

FERRAMENTA PARA PROJETOS DE CENTRAIS FOTOVOLTAICAS EM MODELO ESCO

Ricardo André Pinheiro Regufe

2016/2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

FERRAMENTA PARA PROJETOS DE CENTRAIS FOTOVOLTAICAS EM MODELO ESCO

Ricardo André Pinheiro Regufe
Nº 1090786

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Doutora Teresa Alexandra Nogueira e coorientador o Engenheiro Joaquim Manuel Soares Guedes.

2016/2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Manuel Jorge Dores de Castro

Professor Adjunto no Departamento de Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Teresa Alexandra Nogueira

Professor Adjunto no Departamento de Eletrotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Engenheiro Joaquim Manuel Soares Guedes

Diretor Executivo da Ecoinside

Arguente

Professor Doutor José Rui Ferreira

Professor Auxiliar na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Quero em primeiro lugar agradecer ao meu orientador na empresa Ecoinside, Engenheiro Joaquim Manuel Soares Guedes por toda a disponibilidade e por toda a ajuda que me proporcionou durante o decorrer desta dissertação, também a toda a equipa da Ecoinside pelos bons momentos de descontração e bom ambiente empresarial.

Agradecer à Doutora Teresa Alexandra Nogueira pela disponibilidade, conselhos e orientação que me ofereceu para um bom desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais e ao meu irmão por todo o carinho e apoio, que sempre me proporcionaram durante toda a minha vida, pois sem essa educação e dedicação nunca teria conseguido concluir este passo académico. Aos meus amigos David Silva e Gonçalo Sampaio que durante o meu percurso académico sempre estiveram presentes, mesmo nos momentos mais difíceis.

RESUMO

A dissertação apresentada enquadra-se no âmbito da eficiência energética.

Neste trabalho foram estudadas as componentes técnicas e económicas de uma central fotovoltaica para autoconsumo e melhoria de uma ferramenta informática previamente projetada em linguagem VBA. Esta ferramenta foi projetada em ambiente empresarial com o intuito de auxiliar uma empresa de engenharia na área da energia a reforçar a sua posição no mercado das energias renováveis, mais concretamente em projetos de sistemas fotovoltaicos. A ferramenta poderá ser utilizada como suporte para empresas ESCO, elaborando relatórios que servem de base para contratos de performance ou apenas para a apresentação de propostas para uma venda direta a um cliente.

De modo a facilitar um processo de dimensionamento fotovoltaico, que é algo complexo e moroso, esta dissertação tem como principal objetivo criar uma ferramenta que facilite este processo. Esta será capaz do carregamento das várias variáveis técnicas e financeiras e otimizar o dimensionamento da central.

Foram realizados testes à ferramenta com dados reais, e conclui-se uma mais-valia em relação a um método de dimensionamento manual. Das vantagens de utilização da ferramenta pode-se destacar a capacidade de otimização do número de módulos numa dada instalação, a facilidade com que se define um tempo de contrato, assim como a capacidade de monitorizar a produção da central ao longo dos anos de contrato.

ABSTRACT

The thesis presented here is framed in the study of energy efficiency.

In this work, it was studied the economic and technical components of photovoltaic panels for self-consumption and an improvement of an informatic tool previous designed in VBA language. This tool was designed in workplace environment with the purpose of helping an engineering company strengths its position on the renewable energy market, especially in photovoltaic plants. This tool can be used to help ESCO company's elaborating reports that serve for energy performance contracts or just direct offers to a client.

Photovoltaic dimensioning is a complex and time-consuming process, so in a way to facilitate this process this thesis has its main objective to create an informatic tool. With access to the load diagram of a facility and the local radiance it will be able to make technical and economic reports using as method of calculus the optimization of photovoltaic panels for each specific case.

The tool was subject of tests with real data and it was concluded it was an advantage comparing with the manual dimensioning. Of its advantages, the capacity of optimization of photovoltaic plants as well as its capacity of monitoring the production were the most valuables.

“Insanity is doing the same thing over and over again and expecting different results.”

Albert Einstein

GLOSSÁRIO DE TERMOS

DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EPC	<i>Energy Performance Contract</i>
ESCO	<i>Energy Service Companies</i>
FER	Fontes de Energia Renovável
IEA	<i>International Energy Agency</i>
kW	quilowatt
W	watt
kWh	quilowatt hora
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Energia
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para Energias Renováveis
RESCO	<i>Retail Energy Service Companies</i>
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SCE	Sistemas de certificação de Energia
SGCIE	Sistemas de Gestão de Consumos Intensivos de Energia
Si	Silício
WACC	Custo de Capital

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - CÉLULA FOTOVOLTAICA, VISTA LATERAL (LINHARES, 2016).	10
FIGURA 2 - TIPOS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E GRAU DE UTILIZAÇÃO NO MERCADO (ADRIANO, 2015).	11
FIGURA 3 - INTENSIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR NA EUROPA (MONTEIRO, 2014).	11
FIGURA 4 - PRINCIPAIS ETAPAS DE O FUNCIONAMENTO DE UMA ESCO.	14
FIGURA 5 - PROCESSO DE UM CONTRATO DE PERFORMANCE ENERGÉTICO (COMPANIES, 2016).	16
FIGURA 6 - ESQUEMA DE GARANTIA DE POUPANÇAS ESTABELECIDADA NUM EPC (COMPANIES, 2016).	17
FIGURA 7 - CASH-FLOWS NOS MODELOS GUARANTEED SAVINGS E NO SHARED SAVINGS (J.HANSEN, 2006)	18
FIGURA 8 - GRÁFICO QUE ILUSTRA A IMPORTÂNCIA DAS BARREIRAS PARA PROJETOS ESCO EM PORTUGAL (BERTOLDI, 2014)	20
FIGURA 9 - EXEMPLO DE UM DIAGRAMA DE CARGA OBTIDO DA EDP DISTRIBUIÇÃO	27
FIGURA 10 - EXCERTO EXEMPLO DOS VALORES DE RADIANCIA OBTIDOS EM FORMATO “TXT” (SYSTEM, PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION)	28
FIGURA 11 - EXEMPLO DA DISPOSIÇÃO DOS VALORES DE CONSUMOS E RADIANCIAS	29
FIGURA 12 - DISPOSIÇÃO DA FERRAMENTA APÓS INTRODUÇÃO DAS TARIFAS.	30
FIGURA 13 - DISPOSIÇÃO DOS VALORES PARA DIFERENTES RADIANCIAS.	33
FIGURA 14 - EXEMPLO DE CONSUMOS DE ENERGIA NAS RADIANCIAS SEGUINTE.	34
FIGURA 15 - EXEMPLO DA DISPOSIÇÃO DOS DADOS CALCULADOS PARA 2 RADIANCIAS	41
FIGURA 16 - VALORES DE PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA ESTIMADOS PELA FERRAMENTA DIARIAMENTE EM FUNÇÃO DO MÊS.	50
FIGURA 17 - DESVIOS DE PRODUÇÃO REAL/PRODUÇÃO TEÓRICA SIMULADA	51
FIGURA 18 - VALORES DE PRODUÇÃO REAL E TEÓRICO MENSAIS.	52
FIGURA 19 - RELATÓRIO CRIADO PELA FERRAMENTA EM MONITORIZAÇÃO.	53
FIGURA 20 - ESQUEMA INICIAL Á ABERTURA DA FERRAMENTA	54
FIGURA 21 - ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO DO PROJETO.	54
FIGURA 22 – AVISO AO UTILIZADOR SE PRETENDER REALIZAR UM CARREGAMENTO DOS DIAGRAMAS DE CARGA AUTOMATICAMENTE.	55
FIGURA 23 - ESCOLHA DO TIPO DE UNIDADE A UTILIZAR NA SIMULAÇÃO	55
FIGURA 24 - INTRODUÇÃO DO NUMERO DE MESES A SIMULAR	56
FIGURA 25 - INTRODUÇÃO DO NUMERO DE RADIANCIAS PARA A SIMULAÇÃO.	56
FIGURA 26 - CAIXA DE TEXTO DA PRIMEIRA RADIANCIA.	56
FIGURA 27 - CAIXA DE TEXTO PARA INTRODUÇÃO DA DATA INICIAL DOS DIAGRAMAS	57
FIGURA 28 - RELATÓRIO ENTRE SIMULAÇÕES	58
FIGURA 29 - CAIXA DE TEXTO A PEDIR AO UTILIZADOR A INTRODUÇÃO DE UM FICHEIRO AUXILIAR	59
FIGURA 30 - ESQUEMA DE BOTÕES PARA FÁCIL REUTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA.	60
FIGURA 31 - INTRODUIR QUAL O TIPO DE PROPOSTA.	61
FIGURA 32 - INTRODUIR O NOME DA EMPRESA EM ESTUDO.	61

FIGURA 33 - INTRODUÇÃO DO TIPO DE PERÍODO A MONITORIZAR.

62

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE DOIS MODELOS EPC'S	19
TABELA 2 - ESCO EM PORTUGAL	21
TABELA 3 VARIÁVEIS DA FERRAMENTA.....	32
TABELA 4 - DADOS REAIS OBTIDOS PELO CLUSTER CONTROLLER.....	50
TABELA 5 - EXEMPLO DE RELATÓRIO CRIADO PELA SIMULAÇÃO.	62

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Motivação	2
1.3	Objetivos	3
1.4	Ecoinside	4
1.5	Estrutura.....	4
2	CARACTERIZAÇÃO DAS ESCOS	9
2.1	Energia Solar para projetos ESCO.....	9
2.2	Definição da ESCO.....	12
2.3	Categorias de ESCO.....	13
2.4	ESCO: Funcionamento	14
2.5	EPC – Contratos de Performance Energética	15
2.6	Tipos de contratos de performance energético.....	17
2.7	ESCO: Em Portugal	19
2.8	Análise sumativa	21
3	FORMULAÇÃO DO MODELO DA FERRAMENTA DE DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS	25
3.1	Definição	25
3.2	Formulação da Antiga Ferramenta.....	26
3.3	Diagramas de carga	27
3.4	Obtenção das Radiâncias	28
3.5	Variáveis Consideradas	29

Ferramenta para Projetos de centrais fotovoltaicas
em modelo ESCO

3.6	Modelo Formulado	32
3.7	Monitorização	43
3.8	Modelo de Simulação Sem Diagramas	44
3.9	Análise Conclusiva	44
4	RESULTADOS OBTIDOS	49
4.1	Análise de Resultados Simulados	49
4.2	Demonstração da Ferramenta	53
4.2.1	Demonstração da Ferramenta após a simulação	59
4.2.2	Demonstração da Ferramenta para criar proposta	60
4.2.3	Demonstração da Ferramenta para a monitorização	61
4.3	Análise Conclusiva	63
5	CONCLUSÕES	67
5.1	Análise conclusiva geral	67
5.2	Trabalhos Futuros	68
	REFERÊNCIAS	71
	ANEXOS	75
A1.	Períodos Tarifários.....	75
A2.	Relatório ESCO.....	77
A3.	Relatório Auto-Financiamento.....	78
A4.	Tabela Proposta ESCO.....	79
A5.	Tabela de Auto-Financiamento.....	80
A6.	Gráficos de Produção Vs Consumo.....	81

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Motivação

1.3 Objetivos

1.4 Ecoinside

1.5 Estrutura

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Ao longo dos últimos anos tem existido uma preocupação constante com a eficiência energética. O grande fator que contribuiu para este desenvolvimento é, por um lado, o elevado custo dos combustíveis fósseis, fonte primária de energia, e a consciencialização para o aquecimento global do planeta, por outro.

Por estas razões, organizações mundiais como a União Europeia, têm vindo a adotar medidas de incentivo para a redução de consumos energéticos. Paralelamente, também a nível nacional existem planos de eficiência energética, tal como o Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética, PNAEE 2016 e o Plano Nacional de Ação para Energias Renováveis, PNAER 2020, com o objetivo de redução dos consumos energéticos e a substituição de recursos como o petróleo, carvão e gás natural, por recursos renováveis, como energia hídrica, eólica, solar entre outras.

A nível europeu, o quadro de metas estabelecido para 2020 traduz-se numa redução de 20% nas emissões de gases de efeito de estufa relativamente aos níveis de 1990; 20% de quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto; e 20% de redução de consumo de energia primária relativamente à projeção do consumo para 2020 (Ministros, 2013).

Para Portugal as metas foram mais ambiciosas, projetando-se para o mesmo ano de 2020, um objetivo geral de redução no consumo de energia primária na ordem dos 25% e um objetivo específico de redução, para a administração pública de 30% (Ministros, 2013).

No plano da utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis, pretende-se atingir os 31% em consumo final bruto e 10% (Ministros, 2013) na energia utilizada especificamente nos transportes. Metas estas que deverão ser cumpridas com o menor custo possível para a economia nacional.

Em simultâneo, para contrariar a dependência energética do país, projetou-se a promoção de uma utilização combinada de energias renováveis e fósseis que garanta a segurança e o equilíbrio no abastecimento (Ministros, 2013). Para tanto, é necessária uma boa estratégia de racionalização de energia, que permita que os cidadãos consigam manter o seu nível de vida e as empresas a sua competitividade, o que passará correspondentemente, pela reeducação em termos de consumo de energia e um alargamento de investimentos em energias renováveis endógenas.

O PNAEE e o PNAER são instrumentos de planeamento energético que auxiliam o país a alcançar as metas impostas em matéria de eficiência energética e utilização da energia obtida por meios de fontes renováveis. Estes Planos também identificam barreiras existentes nos sectores, preveem a incorporação de energia renovável nos diferentes

sectores de atividade e o seu potencial de melhoria em matéria de eficiência energética, atendendo às especificidades da realidade nacional.

Ora, para cumprimento dos objetivos traçados é imprescindível que empresas e organizações adotem certas medidas, nomeadamente a alteração de equipamentos. Porém, o investimento nas tecnologias necessárias à prossecução daquelas metas pode ser incompatível com a capacidade orçamental de uma empresa ou até exceder o alcance técnico de uma organização, constituindo estes os principais obstáculos à concretização dos objetivos em matéria de eficiência energética.

Para tentar ultrapassar estas dificuldades existem as chamadas *Energy Service Companies*, ESCO, com capacidade técnica e disponibilidade financeira para arriscar neste tipo de projetos contra uma renumeração sobre as eventuais poupanças de energia que se venham a verificar (Ascensor, ESCO um novo mercado de serviços energéticos, 2011).

As ESCO, são empresas que facilitam outras entidades comerciais ou industriais no cumprimento das metas delineadas pelo PNAEE e o PNAER, fazendo balanceamentos e dimensionamentos de medidas para instalação de novos equipamentos (Ascensor, ESCO um novo mercado de serviços energéticos, 2011).

Desta forma, o maior diferenciador de uma ESCO é a sua capacidade para garantir uma poupança energética ao cliente e, a partir da mesma, assegurar uma remuneração que amortize o investimento inicial, dando cumprimento a um contrato de performance energética, também designado por EPC. O EPC, é um mecanismo jurídico que estabelece um clausulado entre as duas entidades (ESCO e Cliente), que permite regulamentar as poupanças e renumerações retiradas do projeto implementado (Ascensor, ESCO um novo mercado de serviços energéticos, 2011).

1.2 Motivação

Como já foi supra melhor descrito, as metas europeias estabelecidas, referentes aos consumos energéticos e à emissão de poluentes, geraram uma necessidade de redução de consumos através do uso eficiente de energia. Isto levou à criação das empresas ESCO, que fornecem às entidades empresariais medidas adequadas à melhoria de rendimento de energia, tendo em conta a situação e possibilidades económicas das empresas.

A execução deste tipo de contratos está projetada em prazos muito curtos, porém, como tendencialmente conduzirá ao crescimento da empresa, tornar-se então vantajoso para as ESCO, depois de recolhidos e organizados todos os dados, elaborarem novas propostas o mais rapidamente possível, no sentido de preservarem a vinculação com o cliente.

A proposta, por sua vez, deverá conter todas as especificações técnicas, bem como a análise financeira da solução projetada. Esta rapidez é imprescindível para o bom funcionamento de uma ESCO, pois só assim poderá conquistar potenciais clientes e com isso novos projetos, exponenciando o seu próprio crescimento.

A metodologia usada para a presente ferramenta informática funda-se precisamente nesta necessidade de rapidez de resposta e é desenhada para ser capaz de calcular os melhores valores técnicos e financeiros, apontando a solução mais adequada e energeticamente eficaz para o cliente.

1.3 Objetivos

As empresas ESCO fornecem propostas a empresas no âmbito da implementação de medidas de eficiência energética. Devido aos Planos PNAEE e PNAER, as solicitações a estas empresas têm vindo a aumentar nos últimos anos, pelo que é imperativo a mencionada celeridade de resposta, que deve conter soluções ideais tanto técnica como financeiramente.

O principal objetivo do desenvolvimento desta ferramenta é precisamente dotar e melhorar a capacidade de resposta e decisão das empresas ESCO em projetos fotovoltaicos.

Este objetivo passa por melhorar um instrumento informático já existente, mas subdesenvolvido e, portanto, com espaço para melhorias. Tal ferramenta é capaz, a partir de diagramas de carga e de valores de radiância para uma localização, fazer uma análise do número de painéis necessários para um resultado mais eficiente, numa determinada área de projeto, minimizando a venda de energia à rede elétrica de serviço público, RESP.

Tem ainda a aptidão para efetuar uma análise financeira da receita gerada pela produção de energia dos painéis fotovoltaicos ao longo do seu período de garantia.

O primeiro desafio no desenvolvimento da ferramenta é tornar todo o processo mais célere, o que pressupõe a criação de métodos que permitam que as iterações para o número necessário de painéis sejam mais aproximadas da realidade.

Por outro lado, necessário é ainda, melhorar a capacidade de análise da ferramenta para mais do que um grau de radiância dos painéis.

Um segundo objetivo será dimensionar a ferramenta de modo a incorporar diagramas de carga automaticamente e ainda, para os cálculos de análise financeira, torna-la apta a distinguir entre período de verão e período de inverno.

Por fim, será necessário criar uma avaliação da monitorização de modo a que nos anos seguintes, seja possível comparar a produção da instalação fotovoltaica com a produção que teria sido previamente simulada nesta ferramenta.

1.4 *Ecoinside*

A **Ecoinside**[®] - Soluções em Ecoeficiência e Sustentabilidade, Lda., nasceu em janeiro de 2006, em resultado do 1º curso de empreendedorismo da Universidade do Porto, da responsabilidade da EGP-UPBS, tendo contado na altura, com o apoio do Professor Doutor Daniel Bessa e do Prof. Doutor António Marques dos Santos (Ecoinside).

Esta empresa, desenvolve desde a sua criação, duas áreas de negócio mutuamente complementares, a ecoeficiência e a biodiversidade. Tem um compromisso com a sociedade de assumir comportamentos e políticas estratégicas aplicadas, que visam contribuir para um melhoramento económico e sustentável.

A empresa está permanentemente em contacto com as instituições académicas, pelo que mantém forte ligações com as faculdades e institutos, o que permite acompanhar as mais modernas técnicas e tecnologias, bem como, desenvolver estudos e parcerias científicas com reconhecimento internacional.

Os serviços prestados pela *Ecoinside* passam por auditorias energéticas no âmbito do SCE (Sistema de certificação Energética), Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia, SGCIE, etc. Nos serviços prestados instalam inúmeras tecnologias tais como: sistemas de gestão de energia; iluminação eficiente; baterias de condensadores; caldeiras industriais e sistemas de autoconsumo. A nível financeiro é uma empresa que tem capacidade de implementação dos seus próprios projetos, podendo oferecer aos clientes um financiamento integral ou um financiamento parcial (Ecoinside).

O seu lema sendo *“Fazemos hoje, para que não falte amanhã”* (Ecoinside).

1.5 Estrutura

O presente trabalho desta dissertação é composto por 5 capítulos. Um primeiro que ilustra uma introdução ao tema desta dissertação, onde se fala dos objetivos a atingir neste trabalho, bem como da empresa onde será efetuada esta tese, e finda neste capítulo.

Um segundo capítulo sobre a caracterização das empresas ESCO e sobre os contratos de performance energética. Este capítulo explica como funcionam estas empresas, como estão estabelecidas no mercado e sobre os contratos que elas acordam com as empresas que pretendem manter uma competição ativa no mercado de trabalho.

De seguida um capítulo onde se explicita todo o modelo da ferramenta que se irá desenvolver no percurso desta dissertação. Faz-se uma breve definição da ferramenta a desenvolver, uma descrição sobre os diagramas de carga e radiâncias, e as melhorias

efetuadas na ferramenta previamente existente para a ferramenta criada no final desta dissertação

Um capítulo onde se relacionam os resultados obtidos da ferramenta, fazendo uma análise crítica sobre estes e uma demonstração sobre como a ferramenta funciona.

E por fim um capítulo onde se realizam as diversas conclusões da dissertação.

CARACTERIZAÇÃO DAS ESCO

2.1 Energia Solar para projetos ESCO

2.2 Definição da ESCO

2.3 Categorias de ESCO

2.4 ESCO: Funcionamento

2.5 EPC – Contratos de Performance Energética

2.6 Tipos de contratos de performance energético

2.7 ESCO: Em Portugal

2.8 Análise sumativa

2 CARACTERIZAÇÃO DAS ESCOS

2.1 Energia Solar para projetos ESCO

A energia utilizada no mundo é na sua maioria gerada a partir de energias fósseis, como petróleo, carvão e gás natural. Contudo, devido aos inúmeros desafios que estas energias começam a impor, seja devido ao aumento constante dos seus custos, preocupações de segurança, devido a importações de um número limitado de países que os conseguem produzir e às preocupações ambientais, devido à poluição e alterações climáticas, levam os países em todo o mundo a pensar em alternativas a estas fontes de energias limitadas. Energias endógenas, como solar, eólica, geotérmica, hídrica, entre outras surgiram então como opção para combater estas dificuldades energéticas, e como utilizam matérias primas renováveis não existe a possibilidade de se esgotarem.

Entre estas energias renováveis, a energia solar foi uma das que mais se destacou nas últimas décadas, tendo como sua matéria-prima a radiação emitida pelo sol, estabelecesse assim como uma fonte de energia inesgotável, pois estudos afirmam que o sol só desaparecerá daqui a milhões e milhões de anos.

Ao investir nesta solução verificam-se vários fatores vantajosos, como a diminuição do consumo de fontes fósseis, pois esta fonte energética não depende destes combustíveis caros e limitados, vantagens ambientais, vantagens de consumos de energias em algumas horas de pico de consumo energético, implicando assim vantagens nos custos de energia nas faturas mensais, o facto de serem flexíveis na altura de montagem e do seu tamanho permitir que sejam vantajosos e menos gastos na instalação dos painéis e incentivos do governo, devido a planos energéticos estabelecido, seja na europa, como em outras organizações, existem incentivos financeiros de modo a criar maior facilidade para implementações de projetos deste tipo de instalação (Why Solar?, 2014).

