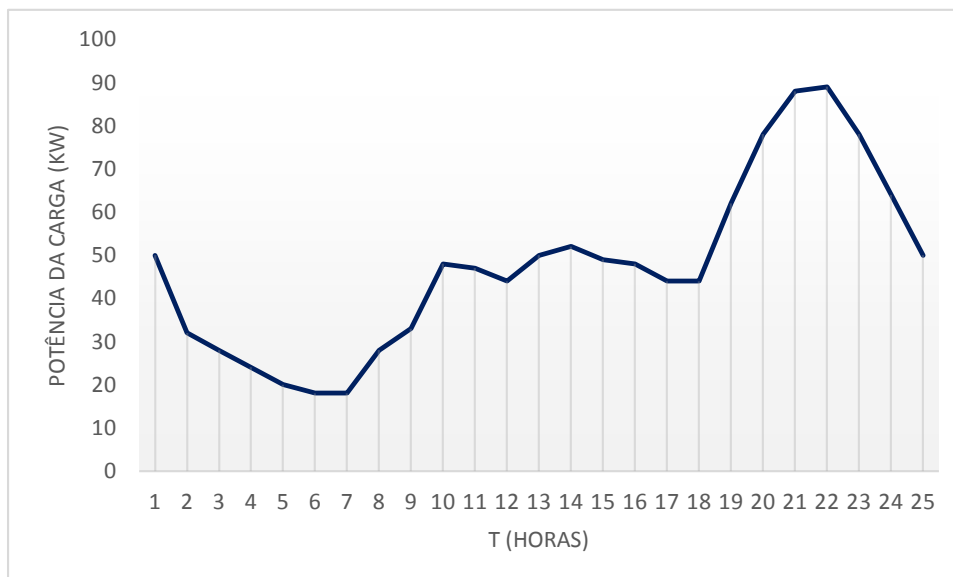


Figura 20 Perfil de carga num período de 24 horas

As características das linhas da rede de estudo estão caracterizadas na Tabela 1.

Tabela 1 Características das Linhas da Rede de Estudo

Linhas		Características			
De:	Para:	Resistência (Ω)	Reatância (Ω)	Limite Inferior (kW)	Limite Superior (kW)
1	2	0,1	0,2	-4	4
1	4	0,05	0,2	-4	4
1	5	0,08	0,3	-4	4
2	3	0,05	0,25	-4	4
2	4	0,05	0,1	-4	4
2	5	0,1	0,3	-4	4
2	6	0,07	0,2	-4	4
3	5	0,12	0,26	-4	4
3	6	0,02	0,1	-4	4
4	5	0,2	0,4	-4	4
5	6	0,1	0,3	-4	4

Relativamente às unidades geradoras existentes (Tabela 2), o sistema possui uma fonte de produção com base ao recurso Solar (PS), uma fonte de produção com base ao recurso Eólico (PE), uma fonte de produção com base ao recurso Hídrico (PH) e uma fonte de produção com base na cogeração a Biomassa (PB).

Tabela 2 Unidades Geradoras da Rede de Estudo

Gerador PS	Energia Solar
Gerador PE	Energia Eólica
Gerador PH	Energia Hídrica
Gerador PB	Cogeração a Biomassa

Estas unidades geradoras e respetivos limites mínimos e máximos de produção estão apresentados na Tabela 3 [37].

Tabela 3 Limites das Unidades Geradoras da Rede de Estudo

Unidades Geradoras		
Gerador	Limite Mínimo (MW)	Limite Máximo (kW)
PS	0	6
PE	0	12
PH	0	30
PB	0	30
Rede Principal	0	30

Ainda referentemente às unidades de geração, para se conseguir aplicar o problema do Despacho Económico, é necessário identificar os custos de produção de cada unidade. Para isso, a Tabela 4 apresenta esses mesmos custos (€/kW) [38].

Tabela 4 Custos de produção das unidades geradoras

Custos de Produção	
Gerador	Custo (€/kW)
PS	0,455
PE	0,65
PH	0,195
PB	0,195
Rede Principal	0,0231

6.2. CENÁRIO 1: DESPACHO ECONÓMICO COM LIGAÇÃO À REDE PRINCIPAL

Com as características da carga e das linhas já identificadas, resta a identificação dos níveis de produção das unidades geradoras. Para este efeito, foi aplicado o problema do Despacho Económico em que, como já referido no capítulo 2.2., objetiva a minimização dos custos de produção satisfazendo a totalidade da carga da rede. Para isto, foi utilizado o *Excel*, para a resolução do problema.

Com este método foram obtidos os valores de produção (em kW) representados na Figura 21 e os respetivos custos (em €) na Figura 22.

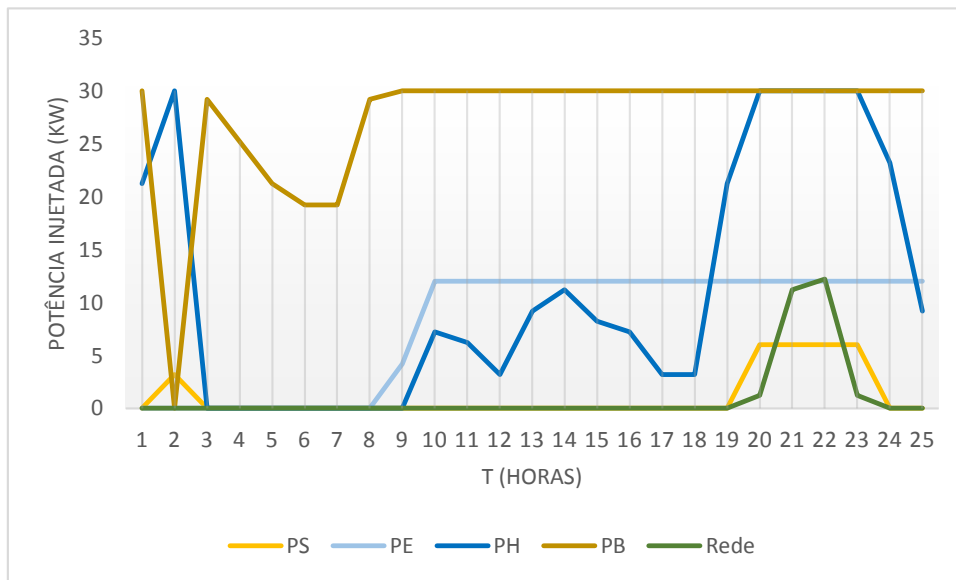


Figura 21 Níveis de produção das unidades geradoras – Cenário 1

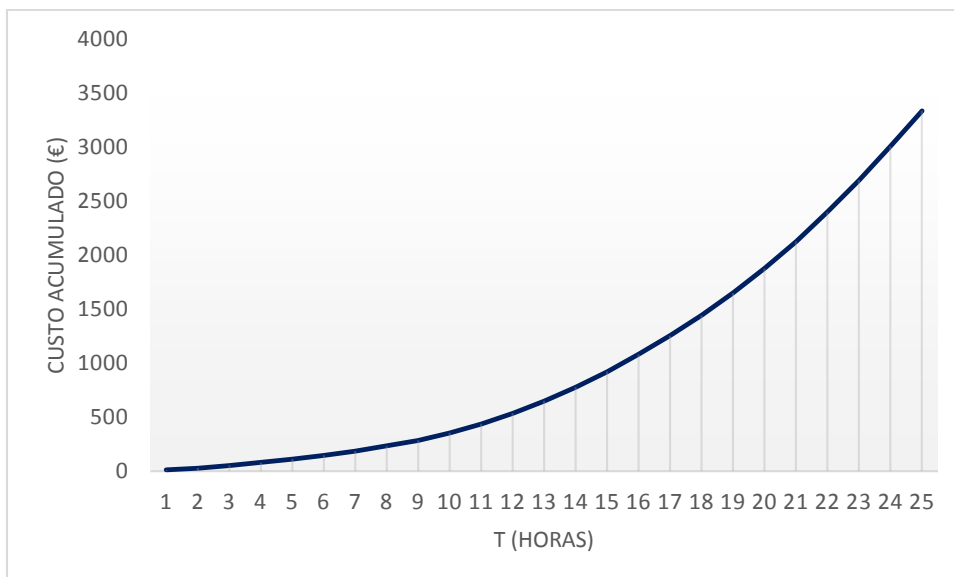


Figura 22 Custos de produção – Cenário 1

Tal como era de esperar, as unidades geradoras com menor custo de produção prevaleceram face às restantes, em que, numa análise diária, o Gerador PS injetou 27,19 kW, o Gerador PE injetou 196,19 kW, o Gerador PH injetou 283,58 kW e, por último, o Gerador PB injetou 683,19 kW. Relativamente à rede principal, entrou em funcionamento apenas nos períodos de maior necessidade a nível de procura, traduzindo-se numa injeção de 25,79 kW.

A nível de custos, o Gerador PS acumulou um custo de 12,37€, o Gerador PE um custo de 127,53€, o Gerador PH um custo de 55,29€, o Gerador PB um custo de 133,22€ e a rede principal um custo de 0,59€.

Numa perspetiva acumulada, a totalidade de produção de energia traduziu-se num custo de 3339,47€/dia (ver anexo C).

6.3. CENÁRIO 2: DESPACHO ECONÓMICO COM LIGAÇÃO À BATERIA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Neste segundo cenário, a rede sofre algumas alterações. De forma mais pormenorizada, dá-se a exclusão da ligação da rede com a rede principal e a inclusão de uma Bateria de Armazenamento de Energia.

Esta bateria tem o respetivo perfil e influência na rede representada no capítulo 6.3.1.

6.3.1. PERFIL DA BATERIA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

A BAE usada tem o seu perfil representado na Figura 23 (ver anexo B) e foi desenvolvida segundo [39].

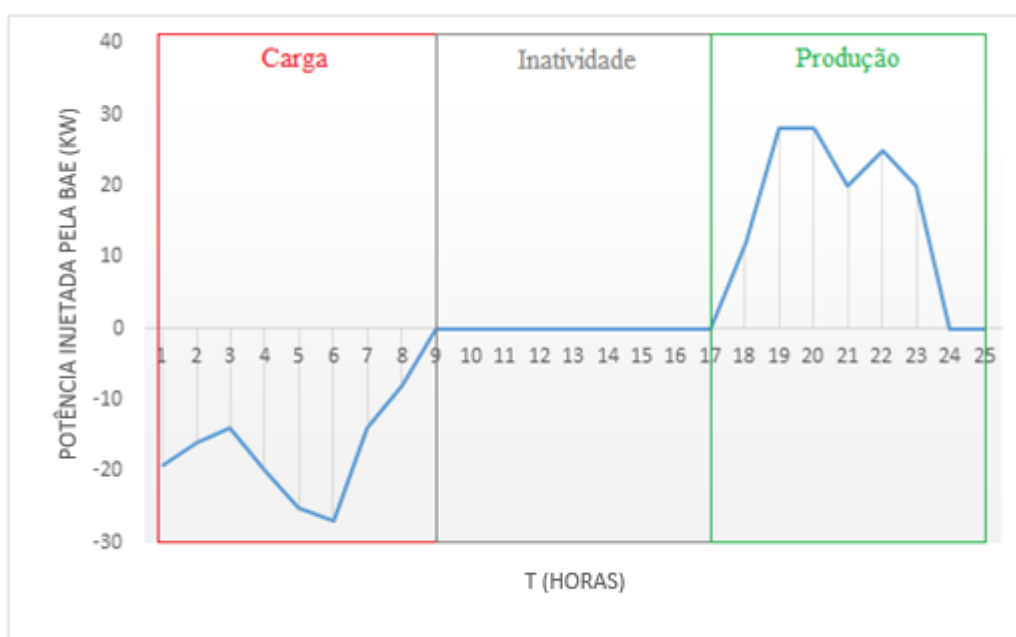


Figura 23 Perfil da Bateria de Armazenamento de Energia

Tal como se pode verificar, a BAE tem três estados possíveis: o período de carga, o período de inatividade e o período de produção.

