Universidade de Coimbra

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Caracterização de consumos residenciais para ações de Demand Response

Paulino Gonçalves Oliveira

Júri

Presidente: Professor catedrático Carlos Alberto Henggeler de Carvalho Antunes

Orientador: Professor doutor Humberto Manuel Matos Jorge, Professor Auxiliar

Vogal: Professor doutor Rui Pedro Duarte Cortesão

Coimbra, Julho 2013

© Paulino Oliveira, 2013

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Ano Lectivo de 2012/2013

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

– Especialização em Energia –

Caracterização de consumos residenciais para ações de Demand Response

Aluno:

Paulino Gonçalves Oliveira

Orientador:

Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge

© Paulino Oliveira, 2013

Agradecimentos

Quero antes de mais agradecer ao meu orientador, professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge pelo apoio, preocupação, orientação e confiança.

Quero agradecer à Andreia, minha namorada, pelo apoio incondicional e por estar sempre atenta às minhas dificuldades.

À minha família, mãe, pai e irmãos, agradeço por terem estado do meu lado em todo o meu percurso académico e me terem ajudado a superar todos os momentos difíceis que enfrentei ao longo destes anos.

Quero agradecer aos meus amigos e colegas de curso que estiveram comigo nesta etapa, partilhando conhecimento e amizade.

Não posso também deixar de agradecer a todos os professores do departamento que me transmitiram conhecimento e ajuda.

A todos o meu sincero obrigado.

“Life is and will ever remain an equation incapable of solution, but it contains certain known factors.”

Nikola Tesla

Resumo

Nesta tese é feita uma abordagem baseada na caracterização dos consumos de DR (*demand response*).

Na futura *Smart Grid,* o DSM (*demand side management*) irá melhorar a estabilidade da rede e garantir o fornecimento de energia segura. Exemplos de dispositivos viáveis para a DR são as cargas residenciais (por exemplo, máquinas de lavar roupa, termoacumulador, máquinas de lavar louça e máquinas de secar roupa) e os veículos elétricos (por exemplo, veículos elétricos híbridos, VEHPs). Em larga escala a DR é particularmente desafiadora; um grande número de dispositivos podem precisar de ser geridos tendo em conta as restrições de usuários, minimizando os custos globais de fornecimento de energia elétrica. A incerteza e a dinâmica do comportamento do consumidor e o aumento dos custos de eletricidade agravam ainda mais a complexidade da DR em grande escala.

Esta tese propõe um simulador para resolver o problema de alocação de carga com a PTR (preços em tempo real). Posteriormente, é apresentado um estudo de caso detalhado, onde se mostram as capacidades do simulador proposto e vários cenários possíveis de alocação de cargas.

Palavras-Chave: Demand Response, Smart Grid, Aplicações domésticas, Alocação de cargas, Tarifa em tempo real

Abstract

This thesis proposes an approach based on the characterization of consumption to DR (demand response).

In the future Smart Grid, DSM will improve grid stability and secure energy supply. Examples, in this thesis of viable devices for DR are domestic appliances (e.g. washing machines, heater, dishwasher machines and dryer machines) and electric cars (e.g. plug- in hybrid electric vehicles, PHEVs). Large-scale DR is particularly challenging; millions of devices may need to be managed, taking into account both user constraints, while minimizing overall electricity supply costs. Uncertainty and dynamism of user behavior and electricity costs further add to the complexity of large-scale DR.

This thesis proposes a simulator to solve load scheduling problem with RTP (real time pricing). Subsequently, it presented a detailed case study where it shows the ability of the proposed simulator and several possible scenarios of loads allocation.

Keywords: Demand Response, Smart Grid, Real Time Pricing, Domestic Appliances, Loads Allocation

Índice

Índice de figuras iii

Índice de tabelas iv

Acrónimos v

1. Introdução 1

1.1. Contexto 1

1.2. Objetivos 1

1.3. Estrutura da Dissertação 2

2. Enquadramento 3

2.1. Smart Grid 3

2.1.1. Energy Box 5

2.1.2. Smart Meter 6

2.2. Demand Response 8

2.2.1. Programas de DR 9

2.2.2. Programas baseados em preços 11

2.2.3. Programas baseados em incentivos 11

2.3. Agregador 12

2.4. Mercado ibérico de eletricidade (MIBEL) 14

2.4.1. Mercado diário e intradiário 15

2.4.2. Mercado a prazo 17

3. Caraterização de cargas do setor residencial 19

3.1. Cargas a monitorizar 20

3.1.1. Máquina de lavar roupa 21

3.1.2. Máquina de secar roupa 22

3.1.3. Máquina de lavar louça 23

3.1.4. Termoacumulador 23

3.1.5. Veículo elétrico 26

3.2. Especificação de equipamento de leitura 27

4. Apresentação do simulador desenvolvido 29

4.1. Dados utilizados 29

4.2. Descrição 30

4.3. Interface 34

5. Estudo de casos 37
5.1. Simulação de Inverno 37
5.2. Simulação de Verão 42
5.3. Comparação de PTR com tarifa atual 46
6. Conclusões 49
6.1. Trabalhos Futuros 50
Bibliografia 51
Anexos 53
A. PTR modelo 1 53
B. PTR modelo 2 54
C. PTR modelo 3 55
D. Interface 56
E. Tarifa atual 57

Índice de figuras

Figura 1- Sistema atual de medida de consumo/ Sistema futuro de medida de consumos 7
Figura 2-Programas de *Demand Response* 10
Figura 3- Escala temporal dos programas de *Demand Response* 10
Figura 4- Relação entre consumidor e mercado 13
Figura 5- Mercado diário 16
Figura 6- Mercado Intradiário 16
Figura 7- Evolução do consumo energético 19
Figura 8- Classificação das cargas domésticas 20
Figura 9-Curva típica de funcionamento da MLR 21
Figura 10- Curva típica de funcionamento da MSR 22
Figura 11- Curva típica de funcionamento da MLL 23
Figura 12- Curva típica de funcionamento do TRM de funcionamento contínuo 25
Figura 13- Curva típica de funcionamento do TRM de um ciclo de funcionamento 26
Figura 14- Curvas típicas de dois tipos de carregamento do VE 26
Figura 15- Registrador de Dados Easylog- USB Data Logger 27
Figura 16- Modelos PTR 30
Figura 17-Possiveis alocações do TRM das 00:00 - 04:00 31
Figura 18-Possiveis alocações do TRM das 21:00 - 04:00 31
Figura 19- Preço por cada ciclo possível de alocar 32
Figura 20- *Baseline* + Alocação TRM 32
Figura 21- Fluxograma do simulador 33
Figura 22- Menu 1 34
Figura 23- Menu 2 34
Figura 24- Menu 3 35
Figura 25- Menu 4 35
Figura 26- Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, PC=6,9 kVA 37
Figura 27-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, PC=10,35 kVA 38
Figura 28- Alocação de 4 cargas numa madrugada num Sábado 38
Figura 29-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, carga Semi-rápida 39
Figura 30-Alocação de 4 cargas num período de pico num dia de Semana, carga *standard* 40
Figura 31- Alocação de 4 cargas num período de pico num dia de Semana, carga Semi-rápida 40
Figura 32- Alocação diária VE PTR 41
Figura 33-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, PC=6,9 kVA 42
Figura 34-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, PC=10,35 kVA 42
Figura 35-Alocação de 4 cargas numa madrugada Sábado, PC=10,35 kVA 43
Figura 36-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, carga Semi-rápida de VE 43
Figura 37-Alocação de 4 cargas num período de pico num dia de Semana, carga standard 44
Figura 38-Alocação de 4 cargas num período de pico num dia de Semana, carga Semi-rápida 44
Figura 39- Alocação diária VE Verão 45
Figura 40- Alocação diária TRM com tarifa Simples 46
Figura 41- Alocação diária TRM com tarifa Tri-H 47
Figura 43- *Interface* 56

Índice de tabelas

Tabela 1- Rede atual e SG..... 5
Tabela 2- PTR modelo 1..... 53
Tabela 3- PTR modelo 2..... 54
Tabela 4- PTR modelo 3..... 55
Tabela 5- Tarifa atual [16] 57

Acrónimos

MLR – *Máquina de Lavar Roupa*

MSR – *Máquina de Secar Roupa*

MLL – *Máquina de Lavar Loiça*

TRM – *Termoacumulador*

VE – *Veículo Elétrico*

DR – *Demand Response*

SG – *Smart Grid*

PTR – Preços em tempo real (*Real time pricing)*

SEE- *Sistema de Energia Elétrica*

EB – *Energy Box*

SM – *Smart Meter*

TOU – *Time of use*

MIBEL – *Mercado Ibérico de Eletricidade*

OMIP – *Operador de Mercado Ibérico (Portugal)*

OMIE – *Operador de Mercado Ibérico (Espanha)*

1. Introdução

1.1. *Contexto*

No âmbito da unidade curricular Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, foi elaborada esta dissertação no ano letivo 2012/2013. O seu principal objetivo prende-se com a análise da alocação de cargas residenciais para o dia seguinte, de acordo com os estímulos dos preços em tempo real (PTR), procurando manter o nível de conforto e a qualidade de serviço prestado aos consumidores e tendo como objetivo reduzir a faturação de energia elétrica.

1.2. *Objetivos*

A tarefa de satisfazer os pedidos do lado da procura do sistema de energia é um desafio cada vez maior para os operadores dos sistemas de energia elétrica, devido ao aumento progressivo do seu consumo global. O setor residencial é um dos setores onde se tem registado um grande aumento na fatia do consumo, isto devido ao aumento da introdução de novas cargas e ao crescente conforto procurado pelos consumidores.

O principal objetivo desta dissertação é fazer uma caracterização das cargas do setor doméstico, que podem ser objeto de ações de controlo e que representam uma parte significativa do consumo deste sector. O controlo e parametrização dessas cargas poderão contribuir para reduzir picos de consumo, provocando o deslocamento desses mesmos consumos para períodos de menor procura da rede.

Nesta dissertação foi utilizada um modelo de tarifa PTR, criada com base nas variações dos preços de eletricidade no mercado grossista e nos custos de acesso à rede, para induzir deslocações de cargas em conformidade com os interesses do consumidor e os objetivos da operadora. Os PTR definem os preços da eletricidade para o dia seguinte, tal como no mercado grossita de eletricidade. Com base nessa informação de preços, são pré-definidas as deslocações da carga conforme a disponibilidade do utilizador final, permitindo uma poupança para o utilizador e vantagens para o sistema de energia.

1.3. *Estrutura da Dissertação*

A estrutura da dissertação reflete os objetivos que estiveram na base do trabalho desenvolvido. Assim, após a introdução, no Capítulo 2 (*Enquadramento*) é feita uma abordagem sobre todos os temas teóricos necessários para a compreensão dos objetivos finais da dissertação. Inicia-se com a definição das *Smart Grids (SG)*, e ainda dentro deste subcapítulo é abordada a *Energy Box (EB)* e o *Smart Meter (SM)*, para uma melhor compreensão da necessidade da deslocação e parametrização de cargas numa futura rede baseada nas SG. Seguidamente, é feita uma abordagem sobre a *Demand Response (DR)* e os seus programas baseados em incentivos e em preços.

No Capitulo 3, é feita uma avaliação das cargas que serão tratadas pelo simulador desenvolvido, e é também abordado o equipamento utilizado na recolha real de consumos de todas as cargas utilizadas nesta dissertação.

No capítulo 4, é feita uma descrição pormenorizada do simulador desenvolvido em *Matlab* para a alocação das cargas em conformidade com os PTR.

No Capítulo 5, é feita uma análise de casos de alocação de cargas residenciais com a tarifa PTR com o objetivo de uma redução de encargos monetários para o consumidor.

No Capítulo 6, são apresentadas as conclusões mais importantes que é possível retirar do trabalho desenvolvido e possíveis trabalhos futuros.