Apesar das suas várias vantagens, a produção de energia solar tem também os seus inconvenientes, como o facto de só produzir energia nas alturas que existe sol, que é um fator que depende da zona do globo em que está situado, e o facto de apenas durante um curto período de horas ter a sua produção a trabalhar a 100% (altura do pico), mas mesmo com estas desvantagens continua a ser um sistema rentável que garante rendibilidades interessantes dos investimentos a longo prazo (Why Solar?, 2014).

Os painéis fotovoltaicos, fazem conversão direta da luz solar em eletricidade, a um nível atómico. A luz solar é composta por fotões que possuem diferentes comprimentos de onda do espectro solar. Alguns materiais exibem propriedades que proporcionam um efeito conhecido como “efeito fotovoltaico”, que os faz absorver os fotões e libertar eletrões, quando estes eletrões são libertados, energia é criada e pode ser utilizada como corrente elétrica. Como a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é em corrente contínua, é necessário a utilização de um inversor de corrente de modo a

transformar a corrente elétrica contínua em corrente alternada, para poder ser utilizado em uso doméstico ou industrial. Por vezes o sistema pode ser composto por baterias de modo a armazenar uma quantidade de energia para utilizar no período noturno.

Um painel fotovoltaico é constituído por várias células fotovoltaicas, estas células são formadas por pelo menos 2 camadas de materiais semicondutores, uma com carga positiva e outra com carga negativa. Quando a luz solar atinge estas células, muitos fotões são absorvidos e quando a camada negativa tiver absorvido fotões suficientes, os eletrões são libertados dessa camada migrando para a camada semicondutora positiva, este fenómeno cria assim uma diferença de potencial entre as duas camadas criando energia que é depois utilizada como eletricidade, pode-se verificar Figura 1, um esquema de uma célula fotovoltaica.

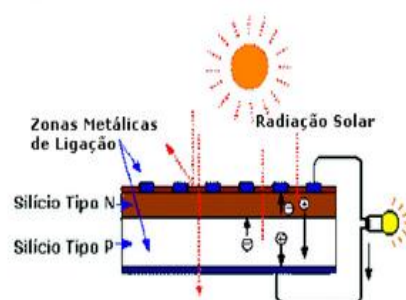


Figura 1 - Célula fotovoltaica, vista lateral (Linhares, 2016).

A grande parte de painéis fotovoltaicos são feitos à base de cristais de silício, Si. Estes podem ser de silício monocristalino, policristalino ou silício amorfo. Células monocristalinos são assim chamadas pois são feitas a partir do seccionamento de uma só peça de cristal de silício, possuem uma maior eficiência dentro dos vários tipos e o seu rendimento anda em torno dos 16% a 24% (Adriano, 2015) e constituem cerca de 30% do mercado, contudo são as mais caras, possuem uma cor uniforme representado por silício de alta pureza e são tipicamente arredondadas, têm uma vida útil de 30 anos, sendo que na grande maioria a sua garantia é de 25 anos e tendem a funcionar melhor que as células policristalinas que são por norma a escolha ideal para microgeração (Linhares, 2016).

Células policristalinas, são assim denominadas pois são constituídos por células de silício, mas são fabricadas num processo menos rigoroso que as células monocristalinos, são mais baratas, mas com rendimentos mais baixos na ordem dos 14% a 17% (Adriano, 2015) e representam cerca de 60% do mercado. As células de silício amorfo são muito mais baratas e fáceis de produzir, possuem taxas de rendimento muito mais baixas que os outros dois tipos, por volta de 5% a 7% (Adriano, 2015), são ideais para pequenas aplicações, como relógios e calculadoras. Numa forma geral, a principal vantagem desta geração de células são a abundancia de Si, o facto de ser uma tecnologia simples e bastante desenvolvida, não provoca consequências graves para o meio ambiente, possui eficiência elevada e possui um tempo de vida longo, a principal desvantagem desta geração, é o custo de purificação de Si. Existem mais duas gerações de células fotovoltaicos, caracterizadas pelas películas finas e apostas em outras matérias primas,

como telureto de cádmio, células de cobre-índio-selénio entre outras. Verifica-se na Figura 2 alguns tipos de células solares.

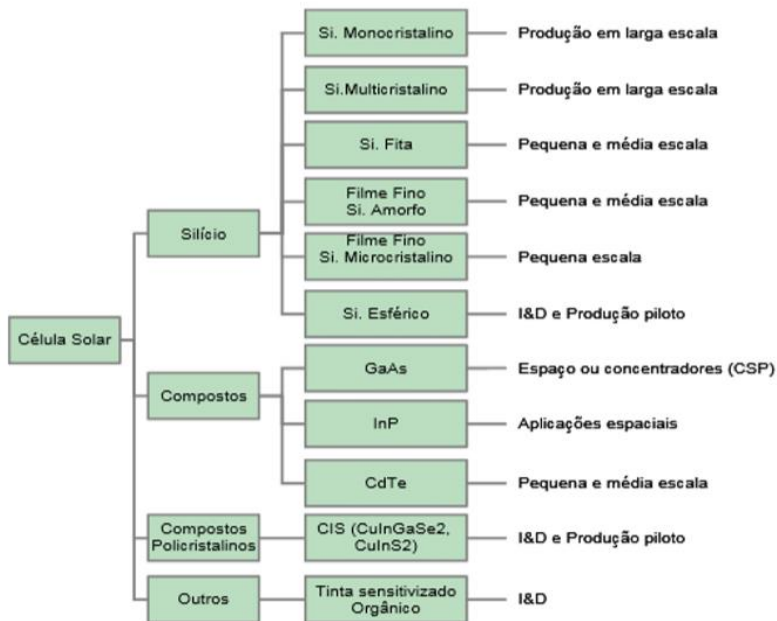


Figura 2 - Tipos de painéis fotovoltaicos e grau de utilização no mercado (Adriano, 2015).

A radiação solar é inesgotável e a energia irradiada anualmente é 5 mil vezes superior ao consumo global. Esta radiação recebida depende do local no globo e da altura do ano.

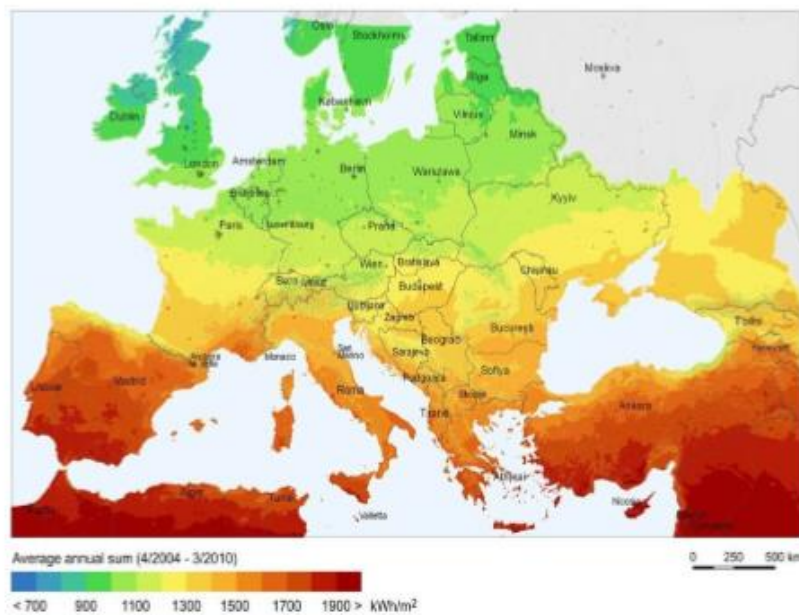


Figura 3 - Intensidade da Radiação Solar na Europa (Monteiro, 2014).

Como se verifica na Figura 3, os países mais próximos do equador, possuem uma maior incidência solar, Portugal estando a sudoeste da europa é um dos países com maior incidência solar no continente, com valores de incidência anual por volta dos 1650kWh/m², estes valores em locais mais próximos do equador poderão chegar a 2300 kWh/m², enquanto no resto da europa estes valores nunca ultrapassam os 1900 kWh/m² (Monteiro, 2014).

É possível determinar assim, que a produção de energia através da radiação solar é uma enorme possibilidade para combater a dependência do país na importação de energia e para a substituição do uso de combustíveis fósseis, de modo a conseguir cumprir os Planos de eficiência energética que fazem parte das obrigações do país. Para instalação de tais sistemas de produção de energia é necessário um investimento, que nem toda a industria consegue suportar. Para facilitar estas dificuldades financeiras, surgiram empresas com conhecimentos técnicos e financeiros para auxiliar nestes investimentos ecoeficientes.

2.2 Definição da ESCO

A origem do conceito ESCO é pouco clara, dado que a definição do mesmo tem sofrido alterações ao longo da sua curta historia. É, no entanto, consensual que a ideia de poupança energética surgiu na década de 70 durante a crise petrolífera.

Uma das primeiras empresas a aplicar o conceito ESCO antes de este ser definido como tal, terá sido a *Time Energy* no Texas, uma vez que esta colocou um aparelho automático temporizado para regulação de sistemas de iluminação e outros consumidores de eletricidade. Um dos grandes obstáculos á aceitação deste aparelho no mercado, foi a desconfiança dos consumidores relativamente às poupanças prometidas e ao retorno de investimento previsto. A empresa decidiu então, de modo a ganhar confiança no produto, instalar os aparelhos de livre custo e apenas pedir em troca uma percentagem da poupança atingida. Foi com esta abordagem que a empresa atingiu ganhos que nunca obteria com apenas a venda dos aparelhos.

Exemplos como este foram a base para a definição do modelo ESCO como se conhece nos dias de hoje. Nos anos 90, com a subida constante do preço do petróleo e da energia elétrica surgiu a oportunidade de as empresas ESCO se sobressaírem de forma sustentada. Nesse contexto as palavras “eficiência” e “redução de consumo” entram na ordem do quotidiano tendo o conceito ESCO evoluído em todas as vertentes que hoje se conhece (Guimarães, 2009).

A *International Energy Agency*, IEA, prevê um aumento de consumo de energia de 53% (5,9 biliões de toneladas de petróleo) até 2030, tais valores assustadores levam muitas empresas a adotarem um comportamento energético mais premeditado em termos de eficiência energética, fatores como risco, investimento e garantia de resultados marcam

Ferramenta para Projetos de centrais fotovoltaicas
em modelo ESCO

uma nova forma de gestão energética. É com esta preocupação que aponta as ESCO como um fator essencial nas próximas décadas (Ascensor, ESCO um novo mercado de serviços energéticos, 2011).

As ESCO, *Energy Service Companies*, são empresas que desenvolvem os seus negócios na área de soluções de engenharia energética. Estas empresas disponibilizam aos seus clientes um vasto leque de serviços, tais como, auditorias energéticas, planeamento de projetos de eficiência energética, implementação de medidas de conservação de energia, instalação de equipamentos de monitorização, etc (Ascensor, ESCO um novo mercado de serviços energéticos, 2011).

Os serviços energéticos são, benefícios tangíveis, a utilidade ou as vantagens da combinação entre energia e tecnologias de ação energeticamente eficientes. Com isto, ainda inclui operações, manutenção e o controlo necessário para prestar os serviços, previamente assinados num contrato que permita garantir verificáveis e mensuráveis melhorias no âmbito da eficiência energética e na poupança de energia primária. Os rendimentos da ESCO são obtidos através da celebração de um contrato de performance energética, EPC, entre as duas partes. Estes contratos são baseados nas poupanças atingidas pelo cliente, durante o período do serviço prestado (Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro, 2012).

Ao contrário de outras entidades, as ESCO garantem poupanças energéticas, e assumem riscos desde a sua projeção e manutenção até à medição e verificação das poupanças geradas (Ascensor, ESCO um novo mercado de serviços energéticos, 2011). Embora já existam registos deste tipo de estratégia há mais de cem anos, a sua grande expansão deu-se na década de 70 após a crise petrolífera de 1973, com especial destaque nos Estados Unidos (Ascensor, ESCO um novo mercado de serviços energéticos, 2011). Desde a década de 70 que a necessidade de eficiência energética se tornou mandatária como antes não se tinha verificado. A evolução das ESCO nas últimas décadas tem sido notória, onde inicialmente estas empresas apenas tratavam de medidas relativamente a aquecimento e ventilação de ar, e nos dias de hoje, já possuem contratos na área da transformação de energia.

2.3 Categorias de ESCO

A definição de ESCO é bastante abrangente e evoluiu para vários modelos de negócio derivados desta. Existem as ESCO tradicionais, que são empresas que executam todas as fases de um projeto de eficiência energética, desde a deteção de oportunidades de racionalização de consumo até à implementação física do projeto. Estas são responsáveis pela solução técnica e proprietárias da mesma, sendo deste modo igualmente responsáveis pelo investimento e manutenção dos equipamentos instalados, remunerando-se através de contratos EPC.

Retail Energy Service Companies, RESCO, são uma evolução do tipo tradicional, mas adaptado ao mercado produtor de energia. Nasceram da regulamentação de produção independente, cogeração e microgeração de energia elétrica. A liberalização do mercado de energia, no âmbito da política de distribuição de produção, abriu oportunidade ao aparecimento destas empresas. Aliadas a empresas parceiras, quer por estas cumprirem os requisitos de licenciamento de produtores de energia, como por disponibilizarem condições de logística para equipamentos produtores de energia as RESCO assumem cargos de projeto, financiamento e instalação dos equipamentos, sendo remuneradas através da partilha das mais-valias geradas pela venda da energia elétrica e outros subprodutos com a empresa parceira (Guimarães, 2009).

Última categoria, são empresas com operações ESCO similares, são geralmente empresas de engenharia que colocam os seus equipamentos no cliente garantindo as poupanças previstas. A responsabilidade do investimento usualmente é da parte do cliente, mas podendo ser dividida a responsabilidade com a empresa instaladora, ficando esta comprometida a ressarcir o cliente da diferença, caso as poupanças atingidas sejam inferiores às previstas e protocoladas. Em alguns casos, dependendo do contrato, a empresa instaladora pode ser bonificada caso as poupanças atingidas ultrapassem as previstas (Guimarães, 2009).

2.4 ESCO: Funcionamento

O funcionamento de uma empresa ESCO é dividida em 3 partes, sendo primeiramente realizado um planeamento, onde se estuda o potencial da poupança para determinado caso, depois de concluída esta fase dá-se a criação do EPC e implementação do projeto e por fim a medição e verificação das poupanças energéticas obtidas acompanhadas da sua manutenção. Pode-se observar na Figura 4 um esquema destas etapas.

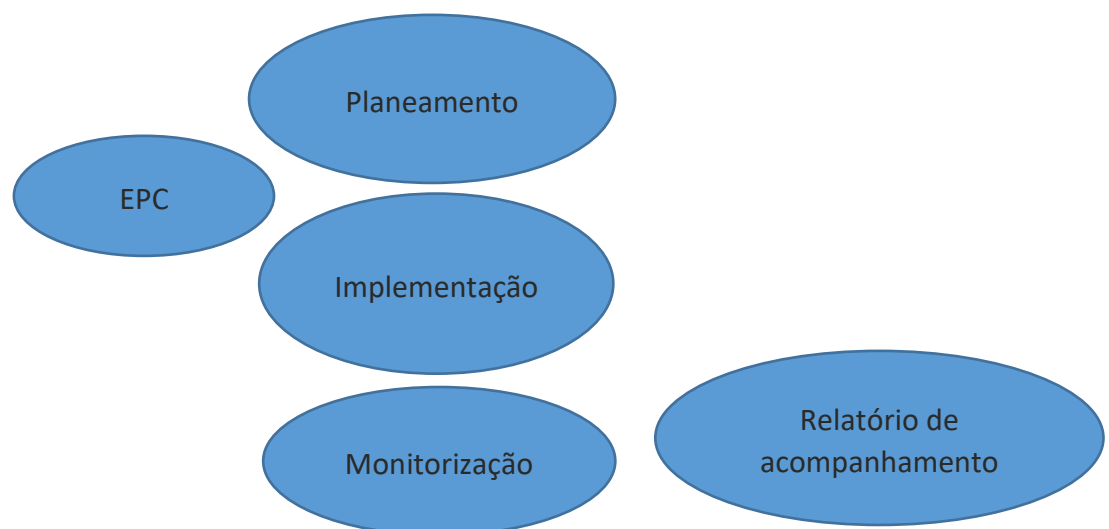


Figura 4 - Principais etapas de o funcionamento de uma ESCO.

Inicialmente, no planeamento, a ESCO é responsável por fazer uma análise energética da instalação e é com base nesse levantamento que é possível avançar para um estudo das soluções técnicas mais adequadas. É nesta primeira fase que é necessário criar uma base energética, *Baseline*, que reflete de forma rigorosa as condições existentes antes da implementação de quaisquer melhorias, contabilizando assim todos os fatores que condicionam o consumo de energia. Esta referência permite comparar o desempenho energético antes e depois de efetuadas alterações, de modo a contabilizar as poupanças obtidas no projeto.

Depois da realização destes estudos é possível elaborar o contrato entre a empresa ESCO e o cliente, EPC. Como dito anteriormente este contrato vai servir de suporte a todas as interações existentes. Nele, entre outros, está determinado o método de pagamento à ESCO, visto que as suas receitas são obtidas mediante as poupanças alcançadas pelas melhorias implementadas (Bertoldi, 2014).

A próxima fase passa pela implementação das medidas acordadas no EPC nas condições definidas. Esta fase apenas se inicia quando todos os detalhes do projeto estão estabelecidos, como por exemplo, quem financia a implementação das melhorias, quem é o beneficiário de cada medida a implementar e todos os contratos assinados.

A ESCO também é responsável pela medição e verificação, de modo a averiguar as poupanças obtidas, sendo esta fase de elevada importância para a empresa ESCO, pois dependendo do que foi acordado no EPC, estes valores de poupança serão as remunerações da empresa. Periodicamente terá que ser redigido um relatório com a descrição das poupanças registadas.

No final do EPC, toda a exploração e proveitos do projeto serão apenas do cliente. Poderá, por vezes, a ESCO continuar ligada ao projeto caso o cliente necessite dos serviços técnicos da mesma para efetuar a manutenção dos equipamentos.

2.5 EPC – Contratos de Performance Energética

Como já descrito em pontos anteriores, um EPC é um processo entre o ESCO e o cliente, que irá receber as melhorias de eficiência energética, onde o primeiro se compromete a projetar, implementar, verificar e garantir poupanças num projeto de eficiência energética. Este método de instalação de eficiência energética é considerado de baixo risco e aceite pelo mundo inteiro e o nível de investimento é acordado com critérios e requisitos (Companies, 2016).

Os EPC's foram criados nos Estados Unidos no final dos anos 70, depois da crise do petróleo em 1973, onde o preço deste subiu de forma abrupta, o que levou a uma consciencialização sobre usar energia mais eficientemente (Jas Singh, 2009).

Estes contratos são tradicionalmente implementados por empresas ESCO, empresas com a competência de auxiliar outras empresas a aplicar medidas e melhorias de modo a conservarem energia e aumentarem os seus lucros, para tal podem, participar no investimento total ou parcial do projeto, tendo a sua remuneração nas poupanças do projeto previamente acordado no EPC, ou apenas auxiliando a empresa com equipamentos e aplicações técnicas de manutenção e verificação, ficando a empresa com o risco de investimento e lucros.

As principais características de um contrato de performance energética:

- Serviço de eficiência energética completo, inclui projeção, construção, verificação, manutenção das medidas de eficiência, treino e aconselhamento, medição dos resultados e dos custos (Damir Stanicic, 2014).
- Financiamento normalmente realizado pela ESCO, ou uma terceira entidade disposta a investir no projeto, de modo a que o cliente pague o investimento com uma porção das poupanças geradas pelas melhorias impostas (Damir Stanicic, 2014).
- O contrato estipula garantias baseado na quantidade de energia produzida e na energia poupada em todo o projeto.
- Todas as questões técnicas, financeiras, construtivas e riscos são acordados no processo do contrato (Jas Singh, 2009).

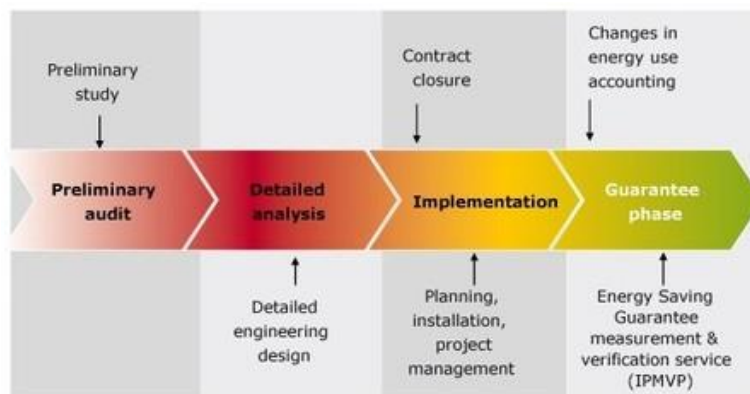


Figura 5 - Processo de um contrato de performance energético (Companies, 2016).

O processo de um EPC passa primeiro por um estudo preliminar, onde se analisam os consumos de energia e se projetam as melhores medidas a implementar para o caso de estudo, seguido de um processo de análise técnica, onde se estuda todo o layout da empresa e faz uma análise técnica dos equipamentos a instalar, posteriormente dá-se a fase de implementação das melhorias, onde se fecha o contrato e se enquadra toda a operação de instalação dos equipamentos e por último fica a medição e verificação dos resultados e também os serviços de manutenção.

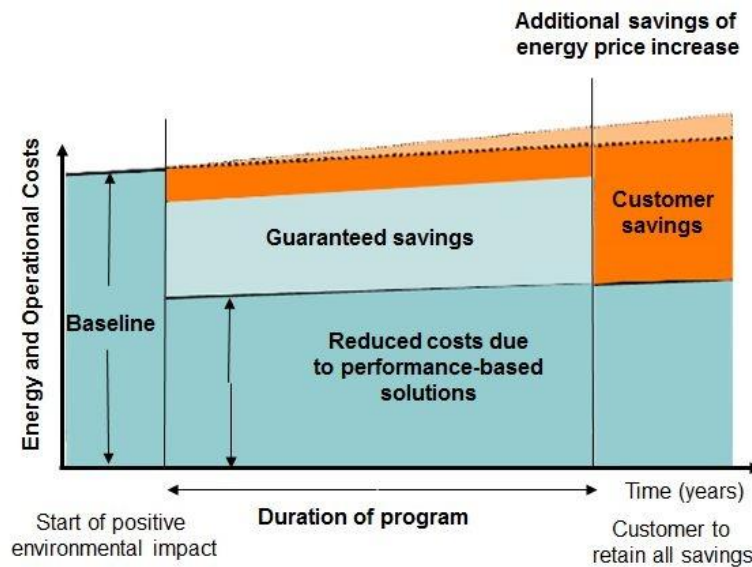


Figura 6 - Esquema de garantia de poupanças estabelecida num EPC (Companies, 2016).