O primeiro período refere-se ao período de tempo em que a BAE se encontra a carregar/armazenar energia, funcionando como carga (Figura 24b). O segundo período (inativo) refere-se ao período de tempo em que a BAE não se encontra nem a produzir energia nem a consumir. O último estado possível é o período de produção, que é quando a BAE injeta energia na rede, ou seja, está a descarregar a energia anteriormente armazenada (Figura 24a).

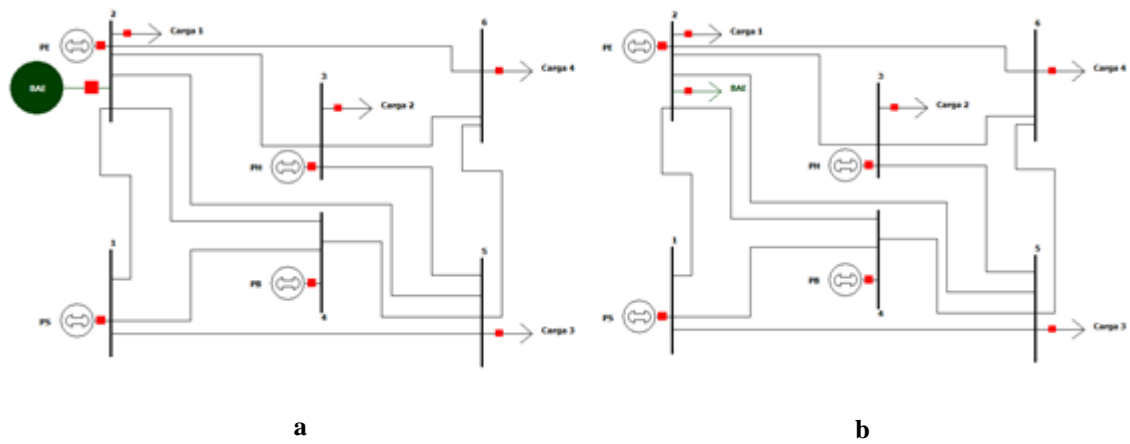


Figura 24 Funcionamento da BAE

A nível económico, tal como indicado na Tabela 5, a produção de eletricidade por parte da BAE tem um custo de 0,00407€/kW.

Tabela 5 Custo de Produção da Bateria de Armazenamento de Energia

Custos de Produção	
Gerador	Custo (€/kW)
BAE	0,00407

Com a inclusão da BAE, o perfil da carga vai, por sua vez, ser modificado (Figura 25, ver também anexo B).

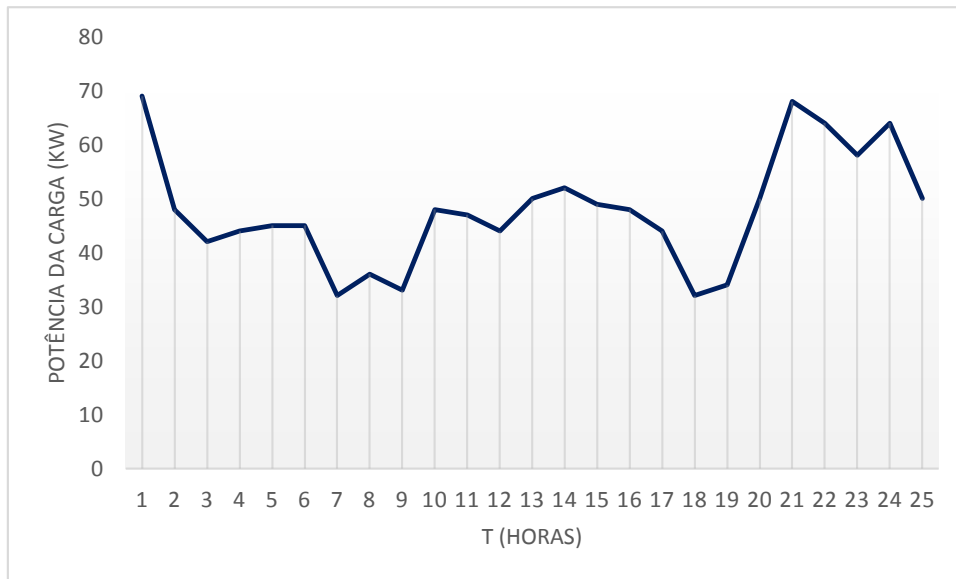


Figura 25 Perfil da Carga com Inclusão da Bateria de Armazenamento de Energia

Em que:

$$P_{carga_{final}} = P_{carga_{inicial}} - P_{BAE} \quad (6)$$

- Para os períodos em que a bateria funciona como carga ($P_{BAE} < 0$).

Exemplo de aplicação da equação (6):

$$P_{carga_{final}}(t = 0h00) = 50 - (-19) = 69 \text{ kW}$$

- Para os períodos em que a bateria funciona como gerador ($P_{BAE} > 0$).

Exemplo de aplicação da equação (6):

$$P_{carga_{final}}(t = 22h00) = 78 - (20) = 58 \text{ kW}$$

- Para os restantes períodos, ou seja, em que a bateria se encontre inativa, não existe qualquer variação do valor da carga.

Posto isto, o primeiro processo a ser tomado consiste na colocação da bateria, na qual foi determinado através do estudo referido no capítulo seguinte (6.3.2.).

6.3.2. COLOCAÇÃO DA BATERIA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Para se determinar qual a localização ótima da BAE, foram realizadas diversas simulações (ver anexo I).

Tendo como base o período do dia em que as necessidades da procura é mais exigente (69 kW, após influência da bateria), a BAE foi conectada a cada barramento individualmente, de forma a se conseguir averiguar em que caso é que existe menos perdas de transmissão.

Tabela 6 Colocação da Bateria de Armazenamento de Energia

	Barramentos					
	1	2	3	4	5	6
Perdas (kW)	1,198205	1,19802	1,198188	1,198348	1,19816	1,198187

Com base na Tabela 6, verifica-se que, apesar dos valores serem todos próximos entre si, o cenário mais favorável corresponde à colocação da BAE no barramento 2 (*Perdas* = 1,19802 kW) e o cenário mais desfavorável corresponde à colocação da BAE no barramento 4 (*Perdas* = 1,19835 kW).

É ainda de notar que esta designação de “local ótimo” é possível dado se tratar de uma BAE estática, isto é, ser um equipamento que, somente, pode ser instalado num nó da rede.

Para o caso de se tratar de uma BAE dinâmica, como é o exemplo dos veículos elétricos (que apesar de serem usados para consumo, quando conectados ao sistema podem servir igualmente para produção, caso a sua carga seja usada para injetar na rede), este planeamento da rede não era possível, devido à impossibilidade de se controlar a sua localização (fator este que apenas depende do respetivo utilizador). Neste caso, o único estudo que se poderia realizar era, através dos resultados da Tabela 6, avaliar o impacto que causaria um possível aglomerado deste tipo de veículos em cada barramento. Por outras palavras, caso houvesse um aumento momentâneo deste tipo de equipamentos conectados num determinado barramento, saber-se-ia de que forma é que, a nível técnico das perdas, a rede se iria comportar.

Retomando ao assunto inicial, já com a definição do sítio ótimo para a colocação da BAE finalizada, pode-se então proceder à resolução do problema do Despacho Económico com a bateria incluída na rede.

Para a sua resolução, e contrariamente ao efetuado no Cenário 1, recorreu-se a dois métodos diferentes: o *Excel* (já usado anteriormente) e o *Matlab*. Os respetivos resultados estão apresentados nas Figuras 26 e 27 (resultados obtidos a partir do *Excel*) e nas Figuras 28 e 29 (resultados obtidos a partir do *Matlab*).

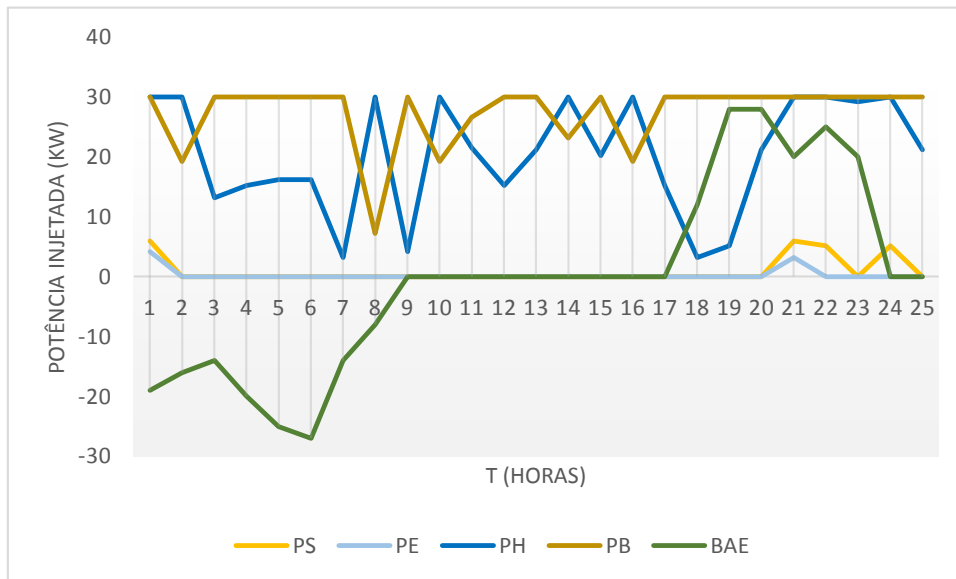


Figura 26 Níveis de Produção das Unidades Geradoras – Cenário 2 (*Excel*)

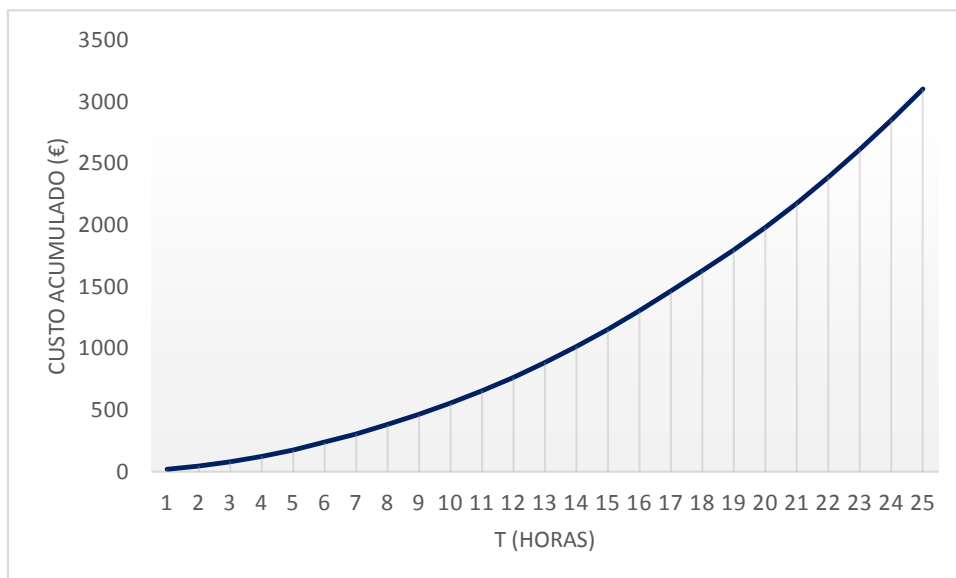


Figura 27 Custos de Produção - Cenário 2 (*Excel*)

Numa análise geral dos valores obtidos no *Excel*, o Gerador PS injetou 22,39 kW, o Gerador PE injetou 7,39 kW, o Gerador PH injetou 511,57 kW e, por último, o Gerador PB injetou 684,59 kW.

Traduzindo-se em custos de produção de 10,19€ para o Gerador PS, 4,81€ para o Gerador PE, 99,76€ para o Gerador PH e 133,49€ para o Gerador PB, dando um total acumulado de 3 099,84€/dia (ver anexo D).