2. Enquadramento

2.1. *Smart Grid*

O transporte e distribuição eficiente de energia elétrica é um requisito fundamental do Sistema de Energia Elétrica (SEE); com o aumento acentuado da procura, fica comprometido o nível de eficiência do SEE, sem qualquer controlo ou gestão da procura. Os riscos associados à utilização de uma rede elétrica cada vez mais envelhecida crescem de dia para dia, e com eles crescem os desafios associados aos compromissos ambientais estabelecidos pelas várias Nações [7].

A crescente necessidade da participação ativa do lado da procura, a elevada introdução de novos equipamentos eletrónicos, a incapacidade de previsão exata da procura, a incapacidade de armazenamento de energia em grandes quantidades e a necessidade de continuidade de serviço, são alguns dos fatores que levam à urgência da introdução do conceito SG na atual rede de energia.

SG consiste numa mistura de automação, tecnologias de monitorização e controlo, aplicações de eletrónica de potência, soluções de telecomunicações e incorporação de um novo conceito de sistema como "monitorização e proteção de uma ampla área", "centrais virtuais", e "microrredes" [5].

As SG também apresentam as seguintes características:

- Autorreparação: com a informação em tempo real enviada por um grande número de sensores colocados estrategicamente ao longo da rede, permite antecipar, detetar e responder a problemas na rede, mitigando assim as interrupções ou diminuições de qualidade de serviço;

- Motivação e envolvimento dos consumidores: as tecnologias incorporadas numa rede inteligente de energia permitem que os consumidores atuem sobre as suas cargas, de forma a possibilitar uma eficiente gestão de energia, reduzindo os custos na fatura elétrica. Uma comunicação entre a rede e o consumidor permite uma relação de cooperação, possibilitando a tarifação em tempo real e a redução de consumos em períodos de pico de procura de eletricidade;

- Resistência a ataques ou desastres: capacidade de redirecionar os fluxos de energia, em tempo real, por percursos alternativos de forma a garantir o serviço nas zonas afetadas;

- Acomodação de todas as opções de geração e armazenamento de energia: permite que os consumidores residenciais, comerciais e industriais produzam energia, a qual em excesso poderá ser fornecida à rede. Isto é permitido devido à característica de direcionalidade da rede e poderá contribuir para melhorar a fiabilidade e a qualidade da energia, reduzir os preços da eletricidade e aumentar as escolhas do consumidor;

- Maior eficiência: as SG minimizam os custos de operação e de manutenção da rede. Os fluxos de energia otimizados reduzem os desperdícios energéticos e maximizam o uso de recursos energéticos de baixo custo. A harmonização da distribuição local com fluxos de energia inter-regionais na rede de transporte reduz os congestionamentos e pontos de estrangulamento na rede.

As características anteriormente apresentadas descrevem a visão para uma rede elétrica mais flexível, mais distribuída, mais inteligente, mais controlável e mais protegida que a rede elétrica atual.

A característica bidirecional do fluxo de energia e informação faz com que a rede de distribuição seja automatizada e possua a capacidade de permitir a integração e cooperação eficazes e troca de informação entre todos os elementos interligados na rede. Nesta perspetiva o uso de redes de comunicação com elevada fiabilidade e seguras é um requisito a ser cumprido [6].

A gestão eficiente das SG, com base em informações obtidas em monitorizações, é fundamental para uma operação eficiente. A sua gestão inclui o desenvolvimento e implementação dos seguintes tópicos [6]:

- Contagem inteligente (*Smart Metering*): acompanhamento e envolvimento do consumidor no uso de energia elétrica;
- Gestão do lado da procura;
- Preços em tempo real, tarifas dinâmicas;
- Controlador *Home Energy Box*;
- Gestão eficiente de fontes de energia convencionais;
- Gestão eficiente de fontes de energia renováveis;
- Gestão eficiente do excesso de energia gerada pelos consumidores;
- Gestão das redes de distribuição e de transporte.

As SG exigem a instalação de um grande número de sensores ao longo de toda a sua extensão. Isto permite controlar quase em tempo real o estado da rede, equilibrar cargas e prevenir/repor

avarias com maior facilidade. A rede consegue prever comportamentos de utilizadores e, em alguns casos, mitigar o uso indevido de energia por parte dos mesmos. Possui igualmente elevada capacidade de reagir a pedidos e/ou injeções de potência na rede.

A seguir está representada uma tabela que faz uma comparação entre a rede atual e a SG [8]:

Tabela 1- Rede atual e SG

Características	Rede atual	Rede futura (SG)
Permite uma participação ativa por parte dos consumidores	Os consumidores não estão informados e não participam com sistema de alimentação	Consumidores informados, envolvidos e ativos – *Demand Response* e recursos energéticos distribuídos
Acomodação de toda a geração e todas as opções de armazenamento	Dominado por geração centralizada, pequena expansão da geração distribuída	Muitos recursos energéticos distribuídos com *plug-and-play*
Permite novos produtos serviços e mercados	Mercados grossistas limitados - oportunidades limitadas para os consumidores	Mercados grossistas bem integrados, surgimento de novos mercados
Fornece qualidade de energia para a economia digital	Concentrado nas interrupções- resposta lenta a problemas na qualidade de energia	Qualidade da energia é uma prioridade com as opções de qualidade / preço - resolução rápida de problemas
Otimiza recursos e operação eficiente	Pouca integração de dados operacionais com a gestão de ativos	Grande expansão na aquisição de dados dos parâmetros da rede-foco na prevenção
Prevê e responde a perturbações no sistema (*self-heals*)	Responde para evitar mais danos - o foco está na proteção dos ativos após falha	Deteta e responde automaticamente aos problemas - foco na prevenção
Flexibilidade contra ataque e desastres naturais	Vulnerável a atos de terrorismo e a desastres naturais	Resistentes a ataques e desastres naturais com rápida capacidade de reposição do sistema

A aplicação do conceito SG nas atuais redes de energia será um processo moroso e de elevada complexidade de implementação. Évora é a cidade pioneira em Portugal na implementação do conceito SG.

2.1.1. Energy Box

O *Energy Box* (EB) é um equipamento com capacidade de processamento que, de forma contínua, faz a gestão da energia elétrica consumida de uma casa ou até de uma pequena empresa. O seu funcionamento é otimizado num ambiente de procura sensível de preços em tempo real (PTR), viabilizado através das tecnologias associadas às SG.

Espera-se com a introdução das SG que haja uma grande adesão ao EB para monitorizar e controlar cargas domésticas ou de pequenas empresas, sempre em conformidade com os interesses do consumidor e da rede.

Os principais objetivos das EB são os seguintes:

- Capacidade de fazer deslocamentos de consumos, conseguindo eliminar os picos e preencher os vales das curvas de carga, reduzindo a necessidade de expansão da geração distribuída;
- Resultar numa redução dos custos de energia para o consumidor;
- Suportar geração e armazenamento local, gerindo as transações de compra e venda de energia com a rede;
- Suportar grandes reduções de energia consumida, permitindo uma voluntária redução parcial da carga solicitada à concessionária de energia elétrica durante os períodos de elevada procura;
- A sua capacidade de tomar numerosas decisões minuto a minuto, permite poupar os consumidores de tomarem essa decisão, cada uma da qual envolvendo pequenas quantidades monetárias, mas que, no seu conjunto, envolvem um valor significativo (5).

2.1.2. Smart Meter

A rede convencional é dotada de contadores de energia que se limitam a medir a quantidade de energia requerida pelo consumidor. Estes contadores não têm a capacidade de comunicar à rede a informação do consumo; para tal é necessário que um técnico faça manualmente a sua leitura periódica. Os *Smart Meter´s* (SM) permitem medir e fazer a leitura remota do consumo de energia no ponto de entrega a um consumidor e fornecer informação adicional da operadora, como por exemplo, preços em tempo real da eletricidade. Os SM enviam toda a informação sobre o consumo de energia, em tempo real, para a operadora, bem como informação sobre a qualidade de energia no ponto de entrega, como sejam, valores da tensão e registo de interrupções de energia [17].

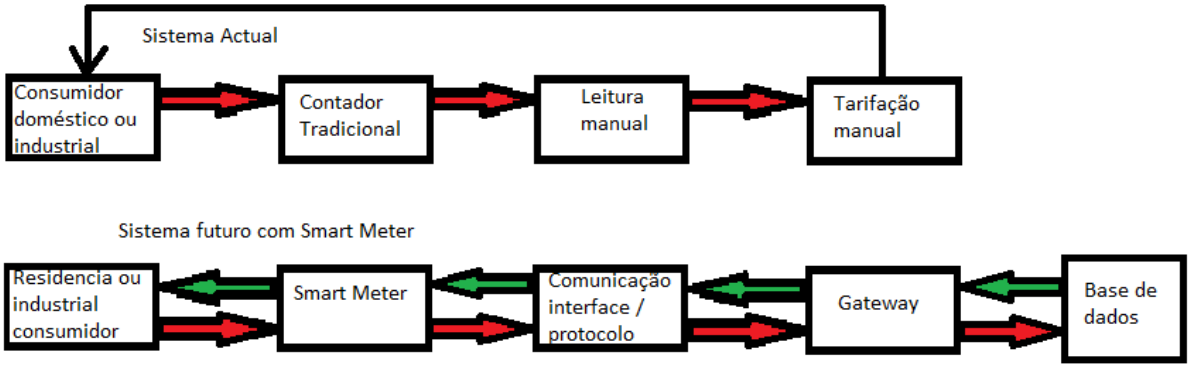


Figura 1- Sistema atual de medida de consumo/ Sistema futuro de medida de consumos

A capacidade de comunicação bidirecional de dados existente nos SM permite recolher informações sobre os trânsitos de energia no local de interligação com a rede, compra e venda de energia à rede. Os SM permitem também executar alguns comandos de controlo, remotamente ou localmente, e podem ser usados para monitorizar e controlar cargas nas instalações dos clientes. Também podem recolher informações de consumos de outros serviços, tais como água e gás através de comunicação com os respetivos contadores [1].

Os SM podem fazer o controlo da potência contratada com maior flexibilidade do que os atuais controladores de potência (disjuntores) e permitirem remotamente desligar o fornecimento de energia por incumprimento contratual e repor o serviço após resolução do incumprimento.

O SM, em conjunto com a EB, podem desempenhar um papel fundamental na gestão dos consumos do consumidor, acautelando as necessidades deste e ajudando a resolver problemas da rede, como a redução de consumo em horas do pico. Com este conjunto, SM e EB, o operador de rede poderá gerir a procura ajustando-a à oferta disponível, em vez de gerir a oferta de energia em função da procura.

O consumidor terá a vantagem de obter poupanças na fatura de energia elétrica dando permissão de controlo de algumas das suas cargas, tais como, a MLR, a MLL, a MSR, a TRM e num futuro próximo o VE.

2.2. *Demand Response*

Uma área com elevado potencial de crescimento no mercado de energia elétrica são os dispositivos que permitirão gerir a procura com bases em estímulos, base do *Demand Response* (DR), que surgem como uma oportunidade muito promissora para os consumidores ao nível da redução da fatura de eletricidade, e ao mesmo tempo com vantagens a todo o sistema elétrico, flexibilizando a procura.

A DR pode definir-se como um programa de estímulos estabelecido para motivar a mudança do uso de energia elétrica pelo consumidor final essencialmente em resposta à alteração do preço da eletricidade ao longo do tempo, com pagamentos de incentivos para que o consumidor reduza o consumo de energia nos períodos mais críticos sem, todavia, degradar a qualidade do serviço de energia fornecido.

A DR pode vir a ter uma contribuição economicamente viável para a exploração eficiente dos SEE. São inúmeros os estudos desenvolvidos acerca do potencial da DR para o incremento da fiabilidade dos sistemas, redução de perdas, redução de custos de abastecimento e maior eficiência económica [10] [2].