2.6 Tipos de contratos de performance energético

Embora as especificações de um contrato variem, pode-se restringir a dois modelos básicos, o *Shared Savings* e o *Guaranteed savings*. Em ambos os modelos a estrutura de projeção, implementação e manutenção mantem-se constante ao que já foi descrito no ponto anterior, o que muda de um modelo para o outro é o modo como o projeto é financiado (Jas Singh, 2009).

O modelo *Shared Savings* foi criado na França, por *Compagnie Generale de Chauff* e é atualmente o mais utilizado na Europa, e durante 10 anos foi o único tipo de contrato utilizado nos Estados Unidos e Canada (J.Hansen, 2006). Neste modelo o financiamento é usualmente da responsabilidade da ESCO, havendo muito pouco investimento do cliente ou até nenhum. Este modelo não é muito encorajador para pequenas empresas deste tipo, que estejam a entrar no mercado devido a exigir um elevado poder financeiro. Neste panorama a empresa financiadora assume um risco muito elevado, pelo que todos os acordos entre a empresa e o cliente devem ficar bem descritos e assentes no contrato de performance energética, para não acontecerem casos de o cliente abandonar o contrato e deixar a ESCO sem liquidez. Deverá também traçar muito bem as percentagens das poupanças remuneradas no contrato, para não surgirem eventuais situações conflituosas entre o cliente e a ESCO, onde o primeiro pode alegar que a ESCO previu baixas poupanças para depois obter um pagamento extra pelo excesso da economia. Estes tipos de contratos costumam ter uma duração de 3 a 10 anos, podendo ser mais curtos para mercados subdesenvolvidos ou até mais de 15 anos

para mercado muito desenvolvidos, durante este tempo a ESCO deve estruturar bem os pagamentos para que além de recuperar o investimento, conseguir uma percentagem de lucro aceitável. Este modelo é um bom conceito para empresas pouco familiarizadas com este tipo de serviço, pois assumem pouco risco financeiro, ficando este mais exposto sobre a ESCO. Este tipo de modelo também causa barreiras nas empresas ESCO, uma vez que podem ficar facilmente endividadas e verem-lhes vetada a possibilidade de participarem em outros projetos ao mesmo tempo, prejudicando assim a competitividade com outras empresas do mesmo mercado. Existe uma alternativa a este fator que se chama *first out*, que consiste no pagamento a 100% das poupanças de energia até aos custos do projeto, incluindo o lucro para a ESCO, fazendo isto com que o EPC tenha uma duração mais curta (Jas Singh, 2009).

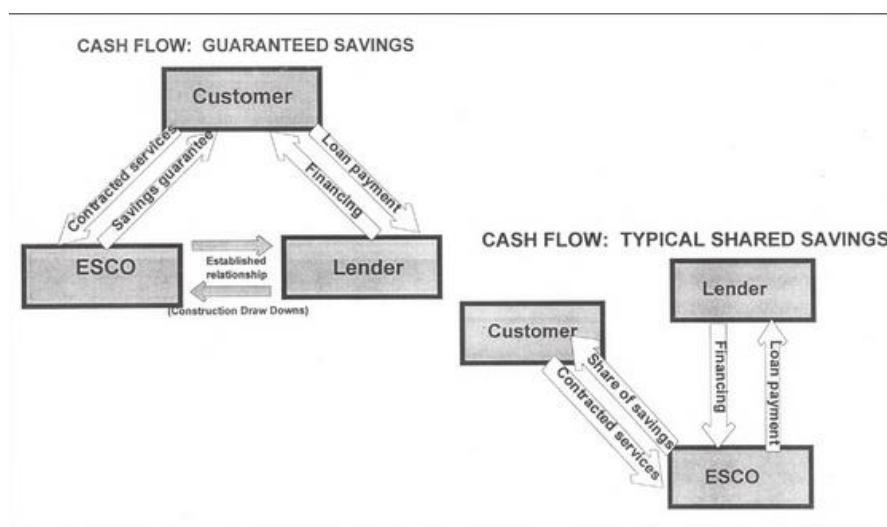


Figura 7 - Cash-flows nos Modelos *Guaranteed Savings* e no *Shared Savings* (J.Hansen, 2006)

Guaranteed savings é um modelo onde o financiamento é realizado pelo cliente e não pela empresa ESCO, caindo assim o risco de crédito todo no cliente, ficando a ESCO com um risco de garantia de resultados. Neste acordo a remuneração da ESCO é logo estabelecida na altura da assinatura do EPC, podendo ser fixo ou variável dependendo do contrato assinado, no caso de a realidade nas poupanças energéticas ser melhor do que tinha sido previsto, pode ser recompensada com um pagamento adicional, ou no caso de as poupanças atingidas não chegarem aos valores garantidos, a ESCO ter de reembolsar o cliente até os valores de poupança atingirem os valores previamente estimados. Este modelo é provável que funcione apenas em países com boa estrutura bancária, e com um bom grau de familiarização com este tipo de projetos e conhecimentos técnicos elevados, pois este exige que o cliente assuma todo o risco do investimento, sendo assim mais difícil de aceitar em mercados menos desenvolvidos. No entanto este modelo promove o crescimento a longo prazo das ESCO's e das suas finanças, uma vez que empresas recém-criadas e sem poder económico para

financiarem um projeto de grandes dimensões, de outra forma não teriam possibilidades de penetração neste mercado (J.Hansen, 2006).

Tabela 1 - Comparação entre dois Modelos EPC's

<i>Guaranteed Saving</i>	<i>Shared Savings</i>
Valor da energia poupada é garantido ao cliente para cumprir as obrigações do serviço;	As remunerações da ESCO dependem do preço da energia poupada, o que leva a uma aposta arriscada neste setor
ESCO fica com o risco de desempenho e o cliente fica com o risco de crédito;	ESCO além dos riscos de desempenho fica com os riscos de crédito
Intensa manutenção e verificação;	Pode servir clientes com menor poder financeiro
ESCO tem mais liberdade para realizar mais projetos sem ficar endividada	Favorece ESCO's maiores no mercado, as pequenas tornam-se demasiado endividadas para novos projetos
Desempenho referente à energia economizada	Desempenho referente ao custo da energia economizada
	Favorece projetos com <i>payback</i> mais curtos

2.7 ESCO: Em Portugal

O mercado ESCO em Portugal sempre foi conhecido como sendo relativamente pequeno, onde até 2009 apenas 10-12 empresas estariam a desempenhar as funções de uma ESCO, este crescimento lento, mas sólido, manteve-se constante durante os anos seguintes. Em 2014 já se encontrava em operação um número estimado de 15-20 empresas ESCO e o potencial de clientes é muito maior que nos anos anteriores, onde existem mais de 100 empresas com certificados energéticos.

Vários fatores têm contribuído para este crescimento em Portugal, nomeadamente os acordos políticos existentes entre Portugal e a União Europeia, o aumento dos preços das energias e a nova associação das ESCO, APES Energia.

As empresas ativas são tipicamente locais ou nacionais, normalmente pequenas e médias empresas. Grandes empresas internacionais são raras e estão a ser recentemente introduzidas no mercado. O potencial do mercado português nesta área é de 100-200 milhões que reflete projetos de eficiência energética com *payback* máximo de 10 anos (Bertoldi, 2014).

Tradicionalmente o grande leque de clientes das empresas ESCO em Portugal são empresas da vertente industrial, embora algumas empresas do setor público comecem a mostrar interesse em projetos de eficiência energética, as exigências de tais empresas tornam difícil as empresas ESCO obterem o lucro desejável, pelo que torna estes

Ferramenta para Projetos de centrais fotovoltaicas
em modelo ESCO

projetos menos atraentes. Restaurantes e hospitais são também alvos de projetos deste género.

Embora o número de potenciais clientes tenha crescido bastante nos últimos anos, os EPC's só começaram a ganhar popularidades recentemente, sendo estes assim considerados novos produtos de negócio e por isso as empresas estão em processo de aprendizagem, no que toca a contrato de performance energética. O modelo *shared savings* é o mais comum a nível nacional, pois embora as empresas ESCO nacionais sejam de pequenas dimensões e com pouco poder económico, o pouco conhecimento dos clientes nestes projetos não os incentiva a tomar o risco de financiamento (Bertoldi, 2014).

Dentro das principais barreiras que impendem um maior crescimento deste mercado, a falta de fundos para financiar estes projetos é sem duvida o mais importante, onde bancos portugueses não possuem fundos para investir nesta vertente de projetos e bancos internacionais não investem devido ao conhecimento dos riscos da crise económica em Portugal. A falta de conhecimento e confiança neste tipo de projeto é também uma barreira bastante comum ao nível nacional, assim como, o fato de os contratos de performance energético serem contratos a longo prazo (Bertoldi, 2014).

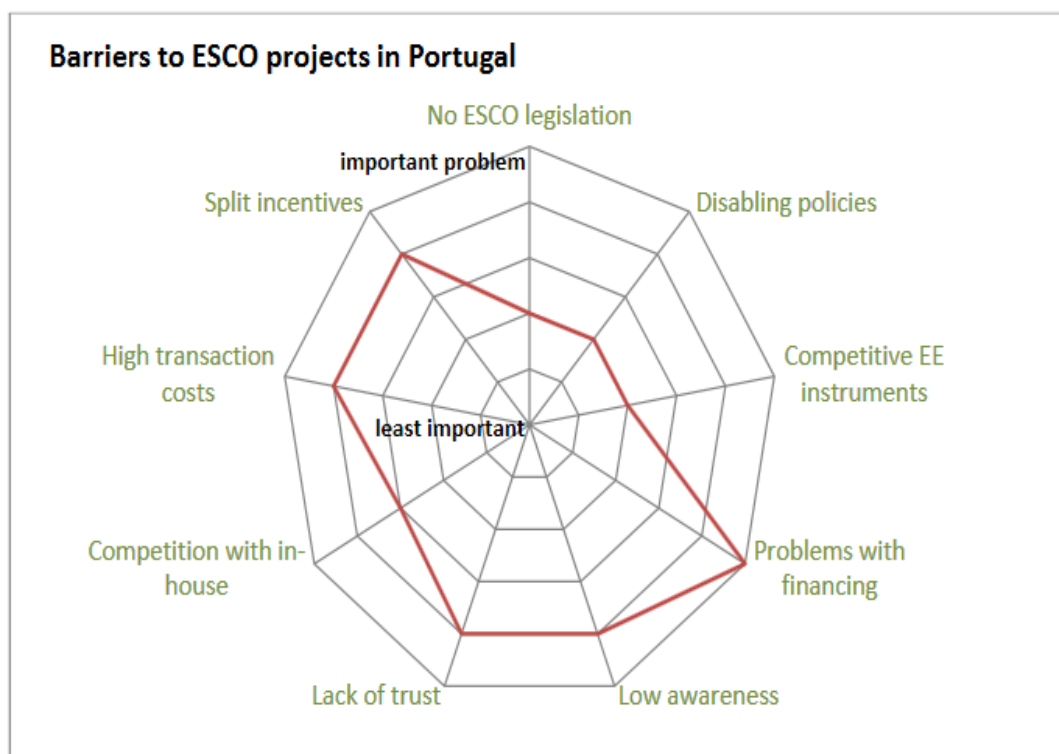


Figura 8 - Gráfico que ilustra a importância das barreiras para projetos ESCO em Portugal (Bertoldi, 2014)

Para resumir a situação das empresas ESCO em Portugal está transcrita na Tabela 2

Tabela 2 - ESCO em Portugal

Número de ESCO's	15 a 20 empresas ativas, mas mais de 100 empresas possuem certificados de eficiência energética nos registos oficiais do DGEG (Direção Geral de Energia E Geologia) de 2009 (Bertoldi, 2014).
Potencial do mercado ESCO	Embora o tamanho do mercado atual seja desconhecido, tem um potencial de 100-200 Milhões de euros/ano incluindo projetos de eficiência energética com <i>payback</i> menor que 10 anos.
Tendência do Mercado ESCO	A crescer lentamente
Associação ESCO	APES Energia
Típico Projetos ESCO	Indústrias, hospitais, restaurantes, edifícios públicos
Típico tipo de contrato	EPC (<i>Shared savings</i>)

2.8 Análise sumativa

A origem do conceito de uma empresa ESCO, surgiu na década de 70, devido á crise petrolífera 1973, conceito que foi alterando e adaptando-se até aos dias atuais.

As ESCO, são empresas que executam todas as fases de um projeto de eficiência energética, desde a deteção de oportunidades de racionalização de consumo até à implementação física do projeto. remunerando-se através de contratos EPC, acordado previamente entre a entidade recetora do projeto e a empresa ESCO.

Existem dois tipos de contrato EPC, o modelo *Shared Savings* e o modelo *Guaranteed Savings*, onde a diferença entre eles é maioritariamente na forma de pagamento da empresa ESCO.

O funcionamento da ESCO pode ser dividido em 3 partes, planeamento, implementação e por fim a monitorização do projeto.

O mercado de empresas ESCO em Portugal é pequeno, mas está em crescimento nos últimos anos, sendo os seus projetos maioritariamente para industrias e edifícios públicos, e o tipo de contrato mais usual o *Shared Savings*.

No próximo capítulo irá ser descrito a formulação da ferramenta criada para dimensionamento fotovoltaico, de modo a auxiliar o planeamento deste tipo de projetos para as empresas ESCO.

FORMULAÇÃO DO MODELO DA FERRAMENTA DE DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

- 3.1 Definição**
- 3.2 Formulação da Antiga Ferramenta**
- 3.3 Diagramas de carga**
- 3.4 Obtenção das Radiâncias**
- 3.5 Variáveis Consideradas**
- 3.6 Modelo Formulado**
- 3.7 Monitorização**
- 3.8 Modelo de Simulação Sem Diagramas**
- 3.9 Análise Conclusiva**

3 FORMULAÇÃO DO MODELO DA FERRAMENTA DE DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

3.1 Definição

Conforme supra descrito na presente dissertação, o principal objetivo deste projeto é o aperfeiçoamento global de uma ferramenta para dimensionamento de projetos fotovoltaicos, previamente criada em linguagem VBA.

Essa ferramenta era então apta a fazer o dimensionamento de uma instalação de painéis fotovoltaicos para uma determinada situação, de acordo com requisitos técnicos e financeiros predefinidos, pois devido aos consumos da empresa a realizar o projeto, especificações técnicas dos equipamentos, existem valores que são previamente conhecidos. Concretamente, a partir de valores de diagramas de cargas em intervalos de 15 em 15 minutos, durante o período mensal, e através de uma radiação incidente num local, é possível analisar a melhor solução técnica e financeira possível para iniciar um projeto concreto.

Este processo de análise, realiza-se através de iterações ao longo de um número de painéis possíveis de implementar numa determinada área, isto é, à medida que se efetuam as iterações, é também analisada a vertente financeira do projeto.

Como o excedente de energia produzida pela central fotovoltaica, ou seja, a energia que não é consumida pela instalação, é injetada na rede RESP cujo preço praticado é inferior a 10% do preço do OMIE, torna-se desvantajoso para o investidor realizar constantemente este tipo de transação, pois o prazo de retorno do investimento nestas condições alonga-se consideravelmente.

Daí a importância de a ferramenta poder avaliar a melhor solução em face dos diagramas de cargas inseridos na empresa. O que se concretiza pela verificação dos casos possíveis de *cash-flows* para cada iteração ao longo do tempo de garantia dos painéis, usualmente 25 anos, e analisando, também, a taxa interna de rentabilidade máxima para cada caso, assim como o *payback*.

Finalmente, concluída a simulação, cabe ao utilizador fazer o levantamento dos valores e análise do projeto, decidir a sua rentabilidade e delinear estratégias a melhor forma de expor o projeto ao cliente.

De referir que, embora a ferramenta esteja operacional, existem inúmeras melhorias possíveis a implementar de modo a aproximar os resultados obtidos das necessidades reais.

Além do aperfeiçoamento da ferramenta, foi também acrescentado um processo de simulação, onde não é necessário atribuir diagramas de carga de uma empresa. Esta utilização é totalmente paralela á ferramenta principal, não fazendo relação entre diagramas de carga de consumos e produção de painéis, mas apenas fazendo um

levantamento da produção dos painéis, considerando um consumo fictício da empresa para o qual se está a realizar a simulação. Este processo de simulação sem os diagramas de carga será melhor explicado no ponto 8 deste capítulo.

3.2 Formulação da Antiga Ferramenta

Foi descrito no ponto anterior da presente dissertação o processo de desenvolvimento da ferramenta existente para dimensionamento de projetos de centrais fotovoltaicas. E tal como referido, apesar de operacional, os valores obtidos nas suas simulações estão longe de serem considerados utilizáveis para projetos reais.

Isto porque vários processos realizados durante as iterações se encontram programados de forma deficiente, impedindo uma boa análise do projeto a implementar, o que, como se compreende, pode a longo prazo prejudicar tanto a empresa recetora do projeto, como a empresa ESCO, dependendo do tipo de contrato assinado. Um exemplo destas limitações é o facto de a antiga ferramenta apenas estar programada para um valor de tarifa introduzido, não fazendo assim a diferença entre períodos de inverno e verão ou entre dias de semana e dias de fim de semana. Ora, a não contabilização destas diferenças causa uma discrepância entre os valores simulados e a realidade.

Um obstáculo que se deve aqui salientar prende-se com o tempo que a ferramenta demora a realizar as iterações, podendo mesmo demorar imensas horas para fornecer qualquer tipo de resultado, tratando-se de projetos de grande dimensão, o que impede o utilizador, nesse período, de utilizar em absoluto o programa *Excel*.

Por fim, a limitação no carregamento dos diagramas de carga e das radiâncias era também desvantajoso, já que, para a maioria dos projetos, pode ser necessário ter em atenção mais do que um grau de radiância, o que a ferramenta não permitia. No entanto, ao longo da realização desta dissertação grande maioria dessas limitações foram melhoradas e ultrapassadas.

O modelo da ferramenta já anteriormente criado é capaz de efetuar três operações fundamentais: otimizar o número de painéis para uma dada instalação, efetuar a respetiva análise financeira e elaborar relatórios técnicos dessa instalação. De modo a atingir o número otimizado de painéis, a ferramenta está programada para recorrer ao método iterativo, por ser o mais adequado a estas situações. Para um funcionamento correto deste método, devem considerar-se a diferentes variáveis ao longo das iterações. Como tal, foi necessário preparar a ferramenta para que, a cada iteração, o programa recorresse aos valores de energia dos diagramas de carga em kWh e aos valores de produção dos painéis também em kWh, em intervalos de 15 minutos. A ferramenta faz então uma média das diferenças destes dois valores, sendo melhor o valor o que tiver mais próximo de zero. Posteriormente estes valores são inseridos em relatórios criados também pela ferramenta.

A ferramenta criada ao longo desta dissertação, apesar de utilizar um método semelhante, foi desenvolvida de modo a ultrapassar os aspetos que a limitavam e que foram detetados ao longo de mais de um ano de testes. Veja-se que todo o cálculo das iterações foi alterado no sentido de permitir que o programa seja apto a calcular as diversas fórmulas financeiras e técnicas para diferentes radiâncias.

3.3 Diagramas de carga

O dimensionamento de uma instalação de painéis fotovoltaicos exige a obtenção do respetivo diagrama de cargas da empresa pelo período de pelo menos um ano. O diagrama de carga de uma instalação, por sua vez, é normalmente fornecido em intervalos de 15 minutos e com tomada de potência em kW, podendo estar também disposta em W. Estes diagramas estão disponíveis em formato “xlsx” no site da EDP distribuição (Distribuição), bastando para tal fazer *login* na página e aceder à opção que permite fazer *download* dos diagramas de carga em períodos de 15 minutos ou de uma hora, consoante a vontade do operador.

Todavia, para a correta utilização da ferramenta é necessário utilizar um intervalo de 15 minutos e, ainda, que os diagramas de carga estejam o mais atualizados possível, sendo os meses do último ano os mais recomendados.

A importação dos diagramas está automatizada na ferramenta, sendo apenas pedido ao utilizador que insira os dados dispostos em cada ficheiro “xlsx” na altura indicada. Na Figura 9 é apresentado um exemplo de um ficheiro “xlsx” de um diagrama de cargas.

Dia	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	03:15	03:30	03:45	04:00	04:15	04:30	04:45
1	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	20,0
2	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0	30,0	30,0	20,0	30,0	20,0	40,0	30,0	20,0	30,0	30,0	30,0	30,0	20,0	30,0
3	30,0	30,0	30,0	20,0	30,0	30,0	30,0	30,0	20,0	30,0	40,0	20,0	30,0	20,0	30,0	30,0	20,0	30,0	30,0
4	150,0	170,0	200,0	210,0	210,0	220,0	240,0	240,0	270,0	270,0	290,0	290,0	270,0	290,0	290,0	280,0	280,0	270,0	280,0
5	310,0	270,0	280,0	300,0	300,0	300,0	310,0	320,0	310,0	310,0	300,0	320,0	310,0	310,0	320,0	310,0	310,0	310,0	310,0
6	330,0	290,0	300,0	310,0	320,0	320,0	310,0	310,0	320,0	330,0	330,0	320,0	320,0	320,0	310,0	320,0	320,0	320,0	330,0
7	320,0	310,0	300,0	330,0	320,0	320,0	330,0	330,0	320,0	310,0	320,0	320,0	330,0	330,0	340,0	320,0	300,0	300,0	310,0
8	280,0	260,0	250,0	280,0	290,0	280,0	280,0	290,0	290,0	300,0	290,0	300,0	280,0	290,0	290,0	290,0	280,0	280,0	290,0
9	200,0	120,0	100,0	110,0	110,0	100,0	100,0	90,0	100,0	100,0	100,0	90,0	80,0	90,0	100,0	90,0	80,0	90,0	90,0
10	60,0	50,0	50,0	60,0	60,0	50,0	60,0	60,0	60,0	50,0	50,0	60,0	60,0	50,0	50,0	60,0	60,0	60,0	50,0
11	220,0	260,0	270,0	270,0	290,0	290,0	270,0	250,0	280,0	270,0	280,0	280,0	280,0	270,0	280,0	280,0	280,0	280,0	280,0
12	300,0	280,0	270,0	290,0	290,0	300,0	300,0	300,0	310,0	310,0	300,0	300,0	290,0	290,0	310,0	290,0	290,0	290,0	300,0
13	340,0	310,0	320,0	340,0	340,0	330,0	320,0	310,0	300,0	320,0	300,0	300,0	310,0	300,0	300,0	300,0	290,0	300,0	290,0
14	330,0	290,0	300,0	320,0	320,0	320,0	310,0	320,0	300,0	320,0	300,0	320,0	310,0	320,0	310,0	320,0	300,0	300,0	310,0
15	320,0	290,0	270,0	300,0	310,0	320,0	310,0	310,0	290,0	310,0	310,0	320,0	300,0	300,0	310,0	310,0	310,0	310,0	300,0
16	180,0	100,0	100,0	90,0	90,0	80,0	90,0	90,0	90,0	80,0	90,0	80,0	90,0	80,0	80,0	130,0	180,0	180,0	180,0
17	60,0	70,0	60,0	70,0	70,0	60,0	70,0	60,0	70,0	60,0	70,0	60,0	70,0	70,0	60,0	70,0	70,0	60,0	70,0
18	240,0	290,0	290,0	290,0	280,0	310,0	300,0	310,0	290,0	290,0	300,0	300,0	300,0	300,0	310,0	320,0	300,0	310,0	310,0
19	310,0	290,0	290,0	300,0	310,0	300,0	320,0	310,0	310,0	310,0	310,0	320,0	320,0	310,0	310,0	320,0	310,0	310,0	310,0
20	320,0	290,0	290,0	310,0	290,0	300,0	320,0	310,0	310,0	320,0	330,0	320,0	320,0	290,0	320,0	310,0	300,0	310,0	320,0
21	340,0	300,0	310,0	320,0	330,0	330,0	330,0	340,0	320,0	330,0	330,0	330,0	320,0	340,0	320,0	330,0	310,0	330,0	330,0
22	310,0	290,0	300,0	310,0	320,0	310,0	320,0	320,0	310,0	310,0	310,0	310,0	300,0	320,0	310,0	310,0	300,0	310,0	310,0
23	230,0	110,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	90,0	90,0	90,0	80,0	90,0	90,0	90,0	80,0	90,0	90,0	90,0

Figura 9 - Exemplo de um diagrama de carga obtido da EDP Distribuição

Após o carregamento dos diagramas de cargas na ferramenta, esta é responsável por organizar os valores numa folha de cálculo para, seguidamente, fazer ligação às radiâncias que irão posteriormente ser introduzidas.