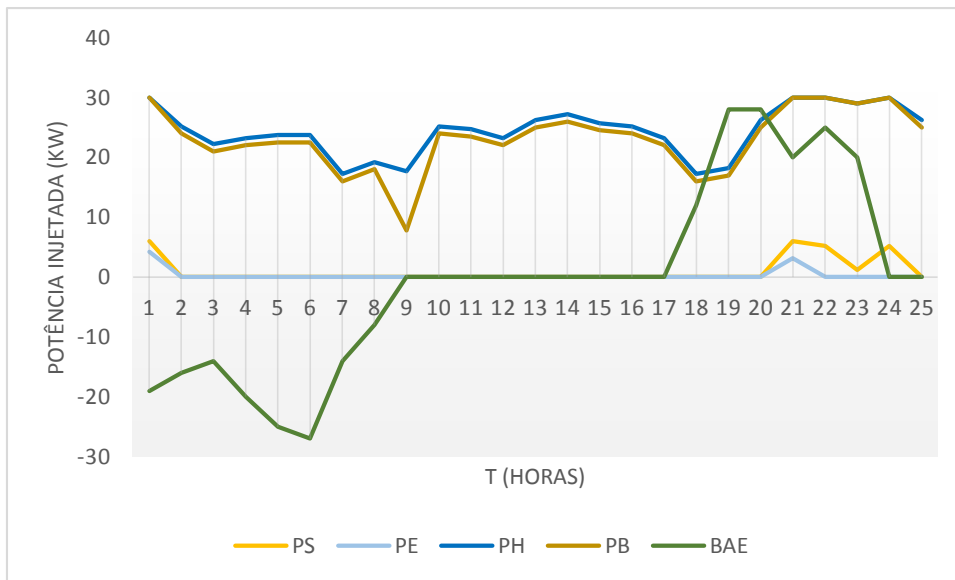


Figura 28 Níveis de Produção das Unidades Geradoras - Cenário 2 (*Matlab*)

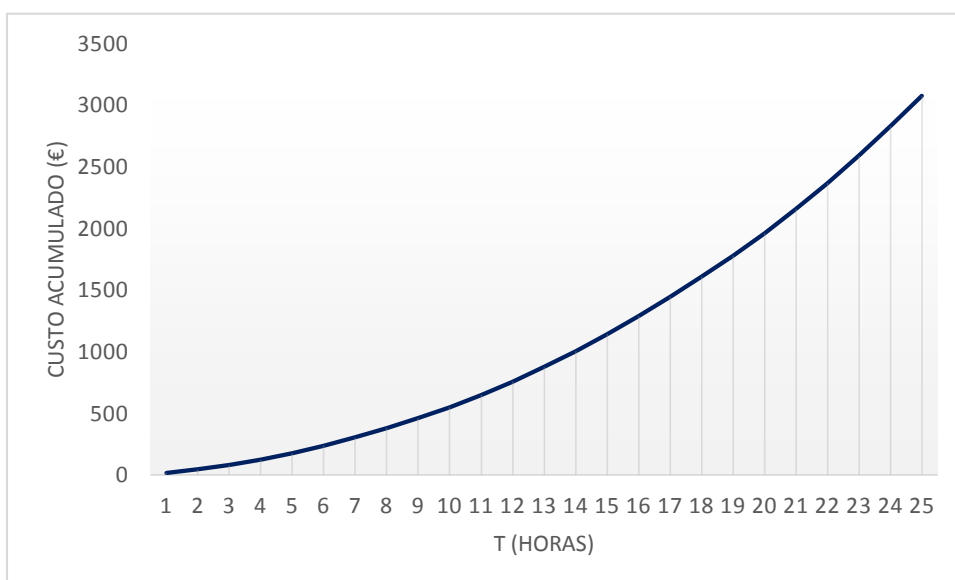


Figura 29 Custos de Produção - Cenário 2 (*Matlab*)

Analisando os valores obtidos a partir da ferramenta *Matlab*, o Gerador PS injetou 23,59 kW, o Gerador PE injetou 7,39 kW, o Gerador PH injetou 609,52 kW e, por último, o Gerador PB injetou 576,79 kW.

Relativamente ao custos, o Gerador PS acumulou um custo de 10,74€, o Gerador PE um custo de 4,81€, o Gerador PH um custo de 118,86€ e o Gerador PB um custo de 112,47€, totalizando uma acumulação de 3 071,99€/dia (ver anexo E).

6.4. COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS

No presente capítulo foi apresentado ao leitor a aplicação do método do Despacho Económico na rede, sob a forma de rede conectada à rede principal e sob a forma isolada, de forma a oferecer uma análise prática dos temas desenvolvidos nos capítulos anteriores.

Pela análise dos gráficos anteriores, comprova-se que para o período inicial os níveis de produção do Cenário 2 assumem valores maiores do que aos observados no Cenário 1 (isto devido à inclusão da bateria e esta estar na sua fase de carregamento). Por outro lado, quando a bateria entra na sua fase de descarregamento, dá-se uma diminuição brusca dos níveis de produção das unidades geradoras do sistema.

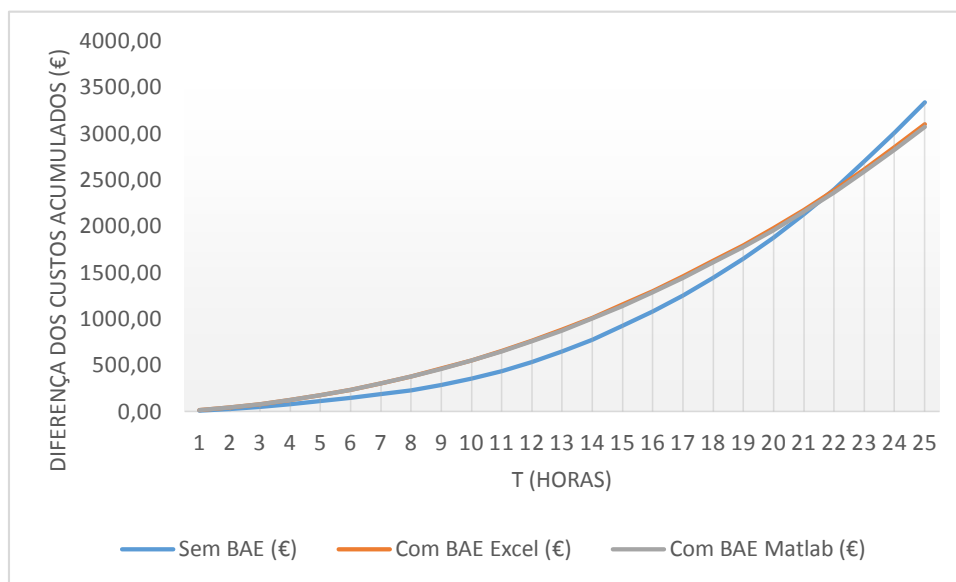


Figura 30 Comparação dos Custos de Produção

Numa análise comparativa (Figura 30), pode-se constatar que, tal como era de esperar, a inclusão de uma bateria na rede resulta em custos de produção diários mais baixos (3 099,84€/dia - *Excel* e 3 071,99€/dia - *Matlab*) do que com a rede ligada à rede principal e sem conexão com a bateria (3 339,47€). Em termos percentuais, houve um decréscimo de 7,18% para a simulação no *Excel* e um decréscimo de 8,01% para a simulação no *Matlab* (ver anexo F).

Em termos dos valores das perdas de transmissão, a inclusão de uma BAE, para além da redução dos custos de produção, reduz ainda, de forma ligeira, as perdas da rede (Figura 31).

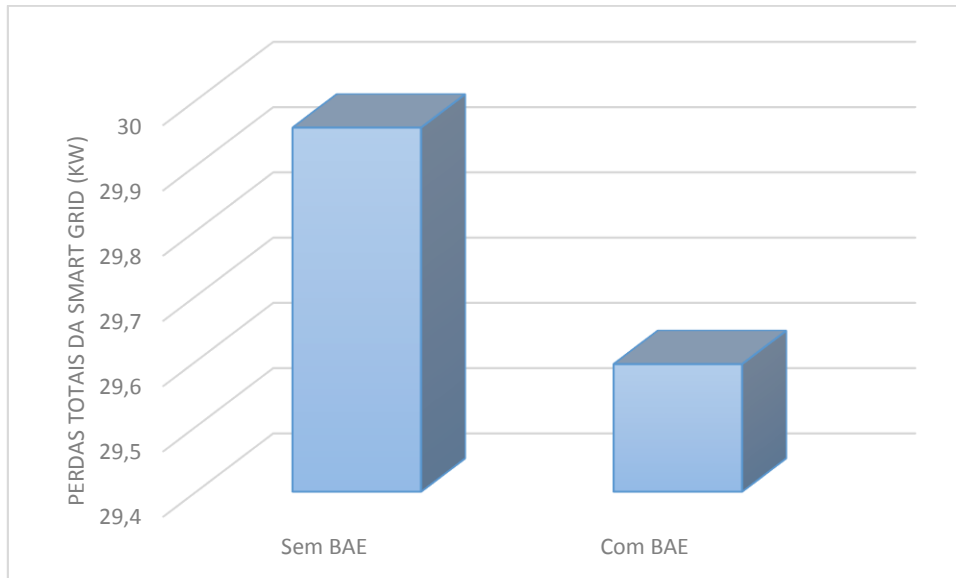


Figura 31 Comparação das Perdas de Transmissão

Analisando a nível numérico, a rede sem a presença da BAE possui um valor de perdas de 29,56 kW, enquanto que com a sua presença possui um valor de 29,53 kW (redução de 0,01%).

Outro estudo que deve ser analisado, consiste na observação do comportamento das linhas, ao longo de um dia (Figura 32 e Figura 33).