A gestão de energia e novos sistemas avançados de medida de energia vão abrir novas oportunidades para iniciativas do lado da procura. As *Smart Grids* vão exigir uma participação mais ativa na gestão da procura. De seguida são expostas algumas das razões para esse fato:

- Dificuldades na construção de novas linhas de energia;
- Popularidade crescente dos recursos energéticos renováveis;
- Preocupação nas emissões de gases de efeito estufa;
- A gestão do lado da procura pode ser mais rentável do que o aumento da capacidade de produção e distribuição de energia elétrica.

O benefício mais importante da DR é uma melhoria na eficiência dos recursos da produção de energia, devido a uma maior proximidade entre a variação dos preços de venda da eletricidade ao consumidor e o valor fixado pela produção nos mercados grossistas. São criados quatro grupos de benefícios devido a este aumento de eficiência [10]:

- **Benefício financeiro do participante:** são as poupanças e os incentivos fornecidos aos clientes que ajustam a sua procura em função à variação da tarifa de eletricidade ou em função de programas baseados em incentivos.

- **Benefício financeiro do lado do mercado:** são o resultado do uso do preço mais baixo do mercado grossista, uma vez que a DR evita o uso de energia proveniente da geração a preço elevado que ocorre no período de pico de procura.

- **Confiança:** é o resultado da segurança operacional e das poupanças adequadas, devido à redução da probabilidade de interrupção e, por sua vez, das consequências que impõem encargos financeiros e inconvenientes aos clientes.

- **Benefícios de desempenho do mercado**: refere-se à capacidade da DR mitigar o grande poder que os fornecedores exercem no mercado, evitando assim os elevados preços de energia comparativamente com o preço de produção.

A DR torna mais fácil a introdução de fontes de energia renováveis e geração distribuída, tornando-se assim num grande contribuidor para a sustentabilidade ambiental. Com o surgimento das SG, as quais irão permitir um fluxo bidirecional de informação entre o consumidor e o serviço de energia, a DR ganha uma posição de grande relevo neste contexto. Por um lado, cargas que até aqui não eram normalmente consideradas como fazendo parte da DR, passaram também a fazer parte do conjunto de cargas controláveis passivas de serem usadas na DR e, por outro lado, do ponto de vista do consumidor, surge um novo paradigma que assenta na gestão de todos os recursos envolvidos: cargas controláveis, microgeração local e armazenamento (dedicado ou como fazendo parte do veículo elétrico). Esta gestão integrada de recursos, que para o consumidor terá como objetivo principal a redução dos seus encargos com a energia, continua a propiciar benefícios ao nível dos SEE, agora eventualmente mais fáceis de realizar, podendo também ser usada por um comercializador como ferramenta de fidelização de consumidores ou atracão de novos, ou como forma de aumentar os seus lucros. Há pois a necessidade de desenvolver uma abordagem metodológica centrada no consumidor sem descurar os impactos que a geração descentralizada tem na rede [11].

2.2.1. Programas de DR

Para colocar em prática a DR é necessário definir um conjunto de medidas necessárias para que a resposta da procura esteja em conformidade com as reais necessidades do sistema e do consumidor. Estas medidas podem ser definidas como programas de DR, os quais podem ser divididos em dois tipos: programas baseados em preços e programas baseados em incentivos (Figura 2).

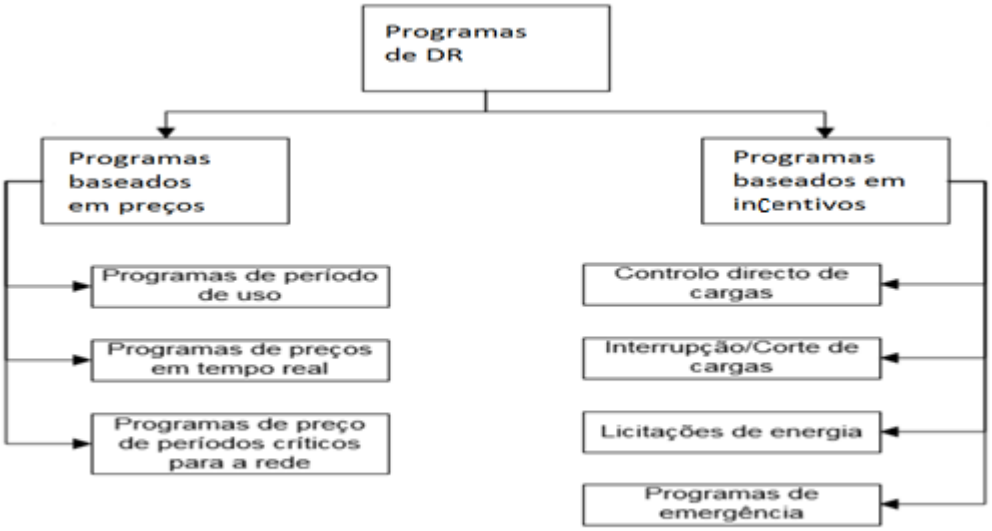


Figura 2-Programas de *Demand Response*

Numa perspetiva temporal, verifica-se que os programas são implementados em diferentes escalas de tempo como se pode observar na Figura 3. Ou seja, os impactos das diferentes ações que fazem parte do portfólio da DR são mensuráveis em intervalos de tempo diversos transformando-os assim num fator diferenciador do interesse que diferentes entidades podem ter em diferentes ações de DR [12].

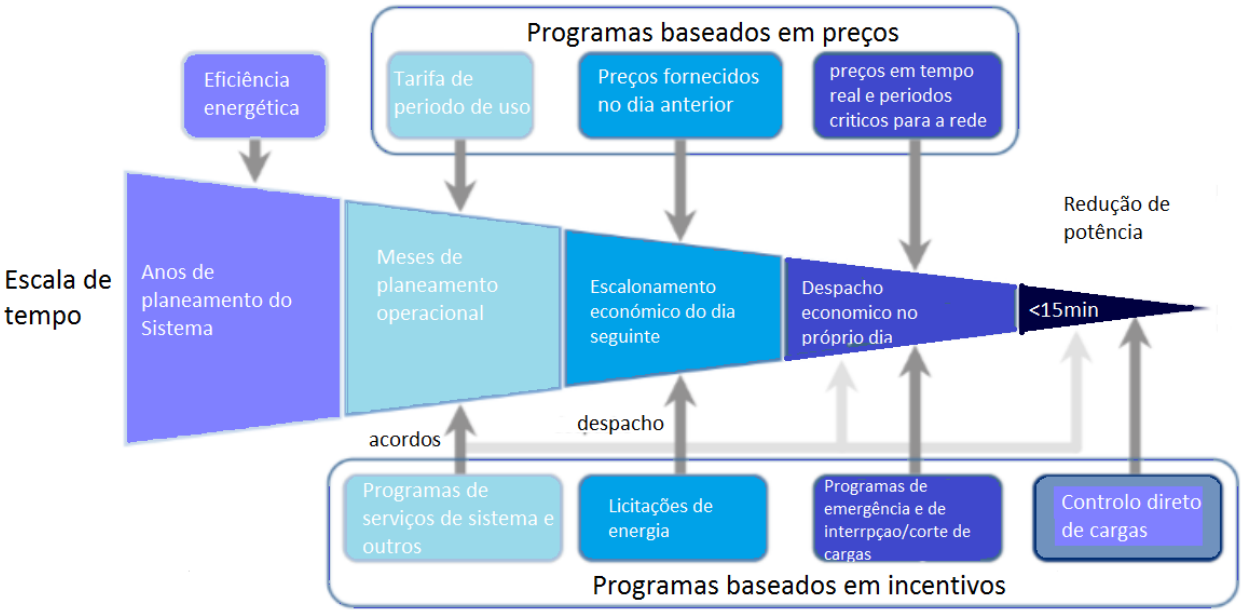


Figura 3- Escala temporal dos programas de *Demand Response*

2.2.2. Programas baseados em preços

Os programas baseados em preços estão relacionados com as mudanças de consumo de energia por parte dos clientes em resposta aos estímulos que se refletem em variações do preço de energia. Estes estímulos podem ser divididos em três tipos:

- **Programas baseados em *Time-of-Use* – TOU** – O preço da energia é predefinido, variando com as estações do ano, dias da semana ou horas do dia. Um exemplo de um tarifário com estas características é o tri-horário, onde o dia específico é dividido em três períodos onde o preço da energia varia. Estes períodos são: vazio, onde se verifica uma procura mais baixa e consequentemente um preço mais baixo para influenciar o consumidor a desviar o seu consumo para essas horas; cheia, em que a procura é superior à de períodos de vazio e o preço é superior; e as de pico, onde se verifica um pico de procura do dia e no preço do kWh. De entre os programas baseados em preços este é o que apresenta menor volatilidade dos preços de eletricidade para o consumidor e menor proteção para o fornecedor [10];

- **Programas baseados em *Preço em Tempo Real* – PTR** – A tarifa é fornecida no dia anterior ou no próprio dia e o preço da energia elétrica varia consoante a procura prevista: quando a procura é elevada o preço é elevado e quando a procura baixa o preço baixa também. O PTR apresenta maior volatilidade dos preços de energia para o consumidor e, por outro lado, maior proteção para o fornecedor de energia elétrica. Neste caso a DR é mais dinâmica relativamente aos TOU [10];

- **Programa de preços em períodos críticos para a rede (*Critical Peak Pricing* – CPP) –** este programa baseia-se nos TOU, no entanto, em situações críticas do SEE notificadas num curto espaço de tempo, o preço de energia elétrica agrava-se de modo a reduzir consumo e assim garantir maior fiabilidade e estabilidade do sistema [10].

2.2.3. Programas baseados em incentivos

O fornecedor de energia ou o operador de sistema podem disponibilizar programas de incentivos, aos quais o consumidor pode aderir e com isso conseguir recompensas monetárias que ajudam a reduzir a fatura de energia. Estas ações de gestão da procura têm por finalidade responder a situações em que as condições de segurança e fiabilidade do sistema estão comprometidas, ou até por questões de rentabilidade. Podem existir penalizações para os clientes aderentes aos

programas de incentivos se estes não responderem às solicitações para cumprirem com uma determinada ação. [10] [12] [13]. Estes programas podem ser divididos nos seguintes tipos:

- **Controlo direto de cargas (*Direct Load Control* - DLC)** – Como se pode verificar na Figura 3 este controlo é aplicado num curto período de tempo, geralmente inferior a 15 minutos, e tem a capacidade de remotamente ligar e desligar equipamentos ou até parametrizar variáveis de controlo, como por exemplo, o valor de referência da temperatura de conforto. [10] [13]. Estes programas são destinados principalmente para clientes residenciais ou para pequenos clientes comerciais;

- **Interrupção/corte de cargas (*Interruptible/Curtaible Service* - IC -)** – consiste no compromisso do consumidor em reduzir a carga de modo a fazer face às contingências do sistema. Este tipo de programa é planeado no próprio dia (Figura 3) e destina-se à grande indústria e comércio [10] [13];

- **Licitações de energia (Demand-Side Bidding – DSB)** – Destinado a grandes consumidores, é um programa em que estes se comprometem a reduzir a energia consumida, sobretudo em momentos de elevada procura, em troca de incentivos baseados nos preços de energia elétrica de mercado. O planeamento é efetuado com um dia de antecedência [10] [13];

- **Programas de Emergência (*Emergency Demand Response Programs* – EDRP)** – podem ser entendidos como uma mistura de DLC e ICS e é voltado para períodos em que a reserva torna-se insuficiente. Estes programas visam um planeamento no próprio dia [10] [13].

2.3. *Agregador*

Na maior parte dos casos o consumidor no sector doméstico não tem consciência do modo como utiliza a energia na maior parte do tempo. Tem apenas uma vaga ideia da quantidade de energia que usa nas diferentes utilizações e por isso tem dificuldade em identificar mudanças de comportamento que conduzam a uma utilização mais eficiente.