3.4 Obtenção das Radiâncias

A radiância solar é a energia radiante transmitida pelo sol e fonte primária utilizada na produção de energia. Como tal, para simulação da energia produzida pela central fotovoltaica, é obrigatório obter os dados de radiância solar do local da futura instalação. Ora, para que essa simulação seja o mais realista possível é imprescindível que estes valores sejam, também eles, muito rigorosos. Uma fonte credível para se obter estes valores é o site da União Europeia, designado PVGIS (System, Photovoltaic Geographical Information). Através desta página é possível fazer download dos valores de radiância em formato "txt" para intervalos de 15 minutos, de um determinado mês do ano. Estes são obtidos com base em valores medidos de 1998 a 2010. Os dados a introduzir para obtenção das radiâncias pretendidas são as coordenadas do local a implementar a instalação e os graus de inclinação e orientação dos painéis em estudo (System, Photovoltaic Geographical Information).

Na Figura 10 dar-se-á um exemplo do modelo dos dados obtidos, onde na primeira coluna é possível evidenciar as horas dos dias, em intervalos de 15 minutos, a que corresponde cada valor de radiância. Na segunda, estão indicados os valores de radiância global em W/m^2 e, na última coluna, os valores de radiância difusa também em W/m^2 . Para o cálculo da energia produzida são utilizados os valores de radiância global da segunda coluna.

```
Latitude:      40°36'26" North,
Longitude:    7°18'5" West

Results for:   December

Inclination of plane: 4 deg.
Orientation (azimuth) of plane: 0 d
Time          G          Gd
07:52        39          39
08:07        49          49
08:22        109         62
08:37        134         71
08:52        159         79
09:07        182         86
09:22        203         92
09:37        224         98
09:52        242         102
10:07        259         107
10:22        273         110
10:37        286         113
10:52        297         115
11:07        305         117
11:22        312         119
11:37        316         120
11:52        318         120
12:07        318         120
12:22        316         120
12:37        312         119
12:52        305         117
```

Figura 10 - Excerto exemplo dos valores de radiância obtidos em formato "txt" (System, Photovoltaic Geographical Information)

Durante o processo de simulação da ferramenta, esta irá pedir ao utilizador que importe os valores de radiâncias locais bastando, para tal, que selecione o ficheiro “txt” do mês referente ao pedido da ferramenta. Tal como com os diagramas de carga, a ferramenta irá automaticamente organizar os valores de radiância de modo a ficar por ordem temporal de importação, ou seja, se o primeiro mês importado for março, para um caso de 12 meses, o último será fevereiro do ano seguinte. Ao contrário da ferramenta anterior, que só permitia introduzir uma radiância para cada mês, a atual já é capaz de incorporar até 10 radiâncias para uma determinada instalação. É definido diferentes radiâncias sempre que diferirem inclinações ou orientações, pelo que uma introdução de 10 radiâncias significa o estudo de um projeto com painéis fotovoltaicos, que irão ser instalados em 10 conjuntos diferentes, cada um com uma diferente inclinação ou orientação das anteriores.

3.5 Variáveis Consideradas

Uma análise aprofundada de um dimensionamento ESCO requer o levantamento de diversas variáveis. Como anteriormente melhor explicado, os primeiros dados a serem pedidos pela ferramenta são os diagramas de carga e as radiâncias do local do projeto. Com a introdução destes dados no programa, é necessário efetuar uma filtragem dos números de meses introduzidos e o número de radiâncias, assim viabilizando a organização desses dados por horas e meses, cronologicamente, em colunas separadas. Assim, já é possível à ferramenta elaborar um estudo energético e financeiro relativamente a cada período de produção e a cada consumo de energia. Na Figura 11 ilustra-se um exemplo da disposição dos valores, para 8 radiâncias introduzidas, sem as tarifas, em *Excel*.

38	07:37:00	96	78	39	96	78	39	96	78
63	07:52:00	146	121	50	146	121	50	146	121
65	08:07:00	187	155	61	187	155	61	187	155
66	08:22:00	227	189	61	227	189	61	227	189
73	08:37:00	266	221	78	266	221	78	266	221
63	08:52:00	302	252	95	302	252	95	302	252
70	09:07:00	335	281	112	335	281	112	335	281
77	09:22:00	366	307	127	366	307	127	366	307
79	09:37:00	395	332	142	395	332	142	395	332
82	09:52:00	421	354	155	421	354	155	421	354
79	10:07:00	445	374	167	445	374	167	445	374
88	10:22:00	465	392	178	465	392	178	465	392
82	10:37:00	483	407	187	483	407	187	483	407
74	10:52:00	498	420	195	498	420	195	498	420
70	11:07:00	509	430	201	509	430	201	509	430
68	11:22:00	518	438	206	518	438	206	518	438

Figura 11 - Exemplo da disposição dos valores de consumos e radiâncias

A primeira coluna representa os consumos da empresa em intervalos de 15 minutos, com o respetivo tempo disposto na segunda coluna. A partir da terceira estão dispostas as radiâncias do local, podendo diferir umas das outras pela orientação (Norte, Sul, Sudeste, etc.) ou até possuírem a mesma orientação, mas inclinações diferentes (10°, 35°, 45°).

Na antiga ferramenta seria agora pedido a introdução das tarifas, sendo estas distribuídas pelos espaços temporais. Porém, assumia estes valores como se se tratassem sempre de um período de verão e, todos, como dias da semana.

Ora, evidentemente que um ano não é totalmente composto por um período de verão, nem todos os dias são dias da semana, verificando-se assim que os valores das tarifas estariam, pelo menos para grande parte do ano, distribuídos de forma menos precisa. A somar a isto, a desconsideração dos fins de semana originava períodos de ponta e de cheia inexistentes, o que levava a um erro do cálculo nas projeções financeiras do estudo.

Para eliminar essa imprecisão, antes de qualquer introdução das tarifas, atribui-se aos valores dispostos um valor de data cronológico, de modo a permitir à ferramenta associar cada hora de consumo a um dia e a um mês, podendo assim fazer-se uma distinção entre períodos tarifários e estações do ano ao longo do cálculo. Para o efeito, é pedido ao utilizador a introdução de uma data inicial (sendo o primeiro dia, do primeiro mês, introduzido nos diagramas de carga). Através dos valores introduzidos, o programa finaliza automaticamente com os dias da semana correspondentes aos dias do mês; e os períodos tarifários, com base nos dias da semana, nas horas e na estação do ano, podendo assim obter-se um estudo financeiro real e preciso. Pode-se verificar os períodos tarifários no anexo A1.

De seguida é pedida a introdução das tarifas - Ponta, Cheia, Vazio, Supervazio -, valores estes que são obtidos através da fatura do cliente e dispostos também na folha de *Excel*, concretamente na coluna a seguir aos últimos valores dispostos, como melhor se demonstrará na Figura 12.

38	07:37:00	96	78	39	96	78	39	96	78	0,095848				01/01/2016	Inverno	6 Semana
63	07:52:00	146	121	50	146	121	50	146	121	0,095848				01/01/2016	Inverno	6 Semana
65	08:07:00	187	155	61	187	155	61	187	155	0,095848				01/01/2016	Inverno	6 Semana
66	08:22:00	227	189	61	227	189	61	227	189	0,095848				01/01/2016	Inverno	6 Semana
73	08:37:00	266	221	78	266	221	78	266	221	0,095848				01/01/2016	Inverno	6 Semana
63	08:52:00	302	252	95	302	252	95	302	252	0,095848				01/01/2016	Inverno	6 Semana
70	09:07:00	335	281	112	335	281	112	335	281	0,095848				01/01/2016	Inverno	6 Semana
77	09:22:00	366	307	127	366	307	127	366	307	0,095848				01/01/2016	Inverno	6 Semana
79	09:37:00	395	332	142	395	332	142	395	332	0,103599				01/01/2016	Inverno	6 Semana
82	09:52:00	421	354	155	421	354	155	421	354	0,103599				01/01/2016	Inverno	6 Semana
79	10:07:00	445	374	167	445	374	167	445	374	0,103599				01/01/2016	Inverno	6 Semana
88	10:22:00	465	392	178	465	392	178	465	392	0,103599				01/01/2016	Inverno	6 Semana
82	10:37:00	483	407	187	483	407	187	483	407	0,103599				01/01/2016	Inverno	6 Semana
74	10:52:00	498	420	195	498	420	195	498	420	0,103599				01/01/2016	Inverno	6 Semana
70	11:07:00	509	430	201	509	430	201	509	430	0,103599				01/01/2016	Inverno	6 Semana
68	11:22:00	518	438	206	518	438	206	518	438	0,103599				01/01/2016	Inverno	6 Semana
66	11:37:00	524	443	209	524	443	209	524	443	0,103599				01/01/2016	Inverno	6 Semana

Figura 12 - Disposição da ferramenta após introdução das tarifas.

Podem observar-se, nas últimas colunas, os valores da data e dia da semana correspondente e respetiva estação do ano. Ou seja, os dados necessários para se efetuar uma boa distribuição das tarifas, disposta na coluna a seguir aos últimos valores de radiância.

Aqui chegados, a ferramenta está capacitada para comparar os consumos em cada período e para as respetivas radiâncias incidentes no local da futura instalação e, bem assim, os valores das tarifas de energia para cada um dos períodos.

Uma análise financeira completa implica, ainda, a introdução de algumas variáveis que viabilizem um cálculo suficiente e adequado ao dimensionamento para instalação de painéis fotovoltaicos.

No que concerne à produção de energia é indispensável facultar outras variáveis de modo a fazer um levantamento completo da simulação. Para converter os dados de consumo que se encontram em potência, devem ser facultados valores dos painéis, tais como, a sua potência, eficiência, respetiva área e, por fim, as perdas do sistema, as quais cabe ao utilizador atribuir consoante a instalação em causa. De um ponto de vista mais técnico, é necessário a introdução de valores como o número de anos de garantia dos painéis e a sua área útil no edifício onde o projeto deva ser implementado, sempre tendo em atenção que, a área útil introduzida, deverá já refletir as zonas de sombreamento e de espaçamento entre painéis.

Já do ponto de vista financeiro deverão ser introduzidas as tarifas da potência das horas de ponta e a tarifa de MIBEL; a eventual percentagem de desconto a fazer ao cliente; percentagens de verbas para a manutenção; percentagens de verba para o seguro, uma taxa de inflação; e a taxa de custo de capital, WACC.

Como a ferramenta está programada para lidar com diversas radiâncias, é necessário que a introdução dos valores das áreas úteis seja feita tantas vezes quanto o número de radiâncias existentes, pois para diferentes orientações e inclinações deverá ser introduzida a área correspondente de cada uma. Após a introdução destes últimos dados, a ferramenta pergunta ao utilizador a percentagem máxima de energia injetada que considere obter. Frise-se que, conforme já mencionado anteriormente nesta dissertação, para um sistema com grande quantidade de energia injetada na rede, para evitar erros de cálculo, pode o utilizador, entre simulações de radiância, limitar esta percentagem de modo a garantir que a ferramenta analisa um certo número de painéis sem ultrapassar o valor máximo definido. Este último ponto será melhor desenvolvido no capítulo seguinte.

Concluída a simulação, a ferramenta cria diversas folhas de análise de dados, tanto financeiros como técnicos, assegura ao utilizador um acesso fácil a novas simulações, sem precisar de carregar novamente os diagramas de carga, as radiâncias e as tarifas para o programa, já que, para o mesmo projeto, estes valores se mantêm constantes. Alternativamente, pode ainda alterar quaisquer outras variáveis, sendo também permitida, por opção do utilizador, fazer uma simulação que utilize um número de painéis fixo ao invés da área útil.

Na Tabela 3 podem verificar-se as variáveis introduzidas numa primeira simulação e nas subsequentes àquela.

Tabela 3 Variáveis da Ferramenta

Variáveis	Tipo de variável
Diagramas de carga	Instalação
Radiâncias	
Área útil	
Perdas	
Potência dos painéis	Painéis fotovoltaicos
Eficiência	
Área	
Garantia	
Número de painéis	
Percentagem de desconto	Financeiro
Operação e Manutenção	
Seguro	
Taxa de inflação	
WACC	
Tarifas	

3.6 Modelo Formulado

Para que a ferramenta sirva o seu propósito é necessário que seja capaz de executar três funções: **1.** otimizar o número de painéis a utilizar numa determinada instalação; **2.** efetuar uma análise técnica e financeira dessa mesma solução; **3.** elaborar uma ficha técnica/financeira da melhor solução possível.

Como suprarreferido, o melhor método para realizar uma otimização dos painéis deste tipo é o método iterativo. Este caracteriza-se por ser bastante robusto e ter a capacidade de se adaptar a inúmeros problemas, com a única desvantagem de ser computacionalmente pesado. Para a ferramenta poder otimizar os painéis, terá que fazer as iterações para o número máximo de painéis, obtidos através da área útil. A ferramenta realiza processos separados para as diferentes radiâncias, fazendo o processo de iterações para a primeira radiância, de seguida para a segunda e assim sucessivamente. Na antiga ferramenta, para o processo de otimização dos painéis fotovoltaicos eram relacionadas diferentes variáveis, calculada a maximização do TIR e a diferença entre os valores de consumo dos diagramas de carga e os da produção fotovoltaica. Comprovando-se, pela realização de testes, que esse método evidenciava as melhores condições de painéis fotovoltaicos para uma determinada instalação. Na ferramenta aperfeiçoada neste projeto, manteve-se o método de análise das iterações,

pois verificou-se ser corretamente dimensionada, mas acrescentou-se uma variável de decisão nova. A nova versão da ferramenta, além de otimizar os painéis para as condições anteriormente descritas, confere ao utilizador a opção de restringir, ou não, a energia que é injetada para a rede e por cada simulação. Depois de concluídas as iterações para os primeiros valores de radiância, a ferramenta inicia as iterações para a segunda radiância e assim sucessivamente, até percorrer todas as áreas atribuídas para o número selecionado de radiâncias. No final de todo o processo iterativo, a ferramenta regista na folha *Excel* “Dados Simulação”, os melhores valores obtidos para cada uma das radiâncias simuladas, como se pode verificar na Figura 13.

Tempo	Energia Produzida	Energia Consumida	Diferença	Tempo	Energia Produzida	Energia Consumida	Diferença	Tempo	Energia Produzida	Energia Consumida	Diferença
07:37:00	1,451098561	4,25	-2,798901558	07:37:00	0,69910872	2,798901558	-2,099792957	07:37:00	1,167373776	2,099792957	-0,932419181
07:52:00	1,89082551	4,25	-2,35917449	07:52:00	1,295407295	2,35917449	-1,063767195	07:52:00	2,440872431	1,063767195	1,377105236
08:07:00	3,166033268	4,5	-1,333966732	08:07:00	1,747771859	1,333966732	0,413805127	08:07:00	3,325246572	0	3,325246572
08:22:00	4,22137785	4	0,22137785	08:22:00	2,179574251	0	2,179574251	08:22:00	3,96199584	0	3,96199584
08:37:00	5,320694923	4,25	1,070694923	08:37:00	2,611376762	0	2,611376762	08:37:00	4,563370228	0	4,563370228
08:52:00	6,376039505	4,25	2,126039505	08:52:00	3,043179035	0	3,043179035	08:52:00	5,093994617	0	5,093994617
09:07:00	7,387411118	4,5	2,887411118	09:07:00	3,433857441	0	3,433857441	09:07:00	5,589244366	0	5,589244366
09:22:00	8,39878273	4	4,39878273	09:22:00	3,803973913	0	3,803973913	09:22:00	6,013743877	0	6,013743877
09:37:00	9,366182327	4,25	5,116182327	09:37:00	4,132966042	0	4,132966042	09:37:00	6,402868271	0	6,402868271
09:52:00	10,24563599	4,25	5,995635986	09:52:00	4,441396713	0	4,441396713	09:52:00	6,721242905	0	6,721242905
10:07:00	11,08116668	4,25	6,83116668	10:07:00	4,729264736	0	4,729264736	10:07:00	7,004242897	0	7,004242897
10:22:00	11,82865238	4,25	7,578652382	10:22:00	4,976008892	0	4,976008892	10:22:00	7,216492653	0	7,216492653
10:37:00	12,53221512	4,25	8,282215118	10:37:00	5,181629181	0	5,181629181	10:37:00	7,357992172	0	7,357992172
10:52:00	13,14783287	4,25	8,89783287	10:52:00	5,366687298	0	5,366687298	10:52:00	7,46411705	0	7,46411705
11:07:00	13,67550468	4,5	9,175504684	11:07:00	5,510621548	0	5,510621548	11:07:00	7,499492168	0	7,499492168
11:22:00	14,15920448	4,25	9,909204483	11:22:00	5,613431931	0	5,613431931	11:22:00	7,46411705	0	7,46411705
11:37:00	14,51098633	4,25	10,26098633	11:37:00	5,67511797	0	5,67511797	11:37:00	7,428742409	0	7,428742409
11:52:00	14,8187952	4	10,8187952	11:52:00	5,716241837	0	5,716241837	11:52:00	7,287242413	0	7,287242413
12:07:00	14,99468517	4,5	10,49468517	12:07:00	5,716241837	0	5,716241837	12:07:00	7,145742416	0	7,145742416
12:22:00	15,12660408	4	11,12660408	12:22:00	5,67511797	0	5,67511797	12:22:00	6,933492661	0	6,933492661
12:37:00	15,1705761	4,5	10,6705761	12:37:00	5,613431931	0	5,613431931	12:37:00	6,650493145	0	6,650493145
12:52:00	15,08263111	4,25	10,83263111	12:52:00	5,510621548	0	5,510621548	12:52:00	6,367493629	0	6,367493629
13:07:00	14,95071316	4,75	10,20071316	13:07:00	5,366687298	0	5,366687298	13:07:00	6,013743877	0	6,013743877
13:22:00	14,68687725	4,5	10,18687725	13:22:00	5,181629181	0	5,181629181	13:22:00	5,624619007	0	5,624619007
13:37:00	14,33509541	4,5	9,835095406	13:37:00	4,976008892	0	4,976008892	13:37:00	5,164744854	0	5,164744854
13:52:00	13,89536858	4,25	9,645368576	13:52:00	4,729264736	0	4,729264736	13:52:00	4,704870224	0	4,704870224
14:07:00	13,36769581	4,25	9,117695808	14:07:00	4,441396713	0	4,441396713	14:07:00	4,209620476	0	4,209620476

Figura 13 - Disposição dos valores para diferentes radiâncias.

Verifica-se, na imagem exemplificativa supra representada, que os valores são dispostos para cada radiância simulada, atingindo assim um valor ideal de produção independente da situação da anterior. A energia consumida, contudo, já não funciona da mesma forma, porquanto, embora a produção de energia dependa de variáveis como número de painéis ou a orientação solar, o consumo de energia da empresa é sempre o mesmo, independentemente dessas variáveis, ainda que seja dependente de outros fatores. Como a ferramenta realiza as simulações por ordem cronológica, fazendo iterações para a primeira radiância, de seguida a segunda e assim sucessivamente, foi necessário programar a energia consumida para variar em conformidade com o avanço das simulações.

Como se ilustra ainda na Figura 13, a energia consumida da segunda radiância não é igual à da primeira, antes resulta, sim, da diferença entre a produção de energia da primeira e o consumo da mesma, pois que o segundo grupo de painéis não pode autoconsumir energia já consumida pelos painéis do grupo anterior, o mesmo se verificando continuamente ao longo das diferentes radiâncias atribuídas. Caso uma instalação esteja a consumir toda a energia e a injetar na rede (a diferença é um valor

positivo), a radiância seguinte está predefinida para igualar o valor de consumo de energia para o valor 0, como se verifica na Figura 14.