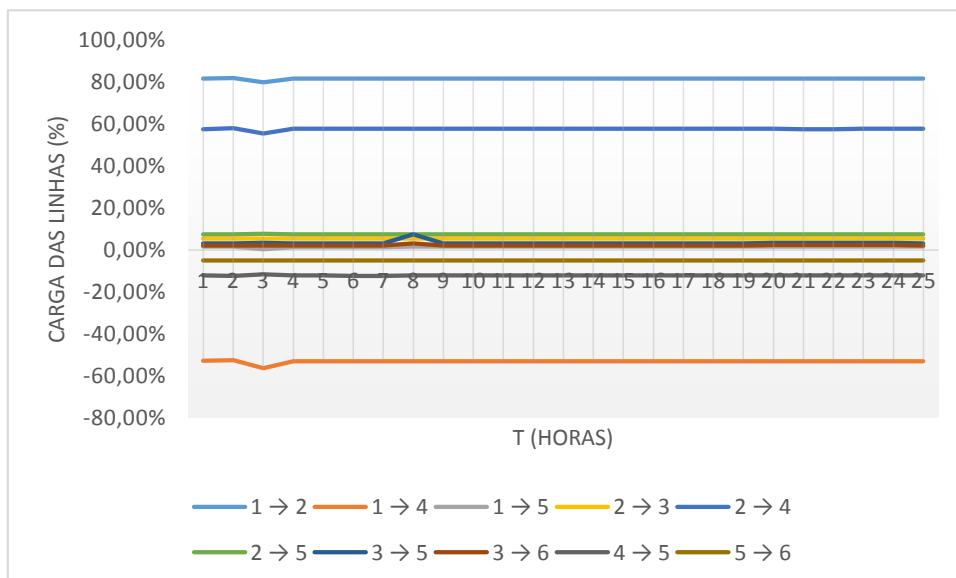


Figura 32 Comportamento dos Limites Físicos das Linhas da Rede sem BAE

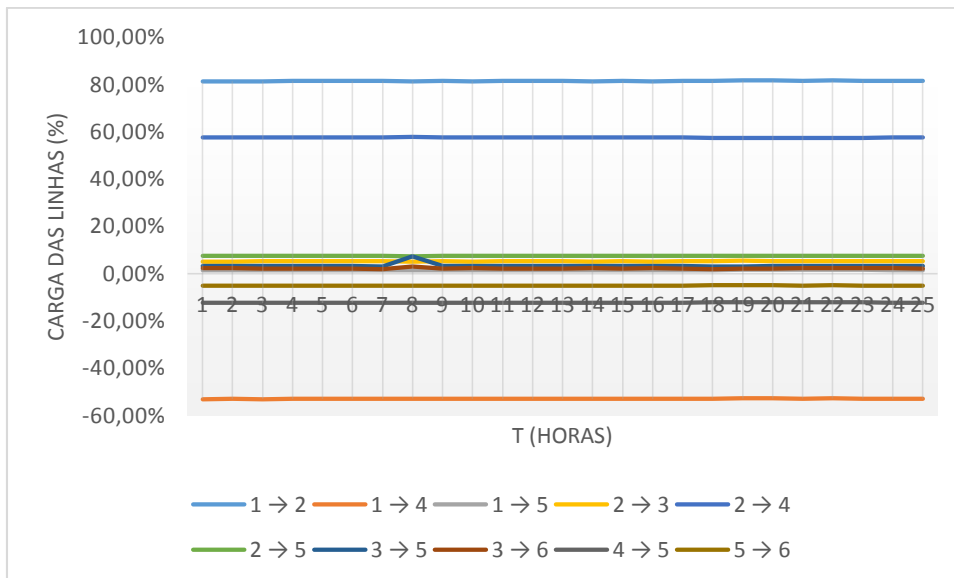


Figura 33 Comportamento dos Limites Físicos das Linhas da Rede com BAE

Como se pode comprovar, o número total de linhas que se encontra mais próxima da sobrecarga e que se encontra em operação normal de funcionamento, são iguais para os dois cenários, em que 3 delas se encontram acima dos valores médios estabelecidos e as restantes 7 se encontram dentro desses valores (ver anexos G e H).

Relativamente às que se encontram em estado mais crítico, a linha 1-2 é a que apresenta um valor médio percentual mais elevado, de aproximadamente igual a 81% de sobrecarga (tanto para um cenário como para o outro). A linha em melhores condições é a 3-6, com um valor médio de 2% de carga.

Em conclusão, pode-se confirmar que a condição do limite das linhas, referida no capítulo 5.3., foi verificado em ambos os cenários, não sendo necessária uma reconfiguração dos componentes da rede.

Porém, caso as linhas estivessem em sobrecarga e não houvesse ações relativas a essa reconfiguração, iriam surgir possíveis complicações na rede, tais como o aparecimento de *blackouts* (apagões), que resultam em falhas de fornecimento de energia elétrica e, assim, na redução de qualidade de serviço. Estas sobrecargas poderiam ainda danificar os equipamentos da rede e criar assim ainda mais gastos, com a reparação destes ou até com a sua substituição [40].

6.5. VIABILIDADE ECONÓMICA

A viabilidade económica consiste numa análise baseada em projeções e números, que tem como finalidade conseguir saber o potencial de retorno de investimento de um determinado projeto e saber, desta forma, se esse mesmo projeto deve ir adiante ou não. Assim, depois de analisadas as vantagens de incorporar uma BAE numa *Smart Grid*, é agora determinada a sua viabilidade económica.

Para este efeito, o primeiro passo a ser tomado incidiu em tomar como base 3 tipos de baterias distintas, em que cada uma tem o seu respetivo preço de compra dos equipamentos, o preço de operação e manutenção e o preço relativo a outros fatores, tais como a mão-de-obra (Tabela 7) [41].

Tabela 7 Preços de Investimento de 3 Tipos de Baterias

	A	B	C
Equipamentos (€)	54 000	180 000	13 500
Operação e Manutenção (€)	16 500	45 000	18 000
Outros (€)	0	45 000	54 000
Investimento (€)	70 500	270 000	85 500
Ciclo de Vida (anos)	4	15	15

Nota: A bateria representada pela letra “A”, trata-se de uma bateria de chumbo-ácido; pela letra “B” está representado um sistema de acumulador elétrico; por fim, pela letra “C” está representado um sistema de ar comprimido.

Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 7 e os valores dos custos de produção obtidos nos capítulos 6.2. (3 339,47€/dia) e 6.3. (3 099,84€/dia), consegue-se indicar qual os gastos que a rede tem em produção num dia. Desta forma, e assumindo que todos os dias do ano têm um perfil de produção idêntico, facilmente se conclui quais são os gastos anuais em produção (Tabela 8).

Tabela 8 Gastos Anuais de Produção

	Sem BAE	Com BAE
Gastos de Produção (€/dia)	3 339,47	3 099,84
Gastos de Produção (€/ano)	1 218 906,55	1 131 441,60

Com os valores anuais encontrados, e como indicado na Tabela 9, para uma visão de 6 anos:

- Quando a rede se encontra sem a BAE, os gastos por ano são sempre os mesmos (excluindo os custos de operação e manutenção das unidades geradoras), resultando assim em 8 532 345,85€.
- Quando a rede se encontra com a BAE, os gastos por ano vão diferir do valor apresentado na Tabela 8, pois os valores devem ainda incluir os custos de operação e manutenção da bateria e, se necessário, os custos de investimento necessários para instalar uma bateria nova (para a bateria B e C, este último fator não se comprova, pois o ciclo de vida destas é superior ao período de tempo analisado). Assim, ao fim de 6 anos, a rede com a bateria A tem um gasto de 8 143 591,20€, com a bateria B tem um gasto de 8 460 091,20€ e a bateria C um gasto de 8 112 091,20€.

Tabela 9 Comparação dos Gastos Anuais Numa Visão de 6 Anos

Visão de 6 anos				
	Gastos sem BAE (€)	Gastos com BAE (€)		
t (anos)	Rede sem auxílio de BAE	A	B	C
0	1 218 906,55	1 201 941,60	1 401 441,60	1 215 441,60
1	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
2	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
3	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
4	1 218 906,55	1 201 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
5	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
6	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60

8 532 345,85	8 143 591,20	8 460 091,20	8 112 091,20
--------------	--------------	--------------	--------------

388 754,65	72 254,65	420 254,65
------------	-----------	------------

Nota: O Verde-escuro representa que bateria tem uma maior diferença face à rede sem BAE; o Amarelo representa a segunda bateria com maior diferença face à rede sem BAE; o Vermelho representa a bateria que apresenta menor diferença face à rede sem BAE.

Conclui-se então que, ao fim de 6 anos, a BAE que apresenta uma maior diferença positiva é a bateria C (sistema de ar comprimido), seguidamente da bateria A (bateria de chumbo-ácido) e, por fim, a bateria B (sistema de acumulador elétrico). Em termos numéricos, A

apresenta uma diferença positiva de 388 754,65€, B uma diferença positiva de 72 254,65€ e C uma diferença positiva de 420 254,65€.

Através de uma análise da diferença entre os gastos acumulados da rede sem ligação à BAE e com ligação à BAE (Figura 34), é possível determinar a partir de que ano é que cada bateria se torna economicamente viável (ver anexo J).

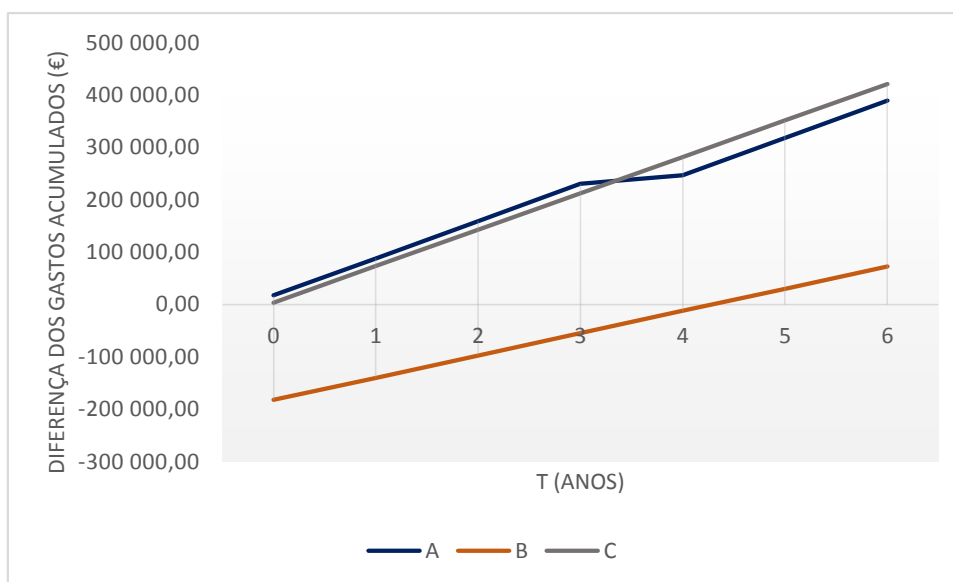


Figura 34 Diferença dos Gastos Acumulados Numa Visão de 6 anos

Como se pode verificar, a bateria A e C não têm nenhum ponto negativo, o que significa que as duas são economicamente viáveis logo a partir do ano 0. Por outro lado, a bateria B só passa a ser economicamente viável a partir do quarto ano.

Encontrados os valores do tempo de viabilidade de cada bateria nestas circunstâncias, realizou-se um segundo estudo, em que o que difere relativamente ao primeiro é o período de estudo, passando de 6 para 20 anos (Tabela 10).

Tabela 10 Comparação dos Gastos Anuais Numa Visão de 20 Anos

Visão de 20 anos				
	Gastos sem BAE (€)	Gastos com BAE (€)		
t (anos)	Rede sem auxílio de BAE	A	B	C
0	1 218 906,55	1 201 941,60	1 401 441,60	1 215 441,60
1	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
2	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
3	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
4	1 218 906,55	1 201 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
5	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
6	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
7	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
8	1 218 906,55	1 201 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
9	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
10	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
11	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
12	1 218 906,55	1 201 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
13	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
14	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
15	1 218 906,55	1 147 941,60	1 401 441,60	1 149 441,60
16	1 218 906,55	1 201 941,60	1 176 441,60	1 215 441,60
17	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
18	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
19	1 218 906,55	1 147 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60
20	1 218 906,55	1 201 941,60	1 176 441,60	1 149 441,60

25 597 037,55	24 430 773,60	25 155 273,60	24 270 273,60
---------------	---------------	---------------	---------------

1 166 263,95	441 763,95	1 326 763,95
--------------	------------	--------------

Tal como já tinha acontecido para uma visão de 6 anos, a bateria C voltou a ser a bateria com os resultados mais favoráveis, com uma diferença positiva de 1 326 763,95€, seguida da bateria A com uma diferença positiva de 1 166 263,95€ e, mais uma vez no fim, a bateria B com uma diferença positiva de 441 763,95€.

Assim como a ordem apresentada anteriormente, a análise da diferença entre os gastos acumulados da rede sem ligação à BAE e com ligação à BAE, para uma visão de 20 anos (Figura 35), é também igual ao estudo anterior (ver anexo J).