O agregador é uma entidade mediadora que se encontra entre o utilizador final e o operador do sistema elétrico (rede) e que tem como principal finalidade a otimização do uso de eletricidade do utilizador final para acautelar as restrições da rede, procurando salvaguardar os interesses do

consumidor, não reduzindo o conforto nem a qualidade de serviço prestado pelos equipamentos elétricos [4].

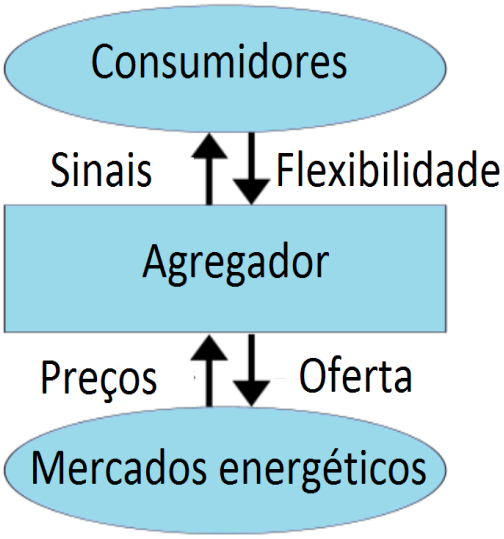


Figura 4- Relação entre consumidor e mercado

A resposta à procura (DR) é um aspeto de extrema importância para o futuro das redes de energia (*Smart Grid´s*). É neste contexto que o agregador entra, com a responsabilidade de organização e gestão dos recursos da rede mediante as seguintes ações:

- Agrupamento de clientes e participação no mercado grossista para obter os preços mais baixos;
- Planeamento do uso da geração distribuída quando o preço associado é menor do que os preços de mercado;
- Gestão e deslocação das cargas para horas com um preço reduzido.
- O agregador confere a capacidade aos consumidores de gerirem o uso da sua energia, reduzindo os custos sem alterar o seu conforto e estilo de vida.

Dois tipos de agregadores podem ser definidos como **agregadores da procura** e **agregadores da produção**.

O primeiro tipo de agregador faz a recolha da informação da procura de diferentes tipos de clientes e oferece a resposta agregada de todos os consumidores associados, embora também possa incluir a produção de energia nas instalações do cliente. O segundo tipo de agregadores recolhe informação dos geradores dispersos e oferece ao mercado o valor da produção agregada.

Este tipo de produção agregada é chamado de "*Virtual Power Plant*" (VPP). Pode ainda existir também uma combinação destes dois tipos de agregadores.

Estudos recentes mostram que existe um potencial significativo de DR no grupo de pequenos e médios clientes, mas que até agora permanece inexplorado. A maioria dos preços de retalho mudam lentamente e não são muito atraentes para os consumidores o que leva a que os mesmos não respondam de modo a ajudar o sistema. A tarefa da entidade agregadora é permitir uma resposta da procura dos seus clientes e usar o resultado dessa resposta no mercado grossista. Esta tarefa exige que agregador siga os seguintes procedimentos:

- Propaganda de serviços de DR para potenciais clientes;
- Estudo inicial se a oferta de DR do cliente pode ser rentável;
- Instalação de dispositivos de controlo e comunicação nas instalações do cliente;
- Pagar prémio aos clientes pela prestação de DR.

Antes de entrar no negócio, a entidade agregadora precisa realizar um estudo na área sobre os diferentes tipos de utilizadores e o seu potencial para DR. Além disso, é importante para o estudo a dimensão e custo de DR que diferentes equipamentos podem proporcionar. Adicionalmente, o agregador deve estudar o quanto poderá afetar a DR no conforto da vida dos clientes e determinar um prémio para remunerar os consumidores pela perda de conforto. [4].

Será difícil para um cliente avaliar a rentabilidade por fornecer DR, especialmente se o cliente é uma pequena empresa ou mesmo uma casa. Portanto, o agregador deve assumir esta responsabilidade sobre si mesmo e aceitar apenas os clientes rentáveis. A metodologia da avaliação pode ser desenvolvida por um agregador. Em alternativa, o cliente pode contratar uma terceira empresa para fazê-lo. O processo de avaliação deve incluir os estudos sobre os aparelhos/equipamentos que podem participar em resposta à demanda.

2.4. *Mercado ibérico de eletricidade (MIBEL)*

O mercado ibérico de eletricidade foi criado em 2001 e que entrou em funcionamento no dia 1 de Janeiro de 2003. Consiste numa iniciativa conjunta dos governos de Portugal e Espanha e veio permitir que os consumidores, do sistema elétrico Português ou Espanhol, tenham a liberdade de aquisição de energia de qualquer comercializador que atue em Portugal ou em Espanha.

O MIBEL apresenta uma estrutura de um operador único do mercado ibérico de energia designado por OMI, por sua vez, este operador apresenta um polo em Portugal designado por OMIP e um polo em Espanha designado por OMIE.

O MIBEL tem como principais metas:

- Beneficiar os consumidores de eletricidade dos dois países, através do processo de integração dos respetivos sistemas elétricos;
- Estruturar o funcionamento do mercado com base nos princípios da transparência, livre concorrência, objetividade, liquidez, autofinanciamento e auto-organização;
- Favorecer o desenvolvimento do mercado de eletricidade de ambos os países, com a existência de uma metodologia única e integrada, para toda a península ibérica, de definição dos preços de referência;
- Permitir a todos os participantes o livre acesso ao mercado, em condições de igualdade de direitos e obrigações, transparência e objetividade;
- Favorecer a eficiência económica das empresas do sector elétrico, promovendo a livre concorrência entre as mesmas [14].

O MIBEL em conformidade com os governos de ambos os países estabeleceram que a gestão dos mercados assentaria numa estrutura bipolar interligada, onde, a gestão dos mercados diários e intradiários seria da competência do polo espanhol (o OMIE), e a gestão dos mercados a prazo seria da competência do polo português (o OMIP).

2.4.1. Mercado diário e intradiário

O **mercado diário** do MIBEL é a plataforma onde se transaciona eletricidade para entrega no dia seguinte ao da negociação. Este mercado forma preço para cada uma das 24 horas de cada dia e para cada um dos 365 ou 366 dias de cada ano. A plataforma de mercado diário em que se integra Portugal, gerida pelo OMEL, a hora de negociação é determinada pela hora legal espanhola (HOE) [14].

Os agentes registados para atuar no mercado fazem oferta de compra e de venda e o mercado diário irá, por sua vez, fazer uma análise dessas ofertas e encontrar o cruzamento entre elas. Na (Figura 5) esta representada a forma da obtenção do preço do mercado diário que corresponde ao cruzamento das curvas de oferta e de procura para uma mesma hora.

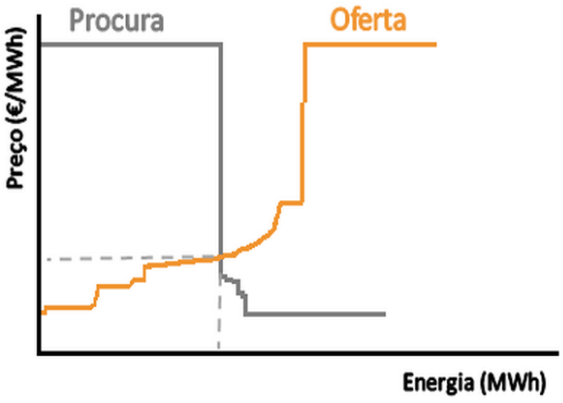


Figura 5- Mercado diário

O funcionamento do mercado diário baseia-se num modelo de preço marginal único em que a compra a qualquer vendedor seja sempre ao mesmo preço. O mercado diário compreende simultaneamente Portugal e Espanha onde se prevê a circunstância de as capacidades de interligação comercialmente disponíveis entre os dois países não comportarem os fluxos de transfronteiriços de energia que o cruzamento de ofertas em mercado determinaria. Sempre que tal ocorre, as regras atuais de mercado determinam que se separem as duas áreas de mercado correspondentes a Portugal e Espanha e que se encontrem preços específicos para cada uma das áreas mencionadas. Este mecanismo é designado como market splitting ou separação de mercados.

A plataforma que serve para complementar/ajustar a quantidade transacionada de eletricidade no mercado diário é o **mercado intradiário**, compreende 6 sessões diárias de negociação. Cada uma das sessões de mercado intradiário forma preço para as horas objeto de negociação em cada sessão [14] [15]:

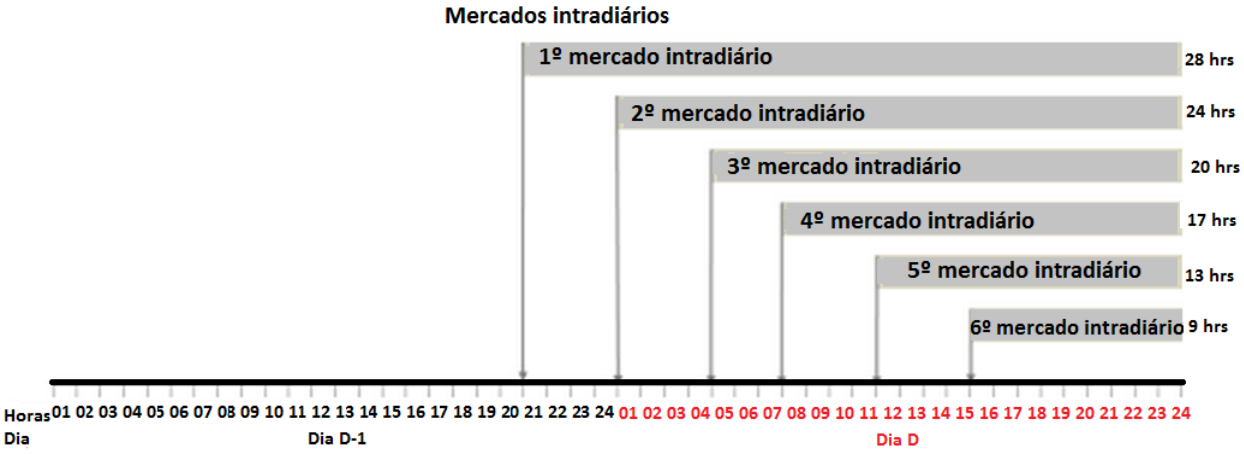


Figura 6- Mercado Intradiário

- A primeira sessão de intradiário forma preço para as 4 últimas horas do dia de negociação e para as 24 horas do dia seguinte ao da negociação.
- A segunda sessão de intradiário forma preço para as 24 horas do dia seguinte ao da negociação.
- A terceira sessão de intradiário forma preço para as 20 horas compreendidas entre a hora 5 e a hora 24 do dia seguinte ao da negociação.
- A quarta sessão de intradiário forma preço para as 17 horas compreendidas entre a hora 8 e a hora 24 do dia seguinte ao da negociação.
- A quinta sessão de intradiário forma preço para as 13 horas compreendidas entre a hora 12 e a hora 24 do dia seguinte ao da negociação.
- A sexta sessão de intradiário forma preço para as 9 horas compreendidas entre a hora 16 e a hora 24 do dia seguinte ao da negociação [15].

À semelhança do mercado diário, o funcionamento do mercado intradiário está assente na sujeição de ofertas, de compra e de venda, por parte dos diversos agentes registados para atuar no mercado diário, indicando cada oferta por sessão o dia e a hora a que se reporta, o preço e a quantidade de energia correspondentes[15].

2.4.2. Mercado a prazo

Os instrumentos transacionados no OMIP referem-se a contratos de compra e venda de energia para uma determinada maturidade no futuro (semana, mês, trimestre e ano), de acordo com regras específicas deste mercado. O tipo de instrumentos transacionados varia com as necessidades de gestão de risco e de troca de eletricidade pelos diferentes agentes.