0,205361	1,99002	-1,78466	0,017715			0,803887	1,784658	-0,98077	0,069346			0,666323	0,980771	-0,31445	0,057479
0,205361	1,242446	-1,03709	0,017715			0,975841	1,037085	-0,06124	0,084179			0,812485	0,061244	0,751241	0,039014
0,262593	1,222654	-0,96006	0,022652			1,143497	0,960061	0,183436	0,091054			0,950048	0	0,950048	0,042657
0,319825	0,46581	-0,14599	0,027589			1,298256	0,145985	1,152271	0,06433			1,083313	0	1,083313	0,048641
0,377057	0,97554	-0,59848	0,032526			1,440118	0,598483	0,841635	0,089416			1,20798	0	1,20798	0,054238
0,427555	0,756195	-0,32864	0,036882			1,573383	0,328639	1,244744	0,084238			1,31975	0	1,31975	0,059257
0,478054	0,54669	-0,06864	0,044573			1,69805	0,068636	1,629414	0,07956			1,427222	0	1,427222	0,064082
0,52182	0,611217	-0,0894	0,048654			1,80982	0,089398	1,720423	0,085582			1,521797	0	1,521797	0,068329
0,562218	0,691127	-0,12891	0,052421			1,912993	0,128909	1,784084	0,092125			1,607774	0	1,607774	0,072189
0,599251	0,542636	0,056615	0,053137			1,99897	0	1,99897	0,089754			1,685153	0	1,685153	0,075663
0,62955	0,415068	0,214482	0,048331			2,07635	0	2,07635	0,093228			1,749636	0	1,749636	0,078559
0,656483	0,305991	0,350492	0,044267			2,140833	0	2,140833	0,096123			1,805522	0	1,805522	0,081068
0,676682	0	0,676682	0,030383			2,18812	0	2,18812	0,098247			1,84851	0	1,84851	0,082998
0,693515	0	0,693515	0,031139			2,22681	0	2,22681	0,099984			1,882901	0	1,882901	0,084542
0,703615	0,114977	0,588638	0,03715			2,252603	0	2,252603	0,101142			1,904395	0	1,904395	0,085507
0,710348	0,34457	0,365778	0,048551			2,2655	0	2,2655	0,101721			1,912993	0	1,912993	0,085893
0,710348	0,59457	0,115778	0,056488			2,2655	0	2,2655	0,101721			1,912993	0	1,912993	0,085893
0,706981	1,11306	-0,40608	0,060986			2,252603	0,406079	1,846524	0,117939			1,904395	0	1,904395	0,085507
0,696882	1,155583	-0,4587	0,060115			2,22681	0,458701	1,768109	0,118957			1,882901	0	1,882901	0,084542
0,680049	0,472137	0,207912	0,050063			2,18812	0	2,18812	0,098247			1,84851	0	1,84851	0,082998
0,659849	0,304074	0,355775	0,042205			2,140833	0	2,140833	0,096123			1,805522	0	1,805522	0,081068
0,636283	0,411235	0,225048	0,045579			2,07635	0	2,07635	0,093228			1,749636	0	1,749636	0,078559

Figura 14 - Exemplo de consumos de energia nas radiâncias seguintes.

Para se determinar o número máximo de iterações, ou dito de outro modo, o número máximo de painéis possíveis de instalar num determinado espaço, é necessário ter acesso à área útil de implementação assim como à área de cada painel. Antes do processo iterativo, a ferramenta solicita a introdução de ambas as variáveis mencionadas. A fim de garantir que o espaço a utilizar suporta devidamente o número de painéis calculados, foi essencial criar uma pequena margem no cálculo do número de painéis máximos, até para salvaguardar o espaço necessário à eventual manutenção dos painéis. Para essa margem, foi utilizado um valor de “1.8m²”, porquanto é o que garante, simultaneamente, espaço para o painel e para passagem de técnicos na realização da manutenção. O que aqui foi dito é explicado pela fórmula utilizada pela ferramenta, cuja equação é infra apresentada.

$$\text{Iterações} = \text{Int}((\text{Área Útil})/1.8) \quad (1)$$

Onde, Int corresponde ao arredondamento do valor calculado apenas para números inteiros e área útil representa a área definida na ferramenta como o espaço útil da instalação.

A energia produzida pelos painéis está diretamente relacionada com os valores das radiâncias, assim como as especificações técnicas dos ditos painéis, cujo cálculo se pode verificar na equação 2.

$$\text{Energia Produzida} = (\text{Rad}/1000) * \text{efic} * \text{area} * i * (1 - \text{perdas}) * (1/4) \quad (2)$$

Onde, *Rad* é o valor das radiâncias de 15 em 15 minutos, *efic* é a percentagem de eficiência dos painéis, *área* é a área de produção de energia do painel, *i* é o número de painéis presentes na instalação em cálculo, *perdas* é a percentagem de perdas considerada pelo utilizador para a instalação em questão. O mesmo acontece para todas as radiâncias.

A cada 15 minutos é feita uma análise que pode chegar a uma de duas conclusões, a saber - o cliente consome toda a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos; ou o cliente apenas consome uma parte da produção. No primeiro caso, a diferença entre consumo e produção dará um valor positivo, pelo que a ferramenta divide a receita resultante em duas situações.

Na primeira situação, à tarifa média, não é aplicado qualquer desconto ao cliente, ou seja, o preço da tarifa aplicada corresponde ao preço que o comercializador cobraria normalmente ao consumidor. Na equação 3 está representado o cálculo desta transação.

Já na segunda situação, é aplicado um desconto à tarifa média, passando o consumidor a pagar um preço de tarifa mais baixo que normalmente seria pago, fruto do desconto efetuado. Este cálculo pode ser evidenciado na equação 4.

$$\text{Receita} = \text{Energia} * \text{Tarifa} \quad (3)$$

$$\text{Receita} = \text{Energia} * \text{Tarifa} * (1 - \text{percen}) \quad (4)$$

Onde, *Receita* é o valor de poupança através do consumo de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, *Energia* a quantidade de energia produzida pelos painéis, *Tarifa* o valor da tarifa atribuído pelo comercializador, e *percen* a percentagem de desconto efetuada ao cliente.

Todos estes valores são simulados e só são guardados os melhores valores definidos pela ferramenta, de acordo com as restrições já descritas previamente.

No segundo caso, quando a energia produzida seja superior à energia de consumo da empresa, a ferramenta faz também uma divisão entre os valores de energia autoconsumida e os de energia injetada na rede, calculando assim receitas distintas. A energia autoconsumida é toda a energia produzida que é consumida pelo trabalho da empresa, cujos valores são refletidos nos diagramas de carga, e a energia que sobrar pode ser reservada em baterias para ser consumida noutra altura, embora tal solução seja rara, preferindo-se habitualmente a venda dessa energia à rede, RESP, por valores de venda mais baixos.

Por outro lado, como a ferramenta está programada para simular várias orientações, e por ordem cronológica, isto irá significar que as radiâncias posteriormente simuladas possuirão uma percentagem de energia injetada na rede muito superior às primeiras, pelo que, neste caso, a ferramenta não atingirá nenhuma solução plausível, dependendo então do utilizador fazer uma análise crítica sobre a disposição dos painéis

numa posterior simulação. Este cenário pode ser evidenciado nas equações 5 e 6 a seguir apresentadas.

$$\text{Energia Consumida 1} = \text{Potencia}(\text{diagramas de carga})/1000 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Energia consumida } j \\ = \text{Energia consumida}(j - 1) - \text{EnergiaProduzida}(j - 1) \end{aligned} \quad (6)$$

Onde, *Energia Consumida 1* será a energia consumida pela empresa, valor utilizado na primeira radiância, e *Energia consumida j* é a diferença de energia consumida e produzida da radiância anterior.

Todos estes valores são contabilizados e somados ao longo da simulação, sendo os valores financeiros contabilizados pelo número de anos da garantia dos painéis e os valores técnicos contabilizados pelo número de painéis a instalar.

Na elaboração de um contrato com um comercializador de energia elétrica, além das tarifas normais fixas que se paga por cada período, prevê-se também uma agravante monetária que consiste na aplicação de uma tarifa sobre a potência consumida nas horas de pontas, a qual tende a ser elevada, exacerbando o preço final pago pelo cliente porque, ao contrário das tarifas normais, nesta é cobrada a potência utilizada e não a energia, pelo que este valor deixa de ser em €/kWh, e passa a €/kW.

Destacando o facto de a energia fotovoltaica atingir os seus valores mais elevados, na maioria, das alturas de hora de ponta, este meio de produção representa uma mais valia nestas horas de produção, pois além de se autoconsumir energia que seria cobrada nas tarifas de hora de ponta, ainda permite ao cliente poupar na potência utilizada nas horas de ponta simultaneamente.

As equações 7 e 8 ilustram o cálculo das penalizações do consumo das horas de ponta, à semelhança das equações 3 e 4, devendo optar-se por umas ou outras consoante se aplique ou não desconto ao cliente.

$$\text{Penalização} = ((\text{Energia Ponta})/(\text{Horas Ponta})) * \text{tarifaPHP} * \text{dias} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Penalização} = (\text{Energia Ponta})/(\text{Horas pontas}) * \text{tarifaPHP} * \text{dias} * (1 \\ - \text{percen}) \end{aligned} \quad (8)$$

Onde, *Penalização* é o valor que se tem de pagar pela potência de horas de ponta, *Energia Ponta* é o somatório da energia consumida em horas de ponta, *Horas Ponta* é as respetivas horas em período de ponta, *tarifaPHP* é a tarifa a pagar pela potência de horas de ponta, *dias* são os dias do mês em que o calculo esta a ser realizado, *percen* é o desconto aplicado ao cliente.

Somando as equações 3 e 7 é possível obter toda a receita gerada pelos painéis e a energia autoconsumida pelo cliente, isto é, sem contabilizar a energia vendida à RESP. Nestas duas equações não se contabiliza o desconto feito ao cliente, pelo que são aplicadas tarifas iguais às praticadas pelo comercializador de energia elétrica. Se, ao invés, se pretender obter aquela receita, mas contabilizando o desconto tarifário para o cliente (caso de contrato EPC), deve somar-se as equações 4 e 8

Tendo conhecimento destes dois cálculos previamente explicados e tendo em conta os valores de energia que foram acumulados, é então possível calcular duas tarifas médias para a energia injetada no cliente. Uma tarifa onde não é efetuado qualquer tipo de desconto ao cliente e, uma outra, onde é efetuado o desconto, o qual deve ser previamente introduzido na ferramenta. Estas tarifas médias já têm em conta a receita pela empresa ESCO, assim como a poupança do cliente. Nas seguintes equações pode-se verificar este cálculo.

$$\text{Tarifa Média atual} = (\text{Receita atual} + \text{Penalização atual})/\text{Energia} \quad (9)$$

$$\text{Tarifa Media} = (\text{Receita} + \text{Penalização})/\text{Energia} \quad (10)$$

Onde Receita atual corresponde à receita gerada pela energia vendida ao cliente sem qualquer desconto efetuado; Penalização atual corresponde à receita gerada pela potência que não é consumida graças à produção dos painéis nas horas de ponta, e sem lugar à aplicação de qualquer desconto; Energia é a total produzida pelos painéis fotovoltaicos. Na segunda equação, Receita corresponde à receita gerada pela energia autoconsumida pelo cliente com a respetiva taxa de desconto aplicada; Penalização é a receita gerada pela potência que não é consumida devido à produção dos painéis nas horas de ponta, mas desta feita, com aplicação do respetivo desconto.

A receita total do sistema é a soma da energia injetada no cliente, obtida através dos cálculos anteriormente explicitados, e a energia injetada na rede, sendo a energia injetada no cliente multiplicada pela tarifa média calculada e a energia injetada na rede pela tarifa MIBEL. Para tanto, primeiro averiguar-se-á se é um contrato em ambiente ESCO ou se é um projeto inteiramente autofinanciado pelo cliente/beneficiário. Caso seja em modelo ESCO, prossegue-se com o cálculo da receita injetada no cliente, com o respetivo desconto previamente acordado e, por fim, soma-se toda a energia injetada no OMIE multiplicando aquele pela tarifa respetiva, que é 90% do preço utilizado no mercado grossista. Este cálculo é demonstrado na equação seguinte.

$$\text{Receita total} = (\text{Energia} * \text{tarifa media}) + (\text{Energia rede} * \text{tarifa OMIE}) \quad (11)$$

Onde Energia é a energia injetada no cliente; tarifa média o valor da tarifa calculada na equação 10 com o desconto ao cliente; Energia rede é toda a energia que é injetada na rede; e a tarifa OMIE a tarifa aplicada para efeitos de venda à rede.

O cálculo das receitas que revertem para o cliente (poupanças) é diretamente proporcional à diferença existente entre a tarifa média que o cliente paga previamente ao contrato ESCO (valor sem desconto) e a tarifa média após o contrato com a empresa ESCO (valor com desconto), ou seja, a poupança do cliente é a taxa de desconto que é aplicada. Veja-se a este propósito a seguinte equação.

$$Poupança = Energia(tarifa média atual - tarifa média) \quad (12)$$

Onde, Energia é a totalidade da energia produzida pelos painéis; tarifa média atual a tarifa antes de ser aplicado qualquer desconto pela empresa ESCO; e a tarifa média o valor da tarifa deduzido o desconto pela empresa ESCO.

Durante o EPC, as receitas são calculadas como referido na equação 12, porém, aquando da cessação deste contrato, é necessário redefinir as receitas do cliente. Isto porque a empresa ESCO deixa de tirar proveito das poupanças obtidas pela instalação fotovoltaica, passando apenas o cliente a beneficiar delas. Demonstra-se na equação seguinte a fórmula adequada para efeitos de cálculo da receita após a cessação do EPC.

$$Poupança = (Energia * tarifa média atual) + (Energia rede * tarifa MIBEL) \quad (13)$$

Onde, Energia (Kwh) é a energia produzida pelos painéis, a qual é diretamente injetada no cliente; a tarifa média atual (€/Kwh) é a tarifa aplicada antes da intervenção da empresa ESCO (valor sem desconto); Energia rede (Kwh) é a energia que é injetada na rede; e tarifa MIBEL (€/Kwh) é a tarifa aplicada pelo OMIE na venda de energia à rede.

Tanto a análise financeira como a fotovoltaica são feitas anualmente. Usualmente na ferramenta utilizam-se valores de diagramas de carga e radiâncias referentes a um período de 12 meses, podendo aqueles valores variar consoante se introduzam mais ou menos meses, só que a ferramenta irá sempre associar a uma produção anual.

Tal acontece porque, partindo do primeiro ano, a ferramenta irá sempre subtrair 1% aos valores de produção calculados para os anos seguintes, em virtude da detioração da eficiência dos painéis ao longo do tempo. Esta detioração dá-se na ordem dos 0.7% por ano (Assunção, 2014). Na programação da ferramenta, optou-se por arredondar este valor para os 1% de modo a obter resultados mais conservadores, salvaguardando eventuais desvios de cálculo em virtude das diferenças entre fabricantes/equipamentos. Toda a análise anual é feita durante o período de garantia de utilização dos painéis, a cargo do fornecedor, e representa um valor introduzido na ferramenta durante a

simulação, com já foi descrito neste capítulo. Cada iteração realizada é para o período de um ano, sendo automaticamente convertidos os valores para os anos seguintes de acordo com as produções calculadas. A ferramenta, repete-se, também é capaz de calcular valores de operação e manutenção, seguro e *cash-flows* acumulados para cada uma das partes (Cliente, Empresa ESCO).

Os custos de operação e manutenção são calculados com base nas receitas geradas, representando uma percentagem daquelas, a qual, por sua vez, é definida pelo utilizador quando tal for solicitado pela ferramenta. Na equação 14 verifica-se este cálculo.

$$CustosO\&M = O\&M * (Receita + Poupança Cliente) \quad (14)$$

Onde O&M é a percentagem aplicada aos custos de operação e manutenção estabelecida pelo utilizador; Receita corresponde à receita gerada pela produção dos painéis fotovoltaicos; e Poupança cliente corresponde à poupança do cliente/beneficiário com o consumo da energia dos painéis.

O cálculo do seguro é em tudo semelhante ao cálculo efetuado para a operação e manutenção. Os custos do seguro são também calculados com base nas receitas totais e representam uma percentagem dessas mesmas receitas. Esta percentagem, tal como na operação e manutenção, é definida pelo utilizador ao introduzir os dados na ferramenta. Os custos do seguro são calculados pela seguinte equação.

$$Custoseguro = Seguro * (Receita + Poupança cliente) \quad (15)$$

Onde Seguro é a percentagem definida pelo utilizador; Receita corresponde à receita gerada pela produção dos painéis fotovoltaicos; Poupança cliente corresponde à poupança do cliente/beneficiário com o consumo da energia dos painéis.

Entre as informações mais importantes para um projeto de investimento deste tipo temos o *cash-flow* e o *cash-flow* acumulado. Para a ESCO, *cash-flow* é as receitas monetárias líquidas, geradas pela produção dos painéis fotovoltaicas num determinado ano. Ou seja, a receita gerada pelos painéis com o desconto ao cliente, valor a que se subtraem as despesas assim se obtendo uma equação como a seguinte.

$$Cash - flow = Receitas - CustoO\&M - Custoseguro \quad (16)$$

Onde receitas é a receita da produção dos painéis fotovoltaicos; CustoO&M são as despesas de operação e manutenção; Custoseguro são os custos relativamente à parcela do seguro, caso se aplique.

O *cash-flow* para o cliente/beneficiário resume-se às poupanças atingidas pela produção dos painéis fotovoltaicos, o que pode ser calculado através da equação 12.

O *cash-flow* acumulado para a empresa ESCO é a soma dos *cash-flow* anuais e corresponde, tal como o *cash-flow*, aos movimentos monetários da instalação, mas difere deste porque, ao invés de ser medido ao longo do ano, é medida ao longo do projeto. Esta operação matemática pode-se verificar na equação 17.

$$\text{Cash} - \text{flow acumulado}_{ESCO} = \sum \text{cash} - \text{flow}(n - 1) + \text{cash} - \text{flow}(n) \quad (17)$$

Onde *cash-flow* (n-1) corresponde ao *cash-flow* do ano anterior e *cash-flow* (n) corresponde ao *cash-flow* do ano em estudo.

Para o cliente/beneficiário o *cash-flow* acumulado é a soma de todos os *cash-flows* dos anos anteriores, semelhante ao que acontece na situação para os *cash-flows* da empresa ESCO. Como os movimentos financeiros para o cliente são apenas as poupanças obtidas pela produção dos painéis fotovoltaicos, conforme demonstrado nas equações 12 e 13, este valor é somado todos os anos até ao último ano predefinido.

Ora, no final de cada iteração a ferramenta faz a análise para os anos todos em estudo, sendo possível o programa aceder aos valores obtidos e, então, medir uma taxa de TIR. A programação VBA tem uma função predefinida de cálculo de TIR e, para tal, basta introduzir os valores de *cash-flow* ao longo dos anos em estudo.

Um dos ajustes a efetuar na ferramenta, quanto à progressão nos anos seguintes à implementação, é a taxa da inflação.

A taxa de inflação é uma das variáveis consideradas pela ferramenta como descrito previamente nesta dissertação. Este valor percentual deve ser acrescentado todos os anos aos valores financeiros anuais. Igualmente, a percentagem de perda de eficiência percentual dos painéis, como previamente explicado, deverá entrar para os cálculos energéticos e financeiros.

Todos os cálculos realizados pela ferramenta referem-se apenas ao período de contrato do EPC, o qual também é inserido na ferramenta que, por predefinição é estabelecido que o período de contrato coincide com o período de garantia dos painéis. Após a simulação é necessário fazer uma análise de sensibilidade de todos os valores obtidos e, assim, concluir com uma proposta para o cliente e respetivo EPC.

Todos estes passos são realizados para uma radiância, sendo repetido o mesmo processo para as seguintes radiâncias, numa simulação nova, mas dependente das anteriores, porque assentam em dados mais técnicos como as produções e consumos de energia, realizando-se a final uma soma ou uma média dos valores finais para cada radiância simulada. Só a componente financeira será mais independente de uma simulação para as outras.

Os valores após a iteração são guardados e mostrados na ferramenta de forma à revisão do utilizador, como se verifica na Figura 15

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cash-flow	-€ 599 940,00	€ 76 236,47	€ 77 360,96	€ 78 502,04	€ 79 659,94	€ 80 834,92	€ 82 027,24	€ 83 237,13	€ 84 464,88	€ 85 710,74
Cash-flow acumulado	-€ 599 940,00	-€ 523 703,53	-€ 446 342,58	-€ 367 840,54	-€ 288 180,61	#####	#####	-€ 42 081,31	€ 42 383,57	€ 128 094,32
TIR		-87,29 %	-57,18 %	-35,65 %	-21,74 %	-12,55 %	-6,24 %	-1,76 %	1,52 %	3,97 %
Poupança Cliente	€ 0,00	€ 9 210,20	€ 9 346,05	€ 9 483,91	€ 9 623,79	€ 9 765,75	€ 9 909,79	€ 10 055,95	€ 10 204,28	€ 10 354,80
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cash-flow	-€ 299 970,00	€ 44 012,55	€ 44 661,74	€ 45 320,50	€ 45 988,98	€ 46 667,31	€ 47 355,66	€ 48 054,15	€ 48 762,95	€ 49 482,20
Cash-flow acumulado	-€ 299 970,00	-€ 255 957,44	-€ 211 295,70	-€ 165 975,20	-€ 119 986,23	-€ 73 318,91	-€ 25 963,26	€ 22 090,89	€ 70 853,84	€ 120 336,05
Poupança Cliente	€ 0,00	€ 5 366,13	€ 5 445,28	€ 5 525,60	€ 5 607,10	€ 5 689,81	€ 5 773,73	€ 5 858,89	€ 5 945,31	€ 6 033,01
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cash-flow	-€ 299 970,00	€ 32 223,92	€ 32 699,22	€ 33 181,54	€ 33 670,96	€ 34 167,61	€ 34 671,58	€ 35 182,98	€ 35 701,93	€ 36 228,54
Cash-flow acumulado	-€ 299 970,00	-€ 267 746,09	-€ 235 046,88	-€ 201 865,34	-€ 168 194,38	#####	-€ 99 355,19	-€ 64 172,20	#####	€ 7 758,27
Poupança Cliente	€ 0,00	€ 3 844,07	€ 3 900,77	€ 3 958,31	€ 4 016,69	€ 4 075,94	€ 4 136,06	€ 4 197,06	€ 4 258,97	€ 4 321,79

Figura 15 - Exemplo da disposição dos dados calculados para 2 radiâncias

Onde se verificam os valores calculados para as duas radiâncias diferentes em baixo, com os respetivos *cash-flows* e poupanças do cliente e, na listagem de cima, pode-se verificar uma soma global das duas situações em baixo, mostrando assim o sistema de instalação completo. Neste último além dos valores financeiros pode-se também verificar uma taxa TIR ao longo dos anos de estudo.

Normalmente, o fator decisivo para definição dos termos contratuais é a taxa TIR, daí que a verificação desta na exposição da instalação global do projeto seja fulcral. Para as situações em que exista uma terceira identidade a financiar um projeto deste tipo, é exigida uma taxa de retorno interno, no mínimo de 10%, o que neste caso exclui-se logo um termo de contrato em que não se atinge este valor.

Após a determinação do tempo de contrato, é necessário realizar duas operações financeiras distintas. Uma das operações ocorre durante o contrato com a empresa ESCO, como já foi explicado anteriormente neste capítulo, onde o cliente é beneficiário de um desconto nas tarifas médias de cobrança de energia, mas obterá receitas mais baixas porquanto uma parte destas reverte a favor da empresa ESCO responsável pelo projeto em questão. Só com o término do contrato, e até ao final da garantia dos painéis, é que o cliente passa a ser o beneficiário exclusivo, de todas as poupanças monetárias, as quais são apuradas através dos cálculos explicados em seguida.