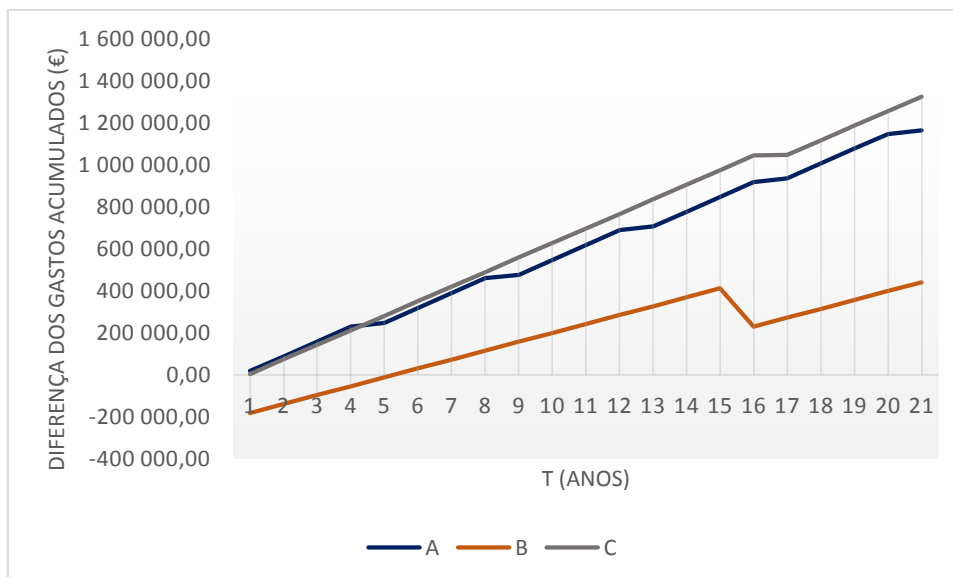


Figura 35 Diferença dos Gastos Acumulados Numa Visão de 20 anos

Mais uma vez, a bateria A e C apresentam viabilidade logo desde o início e a bateria B apresenta viabilidade a partir do quarto ano.

Em suma, tanto para uma visão de 6 anos como para a de 20 anos, constata-se que a bateria A e C são as baterias que apresentam condições mais favoráveis de serem aplicadas. Contudo, a bateria C é a preferencial entre as duas, não só pela análise feita ao longo deste capítulo, como também devido ao seu ciclo de vida (15 anos), que é bastante superior face à bateria A (4 anos).

Em termos técnicos, a bateria C (sistema de ar comprimido), trata-se de uma tecnologia que faz o armazenamento da energia mecanicamente, sob a forma de ar comprimido. Aquando da necessidade de injetar energia na rede, o ar é expandido novamente. Como se trata de uma tecnologia que utiliza maioritariamente o ar, é portanto, um sistema com uma elevada sensibilidade ambiental, o que também é outro fator preponderante para a sua escolha.

7. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

Neste relatório foram abordados aspetos teóricos sobre *Smart Grids* e Baterias de Armazenamento de Energia, com principal incidência nas vantagens técnicas e económicas da introdução deste equipamento neste tipo de redes. Tal estudo foi possível graças à utilização de técnicas de otimização, que foi executado na rede de estudo, sob a forma de diversos cenários, desde a conexão/desconexão da *Smart Grid* com uma rede elétrica principal e a inclusão/exclusão de uma Bateria de Armazenamento de Energia.

Através dos respetivos cálculos e simulações, tornou-se evidente que, com a integração destas baterias numa *Smart Grid*, os custos associados à produção de energia elétrica passam a ser mais baixos. A eficiência do sistema torna-se também a ser maior, pois através de uma comparação dos níveis das perdas de transmissão (apesar de não ter assumido grandes diferenças) sofreu uma redução.

Numa análise comparativa dos valores obtidos em cada *software* (*Excel* e *Matlab*), as diferenças numéricas não são relevantes, tendo-se verificado uma diferença de 27,85 €/dia,

que se traduz em 10 165,25 €/ano de custos de produção, ou seja, um valor inferior a uma unidade percentual (0,90%) dos custos totais num ano.

Todo o percurso realizado durante a execução do projeto a nível dos assuntos abordados apresentou-se de fundamental importância, colmatando numa experiência enriquecedora, a nível académico e pessoal.

Num trabalho futuro, aspetos aqui desenvolvidos poderiam ser alvo de melhoramento. O primeiro assunto que poderia ser alargado, seria realizar para além da análise económica, uma análise técnica da implementação de variadas tecnologias de baterias. Outro assunto abordado foi a colocação ótima da BAE através da análise das perdas da rede. Nesta temática, o desenvolvimento que poderia ser feito era o acréscimo da condição da gestão do congestionamento. Por fim, tal como referido no capítulo do estudo da colocação da BAE, os veículos elétricos teriam uma análise diferente. Desta forma, como o conceito de veículos elétricos se caracteriza por ser bastante interessante e atual, seria aliciante uma abordagem mais pormenorizada sobre a implementação e otimização da sua utilização.

Referências Documentais

- [1] “Energia dos Sonhos” – Revista Controle e Instrumentação, Edição nº 163, 2010.
- [2] “Smart Grid – A Rede Elétrica Inteligente do Futuro”, Siemens, 2015.
- [3] Jornal de Santa Catarina, nº 12043, Setembro de 2010.
- [4] “Relatório Smart Grid” – Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes, Ministério de Minas e Energia, 2010. MAURO, Douglas; SCHMIDT, Kevin—
Essential SNMP, Help for System and Network Administrators. O’Reilly, 2001.
ISBN 0-596-00020-0.
- [5] Larroza Fonseca, M., Torri, L., Götz, M. e Eduardo Pereira, C., “Medição Eletrônica de Eletricidade”, Edição 93, Outubro de 2013.
- [6] Areias, M., “Scada in a cloud-based architecture”, 2013.
- [7] Aires Messias, A., “Redes Inteligentes de Energia – Smart Grids” – 9º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Eletrotécnica, 2009.
- [8] Strohmeier, R., “Horizon 2020 and Smart Grids”.
- [9] *Horizon 2020*, www.ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/secure-clean-and-efficient-energy.
- [10] <http://protocolo-de-kyoto.info>.
- [11] Portal das Energias Renováveis, “Biomassa”, www.energiasrenovaveis.com.
- [12] “Geração Distribuída”, ELCO – Engenharia de Montagens, Ltda., 2012.
- [13] APREN, “A eletricidade de origem renovável em Portugal Continental em Dezembro de 2014”, 6 de Janeiro de 2015.
- [14] APREN, “Leitura da APREN da Fatura Energética Portuguesa de 2013”, 9 de Maio de 2014.
- [15] www.futuragora.pt/2014/09/protocolo-de-quioto.
- [16] Garcia, R., “Portugal já cumpriu o Protocolo de Quioto”, Jornal Público, 10 de Maio de 2014.
- [17] Quanta Technology, “Electric Energy Storage Systems”, 2014.
- [18] Energy Storage Association, <http://energystorage.org/energy-storage/storage-technology-comparisons/thermal>, 2015.

- [19] ERSE, Qualidade de Serviço,
<http://www.erse.pt/pt/electricidade/regulamentos/qualidadedeservico/Paginas/default.aspx>.
- [20] Ibrahim, H., Ilinca, A., Perron, J., “Energy Storage Systems – Characteristics and Comparisons, Renewable and Sustainable Energy Reviews”, Volume 12, Pages 1221-1250, June 2008.
- [21] REN, Diagrama da Carga RNT,
<http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/Diagrama deCargadaRNT.aspx>.
- [22] Ferreira, J., Ramos, S., Vale, Z., Soares, J., “Transmission Expansion Planning supported by Data Mining Based Methodology”, *IEEE Intelligent Systems – AI in Power Systems*, vol. 26, no.2, pág.28-37, 2011.
- [23] Dudu, J., Martin, P., Marlin, A., Pouget, J., “An Optimal Formulation and Solution of Short-range Operating Problems for a Power System with Flow Constraints”, 1972.
- [24] Chen, C., Wang, S., “Branch-and Bound Scheduling for Thermal Generating Units”, 1993.
- [25] Fan, J., Zhang, L., “Real-time Economic Dispatch with Line Flow and Emission Constraints Using Quadratic Programming”, 1998.
- [26] Jabr, R., Coonick, A., and Cory, B., “A Homogeneous Linear Programming Algorithm for the Security Constrained Economic Dispatch Problem”, 2000.
- [27] Pothiya, S., Ngamroo, I., and Kongprawechnon, W., “Application of Multiple Tabu Search Algorithm to Solve Dynamic Economic Dispatch Considering Generator Constraints”, 2007.
- [28] Wong, K. and Fong, C., “Simulated Annealing Based Economic Dispatch Algorithm”, 1993.
- [29] Lin, W. M., Cheng, F. S., and Tsay, M. T., “An Improved Tabu Search for Economic Dispatch with Multiple Minima”, 2002.
- [30] Sinha, N., Chakrabarti, R., and Chattopadhyay, P. K., “Evolutionary Programming Techniques for Economic Load Dispatch”, 2003.
- [31] Jeyakumar, D., Jayabarathi, T., and Raghunathan, T., “Particle Swarm Optimization for Various Types of Economic Dispatch Problems”, 2006.

- [32] Nomana, N. and Iba, H., “Differential Evolution for Economic Load Dispatch Problems”, 2008.
- [33] Alsumait, J., Sykulski, J., and Al-Othman, A., “A Hybrid GA-PS-SPQ Method to Solve Power System Valve-point Economic Dispatch Problems”, 2010.
- [34] M. Basu, “Dynamic economic emission dispatch using nondominated sorting genetic algorithm-II”, vol. 6, Fevereiro de 2008.
- [35] <http://www.excel-easy.com/data-analysis/solver.html>.
- [36] <http://www.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html?refresh=true>.
- [37] Ding, M., Zhang, Y.Y., Mao, M.Q., Yang, W., Liu, X.P., “Operation Optimization for Microgrids under Centralized Control”, 2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems.
- [38] <http://www.portal-energia.com/microgeracao-em-portugal/>.
- [39] Liu, X.P., Ding, M., Han, J., Peng, Y., “Dynamic Economic Dispatch for Microgrids Including Battery Energy Storage”, 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems, 2010.
- [40] Ferreira, J., Vale, Z., Cardoso, J., Puga, R., “Congestion Management Methodology with reformulated Optimal Power Flow”, na 10th. Spanish-Portuguese Congress on Electrical Engineering (XCHLEEE), Julho 2007.
- [41] <https://windlift.wordpress.com/2008/03/01/kite-energy-storage-compressed-air-and-hydraulic-accumulators/>.

Anexo A. Classificação das Interrupções

Neste anexo são classificados os diferentes tipos de interrupções que existem.

ORIGEM	TIPO	CAUSAS
PRODUÇÃO TRANSPORTE DISTRIBUIÇÃO	PREVISTAS (PROGRAMADAS)	Razões de serviço Razões de interesse público Facto imputável ao cliente Acordo com o cliente
	ACIDENTAIS (IMPREVISTAS)	Casos fortuitos ou força maior Razões de segurança Próprias Outras redes ou instalações

Anexo B. Perfil da Carga e Perfil da BAE

Neste anexo são discriminados os valores do perfil da carga, do perfil da BAE e do perfil da carga após influência da BAE.

t (h)	Potência carga (MW)	Potência BAE (MW)	Potência carga final (MW)
0	50	-19	69
1	32	-16	48
2	28	-14	42
3	24	-20	44
4	20	-25	45
5	18	-27	45
6	18	-14	32
7	28	-8	36
8	33	0	33
9	48	0	48
10	47	0	47
11	44	0	44
12	50	0	50
13	52	0	52
14	49	0	49
15	48	0	48
16	44	0	44
17	44	12	32
18	62	28	34
19	78	28	50
20	88	20	68
21	89	25	64
22	78	20	58
23	64	0	64
24	50	0	50

Anexo C. Despacho Económico – Cenário 1

Neste anexo são discriminados os valores dos resultados do Despacho Económico da rede sem BAE e sem influência das perdas – *Excel*.