Atualmente, o OMIP disponibiliza os seguintes instrumentos:

- **Contratos Futuro** – contrato padronizado (volume nominal e notação de preço) de compra ou venda de energia para um determinado horizonte temporal, em que o comprador se compromete a adquirir eletricidade no período de entrega e o vendedor se compromete a colocar essa mesma eletricidade, a um preço determinado no momento da transação. Este contrato tem liquidações diárias (margens) entre o preço de transação e a cotação de mercado (a futuro) de cada dia. Os agentes compradores e vendedores não se relacionam diretamente entre si, cabendo à câmara de compensação a responsabilidade de liquidar as margens diárias e o contrato na data ou período de entrega.

- **Contratos *Forward* -** contratos padronizados (volume nominal e notação de preço) de compra ou venda de energia para um determinado horizonte temporal, em que o comprador se compromete a adquirir eletricidade no período de entrega e o vendedor se compromete a colocar essa mesma eletricidade, a um preço determinado no momento da transação. Este contrato não tem liquidações diárias das margens durante o período de negociação, sendo a margem liquidada integralmente nos dias de entrega física ou financeira. Os agentes compradores e vendedores não se relacionam diretamente entre si, cabendo à câmara de compensação a responsabilidade de liquidar as margens diárias e o contrato na data ou período de entrega.
- **Contratos SWAP** – contratos padronizados, em que se troca uma posição em preço variável por uma posição de preço fixo, ou vice-versa, dependendo do sentido da troca. Este tipo de contratos destina-se a gerir ou tomar risco financeiro, não existindo, por isso, entrega do produto subjacente mas apenas a liquidação das margens correspondentes.

Atualmente, no OMIP, os produtos mais líquidos (mais transacionados e, por isso, mais comuns) são os contratos Futuro. [15]

3. Caraterização de cargas do setor residencial

O consumo de energia no setor residencial em Portugal tem apresentado variações significativas por tipo de energia como se pode verificar na Figura 7, retirada de [3], que apresenta a evolução do consumo residencial em Portugal de 1989 até 2010:

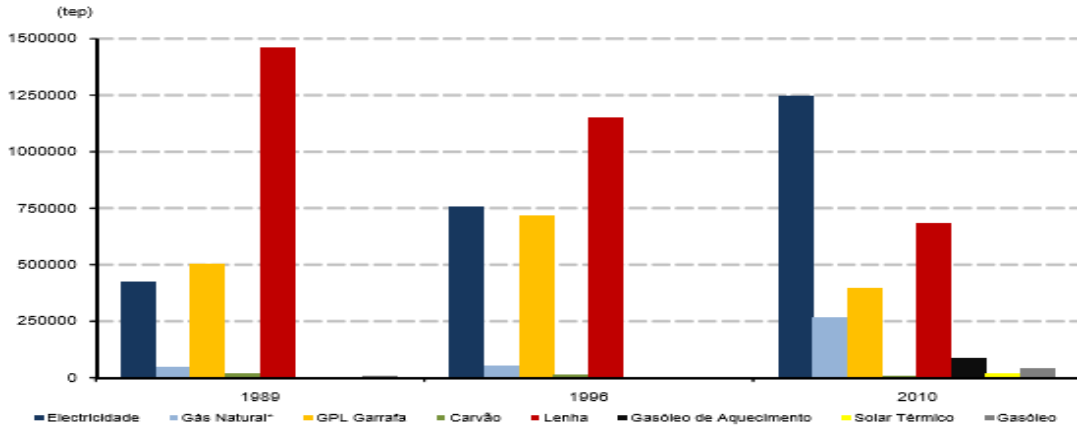


Figura 7- Evolução do consumo energético

É evidente o aumento acentuado do consumo residencial de energia elétrica entre 1989 e 2010. É também notória a diminuição da dependência de combustíveis fósseis como a lenha, que cada vez mais é compensada com a utilização de equipamentos eletrónicos na área da climatização.

Atualmente, o consumo doméstico de eletricidade, já representa 29% do consumo global de eletricidade, daí a importância da redução dos consumos neste sector.

As cargas domésticas podem ser divididas em duas categorias de acordo com a necessidade da flexibilidade de mudança de hora de funcionamento. Assim, existem as cargas controláveis e as não controláveis. As não controláveis são aquelas que não podem sofrer um desvio temporal do seu funcionamento, nem serem interrompidas. São exemplos deste tipo de cargas as televisões, equipamento informático, torradeira, batedeira, ferro de engomar, etc. O nível de conforto do consumidor é muito sensível ao serviço prestado por estas cargas, daí a impossibilidade de serem objeto de controlo em medidas de gestão da procura.

As cargas controláveis são aquelas que podem sofrer desvios de funcionamento ou serem parametrizadas, sem provocar grande impacto no serviço prestado, ou seja, no conforto do utilizador. Existem três subcategorias, as controláveis por desvio de ciclos, as controláveis por interrupção e as controláveis por parametrização do ciclo de funcionamento.

As cargas que são controladas por desvios de ciclos são aquelas que funcionam num intervalo de funcionamento executando uma tarefa que pode ser deslocada no tempo sem prejuízo para o utilizador. São exemplo as máquinas de lavar roupa, máquinas de lavar loiça, máquinas de secar roupa, veículos elétricos, entre outras.

As cargas controláveis através de breves interrupções no seu funcionamento são aquelas em que o sistema pode interromper o fornecimento de energia por breves instantes, sem que com isso altere o conforto e o próprio equipamento. São cargas normalmente associadas a alguma forma de armazenamento energético, como termoacumuladores, climatização ou produção de frio.

Cargas controláveis através de parametrização são cargas que ao alterar ligeiramente o valor de referência de funcionamento não causa desconforto ao consumidor mas, em grande número, pode causar diminuições significativas no consumo de energia. São normalmente cargas termostáticas como por exemplo os equipamentos de ar condicionado, termoacumuladores e equipamentos de frio alimentar.

Na Figura 8 está representada a classificação das cargas domésticas.

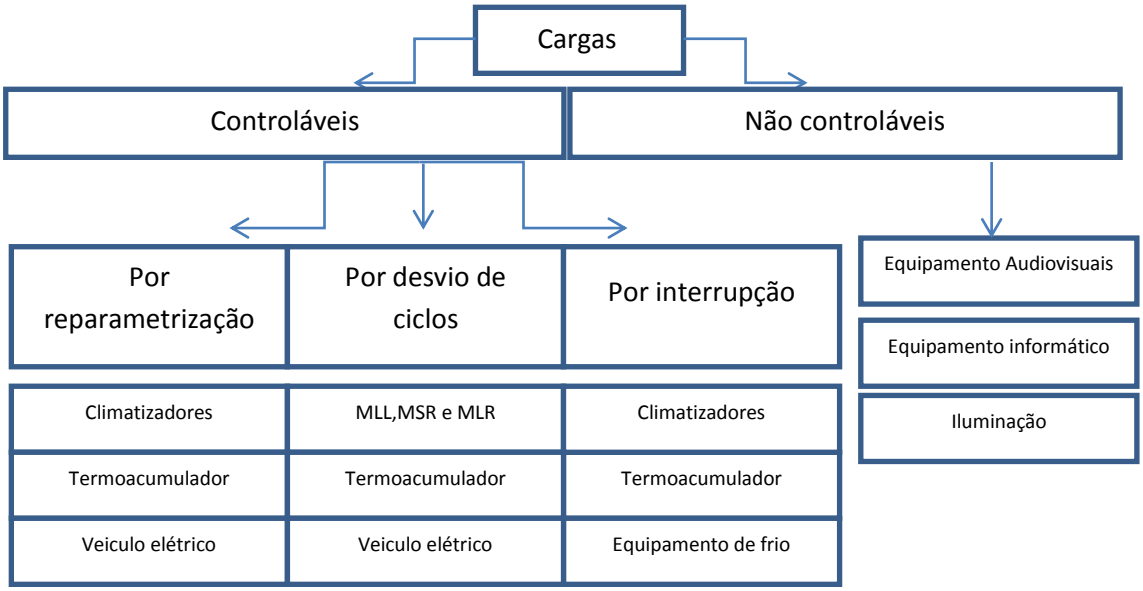


Figura 8- Classificação das cargas domésticas

3.1. *Cargas a monitorizar*

Nesta dissertação serão apenas tratadas cargas controláveis, e dentro das mesmas as da subcategoria de controlo por desvio de ciclo (MLR, MSR, MLL, TRM, e VE). No caso do VE, será parametrizado para dois tipos de carga. O termoacumulador pertence também à subcategoria

de controlo por interrupção, mas para este caso específico, com tarifa PTR, considera-se que o armazenamento de água quente é suficiente para garantir as necessidades diárias de uma habitação, ou seja o conforto dos utilizadores não será afetado se pelo menos uma vez por dia se conseguir o armazenamento máximo.

3.1.1. Máquina de lavar roupa

Segundo os dados do Inquérito ao consumo de energia no sector doméstico em 2010 existia cerca de uma máquina de lavar roupa (MLR) por alojamento, o que realça a importância desta carga no sector doméstico, representando cerca de 5% do consumo total de eletricidade nas habitações [3].

A energia elétrica que a máquina consome é necessária para as ações mecânicas (motor do tambor, enxaguamento, bombas de circulação da água) e também para o aquecimento da água através de uma resistência elétrica que por si só corresponde de 80 a 90% do consumo total de energia de um ciclo de lavagem.

Na Figura 9 estão representados os ciclos típicos de funcionamento de uma máquina de lavar roupa para duas temperaturas diferentes.

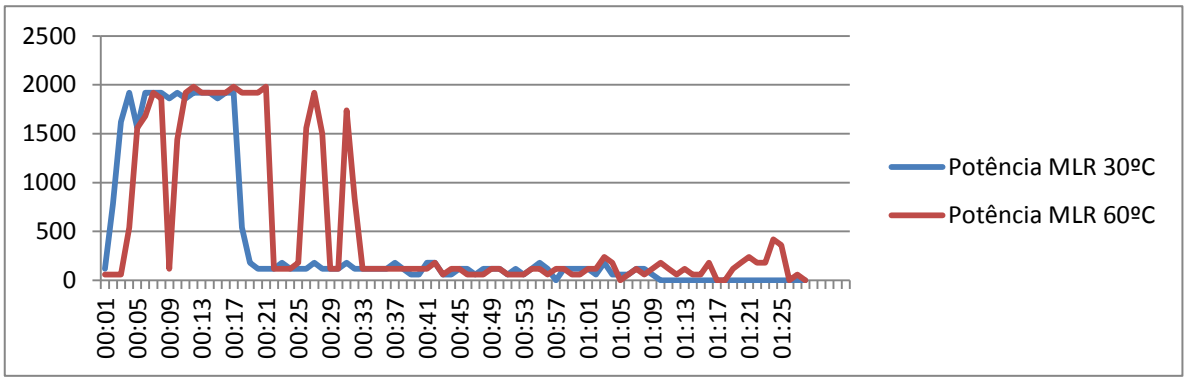


Figura 9-Curva típica de funcionamento da MLR

Como podemos verificar no gráfico, no início da lavagem, ou seja, nos primeiros 30 minutos, é onde se verifica o maior consumo de energia, pois é onde também ocorre o processo de aquecimento de água. O consumo de energia entre uma mesma máquina programada para funcionar a 30ºC e a 60ºC pode duplicar para o caso de maior temperatura.

Hoje em dia começam a surgir equipamentos que já são alimentados a água quente proveniente de sistemas de aquecimento mais eficientes (por exemplo, sistema solar térmico), permitindo assim uma redução significativa no consumo de energia elétrica.

Existe uma restrição na flexibilidade do cliente devido ao tempo que a roupa deve permanecer dentro da máquina e aos funcionamentos sem supervisão, os quais poderão causar inundações e ruido, inviabilizando o seu funcionamento nos períodos noturnos.

3.1.2. Máquina de secar roupa

Apenas cerca de 13% dos alojamentos têm uma máquina de secar roupa (MSR), o que mostra uma baixa taxa de utilização por parte dos consumidores, mas com tendência a aumentar num futuro próximo.