Findo o contrato EPC, o *cash-flow* e o *cash-flow* acumulado para a empresa ESCO deixam naturalmente de existir e as poupanças obtidas serão calculadas de modo diferente ao que até aqui acontecia.

O *cash-flow* para o cliente, com a extinção do contrato, irá ser igual às poupanças menos os custos de operação e manutenção e de seguro, como se verifica na equação 18. O cálculo das poupanças, por sua vez, já foi demonstrado na equação 13, para a qual ora simplesmente se remete. Os valores associados com os custos de O&M e do seguro também sofrerão alterações visto que, embora a sua percentagem se mantenha constante, antes e após o final do contrato, o seu método de cálculo altera-se ligeiramente. Nas equações 19 e 20 podem verificar-se estes novos cálculos.

$$\text{Cash} - \text{flow} = \text{Poupanças} - \text{CustoO\&M} - \text{CustoSeguro} \quad (18)$$

$$\text{CustoO\&M} = \text{O\&M} * \text{Poupança cliente} \quad (19)$$

$$\text{Custo Seguro} = \text{Seguro} * \text{Poupança cliente} \quad (20)$$

Onde Poupanças é o valor de poupança atingido pelo cliente e calculado pela equação 13; O&M é a percentagem para operação e manutenção atribuída pelo utilizador; Seguro é a percentagem para o seguro atribuído pelo utilizador; e poupança cliente é a poupança gerada pela produção de painéis mais a venda de energia à RESP.

O *cash-flow* acumulado após a cessação do contrato, mantém-se igual ao cálculo utilizado na vigência daquele, ou seja, calcula-se pela equação 17.

Como dito previamente nesta dissertação, o cliente pode optar pelo autofinanciamento, isto é, ser responsável por todo o financiamento do projeto, não dependendo assim da empresa ESCO e obtendo todos os lucros do projeto logo à partida. Como a empresa ESCO não estará envolvida no financiamento do projeto, não obterá quaisquer lucros através das poupanças obtidas, mas apenas através da venda dos equipamentos. Ora a ferramenta está programada para devolver no fim da simulação os valores para a situação em que a empresa faça o seu próprio financiamento do projeto. Todo este cálculo se processa de forma idêntica aos cálculos aqui já mostrados neste capítulo, mas de forma mais simplificada e somente tendo em conta o cliente como beneficiário, pois não é necessário distinguir entre receitas obtidas durante o contrato e após a cessão deste.

A entrada de dados inicial não se altera, utilizando-se os mesmos diagramas de carga e as mesmas radiâncias, como mencionado previamente. A disposição de dados na ferramenta e a introdução das tarifas energéticas também se mantém constante. O que muda nas iterações são alguns cálculos que importem desconsideração da vertente da empresa ESCO. Designadamente, em todos os cálculos de receita são sempre desprezados quaisquer descontos e, no cálculo da tarifa evitada, apenas se atende à tarifa que o cliente deixa de pagar ao comercializador de energia, devido à diminuição do consumo de energia, conseguido à custa da produção dos painéis fotovoltaicos, evidenciado pela equação 3.

A penalização de energia devido à potência consumida em horas de ponta também deve ser calculada, mas apenas pela equação 7. E, posteriormente, para apurar a tarifa média atual, mantém-se a fórmula de cálculo indicada, mas só deverá utilizar-se a equação 9, e por todo o ano de garantia dos painéis.

As poupanças do cliente são resultado da energia que deixa de comprar ao comercializador de energia e que lhe é fornecida, ao invés, pela produção fotovoltaica. Já quanto ao *cash-flow* e ao *cash-flow* acumulado, passam a ser calculados sempre da mesma forma ao longo de todo o período do projeto, através da equação 18, e os custos

de manutenção e de seguro também pelas equações 19 e 20 respetivamente e por todo o período de garantia dos painéis.

3.7 Monitorização

A ferramenta também foi programada para fazer a monitorização da produção de energia pelos painéis fotovoltaicos, isto é, faz uma análise da produção real da instalação fotovoltaica instalada e compara-a com a simulação realizada neste programa. Todo este processo é de elevada importância de modo ao responsável pelo projeto, conseguir verificar se a realidade corresponde ao simulado, e analisando o desvio real entre elas. De uma forma ideal este desvio não deverá se afastar muito do valor de 100%, ou seja, a instalação estará exatamente a produzir o que tinha sido previsto, podendo este valor ultrapassar um pouco estes 100%, obtendo uma situação ainda mais favorável ao que era previsto.

De modo a efetuar esta monitorização apenas é necessário ter acesso aos documentos em csv., obtidos através do *Cluster Controller*.

Um *Cluster Controller*, pode ter variadas aplicações diferentes, mas no caso em questão é uma unidade de comunicação, com o propósito de gravar dados e monitorizar grandes centrais fotovoltaicas. Esta unidade é responsável por analisar ao longo do tempo diversas variáveis relativamente à produção, assim como o consumo de energia obtida através da instalação fotovoltaica, medindo mesmo esta em tempo real. É através desta unidade que as empresas ESCO, obtêm os valores reais da instalação.

Fazendo facilmente download dos documentos analisados pelo *Cluster Controller*, é possível então fazer uma análise de Real vs. Teórico na ferramenta criada nesta dissertação.

Este processo está programado para efetuar 4 tipos de análises distintas. Tem a capacidade de monitorizar a diferença de produção num dia, para um mês, para um ano, e por último ainda tem uma opção em sequência de dias, isto é, faz a análise de um mês, mas em vez de analisar o mês como um todo, faz a análise para os 31 ou 30 dias individuais. No início do processo de monitorização será requisitado ao utilizador que período de tempo pretende analisar, sendo depois apenas necessário carregar o ficheiro csv., com os dados necessários ao tipo de monitorização, ficando a ferramenta responsável por toda a análise automaticamente e dispondo os resultados finais.

O modelo formulado deste processo, foi simplesmente programar a ferramenta para selecionar os valores correspondentes ao mês, ou ao dia que o utilizador pretende efetuar a monitorização e comparando esse valor com o valor carregado no ficheiro csv., quando este for pedido pelo programa. No caso da análise sequencial, o utilizador deverá carregar não apenas um valor, mas os valores que pretende analisar, usualmente 30 ou 31 consoante o mês.

O único processo relativamente diferente é a análise anual, que além da comparação das produções reais com as teóricas no período de um ano, atualiza o ficheiro *Excel* da simulação, para que todas as tabelas e relatórios se aproximem de dados mais reais, isto é, se a produção for superior em 5% do que era previsto, todos os valores são sujeitos a uma nova simulação, mas cujo objetivo é atualizar a produção dos painéis para mais 5%, deste modo atualizar os valores tanto das tabelas como dos relatórios para algo mais próximo do que aconteceu realmente. Servindo assim de comparação para os meses e anos que se irão seguir.

Este processo será melhor exemplificado no subcapítulo 4.2 desta dissertação.

3.8 Modelo de Simulação Sem Diagramas

Como descrito previamente no subcapítulo 3.1, a ferramenta criada é constituída por outro modelo, onde é possível realizar uma simulação sem efetuar o carregamento dos diagramas de carga. Todo este modelo é idêntico ao modelo da ferramenta principal previamente descrito neste capítulo, com a simples diferença que a simulação corre como se o consumo de energia da empresa fosse considerado infinito, isto é, como se toda a energia produzida pelos painéis fosse consumida pelo cliente e sem injetar energia na rede. Através da área de instalação estipulada pelo utilizador, é possível á ferramenta simular preenchendo ao máximo esta área, sem fazer comparações de produção consumo, mas considerando que toda a produção é autoconsumida pela empresa. Esta opção de simulação pode ser bastante útil para efetuar um estudo de uma empresa, quando não se tem acesso aos seus consumos mensais.

Após a simulação a ferramenta é responsável pela criação de relatórios e de tabelas, de modo ao utilizador efetuar uma análise, tendo sempre em atenção o risco que esta análise requer da empresa investidora.

Ao iniciar a ferramenta esta opção surge ao utilizador, juntamente com a opção da simulação normal, para ser selecionada se assim o pretender.

3.9 Análise Conclusiva

A ferramenta criada nesta dissertação, embora construída com base numa ferramenta já previamente criada, foi maioritariamente alterada, mantendo apenas alguns cálculos básicos que já a constituía.

O método de carregamento de diagramas de carga na ferramenta foi totalmente alterado, podendo estes serem carregados automaticamente. Este último passo será melhor desenvolvido no capítulo 4.

Foi criada, para o utilizador, a opção de introduzir na ferramenta até 10 radiâncias que pretenda para a instalação, por se considerar ser o valor suficiente e adequado ao efeito. Para tal, foi alterado a maioria do processo de cálculo financeiro e energético de modo a permitir que a ferramenta pudesse realizar as iterações para diferentes áreas e

diferentes painéis, tendo sempre em atenção a necessidade de considerar todo o sistema como uma única instalação.

Uma vez que, entre Portugal Continental e as Ilhas da Madeira e dos Açores existem períodos tarifários diferentes, foi criada a possibilidade de o utilizador obter simulações diferenciadas consoante o local pretendido para a instalação, atendendo-se àquelas variáveis.

A introdução das tarifas foi também retificada pois, como já foi mencionado nesta dissertação no subcapítulo 3.2, o modelo anterior estava apenas definido para um período tarifário de verão e em dias úteis, pelo que a nova programação foi desenhada de modo a permitir que estes valores sejam selecionados e organizados pela ferramenta que, agora, atribui as tarifas de acordo com os períodos das estações do ano corretas e seleciona os dias da semana para cada período.

Este modelo da ferramenta, está preparado para implementar diagramas de carga de potência em “KW” ou “W”, sendo apenas pedido ao utilizador que indique a unidade de trabalho pretendida, que aliás representam as unidades mais comuns, pelo que não se considerou necessário dimensionar a ferramenta para mais unidades.

Foram automatizados os processos de exportação de dados obtidos no final da simulação de modo a conferir ao utilizador um acesso fácil e o manuseamento intuitivo daqueles.

Criou-se também a possibilidade de o utilizador repetir novas simulações sem ter de repetir todo o processo inicial de carregamento de diagramas de carga, radiâncias e tarifas.

Foi criado um método automático, para o utilizador criar uma proposta a apresentar ao cliente, com um clique de um comando apenas.

É possível monitorizar uma instalação fotovoltaica, através de um período temporal e atualizar os valores de simulação para se aproximarem dos valores reais.

Tais melhorias irão ser melhor evidenciadas no seguinte capítulo, na demonstração do funcionamento da ferramenta com um exemplo.

RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Análise de Resultados Simulados

4.2 Demonstração da Ferramenta

- 4.2.1 Demonstração da Ferramenta após a simulação
- 4.2.2 Demonstração da Ferramenta para criar proposta
- 4.2.3 Demonstração da Ferramenta para a monitorização

4.3 Análise Conclusiva

4 Resultados Obtidos

4.1 Análise de Resultados Simulados

Neste capítulo irá ser realizada uma análise dos resultados dados pela ferramenta. Irá ser usado um projeto real, projeto este que está a ser monitorizado pela empresa Ecoinside, desde março de 2017. Devido ao tempo do início de monitorização até ao término desta dissertação ser curto, será apenas possível fazer uma análise da produção do sistema, comparando a realidade com a simulação, durante um período de 4 meses (de março a junho de 2017).

Esta análise de resultados irá ser feita de duas maneiras, irá ser realizada uma análise manual, fazendo uma relação entre a produção diária e mensal ao longo destes 4 meses, e irá ser utilizado o processo de monitorização criado para a ferramenta de modo a fazer isso automaticamente, processo explicitado no ponto 3.8 desta dissertação, visto que o código está programado para tal função, ambos os resultados deverão atribuir os mesmos valores.

Irá ser comparado os valores teóricos simulados na ferramenta, com os valores reais que foram produzidos pela instalação fotovoltaica, estes valores reais são obtidos através do *Cluster Controller* que monitoriza a instalação em questão, como se pode prever, tais valores irão variar consoante diversos fatores como por exemplo, a temperatura ambiente do dia, assim como as condições atmosféricas, um dia sem nuvens com céu aberto terá um valor de maior produção que um dia de chuva e nublado, estes valores irão ser comparados com as radiâncias introduzidas na simulação que foram retiradas no PVGIS, tal como descrito no subcapítulo 3.4.

Será então analisado para 4 meses (março, abril, maio e junho). Irá ser efetuado um estudo diário ao longo de cada dia do mês, assim como um estudo mensal de cada um dos meses. Pode-se verificar na Tabela 4 um extrato dos valores obtidos através do *Cluster Controller* para os ditos meses.

Pode-se verificar na Tabela 4 a data na primeira coluna e os valores produzidos diários reais na segunda coluna em Wh.

Para a análise de comparação será necessário determinar produção por dia no mês, para tal será necessário recorrer aos valores da simulação e calcular a produção diária para estes meses. Por exemplo, estes valores são iguais para todo o mês de março, pois as radiâncias introduzidas na ferramenta, que foram retiradas do PVGIS são valores fixos por mês, ou seja, a produção diária considerada pela ferramenta é sempre a mesma para todos os dias de março. O mesmo se aplica aos meses de abril, de maio e junho.

Tabela 4 - Dados reais obtidos pelo *Cluster Controller*.

Date	Total Yield	Date	Total Yield	Date	Total Yield	Date	Total Yield Wh
01/03/2017	201110	01/04/2017	680860	01/05/2017	877390	01/06/2017	1127760
02/03/2017	295360	02/04/2017	929190	02/05/2017	1046180	02/06/2017	950320
03/03/2017	159100	03/04/2017	916210	03/05/2017	1035070	03/06/2017	1120290
04/03/2017	544260	04/04/2017	929010	04/05/2017	779540	04/06/2017	1012570
05/03/2017	268250	05/04/2017	948340	05/05/2017	651110	05/06/2017	900700
06/03/2017	437250	06/04/2017	936750	06/05/2017	932070	06/06/2017	1150390
07/03/2017	601130	07/04/2017	933920	07/05/2017	1076460	07/06/2017	1143010
08/03/2017	616650	08/04/2017	904440	08/05/2017	997160	08/06/2017	745940
09/03/2017	740710	09/04/2017	885230	09/05/2017	807060	09/06/2017	1079150
10/03/2017	725780	10/04/2017	885380	10/05/2017	360650	10/06/2017	1070480
11/03/2017	449230	11/04/2017	887450	11/05/2017	551380	11/06/2017	1122050
12/03/2017	578500	12/04/2017	914910	12/05/2017	720520	12/06/2017	1095130
13/03/2017	690230	13/04/2017	810330	13/05/2017	654190	13/06/2017	847410
14/03/2017	764060	14/04/2017	608880	14/05/2017	695570	14/06/2017	1078860
15/03/2017	776610	15/04/2017	897280	15/05/2017	910900	15/06/2017	1110500
16/03/2017	785410	16/04/2017	901790	16/05/2017	937920	16/06/2017	1089390
17/03/2017	786210	17/04/2017	898510	17/05/2017	859330	17/06/2017	1078640
18/03/2017	772720	18/04/2017	493050	18/05/2017	996150	18/06/2017	1050530
19/03/2017	760560	19/04/2017	808880	19/05/2017	1152640	19/06/2017	473250
20/03/2017	675170	20/04/2017	811790	20/05/2017	1131370	20/06/2017	1008900
21/03/2017	600690	21/04/2017	1020920	21/05/2017	786250	21/06/2017	983880
22/03/2017	457610	22/04/2017	976540	22/05/2017	1063630	22/06/2017	1000640
23/03/2017	408410	23/04/2017	992900	23/05/2017	1094310	23/06/2017	1065220
24/03/2017	607870	24/04/2017	729180	24/05/2017	1072890	24/06/2017	1005200
25/03/2017	500050	25/04/2017	569900	25/05/2017	613030	25/06/2017	690890
26/03/2017	274000	26/04/2017	603340	26/05/2017	706200	26/06/2017	1136870
27/03/2017	520040	27/04/2017	1126100	27/05/2017	664500	27/06/2017	708980
28/03/2017	877370	28/04/2017	1117380	28/05/2017	557350	28/06/2017	817750
29/03/2017	763910	29/04/2017	784490	29/05/2017	645280	29/06/2017	831100
30/03/2017	600010	30/04/2017	782340	30/05/2017	1073600	30/06/2017	707890
31/03/2017	545420			31/05/2017	1020540		

Através das radiâncias, do número de painéis, da área de produção de cada painel é facilmente calculado este valor diário. Fazendo este cálculo para cada período de 15min das radiâncias e transformando em hora de modo a obter uma unidade de “Wh”, para ser possível fazer a comparação.

Março	
Estimado produção Fotovoltaica diária (Wh)	555908
Abril	
Estimado produção Fotovoltaica diária (Wh)	661531
Mai	
Estimado produção Fotovoltaica diária (Wh)	815413
Junho	
Estimado produção Fotovoltaica diária (Wh)	938418

Figura 16 - Valores de produção fotovoltaica estimados pela ferramenta diariamente em função do mês.

Como se verifica na Figura 16, os valores de produção diária estimadas pela ferramenta variam consoante o mês em questão.

Após o cálculo destes valores facilmente se faz uma comparação entre eles, e como se verifica na Tabela 4, consegue-se numa análise rápida verificar que alguns dias a instalação produziu mais que o previsto e outros dias menos, obtendo-se as seguintes percentagens de produção para cada mês.

Março	Abril	Maió	Junho
Produção Real/Produção Simulada	Produção Real/Produção Simulada	Produção Real/Produção Simulada	Produção Real/Produção Simulada
36%	103%	108%	120%
53%	140%	128%	101%
29%	138%	127%	119%
98%	140%	96%	108%
48%	143%	80%	96%
79%	142%	114%	123%
108%	141%	132%	122%
111%	137%	122%	79%
133%	134%	99%	115%
131%	134%	44%	114%
81%	134%	68%	120%
104%	138%	88%	117%
124%	122%	80%	90%
137%	92%	85%	115%
140%	136%	112%	118%
141%	136%	115%	116%
141%	136%	105%	115%
139%	75%	122%	112%
137%	122%	141%	50%
121%	123%	139%	108%
108%	154%	96%	105%
82%	148%	130%	107%
73%	150%	134%	114%
109%	110%	132%	107%
90%	86%	75%	74%
49%	91%	87%	121%
94%	170%	81%	76%
158%	169%	68%	87%
137%	119%	79%	89%
108%	118%	132%	75%
98%	82%	125%	109%

Figura 17 - Desvios de Produção Real/Produção teórica simulada

Verificam-se na Figura 17, os desvios correspondentes á produção em cada dia dos últimos 4 meses, pode-se constatar que alguns valores ultrapassam os 100% outros não atingem esta percentagem, isto é resultado de fatores incontroláveis, tal como o caso das condições meteorológicas, dias de céu nublado e de chuva, são dias de produção mais baixa, dias de temperaturas demasiado altas também poderão ser um fator prejudicial no rendimento dos painéis fotovoltaicos.

De modo a ter uma perceção geral se a ferramenta funciona corretamente com a realidade, foi em vez de uma análise diária, efetuada uma análise mensal, onde se podem verificar os desvios da produção ao longo do mês. Obtendo os ficheiros de produção mensal no *Cluster Controller* e mantendo o mesmo raciocínio de cálculo, obtém-se os valores na Figura 18.

Março		
Produção fotovoltaica Real	17783680	
		103%
Estimado produção Fotovoltaica (Wh)	17233148	
Abril		
Produção fotovoltaica Real	25685290	
		129%
Estimado produção Fotovoltaica (Wh)	19845937	
Mai		
Produção fotovoltaica Real	26470240	
		108%
Estimado produção Fotovoltaica (Wh)	24462388	
Junho		
Produção fotovoltaica Real	29203690	
		104%
Estimado produção Fotovoltaica (Wh)	28152542	

Figura 18 - Valores de Produção real e teórico mensais.

Fazendo uma análise aos valores obtidos verifica-se em primeira instância, que a ferramenta é conservadora na simulação, isto porque todos os valores mensais previstos na simulação foram inferiores à realidade. Este fator da ferramenta ser mais conservadora ou menos depende das considerações do utilizador ao efetuar a simulação.

Verifica-se no mês de abril uma produção real consideravelmente maior que a prevista, isto deve-se ao fato de no ano de 2017 o mês de abril ter sido um mês anormalmente mais forte em termos de radiação solar, com pouco tempo nublado e chuva, tais situações podem sempre acontecer, pois quando se lidam com produções de energia dependentes de condições climáticas nunca se pode obter uma previsão 100% correta. Em conclusão num panorama geral verifica-se que os valores simulados e os reais não diferenciam muito um do outro.

Como apenas é possível obter valores reais dos últimos 4 meses, não é possível efetuar uma análise anual, esta seria de grande interesse pois além de uma análise técnica dos painéis seria possível fazer uma análise financeira.

Realizando a monitorização da instalação através do comando de monitorização implementado na ferramenta, estando esta bem programada, dever-se-á obter os mesmos valores de desvios na produção de energia dos painéis para os meses em estudo. Pode-se verificar na Figura 19 o relatório obtido pela ferramenta após efetuada a análise usando os mesmos dados, analisados anteriormente de forma manual.

Mês		
Ínicio	Fim	Rendimento (%)
2017 March	2017 March	103,3337936
2017 April	2017 April	129,683075
2017 May	2017 May	107,9274292
2017 June	2017 June	103,9418793

Figura 19 - Relatório criado pela ferramenta em monitorização.

Na Figura 19, pode-se verificar o relatório criado automaticamente pela ferramenta com os valores dos últimos 4 meses, não se nota diferença nos valores calculados manualmente e nos valores da monitorização da ferramenta, pois fazendo uma análise ao número de algarismos significativos, pode-se considerar uma questão de arredondamentos na realização dos cálculos manuais.

4.2 Demonstração da Ferramenta

Já foi explicado no capítulo 3 desta dissertação todas as variáveis e procedimentos necessários à aplicação desta ferramenta. Neste procurar-se-á desenvolver, passo por passo, o seu funcionamento correto para uma simulação acertada. Para tanto, serão utilizados valores reais, de um local em Portugal Continental e de uma empresa existente, mas cujo nome e localização não serão divulgados por questões de confidencialidade, mas que servirão de base à exemplificação do desempenho da ferramenta em estudo. A empresa será denominada de “Empresa A” e a localização será a sul de Portugal para análise dos valores de radiâncias incidentes no local.