t	Geração (kW)						Custos Acumulados (€)						
	Rede	G1	G2	G3	G4		t	Rede	G1	G2	G3	G4	Total
0	1,06E-07	0	0	20	30		0	2,45919E-09	0	0	3,9	5,85	9,75
1	0	2,000002	0	30	0		1	2,45919E-09	0,910001	0	9,75	5,85	26,26
2	0	0	0	0	28		2	2,45919E-09	0,910001	0	9,75	11,31	48,23
3	0	0	0	0	24		3	2,45919E-09	0,910001	0	9,75	15,99	74,88
4	0	0	0	0	20		4	2,45919E-09	0,910001	0	9,75	19,89	105,43
5	0	0	0	0	18		5	2,45919E-09	0,910001	0	9,75	23,4	139,49
6	0	0	0	0	18		6	2,45919E-09	0,910001	0	9,75	26,91	177,06
7	0	0	0	0	28		7	2,45919E-09	0,910001	0	9,75	32,37	220,09
8	0	0	3,000018	0	30		8	2,45919E-09	0,910001	1,950012	9,75	38,22	270,92
9	0	0	12	6	30		9	2,45919E-09	0,910001	9,750012	10,92	44,07	336,57
10	0	0	12	5	30		10	2,45919E-09	0,910001	17,55001	11,895	49,92	416,845
11	0	0	12	2	30		11	2,45919E-09	0,910001	25,35001	12,285	55,77	511,1601
12	0	0	12	8	30		12	2,45919E-09	0,910001	33,15001	13,845	61,62	620,6851
13	0	0	12	10	30		13	2,45919E-09	0,910001	40,95001	15,795	67,47	745,8101
14	0	0	12	7	30		14	2,45919E-09	0,910001	48,75001	17,16	73,32	885,9501
15	0	0	12	6	30		15	2,45919E-09	0,910001	56,55001	18,33	79,17	1040,91
16	0	0	12	2	30		16	2,45919E-09	0,910001	64,35001	18,72	85,02	1209,91
17	0	0	12	2	30		17	2,45919E-09	0,910001	72,15001	19,11	90,87	1392,95
18	0	0	12	20	30		18	2,45919E-09	0,910001	79,95001	23,01	96,72	1593,54
19	0	6	12	30	30		19	2,45919E-09	3,640001	87,75001	28,86	102,57	1816,36
20	10	6	12	30	30		20	2,45919E-09	6,370001	95,55001	34,71	108,42	2061,41
21	11	6	12	30	30		21	2,45919E-09	9,100001	103,35	40,56	114,27	2328,69
22	0	6	12	30	30		22	2,45919E-09	11,83	111,15	46,41	120,12	2618,2
23	0	0	12	22	30		23	2,45919E-09	11,83	118,95	50,7	125,97	2925,65
24	0	0	12	8	30		24	2,45919E-09	11,83	126,75	52,26	131,82	3248,31

E os valores dos resultados do Despacho Económico da rede sem BAE e com influência das perdas – *Excel*.

t	Geração (kW)					Perdas (kW)	Custos Acumulados (€)						
	Rede	G1	G2	G3	G4		t	Rede	G1	G2	G3	G4	Total
0	0	0	0	21,19803	30	1,198033	0	0	0	0	4,133617	5,85	9,983616
1	0	3,197739	0	30	0	1,197737	1	0	1,454971	0	9,983617	5,85	27,2722
2	0	0	0	0	29,2015	1,2015	2	0	1,454971	0	9,983617	11,54429	50,25508
3	0	0	0	0	25,19882	1,19882	3	0	1,454971	0	9,983617	16,45806	78,15173
4	0	0	0	0	21,1981	1,1981	4	0	1,454971	0	9,983617	20,59169	110,182
5	0	0	0	0	19,1981	1,1981	5	0	1,454971	0	9,983617	24,33532	145,9559
6	0	0	0	0	19,1981	1,1981	6	0	1,454971	0	9,983617	28,07895	185,4735
7	0	0	0	0	29,1982	1,1982	7	0	1,454971	0	9,983617	33,7726	230,6846
8	0	0	4,198218	0	30	1,1982	8	0	1,454971	2,728842	9,983617	39,6226	284,4747
9	0	0	12	7,1982	30	1,1982	9	0	1,454971	10,52884	11,38727	45,4726	353,3184
10	0	0	12	6,1982	30	1,1982	10	0	1,454971	18,32884	12,59591	51,3226	437,0207
11	0	0	12	3,1982	30	1,1982	11	0	1,454971	26,12884	13,21956	57,1726	534,9967
12	0	0	12	9,1982	30	1,1982	12	0	1,454971	33,92884	15,01321	63,0226	648,4163
13	0	0	12	11,1982	30	1,1982	13	0	1,454971	41,72884	17,19686	68,8726	777,6696
14	0	0	12	8,1982	30	1,1982	14	0	1,454971	49,52884	18,79551	74,7226	922,1715
15	0	0	12	7,1982	30	1,1982	15	0	1,454971	57,32884	20,19916	80,5726	1081,727
16	0	0	12	3,1982	30	1,1982	16	0	1,454971	65,12884	20,82281	86,4226	1255,556
17	0	0	12	3,1982	30	1,1982	17	0	1,454971	72,92884	21,44646	92,2726	1443,659
18	0	0	12	21,1982	30	1,1982	18	0	1,454971	80,72884	25,58011	98,1226	1649,546
19	1,1982	6	12	30	30	1,1982	19	0,027678	4,184971	88,52884	31,43011	103,9726	1877,69
20	11,1981	6	12	30	30	1,1981	20	0,286355	6,914971	96,32884	37,28011	109,8226	2128,323
21	12,1981	6	12	30	30	1,1981	21	0,568131	9,644971	104,1288	43,13011	115,6726	2401,467
22	1,1982	6	12	30	30	1,1982	22	0,595809	12,37497	111,9288	48,98011	121,5226	2696,87
23	0	0	12	23,1982	30	1,1982	23	0,595809	12,37497	119,7288	53,50376	127,3726	3010,446
24	0	0	12	9,1982	30	1,1982	24	0,595809	12,37497	127,5288	55,2974	133,2226	3339,465

Anexo D. Despacho Económico – Cenário 2.1

Neste anexo são discriminados os valores dos resultados do Despacho Económico da rede com BAE e sem influência das perdas – *Excel*.

Geração (kW)						Custos Acumulados (€)						
t	G1	G2	G3	G4	BAE	t	G1	G2	G3	G4	BAE	Total
0	6	3	30	30	-19	0	2,73	1,95	5,85	5,85	-0,07733	16,30267
1	0	0	30	18	-16	1	2,73	1,95	11,7	9,36	-0,14245	41,90022
2	0	0	12	30	-14	2	2,73	1,95	14,04	15,21	-0,19943	75,63079
3	0	0	14	30	-20	3	2,73	1,95	16,77	21,06	-0,28083	117,86
4	0	0	15	30	-25	4	2,73	1,95	19,695	26,91	-0,38258	168,7624
5	0	0	15	30	-27	5	2,73	1,95	22,62	32,76	-0,49247	228,3299
6	0	0	2	30	-14	6	2,73	1,95	23,01	38,61	-0,54945	294,0805
7	0	0	30	6	-8	7	2,73	1,95	28,86	39,78	-0,58201	366,8185
8	0	0	3	30	0	8	2,73	1,95	29,445	45,63	-0,58201	445,9914
9	0	0	30	18	0	9	2,73	1,95	35,295	49,14	-0,58201	534,5244
10	0	0	20,4	26,6	0	10	2,73	1,95	39,273	54,327	-0,58201	632,2224
11	0	0	14	30	0	11	2,73	1,95	42,003	60,177	-0,58201	738,5004
12	0	0	20	30	0	12	2,73	1,95	45,903	66,027	-0,58201	854,5284
13	0	0	30	22	0	13	2,73	1,95	51,753	70,317	-0,58201	980,6964
14	0	0	19	30	0	14	2,73	1,95	55,458	76,167	-0,58201	1116,419
15	0	0	30	18	0	15	2,73	1,95	61,308	79,677	-0,58201	1261,502
16	0	0	14	30	0	16	2,73	1,95	64,038	85,527	-0,58201	1415,165
17	0	0	2	30	12	17	2,73	1,95	64,428	91,377	-0,53317	1575,117
18	0	0	4	30	28	18	2,73	1,95	65,208	97,227	-0,41921	1741,813
19	0	0	20	30	28	19	2,73	1,95	69,108	103,077	-0,30525	1918,373
20	6	2	30	30	20	20	5,46	3,25	74,958	108,927	-0,22385	2110,744
21	4	0	30	30	25	21	7,28	3,25	80,808	114,777	-0,1221	2316,737
22	0	0	28	30	20	22	7,28	3,25	86,268	120,627	-0,0407	2534,121
23	4	0	30	30	0	23	9,1	3,25	92,118	126,477	-0,0407	2765,025
24	0	0	20	30	0	24	9,1	3,25	96,018	132,327	-0,0407	3005,68

E os valores dos resultados do Despacho Económico da rede com BAE e com influência das perdas – *Excel*.

Geração (kW)							Custos Acumulados (€)						
t	G1	G2	G3	G4	BAE	Perdas (kW)	t	G1	G2	G3	G4	BAE	Total
0	6	4,1983	30	30	-19	1,1983	0	2,73	2,728895	5,85	5,85	-0,07733	17,08157
1	0	0	30	19,1981	-16	1,1981	1	2,73	2,728895	11,7	9,59363	-0,14245	43,69164
2	0	0	13,1983	30	-14	1,1983	2	2,73	2,728895	14,27367	15,44363	-0,19943	78,6684
3	0	0	15,1982	30	-20	1,1982	3	2,73	2,728895	17,23732	21,29363	-0,28083	122,3774
4	0	0	16,1982	30	-25	1,1982	4	2,73	2,728895	20,39597	27,14363	-0,38258	174,9933
5	0	0	16,1982	30	-27	1,1982	5	2,73	2,728895	23,55462	32,99363	-0,49247	236,508
6	0	0	3,1982	30	-14	1,1982	6	2,73	2,728895	24,17826	38,84363	-0,54945	304,4393
7	0	0	30	7,1981	-8	1,1981	7	2,73	2,728895	30,02826	40,24726	-0,58201	379,5917
8	0	0	4,1982	30	0	1,1982	8	2,73	2,728895	30,84691	46,09726	-0,58201	461,4128
9	0	0	30	19,1981	0	1,1981	9	2,73	2,728895	36,69691	49,84089	-0,58201	552,8275
10	0	0	21,5982	26,6	0	1,1982	10	2,73	2,728895	40,90856	55,02789	-0,58201	653,6408
11	0	0	15,1982	30	0	1,1982	11	2,73	2,728895	43,87221	60,87789	-0,58201	763,2678
12	0	0	21,1982	30	0	1,1982	12	2,73	2,728895	48,00586	66,72789	-0,58201	882,8784
13	0	0	30	23,1982	0	1,1982	13	2,73	2,728895	53,85586	71,25154	-0,58201	1012,863
14	0	0	20,1982	30	0	1,1982	14	2,73	2,728895	57,79451	77,10154	-0,58201	1152,636
15	0	0	30	19,1981	0	1,1981	15	2,73	2,728895	63,64451	80,84517	-0,58201	1302,002
16	0	0	15,1982	30	0	1,1982	16	2,73	2,728895	66,60816	86,69517	-0,58201	1460,182
17	0	0	3,1981	30	12	1,1981	17	2,73	2,728895	67,23179	92,54517	-0,53317	1624,885
18	0	0	5,198	30	28	1,198	18	2,73	2,728895	68,2454	98,39517	-0,41921	1796,565
19	0	0	21,198	30	28	1,198	19	2,73	2,728895	72,37901	104,2452	-0,30525	1978,343
20	6	3,1981	30	30	20	1,1981	20	5,46	4,80766	78,22901	110,0952	-0,22385	2176,711
21	5,198	0	30	30	25	1,198	21	7,82509	4,80766	84,07901	115,9452	-0,1221	2389,246
22	0	0	29,1981	30	20	1,1981	22	7,82509	4,80766	89,77264	121,7952	-0,0407	2613,406
23	5,1982	0	30	30	0	1,1982	23	10,19027	4,80766	95,62264	127,6452	-0,0407	2851,631
24	0	0	21,1982	30	0	1,1982	24	10,19027	4,80766	99,75629	133,4952	-0,0407	3099,84

Anexo E. Despacho Económico – Cenário 2.2

Neste anexo são discriminados os valores dos resultados do Despacho Económico da rede com BAE e sem influência das perdas – *Matlab*.