Existem dois tipos de máquinas de secar roupa, as de evacuação de ar húmido para o exterior e as de condensação do ar húmido, onde as primeiras representam menores consumos.

Na Figura 10 está representado um ciclo típico de funcionamento de uma máquina de secar roupa [3].

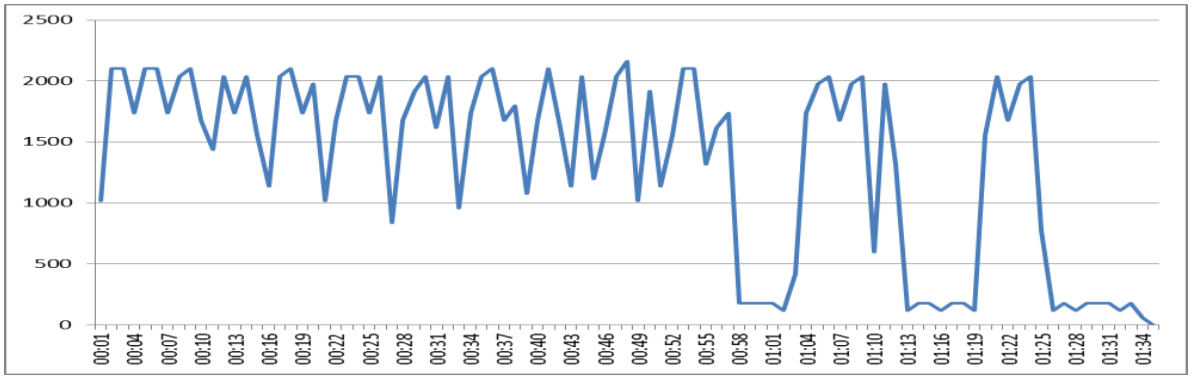


Figura 10- Curva típica de funcionamento da MSR

Do gráfico pode concluir-se que é solicitada uma potência elétrica elevada durante um considerável período de tempo.

3.1.3. Máquina de lavar louça

Cerca de 30% das habitações em Portugal estão equipadas com uma máquina de lavar louça (MLL) e apresenta uma taxa de penetração crescente no mercado residencial. Cerca de 80% do consumo total do ciclo de funcionamento é devido ao aquecimento da água e secagem através da resistência elétrica.

A Figura 11 representa um ciclo típico de funcionamento de uma MLL.

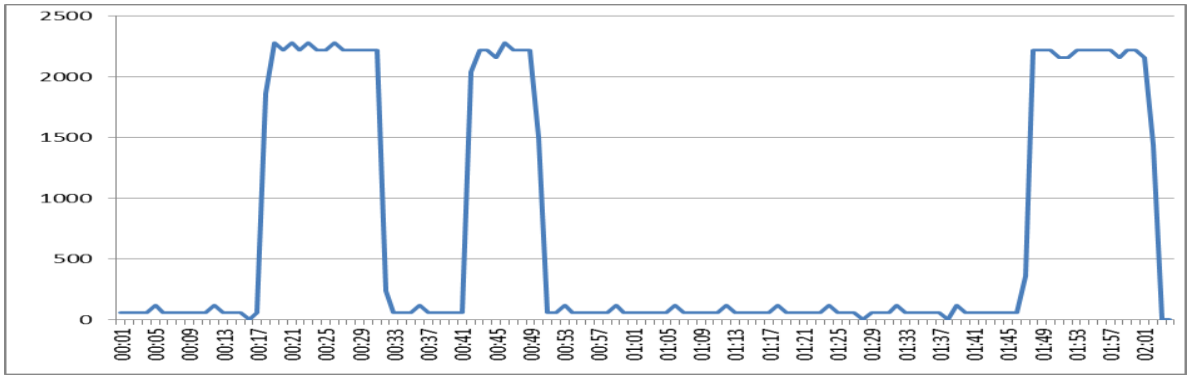


Figura 11- Curva típica de funcionamento da MLL

Como se pode verificar, os dois períodos de maior consumo representam o aquecimento da água e a secagem da louça. Se se evitar o processo de secagem consegue-se uma diminuição na ordem dos 45% do consumo total de um ciclo.

Este equipamento tem um grande potencial no que diz respeito a desvios temporais dos ciclos de funcionamento, pois após o término do ciclo, a louça poderá permanecer dentro do equipamento sem qualquer tipo de restrição e os equipamentos atuais apresentam um baixo ruído durante o funcionamento, possibilitando assim o funcionamento nos períodos noturnos após as refeições [3].

3.1.4. Termoacumulador

Os termoacumuladores elétricos são usados para o aquecimento de água e têm uma grande influência no consumo final doméstico. Cerca de 11,2% dos alojamentos em Portugal possuem termoacumulador, uma taxa relativamente baixa comparativamente a outros países da União Europeia [3].

No processo de aquecimento da água, o aumento da temperatura ΔT (ºC) de um dado fluído (água), com uma massa M, dá-se através da energia Q_A transmitida ao fluído. A energia transmitida será então em função da temperatura que se pretende e também da quantidade da água aquecida. A energia transmitida Q_A será dada pela seguinte expressão [9]:

$$Q_A = M \times c_p \times \Delta T \qquad (1)$$

Em que:

Q_A – Energia transmitida ao fluido [kJ8];

M – Massa da água [Kg];

c_p – Calor específico da água ou capacidade térmica mássica [J/KgºC9];

ΔT – Elevação da temperatura desejada [ºC].

Além do aquecimento de água relacionado com o consumo, é necessário também fornecer energia à água para manter a temperatura num intervalo desejado, anulando o efeito das perdas, as quais são dadas pela seguinte expressão:

$$P_p(t) = A \times U \times \Delta T'(t) \qquad (2)$$

Em que:

$P_p(t)$ – Perdas por unidade de tempo [W];

A – Área envolvente do depósito [m^2];

U – Coeficiente de transmissão térmica [$W / m^2 {}^{o}C$];

$\Delta T'$ – Diferença de temperatura entre a água no termoacumulador e o meio ambiente [ºC].

É de referir também que a variação de temperatura no interior do depósito será proporcional à quantidade de água extraída. A temperatura no interior do termoacumulador ($T_{mistura}$) vai depender da quantidade de água de entrada (m), igual à quantidade da água de saída e da sua temperatura (T_{fria}), bem como da restante água que não foi utilizada ($M - m$) e da respetiva temperatura (T_{quente}).

Em termos de energia a relação será então dada pela seguinte expressão:

$$M \times c_p \times T_{mistura} = (M - m) \times c_p \times T_{quente} + m \times c_p \times T_{fria}$$

Onde:

$$T_{mistura} = \frac{M - m(t)}{M} \times T_{quente(t)} + \frac{m(t)}{M} \times T_{fria}$$

O termoacumulador pode funcionar de duas formas: em modo controlado e em modo de funcionamento contínuo.

No funcionamento contínuo, o termoacumulador, sempre que a temperatura da água no depósito atingir um valor inferior ao de referência (valor mínimo da temperatura da água), volta a ligar até que a água atinja a temperatura desejada.

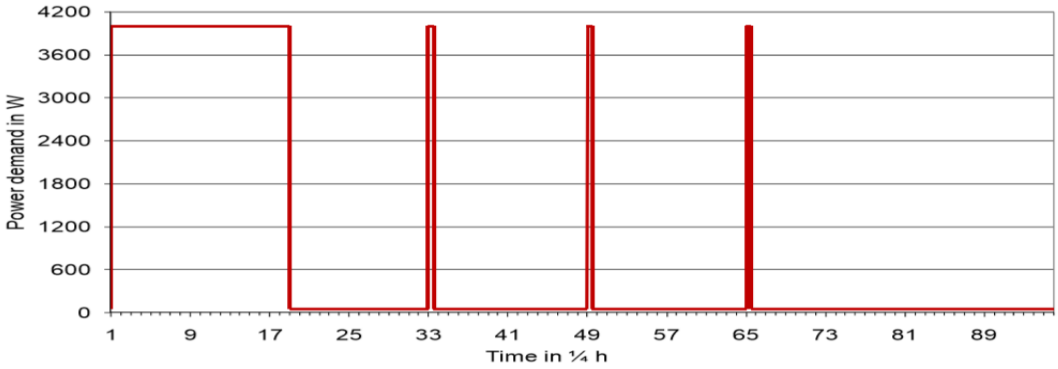


Figura 12- Curva típica de funcionamento do TRM de funcionamento contínuo

No funcionamento de horário controlado, o termoacumulador aquece o seu depósito de água até à temperatura desejável apenas durante um período de tempo definido pelo utilizador (Figura 13). Hoje em dia os termoacumuladores podem ser ligados em associação com os painéis solares, o que confere a este sistema maior disponibilidade sem a necessidade de religação fora do intervalo de tempo definido pelo utilizador. Será com este modo de funcionamento que serão tratados os dados ao longo desta dissertação.

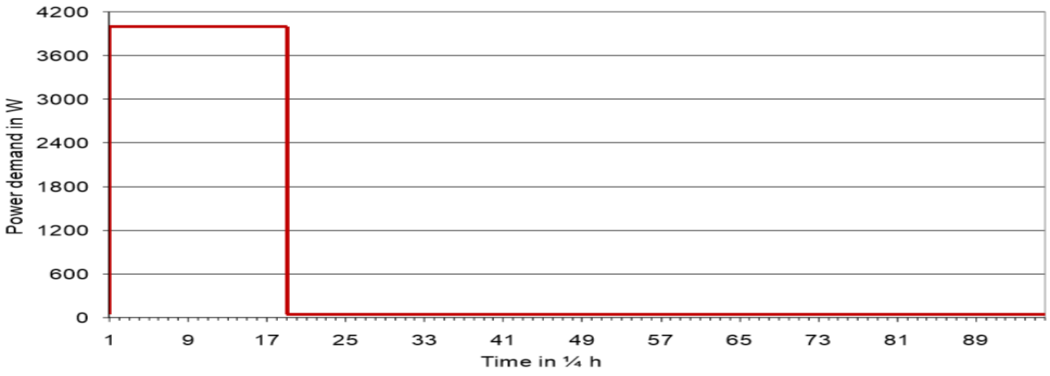


Figura 13- Curva típica de funcionamento do TRM de um ciclo de funcionamento

3.1.5. Veículo elétrico

Os veículos de proporção elétrica são aqueles em que o binário aplicado às rodas é fornecido por um motor elétrico. Dentro deste conjunto existem os veículos elétricos puros (VEP), os veículos elétricos híbridos (VEH), os veículos elétricos híbridos com *plug-in* (VEHP), mas também os veículos elétricos de células de combustível e os veículos elétricos fotovoltaicos.

Serão considerados dois modos de carregamento: normal (padrão) e semi-rápido. Estes carregamentos podem ser feitos em habitações com uma ligação monofásica de 230 V a 16 A (6 a 8 horas) e 230 V a 32 A (2 a 6 horas), respetivamente, o que representa uma potência de 3,5 kW e 7 kW, considerando um fator de potência de 0,95. Não se considera o carregamento rápido, pois este tipo de carregamento necessita de uma potência disponível que não existe em ambiente residencial.