Antes de qualquer procedimento na ferramenta, é necessário preparar certos dados para os implementar na simulação. Por um lado, é imprescindível o acesso aos diagramas de carga da Empresa A, de preferência para os últimos 12 meses, os quais podem ser obtidos através do site da EDP como já foi explicado no capítulo 3 desta dissertação. Também serão necessárias as radiâncias do local onde se situa a empresa podendo estas serem obtidas através do site PVGIS e, pelo menos, uma fatura mensal de pagamento de energia fornecido pela empresa em análise, para apuramento das tarifas aplicadas aos diversos períodos e às potências de horas de ponta. Por fim, dever-se-á ainda analisar o espaço da empresa de modo a averiguar as áreas existentes para a instalação dos painéis fotovoltaicos, assim como as suas orientações e inclinações. Após a obtenção destes dados-base é possível começar a realizar uma simulação na ferramenta.

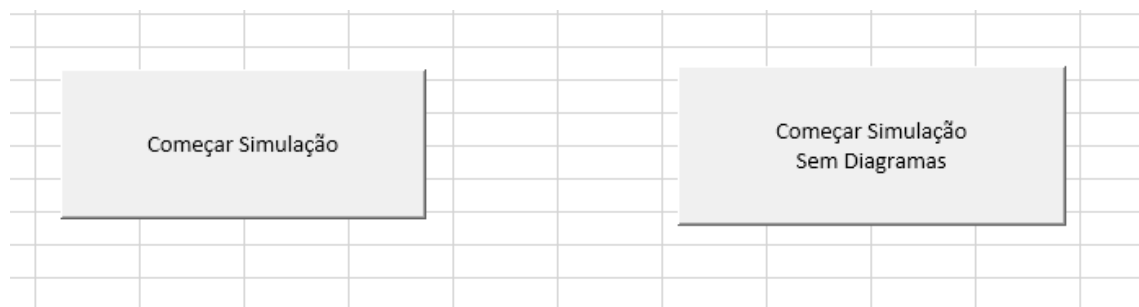


Figura 20 - Esquema inicial á abertura da ferramenta

Assim que se abre a ferramenta é possível verificar que ao utilizador é fornecido duas opções de simulação, como se verifica na Figura 20, uma opção para uma simulação com todas as condições necessárias ao dimensionamento de um sistema fotovoltaico e outra opção para uma simulação sem o uso de diagramas de carga da empresa, neste capítulo será descrito a simulação normal.

Ao iniciar a ferramenta, vai surgir logo uma caixa para o utilizador escolher a localidade onde vai instalar os painéis fotovoltaicos.

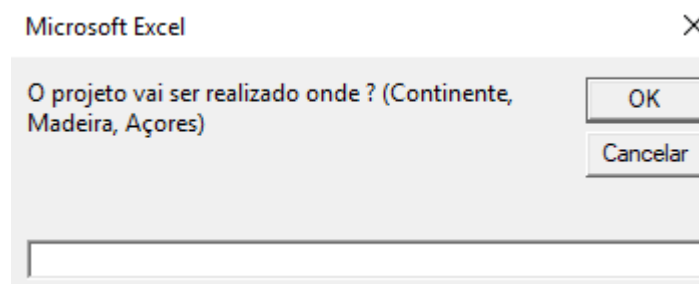


Figura 21 - Escolha da Localização do Projeto.

Onde o utilizador deverá escolher a localização do projeto, escrevendo uma das 3 opções explícitas no texto. Para efeito desta demonstração utilizaremos o modelo para Portugal Continental.

Selecionado o local, surge outra caixa de texto, agora com um aviso, o qual serve para lembrar ao utilizador que, o carregamento dos diagramas de carga automático, pressupõe uma preparação prévia dos valores. Para tal, existe um *template* em ficheiro xlsx na mesma pasta onde se situam todos os módulos necessários à utilização da ferramenta. O processo consiste simplesmente em copiar os valores dos diagramas de carga para o respetivo *template*, pois assim a ferramenta importa, de forma automática, os respetivos valores.

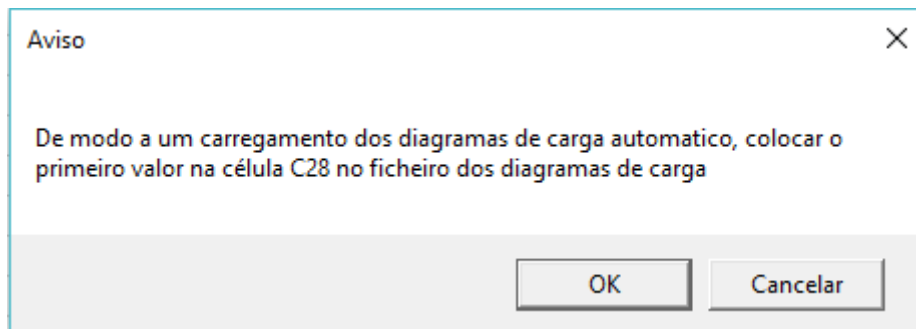


Figura 22 – Aviso ao utilizador se pretender realizar um carregamento dos diagramas de carga automaticamente.

Se o utilizador não pretender aplicar este método, pode sempre seguir para a próxima tarefa, mas em tal caso, posteriormente ser-lhe-á solicitado que selecione os valores de diagramas de carga manualmente, pois também é possível fazê-lo.

De seguida, numa nova caixa de texto como a ilustrada Figura 23, é pedido ao utilizador para inserir o tipo de unidade de potência que pretende utilizar, de entre as opções expressamente previstas no texto.

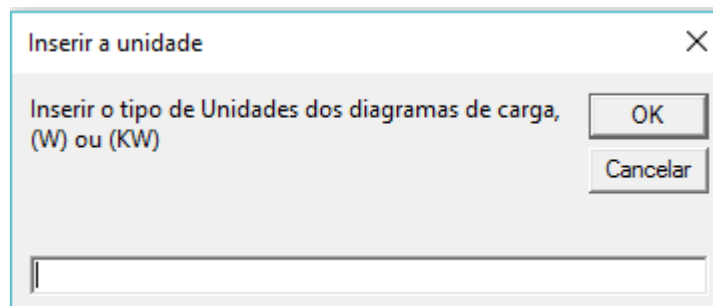


Figura 23 - Escolha do tipo de unidade a utilizar na simulação

Neste exemplo irá ser selecionada a unidade de “KW”, pois os diagramas de carga obtidos pela empresa estão dispostos nessa unidade de potência.

No passo seguinte, surge a introdução do número de meses a que a simulação pretendida se reporta. Usualmente é utilizado um valor de 12 meses, mas pode o mesmo ser alterado para mais ou menos meses, caso o utilizador assim o pretenda, embora não se garanta, neste caso, uma correta solução. Para este exemplo irá ser utilizado o carregamento para 12 meses.

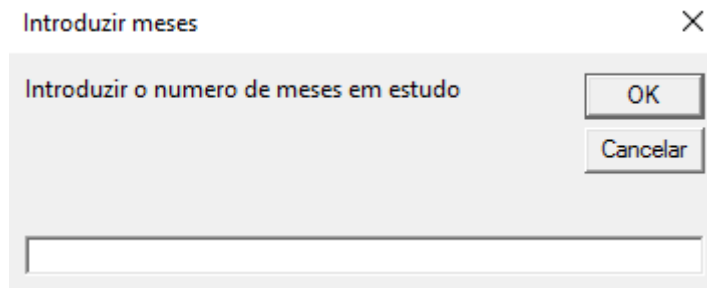


Figura 24 - Introdução do número de meses a simular

Após a introdução deste valor, é de imediato pedido ao utilizador, numa outra caixa de texto, o número de radiâncias para que pretende efetuar a simulação, o qual deverá estar compreendido de 1 até ao máximo de 10, pois a ferramenta só está programada até 10 valores de radiâncias diferentes. Para este exemplo irá ser estabelecido um valor de radiância igual a 3.

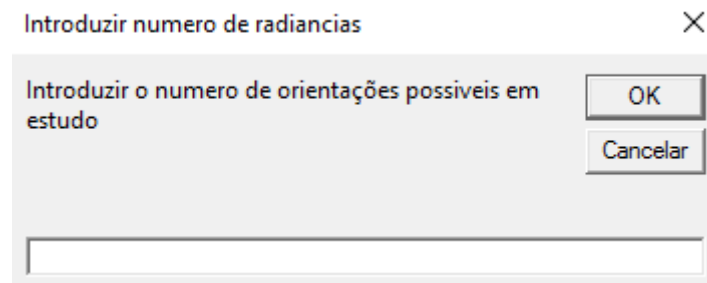


Figura 25 - Introdução do número de radiâncias para a simulação.

Segue-se o processo da introdução dos diagramas de carga, designando os meses e introduzindo os valores para cada um deles. A ferramenta apresenta caixas de texto do género da Figura 24, onde é possível dar nomes aos meses. Concluída a importação dos diagramas de carga, é pedido ao utilizador para inserir os valores de radiância para a simulação. Como foi estabelecido os valores de 3 radiâncias no presente exemplo, a ferramenta pede ao utilizar 3 valores de radiâncias para cada mês, como se verifica na Figura 26.

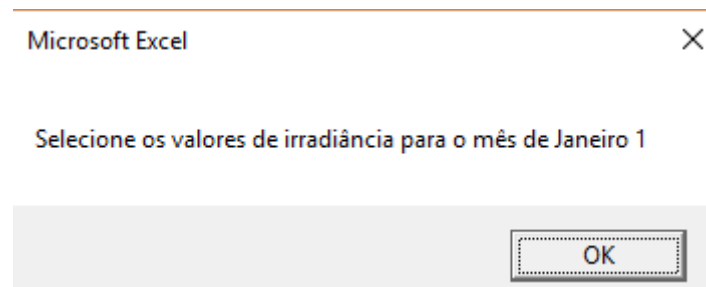


Figura 26 - Caixa de texto da primeira radiância.

O utilizador deve ter o cuidado de importar as radiâncias por ordem de prioridade, como por exemplo, radiâncias viradas para Sul deverão ser importadas primeiro que as radiâncias viradas para Norte, já que as orientações para Sul são normalmente mais vantajosas. Todavia, este processo de priorização já depende da decisão do operador. No exemplo em questão foram utilizadas radiâncias com inclinação Sudeste, Plano e Nordeste respetivamente.

Finalizado todo o carregamento dos diagramas de carga e das radiâncias, a ferramenta pede ao utilizador para inserir uma data, data esta que deve ser o primeiro valor do primeiro diagrama de carga introduzido, ou seja, se o primeiro diagrama de carga introduzido foi o mês de janeiro do ano 2016, então esta data deve ser "01/01/2016". Este passo é importante de modo a serem atribuídos os períodos de tarifas respetivos de acordo com os dias da semana e as estações do ano. A caixa de texto que surge na ferramenta é idêntica à da Figura 27. Todos os outros dados são introduzidos automaticamente.

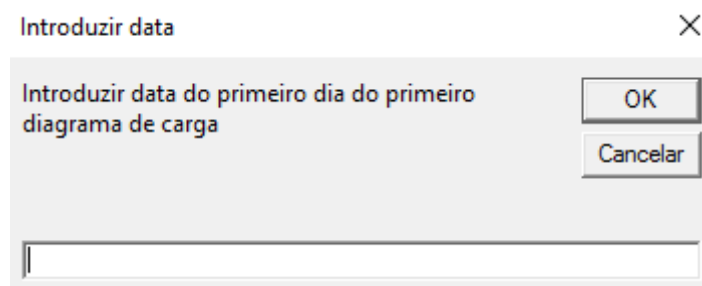


Figura 27 - Caixa de texto para introdução da data inicial dos diagramas

De seguida o utilizador deve introduzir as tarifas cobradas ao cliente pelo comercializador de energia, as quais são facilmente retiradas de uma qualquer fatura da conta de energia do cliente.

Os valores introduzidos para o exemplo foram os seguintes;

- Ponta = 0.103599
- Cheia = 0.095848
- Vazio = 0.068978
- Super Vazio = 0.064089

No passo seguinte, é pedido ao utilizador a introdução de diversos valores, relativamente aos painéis e a percentagens financeiras. Para efeito da presente exemplificação foram utilizados os seguintes:

- Potência dos painéis = 0.27KW
- Eficiência dos painéis = 16.5%

- Área de cada painel = 1,46m²
- Garantia do fabricante dos painéis = 25 anos
- Perdas a considerar no sistema = 14%
- Tarifa da potência de horas de ponta = 0.2263€/KW
- Tarifa de MIBEL = 0.0449€/KWh
- Margem para o cliente (desconto) = 10%
- Percentagem para a Operação e manutenção = 7%
- Percentagem para o Seguro = 1%
- Inflação = 2.5%
- Custo de capital = 8%
- Área para os painéis da primeira radiância = 1539.73m²
- Área para os painéis da segunda radiância = 718.05m²
- Área para os painéis da terceira radiância = 1229.74m²
- Percentagem de energia injetada = 100% (Para todas as radiâncias).
- WACC para o cliente = 4%

Durante o processo de iteração, sempre que a ferramenta acaba uma radiância, transmite ao utilizador um pequeno relatório a indicar o número de painéis e a energia injetada da radiância simulada, como se constata na Figura 28.

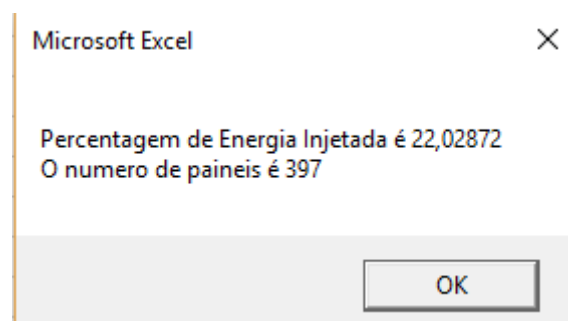


Figura 28 - Relatório entre simulações

Após as iterações o programa emite automaticamente os relatórios, tanto para o caso de financiamento em modelo ESCO, como para o caso de a Empresa “A” pretender suportar todo o investimento, estes relatórios, para o primeiro caso denominado de “Relatório ESCO” e, para o segundo, de “Relatório de Auto-Financiamento”, podem ser vistos nos Anexos A2 e A3 respetivamente. Além dos relatórios para os dois casos, também é possível verificar tabelas com todos os dados simulados para o tempo de garantia dos painéis, com valores técnicos e financeiros previstos obtidos por ano durante esse período. Estas tabelas podem ser verificadas nos anexos A4 e A5, para o caso ESCO e autofinanciamento, respetivamente.

4.2.1 Demonstração da Ferramenta após a simulação

Concluída a simulação, a ferramenta volta a pedir ao utilizador a introdução de um ficheiro auxiliar, com horas, com se verifica na Figura 29 - Caixa de texto a pedir ao utilizador a introdução de um ficheiro auxiliar. Isto é, necessário uma vez que o programa, nesta fase, realiza um levantamento de toda a energia produzida e autoconsumida em cada período de 15 em 15 minutos, fornecendo os dados numa tabela, o que pressupõe, mais uma vez, a introdução de períodos das tarifas, dias da semana, ou seja, terá de se voltar a introduzir a data que se introduziu na Figura 27.

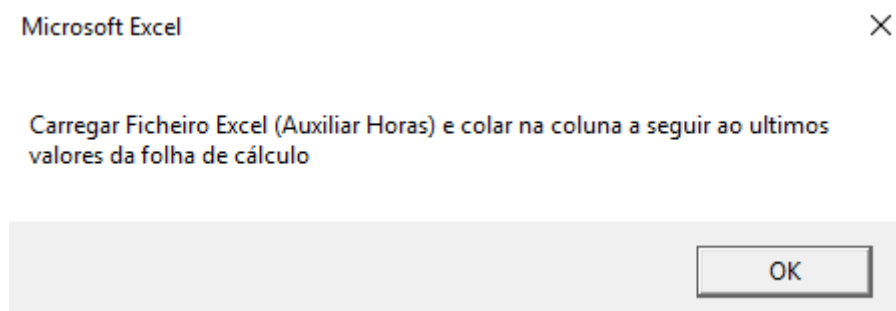


Figura 29 - Caixa de texto a pedir ao utilizador a introdução de um ficheiro auxiliar

Após este último passo estar concluído, o utilizador pode manusear o ficheiro *Excel*, de modo a verificar os resultados e os valores para os dois casos, autofinanciamento e para ESCO. É também possível verificar duas folhas com o nome de Produção Vs Consumo onde numa se verificam todos os valores de cálculo e uma tabela com esta relação, e outra com os respetivos gráficos deste relacionamento. Estas folhas podem ser verificadas no Anexo A6.

Na folha de relatório ESCO, são dispostos uma série de botões onde o utilizador poderá manusear toda a ferramenta a partir daí, caso pretenda repetir a simulação, porque achou que outras condições criariam um melhor resultado final, poderá fazê-lo com acesso a estes botões sem ter de repetir todo o processo inicial, processo de carregamento de diagramas, radiâncias e tarifas, mas apenas mudando valores técnicos dos painéis ou valores percentuais financeiros. Pode também repetir a simulação através do número de painéis em vez de introduzir uma área como a simulação inicial. O botão “Desconto” serve para se o utilizador pretender aplicar um desconto á proposta.



Figura 30 - Esquema de botões para fácil reutilização da ferramenta.

Existe também um botão para a criação de proposta. Este processo serve apenas para a garantir a formatação do documento de modo a manter apenas os valores que são do interesse do utilizador, para tal surge uma caixa de texto que permite ao utilizador escolher se o contrato será através de autofinanciamento ou através do modelo ESCO. Através da seleção desejada a ferramenta automaticamente, apaga os valores que não interessam ao caso em estudo e formata e organiza os valores que interessam. Pode-se verificar a caixa de texto na Figura 30.

4.2.2 Demonstração da Ferramenta para criar proposta

Após introduzir o botão “Criar Proposta” é pedido ao utilizador para escolher uma de duas opções, como se verifica na Figura 31, assim que escolher o tipo de proposta, é pedido ao utilizar para atribuir o nome da empresa de modo à ferramenta guardar toda a simulação automaticamente, pode-se verificar na Figura 32. De seguida a ferramenta efetua a formatação automaticamente.

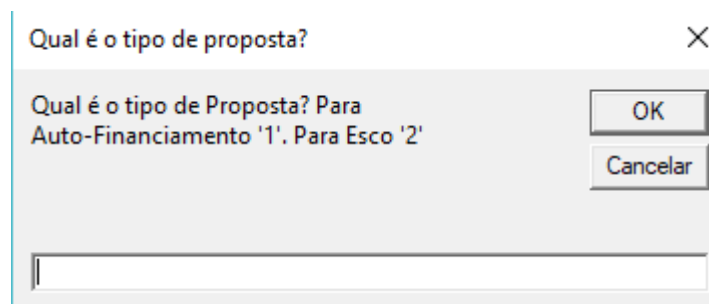


Figura 31 - Introduzir qual o tipo de proposta.

Dando-se assim concluído todo o processo da ferramenta, faltando apenas enviar a proposta ao cliente e entrar em negociações.

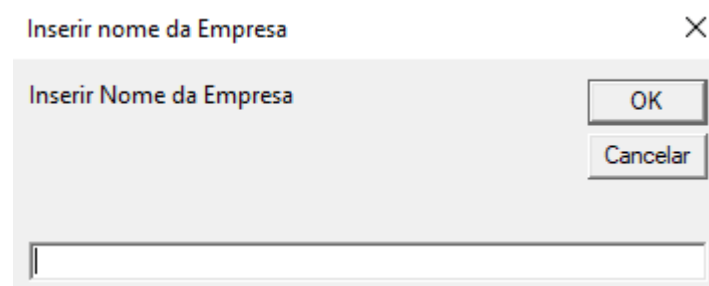


Figura 32 - Introduzir o nome da empresa em estudo.

4.2.3 Demonstração da Ferramenta para a monitorização

Após a instalação entrar em funcionamento, será importante efetuar uma monitorização da produção e compará-la com a simulação realizada. Para efetuar a monitorização na ferramenta, é apenas necessário pegar no ficheiro onde foi guardada a simulação, e selecionar o comando existente na folha de cálculo “Dados de Simulação” com o nome “Monitorização”. Será pedido mais uma vez ao utilizador que especifique qual o número de radiâncias utilizado na simulação.

Entretanto é pedido o período para que se pretende realizar a simulação, como se verifica na Figura 33 o utilizador deverá selecionar uma das opções marcadas pela caixa de texto.

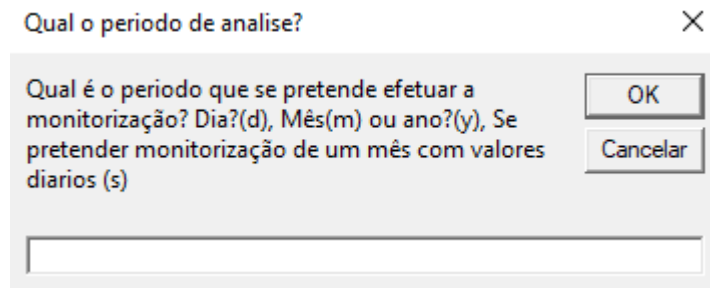


Figura 33 - Introdução do tipo de período a monitorizar.

Entretanto será pedido ao utilizador qual o ano em que foi realizada a simulação, ou seja, em que ano os painéis foram instalados, e por último o ano em que se pretende efetuar a monitorização. Estes anos são importantes referenciar para a ferramenta efetuar um cálculo consoante o desgaste dos painéis ao longo dos anos de produção.

Por fim, a ferramenta automaticamente cria um relatório com o resultado em percentagem da energia produzida real sobre a energia prevista pela simulação. Verifica-se na Tabela 5 um exemplo deste relatório. Verifica-se uma monitorização da empresa durante o mês de abril na secção dos dias, durante um período de 4 meses na secção dos meses, e uma monitorização para o ano 2019, para esta última foram utilizados os valores de 2017 para os 4 meses existentes e triplicados para os restantes meses de modo a testar o processo apenas, pois não há resultados de produção durante um ano, por isso tal análise não pode ser corretamente verificada.

Tabela 5 - Exemplo de relatório criado pela simulação.

Dia			Mês			Ano	
Início	Fim	Rendimento (%)	Início	Fim	Rendimento (%)	Ano	Rendimento (%)
01/04/2017	01/04/2017	103,1283	2017 March	2017 March	103,3337936	2019	106,2715
02/04/2017	02/04/2017	140,7423	2017 April	2017 April	129,683075		
03/04/2017	03/04/2017	138,7763	2017 May	2017 May	104,9274292		
04/04/2017	04/04/2017	140,715	2017 June	2017 June	103,9418793		
05/04/2017	05/04/2017	143,6429					
06/04/2017	06/04/2017	141,8874					
07/04/2017	07/04/2017	141,4387					
08/04/2017	08/04/2017	136,9935					
09/04/2017	09/04/2017	134,0838					
10/04/2017	10/04/2017	134,1065					
11/04/2017	11/04/2017	134,43					
12/04/2017	12/04/2017	138,5793					
13/04/2017	13/04/2017	122,7388					
14/04/2017	14/04/2017	92,22566					
15/04/2017	15/04/2017	135,903					
16/04/2017	16/04/2017	136,5921					
17/04/2017	17/04/2017	136,0953					
18/04/2017	18/04/2017	74,68116					
19/04/2017	19/04/2017	122,3193					
20/04/2017	20/04/2017	122,96					
21/04/2017	21/04/2017	154,6364					
22/04/2017	22/04/2017	147,9143					

4.3 Análise Conclusiva

Após a análise de resultados descrito no subcapítulo 4.1, é possível verificar a veracidade dos valores obtidos pela ferramenta, através da análise realizada a uma situação real, foi possível efetuar uma comparação com os resultados obtidos na simulação.