Geração (kW)						Custos Acumulados (€)						
t	G1	G2	G3	G4	BAE	t	G1	G2	G3	G4	BAE	Total
0	6	3	30	30	-19	0	2,73	1,95	5,85	5,85	-0,07733	16,30267
1	0	0	24	24	-16	1	2,73	1,95	10,53	10,53	-0,14245	32,60534
2	0	0	21	21	-14	2	2,73	1,95	14,625	14,625	-0,19943	75,63079
3	0	0	22	22	-20	3	2,73	1,95	18,915	18,915	-0,28083	117,86
4	0	0	22,5	22,5	-25	4	2,73	1,95	23,3025	23,3025	-0,38258	168,7624
5	0	0	22,5	22,5	-27	5	2,73	1,95	27,69	27,69	-0,49247	228,3299
6	0	0	16	16	-14	6	2,73	1,95	30,81	30,81	-0,54945	294,0805
7	0	0	18	18	-8	7	2,73	1,95	34,32	34,32	-0,58201	366,8185
8	0	0	16,5	16,5	0	8	2,73	1,95	37,5375	37,5375	-0,58201	445,9914
9	0	0	24	24	0	9	2,73	1,95	42,2175	42,2175	-0,58201	534,5244
10	0	0	23,5	23,5	0	10	2,73	1,95	46,8	46,8	-0,58201	632,2224
11	0	0	22	22	0	11	2,73	1,95	51,09	51,09	-0,58201	738,5004
12	0	0	25,02026	24,97974	0	12	2,73	1,95	55,96895	55,96105	-0,58201	854,5284
13	0	0	26	26	0	13	2,73	1,95	61,03895	61,03105	-0,58201	980,6964
14	0	0	24,5	24,5	0	14	2,73	1,95	65,81645	65,80855	-0,58201	1116,419
15	0	0	24	24	0	15	2,73	1,95	70,49645	70,48855	-0,58201	1261,502
16	0	0	22	22	0	16	2,73	1,95	74,78645	74,77855	-0,58201	1415,165
17	0	0	16	16	12	17	2,73	1,95	77,90645	77,89855	-0,53317	1575,117
18	0	0	17	17	28	18	2,73	1,95	81,22145	81,21355	-0,41921	1741,813
19	0	0	25,02026	24,97974	28	19	2,73	1,95	86,1004	86,0846	-0,30525	1918,373
20	6	2	30	30	20	20	5,46	3,25	91,9504	91,9346	-0,22385	2110,744
21	4	0	30	30	25	21	7,28	3,25	97,8004	97,7846	-0,1221	2316,737
22	1,11E-16	0	29	29	20	22	7,28	3,25	103,4554	103,4396	-0,0407	2534,121
23	4	0	30	30	0	23	9,1	3,25	109,3054	109,2896	-0,0407	2765,025
24	0	0	25,02026	24,97974	0	24	9,1	3,25	114,1844	114,1606	-0,0407	3005,68

E os valores dos resultados do Despacho Económico da rede com BAE e com influência das perdas – *Matlab*.

Geração (kW)							Custos Acumulados (€)						
t	G1	G2	G3	G4	BAE	Perdas (kW)	t	G1	G2	G3	G4	BAE	Total
0	6	4,1983	30	30	-19	1,1983	0	2,73	2,728895	5,85	5,85	-0,07733	17,08157
1	0	0	25,1981	24	-16	1,1981	1	2,73	2,728895	10,76363	10,53	-0,14245	43,69164
2	0	0	22,1983	21	-14	1,1983	2	2,73	2,728895	15,0923	14,625	-0,19943	78,6684
3	0	0	23,1982	22	-20	1,1982	3	2,73	2,728895	19,61595	18,915	-0,28083	122,3774
4	0	0	23,6982	22,5	-25	1,1982	4	2,73	2,728895	24,2371	23,3025	-0,38258	174,9933
5	0	0	23,6982	22,5	-27	1,1982	5	2,73	2,728895	28,85825	27,69	-0,49247	236,508
6	0	0	17,1982	16	-14	1,1982	6	2,73	2,728895	32,21189	30,81	-0,54945	304,4393
7	0	0	19,1981	18	-8	1,1981	7	2,73	2,728895	35,95552	34,32	-0,58201	379,5917
8	0	0	17,6982	7,7946	0	1,1982	8	2,73	2,728895	39,40667	35,83995	-0,58201	459,7152
9	0	0	25,1981	24	0	1,1981	9	2,73	2,728895	44,3203	40,51995	-0,58201	549,4324
10	0	0	24,6982	23,5	0	1,1982	10	2,73	2,728895	49,13645	45,10245	-0,58201	648,5482
11	0	0	23,1982	22	0	1,1982	11	2,73	2,728895	53,6601	49,39245	-0,58201	756,4776
12	0	0	26,21846	25	0	1,1982	12	2,73	2,728895	58,7727	54,26745	-0,58201	874,3946
13	0	0	27,1982	26	0	1,1982	13	2,73	2,728895	64,07635	59,33745	-0,58201	1002,685
14	0	0	25,6982	24,5	0	1,1982	14	2,73	2,728895	69,0875	64,11495	-0,58201	1140,765
15	0	0	25,1981	24	0	1,1981	15	2,73	2,728895	74,00113	68,79495	-0,58201	1288,438
16	0	0	23,1982	22	0	1,1982	16	2,73	2,728895	78,52478	73,08495	-0,58201	1444,924
17	0	0	17,1981	16	12	1,1981	17	2,73	2,728895	81,87841	76,20495	-0,53317	1607,933
18	0	0	18,198	17	28	1,198	18	2,73	2,728895	85,42702	79,51995	-0,41921	1777,92
19	0	0	26,21826	25	28	1,198	19	2,73	2,728895	90,53958	84,39495	-0,30525	1958,008
20	6	3,1981	30	30	20	1,1981	20	5,46	4,80766	96,38958	90,24495	-0,22385	2154,686
21	5,198	0	30	30	25	1,198	21	7,82509	4,80766	102,2396	96,09495	-0,1221	2365,532
22	1,1981	0	29	29	20	1,1981	22	8,370226	4,80766	107,8946	101,7499	-0,0407	2588,313
23	5,1982	0	30	30	0	1,1982	23	10,73541	4,80766	113,7446	107,5999	-0,0407	2825,16
24	0	0	26,21846	25	0	1,1982	24	10,73541	4,80766	118,8572	112,4749	-0,0407	3071,995

Anexo F. Discrepâncias dos resultados

Neste anexo são discriminados os valores das discrepâncias dos resultados do Despacho Económico da rede sem influência das perdas.

t (h)	Sem BAE (€)	Com BAE Excel (€)	Com BAE Matlab (€)
0	9,75	16,30	16,30
1	26,26	41,90	32,61
2	48,23	75,63	75,63
3	74,88	117,86	117,86
4	105,43	168,76	168,76
5	139,49	228,33	228,33
6	177,06	294,08	294,08
7	220,09	366,82	366,82
8	270,92	445,99	445,99
9	336,57	534,52	534,52
10	416,85	632,22	632,22
11	511,16	738,50	738,50
12	620,69	854,53	854,53
13	745,81	980,70	980,70
14	885,95	1116,42	1116,42
15	1040,91	1261,50	1261,50
16	1209,91	1415,17	1415,17
17	1392,95	1575,12	1575,12
18	1593,54	1741,81	1741,81
19	1816,36	1918,37	1918,37
20	2061,41	2110,74	2110,74
21	2328,69	2316,74	2316,74
22	2618,20	2534,12	2534,12
23	2925,65	2765,03	2765,03
24	3248,31	3005,68	3005,68

E os valores das discrepâncias dos resultados do Despacho Económico da rede com influência das perdas.

t (h)	Sem BAE (€)	Com BAE Excel (€)	Com BAE Matlab (€)
0	9,98	17,08	17,08
1	27,27	43,69	43,69
2	50,26	78,67	78,67
3	78,15	122,38	122,38
4	110,18	174,99	174,99
5	145,96	236,51	236,51
6	185,47	304,44	304,44
7	230,68	379,59	379,59
8	284,47	461,41	459,72
9	353,32	552,83	549,43
10	437,02	653,64	648,55
11	535,00	763,27	756,48
12	648,42	882,88	874,39
13	777,67	1012,86	1002,69
14	922,17	1152,64	1140,76
15	1081,73	1302,00	1288,44
16	1255,56	1460,18	1444,92
17	1443,66	1624,89	1607,93
18	1649,55	1796,57	1777,92
19	1877,69	1978,34	1958,01
20	2128,32	2176,71	2154,69
21	2401,47	2389,25	2365,53
22	2696,87	2613,41	2588,31
23	3010,45	2851,63	2825,16
24	3339,47	3099,84	3071,99

Anexo G. Trânsito de Potências da rede sem BAE

Neste anexo são discriminados os valores dos resultados do Trânsito de Potências da rede sem BAE.

t (h)	1 → 2	1 → 4	1 → 5	2 → 3	2 → 4	2 → 5	3 → 5	3 → 6	4 → 5	5 → 6
0	3,267895	-2,11457	0,06471	0,216856	2,298804	0,300121	0,123531	0,08029	-0,4863	-0,19763
1	3,26939	-2,10398	0,064322	0,213407	2,313369	0,298691	0,12434	0,080536	-0,4909	-0,1987
2	3,190762	-2,25379	0,012553	0,218736	2,216069	0,307376	0,131275	0,079917	-0,46048	-0,204
3	3,259597	-2,11927	0,057839	0,213412	2,306801	0,298728	0,126464	0,080406	-0,48927	-0,19944
4	3,259184	-2,11834	0,057299	0,212749	2,309106	0,298462	0,126763	0,080444	-0,49002	-0,19969
5	3,258977	-2,11788	0,057029	0,212418	2,310259	0,298329	0,126912	0,080464	-0,4904	-0,19982
6	3,258977	-2,11788	0,057029	0,212418	2,310259	0,298329	0,126912	0,080464	-0,4904	-0,19982
7	3,260011	-2,1202	0,05838	0,214074	2,304496	0,298993	0,298993	0,127988	-0,48851	-0,19918
8	3,260006	-2,12073	0,058933	0,215021	2,303629	0,299542	0,125925	0,080303	-0,48792	-0,19898
9	3,259352	-2,12094	0,059811	0,21567	2,304512	0,300828	0,126761	0,082366	-0,48725	-0,19907
10	3,259355	-2,12094	0,059807	0,215869	2,304507	0,300821	0,126577	0,082	-0,48726	-0,19902
11	3,259365	-2,12094	0,059793	0,216468	2,304492	0,300802	0,126023	0,080903	-0,48727	-0,19886
12	3,259345	-2,12095	0,05982	0,215271	2,304522	0,300841	0,127131	0,083098	-0,48724	-0,19917
13	3,259338	-2,12095	0,059829	0,214872	2,304532	0,300854	0,1275	0,08383	-0,48724	-0,19927
14	3,259348	-2,12095	0,059816	0,21547	2,304517	0,300834	0,126946	0,082732	-0,48725	-0,19912
15	3,259352	-2,12094	0,059811	0,21567	2,304512	0,300828	0,126761	0,082366	-0,48725	-0,19907
16	3,259365	-2,12094	0,059793	0,216468	2,304492	0,300802	0,126023	0,080903	-0,48727	-0,19886
17	3,259365	-2,12094	0,059793	0,216468	2,304492	0,300802	0,126023	0,080903	-0,48727	-0,19886
18	3,259304	-2,12096	0,059874	0,212876	2,304582	0,30092	0,129345	0,087489	-0,4872	-0,19977
19	3,261538	-2,11918	0,06182	0,211763	2,30328	0,301185	0,130621	0,0911	-0,48669	-0,19978
20	3,26532	-2,11619	0,064989	0,213234	2,301027	0,301516	0,129671	0,091021	-0,48591	-0,19894
21	3,265698	-2,1159	0,065306	0,213381	2,300802	0,30155	0,129576	0,091013	-0,48583	-0,19885
22	3,261538	-2,11918	0,06182	0,211763	2,30328	0,301185	0,130621	0,0911	-0,48669	-0,19978
23	3,259297	-2,12096	0,059883	0,212477	2,304592	0,300933	0,130621	0,0911	-0,48719	-0,19987
24	3,259345	-2,12095	0,05982	0,215271	2,304522	0,300841	0,127131	0,083098	-0,48724	-0,19917