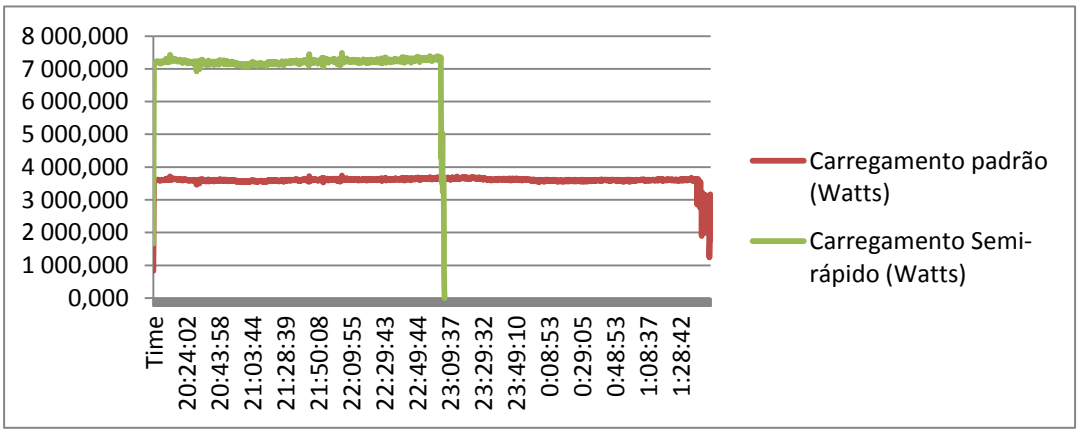


Figura 14- Curvas típicas de dois tipos de carregamento do VE

3.2. *Especificação de equipamento de leitura*

Para a realização das leituras foi utilizado o seguinte equipamento:

Figura 15- Registrador de Dados Easylog- USB Data Logger

O *Data Logger* (DL) é um dispositivo de recolha de dados autónomo, com interface USB, que contabiliza os impulsores emitidos pelo contador durante um determinado intervalo de integração gerido pelo utilizador e guarda os dados durante o período de monitorização. Esses dados são posteriormente transferidos para o computador através do interface USB do DL.

Através do *software* interface do DL com o computador pode-se configurar os intervalos de integração que se pretendem usar para obter os dados. Foi estabelecido que para as cargas cíclicas o intervalo de integração de dados seria de 1 minuto e para o caso das cargas de funcionamento contínuo seriam usados intervalos de 5 minutos, onde são contabilizados os impulsos (1 impulso corresponde a 1Wh).

4. Apresentação do simulador desenvolvido

O simulador desenvolvido tem como principal objetivo alocar as cargas residenciais de forma a obter uma redução de custo com o consumo de energia, a não ultrapassar a potência contratada e a não alterar o conforto proporcionado pelos equipamentos elétricos. Com os dados extraídos das monitorizações feitas a MLR, MLL, MSR, TRM e VE e com uma simulação de tarifas do tipo PTR, e com as tarifas atualmente disponíveis como tri-horária, bi-horária e simples de um determinado período sazonal, o simulador faz uma alocação das cargas em períodos de 15 em 15 minutos, dentro de um intervalo de flexibilidade indicado pelo consumidor e nos períodos de menor custo da eletricidade. De seguida faz a alocação de carga escolhendo a de melhor preço, partindo da que tem maior consumo para a de menor consumo e garantindo a condição de potência limite.

4.1. *Dados utilizados*

Os dados foram recolhidos pelo Registrador de Dados *EasyLog* em intervalos de 1 minuto para a MLR, MSR, MLL e em intervalos de 5 minutos para TRM. Os dados de monitorização relativos à máquina de lavar roupa foram divididos em temperatura baixa, inferior a 40ºC, e temperatura média, de 40ºC a 60ºC.

Para se obter uma *baseline* de consumo fidedigna da residência, usaram-se os dados do consumo do quadro de entrada, do qual se subtraiu o consumo da MLR, MSR, MLL e TRM. Estes dados seriam posteriormente alocados pelo algoritmo de alocação de carga.

Foram feitas recolhas de dados em 3 semanas típicas de dias quentes (Verão) e 3 semanas de dias frios (Inverno), e destas leituras construiu-se uma *baseline* média de dia útil, de Sábado e de Domingo de Verão e de Inverno.

Para se obter uma base de dados com tarifas do tipo PTR foram recolhidos dos dados do OMIE correspondentes aos valores diários de seis dias estratégicos (dia útil, Sábado e Domingo para Verão e Inverno) aos quais se acrescentou uma taxa de comercialização (10%) e os preços de acesso às redes para os diferentes tipos de tarifas (tri-horário, bi-horário e simples). Desta feita, obtiveram-se três modelos de PTR diferentes, onde o **modelo 1** é o que apresenta a mais baixa variação do preço horário do kWh, o **modelo 2** é o modelo intermédio relativamente ao preço do

kWh e o **modelo 3** é o que apresenta a mais alta variação do preço de kWh, Figura 16. A série de preços diários foi constituída com valores de 15 em 15 minutos [14] [16].

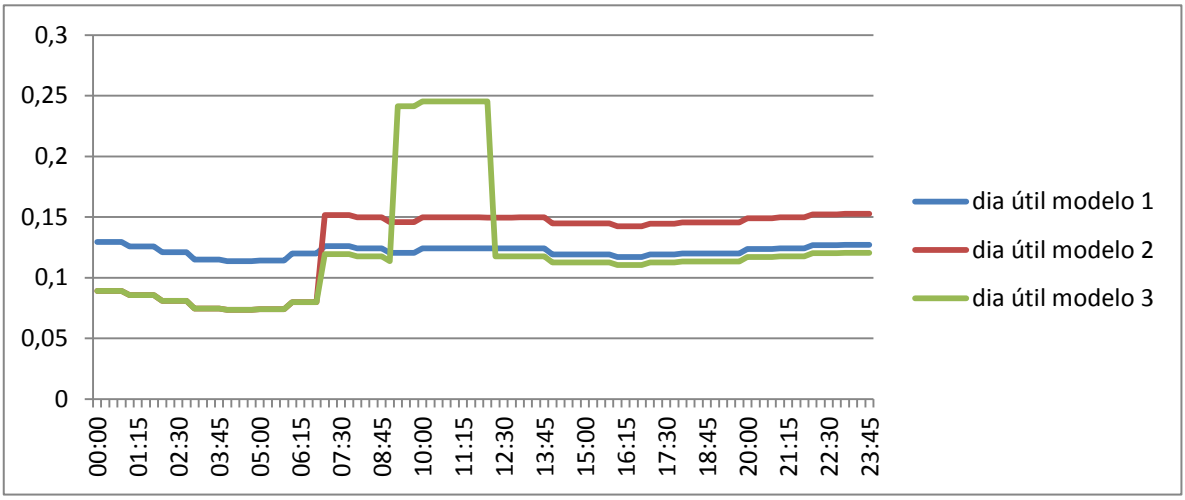


Figura 16- Modelos PTR

Para os valores de preço das tarifas atuais foram, igualmente, criadas séries de 15 em 15 minutos, tendo sido baseados nos valores fornecidos pela EDP das tarifas reguladas.

Em relação às cargas, foram feitas 40 recolhas de ciclos de funcionamento com diferentes programas de lavagem e diferentes MLR: 10 recolhas de MLL, 8 recolhas de MSR, 3 de TRM e vários carregamentos de um veículo elétrico Nissan LEAF.

4.2. *Descrição*

O simulador começa por ler os ficheiros que contêm os dados dos consumos energéticos relativos aos ciclos de funcionamento das cargas. De seguida, e com os dados da flexibilidade introduzidos pelo utilizador, faz as possíveis alocações dos ciclos de funcionamento dentro do mesmo intervalo de flexibilidade. Na Figura 17 pode verificar-se um exemplo com o TRM:

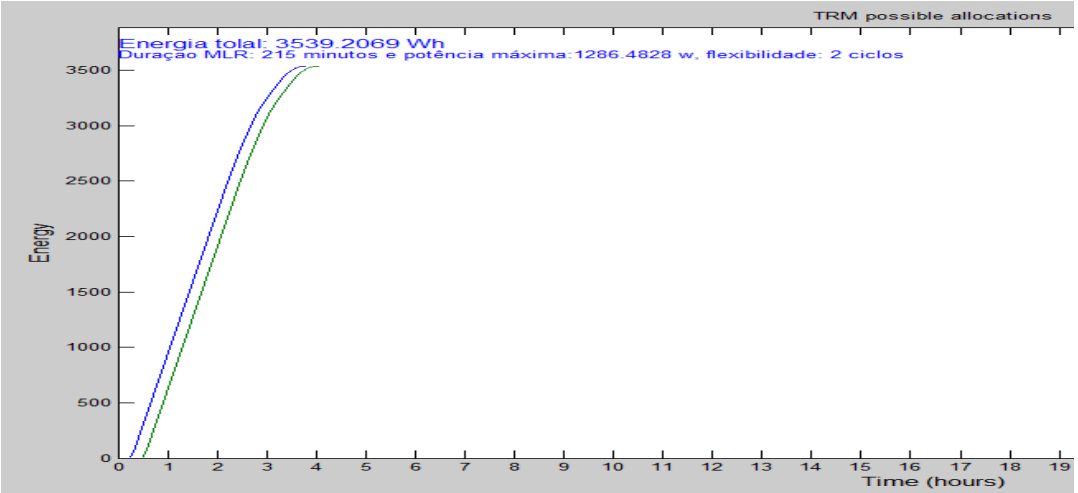


Figura 17-Possiveis alocações do TRM das 00:00 - 04:00

Como se pode verificar na Figura 17, dentro do intervalo de flexibilidade que o utilizador arbitrou, neste caso das 00:00 até as 04:00, o termoacumulador pode ter dois ciclos completos de funcionamento, espaçados de 15 minutos. Neste caso, verificamos também que o período de funcionamento é de 215 minutos com uma potência máxima de 1286,48 W, que é a derivada máxima da curva de energia, e um consumo total de 3539,2 Wh/ciclo.

Este simulador faz as possíveis alocações para o dia seguinte, mas se o utilizador pretender colocar o início do período de flexibilidade de funcionamento no final do dia, o fim desse intervalo pode ir até as 04:00 do dia seguinte como se exemplifica no caso a seguir representado.

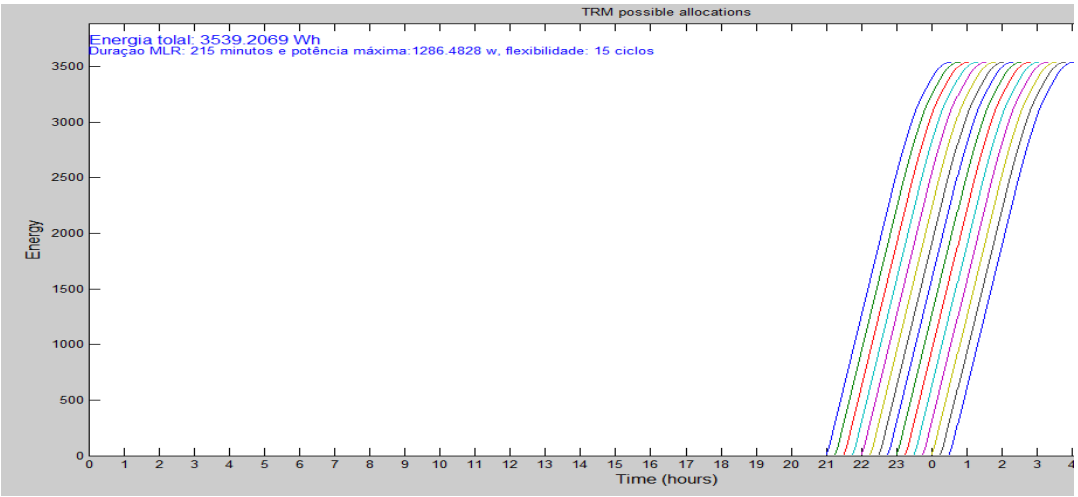


Figura 18-Possiveis alocações do TRM das 21:00 - 04:00

Na Figura 18 verifica-se as 15 possíveis alocações do início do ciclo de aquecimento TRM, no intervalo entre as 21:00h e as 04:00h do dia seguinte. É de assinalar a que a última alocação é feita antes das 04:00h, menos os 215 minutos (tempo total de um ciclo de funcionamento).

De seguida, e com os ficheiros de preços PTR e da tarifa atual, o simulador faz o cálculo do preço de cada ciclo possível de alocação dentro do intervalo de flexibilidade.