Foi demonstrado neste capítulo o funcionamento da ferramenta, os valores necessários a introduzir, e também como o programa demonstra os resultados obtidos ao utilizador. Foi também demonstrado por o utilizador deverá proceder após a simulação ter sido realizada, como criar uma proposta para entregar ao cliente e como efetuar a monitorização do projeto nos anos seguintes á implementação do projeto.

CONCLUSÕES

5.1 Análise Conclusiva Geral

5.2 Trabalhos Futuros.

5 CONCLUSÕES

5.1 Análise conclusiva geral

As preocupações ambientais, tem sido um tema que tem vindo a despertar interesse, não só na opinião pública, mas também nas organizações por todo o mundo. Esta dissertação teve o objetivo de recriar uma ferramenta, que de uma forma menos morosa, auxilie o processo de ir em conta a estas necessidades, procurando promover energia a partir de fontes renováveis, nomeadamente energia solar, sem prejudicar de alguma forma o rendimento de uma organização.

Por norma, a implementação de medidas de eficiência energética, costumam ser bastante dispendiosas e exigem um investimento inicial elevado, pelo que não é incomum que muitas destas medidas, por vezes, acabem por ter um processo inicial bastante moroso, ou até sejam abandonadas logo à partida. Para colmatar esta falta de recursos, surgem as empresas ESCO. Estas empresas, criam projetos de eficiência energética, aliviando os clientes do peso do investimento inicial do projeto.

Portugal, sendo um país pertencente a União Europeia, está sujeito a regras e objetivos ambientais necessários a cumprir acordos. Para se cumprir estas metas é necessário efetuar melhorias energéticas em diversas áreas, sendo as empresas ESCO um meio facilitador para implementação de tais medidas e redução dos consumos. Seria importante aumentar este número de empresas em Portugal de modo a facilitar mais o cumprimento destes objetivos.

De modo a capacitar as ESCO de um poder negocial maior, é essencial que estas empresas tenham capacidade de resposta rápidas às solicitações que lhes são propostas. Só com a capacidade de concretizar respostas com qualidade e em curto prazo é possível a estas empresas manterem a competitividade.

O principal objetivo desta dissertação passava por desenvolver uma ferramenta capaz de agilizar o dimensionamento de uma instalação fotovoltaica. Para tal, era necessária que o programa fosse capaz de calcular o número de painéis que melhor se encaixaria numa dada instalação e que apresentasse um relatório financeiro correspondente à produção de energia.

A metodologia da ferramenta apresentada permite um dimensionamento rápido para uma instalação fotovoltaica de autoconsumo. A base para este número de painéis é o que melhor se ajusta às necessidades de consumo de uma organização. É ainda possível utilizar diversas diferentes radiâncias ao mesmo tempo numa simulação, de modo a criar uma situação mais real em cada caso específico. A ferramenta também tem a possibilidade de repetir novas simulações a pedido do utilizador sem ser necessário iniciar o processo do começo. Após os dados da simulação serem do agrado do utilizador tem a opção de criar um documento de proposta automaticamente para entregar ao cliente recetor do projeto. Numa fase posterior do projeto, a ferramenta é também

capaz de monitorizar a instalação fotovoltaica e equiparar as relações entre produção real e a produção previamente simulada.

Analisando os objetivos propostos para esta dissertação é possível afirmar que as metas foram cumpridas e ainda foram acrescentadas outras funcionalidades que foram propostas ao longo da realização da dissertação. A ferramenta foi sujeita a testes de modo aos resultados obtidos serem validados. Sendo a legislação aplicável a esta tecnologia (produção fotovoltaica para autoconsumo) muito recente, não existe ainda no mercado muitos projetos com maturidade suficiente para se fazer uma análise a médio, longo prazo, porém foi possível efetuar uma análise a curto prazo (4 meses), e os resultados teóricos foram satisfatórios quando comparados com os valores produzidos na realidade por uma central fotovoltaica monitorizada pela Ecoinside.

Concluindo, a ferramenta cumpre os objetivos iniciais, e representa uma mais-valia, pois além de ser um processo facilitador no desenvolvimento de projetos fotovoltaicos, permite a realização de um projeto de um modo eficiente e rápido, podendo o tempo poupado ser utilizado para outras tarefas de atividade comercial e passa a ser um elemento ativo na ajuda do cumprimento das metas vigentes.

5.2 Trabalhos Futuros.

Na realização da presente dissertação, surgiram alguns assuntos de elevado interesse a implementar na ferramenta, de forma a torna-la ainda mais eficiente e com aplicações em diversos aspetos. Assim como trabalhos futuros são sugeridos os seguintes pontos:

- Seria de elevado interesse programar o carregamento dos diagramas de carga de modo a que ao ser carregado menos de 12 meses, estes se ajustassem de forma a completar um ano, isto porque, a análise financeira é sempre realizada durante um período anual, e fazendo o carregamento diferente de 12 meses irá gerar valores obtidos diferentes da realidade.
- Incorporar um algoritmo que permite ajustar as perdas de produção à localização geográfica em questão, por exemplo considerando dados meteorológicos passados;
- Incorporar perdas relacionadas com um perfil de sombreamento identificado para o local da instalação.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

REFERÊNCIAS

Referências

- Adriano, Guilherme Luís Martins. 2015.** *Análise de ciclo de vida da tecnologia fotovoltaica em Portugal*. Faculdade Nova de Lisboa : Tese de Mestrado, 2015.
- Ascensor, ESCO um novo mercado de serviços energéticos. 2011.** Ascensor, ESCO um novo mercado de serviços energéticos. [Online] Climatização, 2011. www.edificioenergia.pt.
- Assunção, Hélio Delgado. 2014.** *DEGRADAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS*. 2014.
- Bertoldi, P. 2014.** *ESCO Market Report 2013*. European Commission - Institute for Energy and Transport : s.n., 2014.
- Companies, E.A.o.E.S. 2016.** What is EPC. [Online] 25 de Maio de 2016. <http://euesco.org/about-epc/index.html>.
- Damir Stanicic, Jana Szomolányiová, Michaela Valentová, Vladimír Sochor, Jaroslav Marousek. 2014.** *European Code of Conduct for Energy Performance Contracting*. 2014.
- Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro. Europeu, P.,. 2012.* 2012, Jornal Oficial da União Europeia, p. 56.
- Distribuição, EDP. EDP Distribuição.** [Online] <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/Pages/homepage.aspx>.
- Ecoinside. Ecoinside.** [Online] www.Ecoinside.pt.
- Guimarães, R.J. 2009.** *Aplicação Do Modelo Energy Service Company (ESCO) em Retrofitting Industrial No Contexto Português*. Faculdade Engenharia da Universidade do Porto : s.n., 2009.
- J.Hansen, Shirley. 2006.** *Performance Contracting Expanding Horizons*. 2006.
- Jas Singh, Dilip R. Limaye, Brian Henderson, Xiaoyu Shi. 2009.** *Public Procurement of Energy Efficiency Services : Lessons from International Experience*. 2009.
- Linhares, Aristides Ricardo. 2016.** *Energia Solar*. 2016.
- Ministros, Presidencia do conselhos de. 2013.** *Resolução do conselho de Ministros*. 2013.
- Monteiro, José Alberto Máximo. 2014.** *Produção Fotovoltaica : Legislação, tarifas, tecnologia necessária e viabilidade económica, para produção numa perspetiva de chave na mão*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto : Tese Mestrado em Engenharia Eletrotécnica de Computadores, 2014.
- System, Photovoltaic Geographical Information.** <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>. [Online] União Europeia.
- Why Solar? 2014.** Enginering. Why Solar? [Online] 2014. <http://www.engineering.com>.

ANEXOS

A1. Períodos Tarifários

A2. Relatório ESCO

A3. Relatório Auto-Financiamento.

A4. Tabela Proposta ESCO

A5. Tabela de Auto-Financiamento

A6. Gráficos de Produção Vs Consumo

ANEXOS

A1. Períodos Tarifários

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Ciclo diário para todos os fornecimentos na Região Autónoma dos Açores

Ciclo diário para todos os fornecimentos na RAA			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Ponta:	09.30/11.00 h 17.30/20.00 h	Ponta:	09.00/11.30 h 19.30/21.00 h
Cheias:	08.00/09.30 h 11.00/17.30 h 20.00/22.00 h	Cheias:	08.00/09.00 h 11.30/19.30 h 21.00/22.00 h
Vazio Normal:	05.30/08.00 h 22.00/01.30 h	Vazio Normal:	05.30/08.00 h 22.00/01.30 h
Super Vazio:	01.30/05.30 h	Super Vazio:	01.30/05.30 h

Ciclo diário para todos os fornecimentos na Região Autónoma da Madeira

Ciclo diário para todos os fornecimentos na RAM			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Ponta:	10.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	10.30/13.00 h 20.30/22.00 h
Cheias:	09.00/10.30 h 12.00/18.30 h 21.00/23.00 h	Cheias:	09.00/10.30 h 13.00/20.30 h 22.00/23.00 h
Vazio Normal:	06.00/09.00 h 23.00/02.00 h	Vazio Normal:	06.00/09.00 h 23.00/02.00 h
Super Vazio:	02.00/06.00 h	Super Vazio:	02.00/06.00 h

A2. Relatório ESCO

Potência de cada painel (kW)	Energia anual produzida (kWh)	Tarifa Aplicável (€/kWh)	Nº de painéis	Energia injetada no cliente (kWh)
0,27	619494,44	0,1136 €	1929	495179,75
Eficiência painel (%)	Perda de Eficiência por ano (%)	Tarifa Evitada (€/kWh)	Potência total instalada	Energia injetada na rede (kWh)
16,5%	1%	0,1262 €	520,83	124311,11
Área utilizada (m ²)	Energia Consumida anual (kWh)	Tarifa Mibel (€/kWh)	VAL	Percentagem energia total produzida (%)
3472,2	2225842,50	0,0449 €	122 687,81 €	27,83%
Límite de painéis	Payback (anos)	Inflação (%)	TIR	Percentagem energia consumida (%)
1930	9,61	2,5%	10,42%	79,93%
Garantia máxima (anos)	Poupança anual (€)	Desconto (%)	WACC (%)	Percentagem energia injetada (%)
25	6 221,85 €	10,0%	8,0%	20,07%
Investimento Inicial (€)	Duração do Contrato (anos)	Perdas do Sistema (%)	Orientação (°)	Inclinação (°)
546 871,50 €	25	14,0%	45	15
			Orientação (°)	Inclinação (°)
			0	0
			Orientação (°)	Inclinação (°)
			-135	15

Desconto

Nova Simulação / Área

Nova Simulação / Número de painéis

Criar Proposta

A3. Relatório Auto-Financiamento.

Potência de cada painel (kW)	0,27	Energia anual produzida (kWh)	619494,44	Potência Nominal (kW)	200	Nº de painéis	1929	Energia injetada no cliente (kWh)	495179,75
Eficiência painel (%)	16,5%	Perda de Eficiência por ano (%)	1%	Tarifa Evitada (€/kWh)	0,1262 €	Potência total instalada (kW)	520,83	Energia injetada na rede (kWh)	124311,11
Área utilizada (m ²)	3472,2	Energia Consumida anual (kWh)	2225842,50	Tarifa Mibel (€/kWh)	0,0449 €	VAL a 25 anos	564 574,69 €	Percentagem energia total produzida (%)	27,83%
Limite de painéis	1930	Payback (anos)	8,30	Inflação (%)	2,5%	TIR a 25 anos	11,89%	Percentagem energia consumida (%)	79,93%
Garantia máxima (anos)	25	Poupança anual (€)	62 374,78 €	Inversores (nº)	5	WACC (%)	4,0%	Percentagem energia injetada (%)	20,07%
Investimento Inicial (€)	- 546 871,50 €	Duração do Contrato (anos)	25	Perdas do Sistema (%)	14,0%	Orientação (º)	45	Inclinação (º)	15
						Orientação (º)	0	Inclinação (º)	0
						Orientação (º)	-135	Inclinação (º)	15

A4. Tabela Proposta ESCO

Ano	Produção Injetada na Instalação	Produção Injetada na Rede	Tarifa Evitada	Nova Tarifa	Diferença de Tarifa	Acumulado Cliente	Seguro	O&M	Benefício da Venda à Rede	Benefício do Consumo Interno	CashFlow
1	495 179,7422	124 311,1152	0,1262 €	0,1136 €	0,0126 €	6 221,85 €	677,99 €	4 745,90 €	5 525,75 €	56 821,17 €	56 152,93 €
2	490 227,9297	123 068,0039	0,1294 €	0,1165 €	0,0129 €	12 535,48 €	687,99 €	4 815,91 €	5 470,50 €	57 659,29 €	56 981,18 €
3	485 325,6563	121 837,3262	0,1326 €	0,1194 €	0,0133 €	18 942,23 €	698,13 €	4 886,95 €	5 415,79 €	58 509,77 €	57 821,65 €
4	480 472,3984	120 618,9531	0,1360 €	0,1224 €	0,0136 €	25 443,49 €	708,44 €	4 959,03 €	5 361,63 €	59 372,78 €	58 674,52 €
5	475 667,6641	119 412,7617	0,1394 €	0,1254 €	0,0139 €	32 040,63 €	718,87 €	5 032,18 €	5 308,02 €	60 248,53 €	59 539,97 €
6	470 911,0000	118 218,6328	0,1428 €	0,1285 €	0,0143 €	38 735,07 €	729,49 €	5 106,40 €	5 254,93 €	61 137,20 €	60 418,18 €
7	466 201,8984	117 036,4453	0,1464 €	0,1318 €	0,0146 €	45 528,28 €	740,25 €	5 181,71 €	5 202,39 €	62 038,96 €	61 309,35 €
8	461 539,8750	115 866,0801	0,1501 €	0,1351 €	0,0150 €	52 421,68 €	751,16 €	5 258,14 €	5 150,37 €	62 954,04 €	62 213,66 €
9	456 924,4766	114 707,4219	0,1538 €	0,1384 €	0,0154 €	59 416,74 €	762,24 €	5 335,70 €	5 098,86 €	63 882,62 €	63 131,32 €
10	452 355,2422	113 560,3477	0,1577 €	0,1419 €	0,0158 €	66 514,99 €	773,49 €	5 414,40 €	5 047,87 €	64 824,89 €	64 062,50 €
11	447 831,6797	112 424,7461	0,1616 €	0,1454 €	0,0162 €	73 717,94 €	784,90 €	5 494,26 €	4 997,39 €	65 781,05 €	65 007,42 €
12	443 353,3672	111 300,5000	0,1656 €	0,1491 €	0,0166 €	81 027,13 €	796,47 €	5 575,31 €	4 947,42 €	66 751,32 €	65 966,28 €
13	438 919,8281	110 187,4941	0,1698 €	0,1528 €	0,0170 €	88 444,14 €	808,22 €	5 657,54 €	4 897,94 €	67 735,91 €	66 939,27 €
14	434 530,6328	109 085,6191	0,1740 €	0,1566 €	0,0174 €	95 970,54 €	820,14 €	5 740,99 €	4 848,96 €	68 735,02 €	67 926,64 €
15	430 185,3281	107 994,7617	0,1784 €	0,1605 €	0,0178 €	103 607,96 €	832,24 €	5 825,67 €	4 800,48 €	69 748,85 €	68 928,55 €
16	425 883,4688	106 914,8145	0,1828 €	0,1646 €	0,0183 €	111 358,04 €	844,51 €	5 911,61 €	4 752,47 €	70 777,65 €	69 945,25 €
17	421 624,6250	105 845,6660	0,1874 €	0,1687 €	0,0187 €	119 222,43 €	856,97 €	5 998,79 €	4 704,95 €	71 821,61 €	70 976,95 €
18	417 408,3828	104 787,2109	0,1921 €	0,1729 €	0,0192 €	127 202,81 €	869,62 €	6 087,28 €	4 657,90 €	72 880,98 €	72 023,86 €
19	413 234,3047	103 739,3379	0,1969 €	0,1772 €	0,0197 €	135 300,91 €	882,43 €	6 177,06 €	4 611,32 €	73 955,98 €	73 086,20 €
20	409 101,9609	102 701,9453	0,2018 €	0,1816 €	0,0202 €	143 518,45 €	895,45 €	6 268,17 €	4 565,21 €	75 046,84 €	74 164,22 €
21	405 010,9453	101 674,9238	0,2069 €	0,1862 €	0,0207 €	151 857,20 €	908,65 €	6 360,63 €	4 519,55 €	76 153,78 €	75 258,14 €
22	400 960,8438	100 658,1758	0,2120 €	0,1908 €	0,0212 €	160 318,94 €	922,07 €	6 454,45 €	4 474,36 €	77 277,04 €	76 368,20 €
23	396 951,2344	99 651,5957	0,2173 €	0,1956 €	0,0217 €	168 905,51 €	935,66 €	6 549,66 €	4 429,61 €	78 416,88 €	77 494,63 €
24	392 981,7266	98 655,0801	0,2228 €	0,2005 €	0,0223 €	177 618,71 €	949,47 €	6 646,26 €	4 385,32 €	79 573,54 €	78 637,69 €
25	389 051,9141	97 668,5273	0,2283 €	0,2055 €	0,0228 €	186 460,44 €	963,48 €	6 744,30 €	4 341,45 €	80 747,24 €	79 797,59 €

A5. Tabela de Auto-Financiamento

Ano	Produção Injetada na Instalação	Produção Injetada na Rede	Tarifa Evitada	Seguro	O&M	Benefício da Venda à Rede	Benefício do Consumo Interno	CashFlow	CashFlow Acumulado	TIR	Investimento Inicial
1	495 179,7422	124 311,1152	0,1262 €	677,99 €	4 745,91 €	5 525,75 €	63 134,80 €	62 374,78 €	-484 496,75 €	-88,59 %	546 871,5200 €
2	490 227,9297	123 068,0039	0,1294 €	687,99 €	60 248,68 €	5 470,50 €	64 066,04 €	63 294,80 €	-421 201,95 €	-59,80 %	
3	485 325,6563	121 837,3262	0,1326 €	698,13 €	4 886,95 €	5 415,79 €	65 011,01 €	64 228,40 €	-356 973,55 €	-38,60 %	
4	480 472,3984	120 618,9531	0,1360 €	708,44 €	4 959,03 €	5 361,63 €	65 969,92 €	65 175,77 €	-291 797,77 €	-24,66 %	
5	475 667,6641	119 412,7617	0,1394 €	718,87 €	5 032,18 €	5 308,02 €	66 942,98 €	66 137,11 €	-225 660,66 €	-15,34 %	
6	470 911,0000	118 218,6328	0,1428 €	729,49 €	5 106,40 €	5 254,93 €	67 930,40 €	67 112,63 €	-158 548,02 €	-8,89 %	
7	466 201,8984	117 036,4453	0,1464 €	740,25 €	5 181,71 €	5 202,39 €	68 932,37 €	68 102,55 €	-90 445,48 €	-4,27 %	
8	461 539,8750	115 866,0801	0,1501 €	751,16 €	5 258,14 €	5 150,37 €	69 949,13 €	69 107,06 €	-21 338,42 €	-0,86 %	
9	456 924,4766	114 707,4219	0,1538 €	762,24 €	5 335,70 €	5 098,86 €	70 980,88 €	70 126,39 €	48 787,98 €	1,71 %	
10	452 355,2422	113 560,3477	0,1577 €	773,49 €	5 414,40 €	5 047,87 €	72 027,84 €	71 160,74 €	119 948,72 €	3,69 %	
11	447 831,6797	112 424,7461	0,1616 €	784,90 €	5 494,26 €	4 997,39 €	73 090,24 €	72 210,38 €	192 159,11 €	5,24 %	
12	443 353,3672	111 300,5000	0,1656 €	796,47 €	5 575,31 €	4 947,42 €	74 168,32 €	73 275,48 €	265 434,59 €	6,48 %	
13	438 919,8281	110 187,4941	0,1698 €	808,22 €	5 657,54 €	4 897,94 €	75 262,31 €	74 356,29 €	339 790,88 €	7,48 %	
14	434 530,6328	109 085,6191	0,1740 €	820,14 €	5 740,99 €	4 848,96 €	76 372,43 €	75 453,05 €	415 243,93 €	8,29 %	
15	430 185,3281	107 994,7617	0,1784 €	832,24 €	5 825,67 €	4 800,48 €	77 498,93 €	76 565,97 €	491 809,91 €	8,96 %	
16	425 883,4688	106 914,8145	0,1828 €	844,51 €	5 911,61 €	4 752,47 €	78 642,02 €	77 695,33 €	569 505,22 €	9,51 %	
17	421 624,6250	105 845,6660	0,1874 €	856,97 €	5 998,79 €	4 704,95 €	79 802,00 €	78 841,33 €	648 346,56 €	9,98 %	
18	417 408,3828	104 787,2109	0,1921 €	869,62 €	6 087,28 €	4 657,90 €	80 979,08 €	80 004,24 €	728 350,80 €	10,37 %	
19	413 234,3047	103 739,3379	0,1969 €	882,44 €	6 177,07 €	4 611,32 €	82 173,52 €	81 184,31 €	809 535,13 €	10,70 %	
20	409 101,9609	102 701,9453	0,2018 €	895,45 €	6 268,18 €	4 565,21 €	83 385,59 €	82 381,78 €	891 916,89 €	10,98 %	
21	405 010,9453	101 674,9238	0,2069 €	908,66 €	6 360,63 €	4 519,55 €	84 615,51 €	83 596,91 €	975 513,78 €	11,22 %	
22	400 960,8438	100 658,1758	0,2120 €	922,07 €	6 454,45 €	4 474,36 €	85 863,60 €	84 829,96 €	1 060 343,71 €	11,42 %	
23	396 951,2344	99 651,5957	0,2173 €	935,66 €	6 549,66 €	4 429,61 €	87 130,09 €	86 081,20 €	1 146 424,89 €	11,60 %	
24	392 981,7266	98 655,0801	0,2228 €	949,47 €	6 646,27 €	4 385,32 €	88 415,26 €	87 350,90 €	1 233 775,75 €	11,76 %	
25	389 051,9141	97 668,5273	0,2283 €	963,48 €	6 744,30 €	4 341,45 €	89 719,39 €	88 639,33 €	1 322 415,04 €	11,89 %	

A6. Gráficos de Produção Vs Consumo