Anexo H. Trânsito de Potências da rede com BAE

Neste anexo são discriminados os valores dos resultados do Trânsito de Potências da rede com BAE.

t (h)	1 → 2	1 → 4	1 → 5	2 → 3	2 → 4	2 → 5	3 → 5	3 → 6	4 → 5	5 → 6
0	3,254987	-2,12464	0,054948	0,207121	2,306707	0,299307	0,132698	0,091382	-0,48881	-0,20158
1	3,258874	-2,1179	0,057163	0,206431	2,310408	0,298526	0,13245	0,09144	-0,49028	-0,20134
2	3,256394	-2,12365	0,055534	0,210539	2,305657	0,298873	0,129181	0,084817	-0,48886	-0,20049
3	3,260169	-2,12067	0,058712	0,211611	2,303414	0,299218	0,1286	0,08547	-0,48807	-0,19975
4	3,260166	-2,12067	0,058717	0,211412	2,303419	0,299225	0,128784	0,085836	-0,48807	-0,1998
5	3,260166	-2,12067	0,058717	0,211412	2,303419	0,299225	0,128784	0,085836	-0,48807	-0,1998
6	3,26021	-2,12066	0,058659	0,214006	2,303354	0,299139	0,126385	0,081079	-0,48812	-0,19915
7	3,257634	-2,11512	0,055543	0,204443	2,317323	0,297728	0,297728	0,121741	-0,49256	-0,20212
8	3,260207	-2,12066	0,058663	0,213807	2,303359	0,299146	0,126569	0,081445	-0,48812	-0,1992
9	3,258874	-2,1179	0,057163	0,206431	2,310408	0,298526	0,13245	0,09144	-0,49028	-0,20134
10	3,259796	-2,11989	0,058282	0,209771	2,305405	0,299034	0,130035	0,087844	-0,48869	-0,2003
11	3,260169	-2,12067	0,058712	0,211611	2,303414	0,299218	0,1286	0,08547	-0,48807	-0,19975
12	3,260149	-2,12068	0,058739	0,210414	2,303444	0,299258	0,129707	0,087665	-0,48805	-0,20006
13	3,259288	-2,11883	0,057704	0,207093	2,308103	0,298792	0,132151	0,091401	-0,48953	-0,20108
14	3,260152	-2,12068	0,058735	0,210613	2,303439	0,299251	0,129523	0,087299	-0,48805	-0,20001
15	3,258874	-2,1179	0,057163	0,206431	2,310408	0,298526	0,13245	0,09144	-0,49028	-0,20134
16	3,260169	-2,12067	0,058712	0,211611	2,303414	0,299218	0,1286	0,08547	-0,48807	-0,19975
17	3,264749	-2,11708	0,062462	0,215772	2,30065	0,299538	0,125245	0,080985	-0,48718	-0,19814
18	3,270793	-2,11231	0,067542	0,217727	2,297056	0,300082	0,124094	0,081591	-0,48593	-0,1969
19	3,270738	-2,11233	0,067613	0,214533	2,297135	0,300187	0,127047	0,087445	-0,48586	-0,19771
20	3,266024	-2,11596	0,064044	0,211182	2,300078	0,300131	0,129972	0,091169	-0,48662	-0,19917
21	3,271081	-2,11204	0,067975	0,212685	2,29696	0,300285	0,128798	0,091096	-0,48574	-0,19813
22	3,267685	-2,11472	0,065114	0,21176	2,298978	0,299974	0,129283	0,090435	-0,48646	-0,19878
23	3,261627	-2,11949	0,060052	0,209007	2,302592	0,299456	0,129283	0,090435	-0,4877	-0,20023
24	3,260149	-2,12068	0,058739	0,210414	2,303444	0,299258	0,129707	0,087665	-0,48805	-0,20006

Anexo I. Colocação da BAE

Neste anexo são discriminados os valores dos resultados das simulações realizadas para a determinação do melhor local para instalar a BAE.

BAE no barramento 1							
	1	2	3	4	5	6	
1	-	3,259867	0	-2,12008	0,062415	0	
2	-2,95241	-	0,214136	2,304964	0,302919	0,133141	
3	0	-0,21359	-	0	0,130419	0,090925	
4	2,590047	-2,07412	0	-	-0,48592	0	
5	0,029982	-0,29937	-0,12881	0,575585	-	-0,19964	
6	0	-0,13213	-0,09092	0	0,200802	-	
							Perdas (kW)
							1,198205

BAE no barramento 4							
	1	2	3	4	5	6	
1	-	3,264211	0	-2,12529	0,063428	0	
2	-2,95669	-	0,213147	2,288187	0,301117	0,131986	
3	0	-0,21261	-	0	0,129304	0,091051	
4	2,595311	-2,05735	0	-	-0,48296	0	
5	0,028987	-0,29757	-0,12769	0,572634	-	-0,19861	
6	0	-0,13098	-0,09105	0	0,199773	-	
							Perdas (kW)
							1,198348

BAE no barramento 2							
	1	2	3	4	5	6	
1	-	3,271081	0	-2,11204	0,067975	0	
2	-2,96364	-	0,212685	2,29696	0,300285	0,131462	
3	0	-0,21214	-	0	0,128798	0,091096	
4	2,581928	-2,06618	0	-	-0,48574	0	
5	0,024415	-0,29674	-0,12719	0,57539	-	-0,19813	
6	0	-0,13045	-0,09109	0	0,199294	-	
							Perdas (kW)
							1,198202

BAE no barramento 5							
	1	2	3	4	5	6	
1	-	3,263626	0	-2,11884	0,057372	0	
2	-2,95616	-	0,210059	2,299889	0,295529	0,128437	
3	0	-0,20952	-	0	0,125875	0,091393	
4	2,588796	-2,06906	0	-	-0,48973	0	
5	0,035018	-0,29199	-0,12427	0,579385	-	-0,1954	
6	0	-0,12743	-0,09139	0	0,196567	-	
							Perdas (kW)
							1,19816

BAE no barramento 3							
	1	2	3	4	5	6	
1	-	3,261541	0	-2,11952	0,060164	0	
2	-2,95409	-	0,204017	2,302717	0,29962	0,125481	
3	0	-0,20348	-	0	0,135787	0,100439	
4	2,589481	-2,07188	0	-	-0,4876	0	
5	0,032233	-0,29608	-0,13417	0,577257	-	-0,20149	
6	0	-0,12447	-0,10043	0	0,202658	-	
							Perdas (kW)
							1,198188

BAE no barramento 6							
	1	2	3	4	5	6	
1	-	3,261474	0	-2,11954	0,060256	0	
2	-2,95402	-	0,207815	2,3028	0,299755	0,121396	
3	0	-0,20727	-	0	0,13261	0,082413	
4	2,589508	-2,07197	0	-	-0,48754	0	
5	0,032139	-0,29621	-0,131	0,5772	-	-0,20438	
6	0	-0,12039	-0,08241	0	0,205549	-	
							Perdas (kW)
							1,198187

Anexo J. Viabilidade Económica

Neste anexo são discriminados os valores dos resultados da soma acumulada e respetiva diferença, numa visão de 6 anos.

t (anos)	Gastos Acumulados (€)				Diferença (€)					
	sem BAE	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	1 218 906,55	1 201 941,60	1 401 441,60	1 215 441,60	16 964,95	-182 535,05	3 464,95	POS	NEG	POS
1	2 437 813,10	2 349 883,20	2 577 883,20	2 364 883,20	87 929,90	-140 070,10	72 929,90	POS	NEG	POS
2	3 656 719,65	3 497 824,80	3 754 324,80	3 514 324,80	158 894,85	-97 605,15	142 394,85	POS	NEG	POS
3	4 875 626,20	4 645 766,40	4 930 766,40	4 663 766,40	229 859,80	-55 140,20	211 859,80	POS	NEG	POS
4	6 094 532,75	5 847 708,00	6 107 208,00	5 813 208,00	246 824,75	-12 675,25	281 324,75	POS	NEG	POS
5	7 313 439,30	6 995 649,60	7 283 649,60	6 962 649,60	317 789,70	29 789,70	350 789,70	POS	POS	POS
6	8 532 345,85	8 143 591,20	8 460 091,20	8 112 091,20	388 754,65	72 254,65	420 254,65	POS	POS	POS

E os valores dos resultados da soma acumulada e respetiva diferença, numa visão de 20 anos.

t (anos)	Gastos Acumulados (€)				Diferença (€)					
	sem BAE	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	1 218 906,55	1 201 941,60	1 401 441,60	1 215 441,60	16 964,95	-182 535,05	3 464,95	POS	NEG	POS
1	2 437 813,10	2 349 883,20	2 577 883,20	2 364 883,20	87 929,90	-140 070,10	72 929,90	POS	NEG	POS
2	3 656 719,65	3 497 824,80	3 754 324,80	3 514 324,80	158 894,85	-97 605,15	142 394,85	POS	NEG	POS
3	4 875 626,20	4 645 766,40	4 930 766,40	4 663 766,40	229 859,80	-55 140,20	211 859,80	POS	NEG	POS
4	6 094 532,75	5 847 708,00	6 107 208,00	5 813 208,00	246 824,75	-12 675,25	281 324,75	POS	NEG	POS
5	7 313 439,30	6 995 649,60	7 283 649,60	6 962 649,60	317 789,70	29 789,70	350 789,70	POS	POS	POS
6	8 532 345,85	8 143 591,20	8 460 091,20	8 112 091,20	388 754,65	72 254,65	420 254,65	POS	POS	POS
7	9 751 252,40	9 291 532,80	9 636 532,80	9 261 532,80	459 719,60	114 719,60	489 719,60	POS	POS	POS
8	10 970 158,95	10 493 474,40	10 812 974,40	10 410 974,40	476 684,55	157 184,55	559 184,55	POS	POS	POS
9	12 189 065,50	11 641 416,00	11 989 416,00	11 560 416,00	547 649,50	199 649,50	628 649,50	POS	POS	POS
10	13 407 972,05	12 789 357,60	13 165 857,60	12 709 857,60	618 614,45	242 114,45	698 114,45	POS	POS	POS
11	14 626 878,60	13 937 299,20	14 342 299,20	13 859 299,20	689 579,40	284 579,40	767 579,40	POS	POS	POS
12	15 845 785,15	15 139 240,80	15 518 740,80	15 008 740,80	706 544,35	327 044,35	837 044,35	POS	POS	POS
13	17 064 691,70	16 287 182,40	16 695 182,40	16 158 182,40	777 509,30	369 509,30	906 509,30	POS	POS	POS
14	18 283 598,25	17 435 124,00	17 871 624,00	17 307 624,00	848 474,25	411 974,25	975 974,25	POS	POS	POS
15	19 502 504,80	18 583 065,60	19 273 065,60	18 457 065,60	919 439,20	229 439,20	1 045 439,20	POS	POS	POS
16	20 721 411,35	19 785 007,20	20 449 507,20	19 672 507,20	936 404,15	271 904,15	1 048 904,15	POS	POS	POS
17	21 940 317,90	20 932 948,80	21 625 948,80	20 821 948,80	1 007 369,10	314 369,10	1 118 369,10	POS	POS	POS
18	23 159 224,45	22 080 890,40	22 802 390,40	21 971 390,40	1 078 334,05	356 834,05	1 187 834,05	POS	POS	POS
19	24 378 131,00	23 228 832,00	23 978 832,00	23 120 832,00	1 149 299,00	399 299,00	1 257 299,00	POS	POS	POS
20	25 597 037,55	24 430 773,60	25 155 273,60	24 270 273,60	1 166 263,95	441 763,95	1 326 763,95	POS	POS	POS