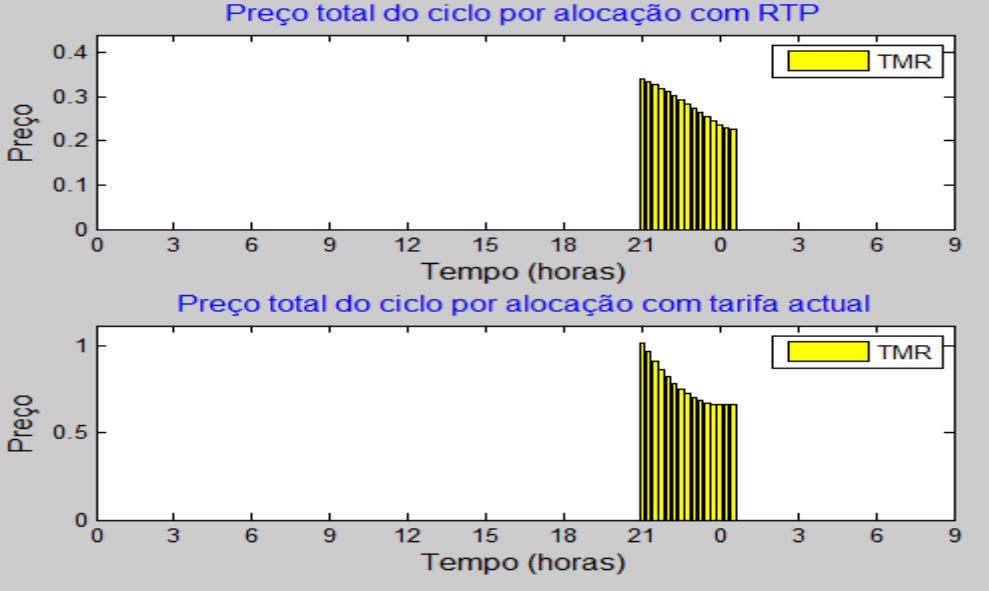


Figura 19- Preço por cada ciclo possível de alocar

Depois de já ter uma avaliação de custo por cada alocação, o simulador irá alocar, por ordem decrescente da potência instantânea máxima de cada carga, o ciclo com menor custo e que, juntamente com a *baseline*, respeite a potência contratada da residência, tal como se pode visualizar na Figura 20.

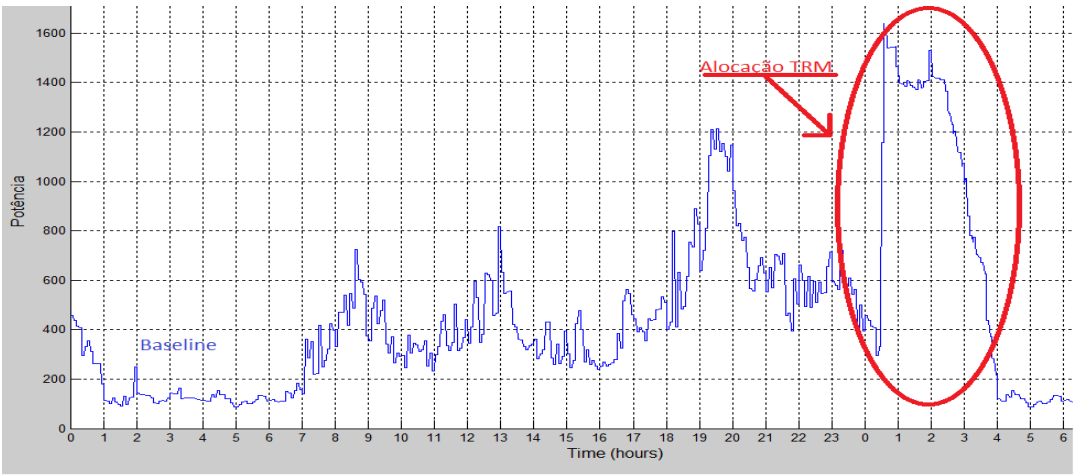
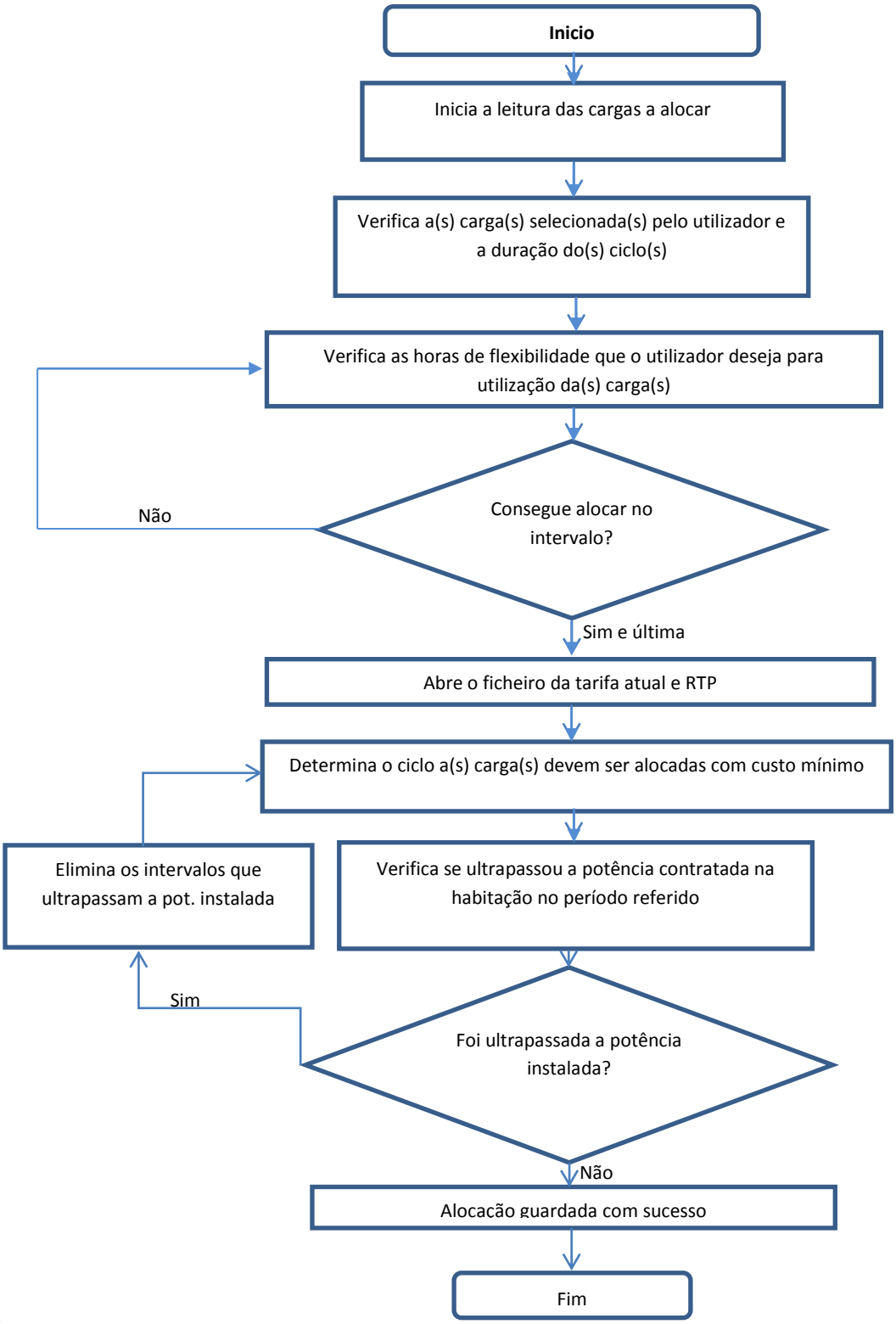


Figura 20- *Baseline* + Alocação TRM

Este exemplo mostra a alocação ótima para o tarifário PTR do TRM dentro do intervalo de flexibilidade 21:00h até as 04:00h, em que, neste caso, a soma da potência da *baseline* com a do TRM não ultrapassou a potência contratada a qual era de 3,45 kVA.

Na Figura 21 apresenta-se o fluxograma do algoritmo que realiza alocação das cargas.



.

Figura 21- Fluxograma do simulador

4.3. *Interface*

Para uma fácil utilização do simulador foi feita uma interface gráfica constituída por 6 painéis de introdução de parâmetros, onde 5 são para cada carga a ser controlada (MLR, MSR, MLL, EV e TRM) e por último o painel de execução. Este interface foi feito através da plataforma *Guide* do *Matlab* (está no anexo C uma figura do aspeto do interface).

Os painéis de introdução de dados relativos às cargas têm uma *Check Box* para ativar ou desativar a carga a controlar. Têm também dois *popupmenus*, *Start* e *End*, de escolha da flexibilidade introduzido aleatoriamente pelo utilizador; se a flexibilidade do utilizador começar no final do dia, o simulador tem a capacidade de fazer uma alocação até as 09:00 horas do dia seguinte. No caso de ser numa sexta-feira a *Baseline* e o tarifário do dia seguinte passa a corresponder ao Sábado, e o mesmo se passará para os dias em que no dia seguinte as características da *Baseline* e do tarifário mudam. Na Figura 22 esta representado o painel de controlo do TRM.

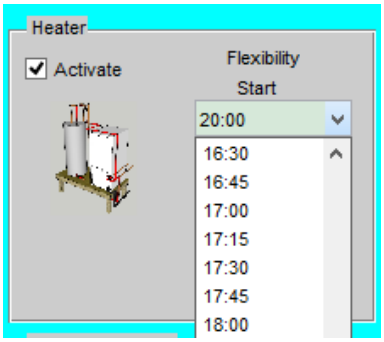


Figura 22- Menu 1

Dentro do painel da MLR tem mais um *popupmenu* que possibilita a seleção de dois tipos de funcionamento, temperatura baixa (<40ºC) e temperatura média (40ºC<T<=60ºC), que são as temperaturas mais usuais do funcionamento da MLR, Figura 23.

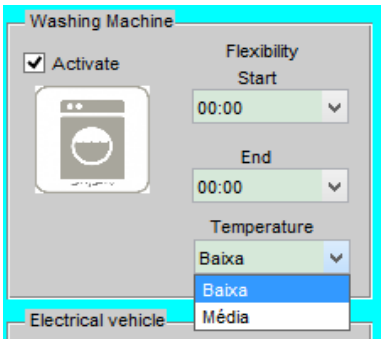


Figura 23- Menu 2

A única carga possível de parametrização é o VE. No painel respetivo foi colocado um *popupmenu* com a possibilidade de escolha de dois tipos de carga, a carga **Padrão** e a **Semi-rápida**. Tem ainda outro *popupmenu* para a escolha da carga final com que o utilizador deseja que o veículo fique no fim do intervalo de flexibilidade, Figura 24.

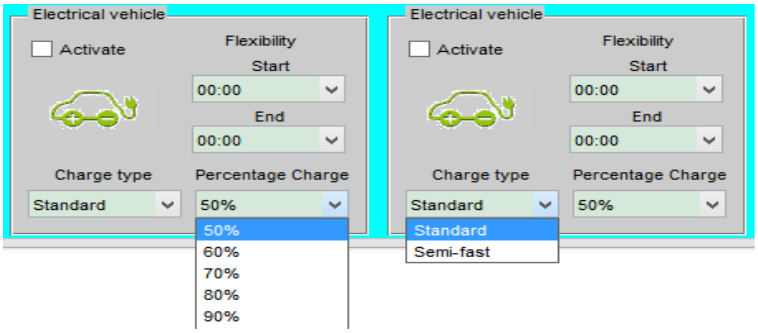


Figura 24- Menu 3

Finalmente, no painel de execução (Figura 25), é possível introduzir dados relativos à tarifa e à potência contratada da residência. É constituído por 4 *popupmenus*: escolha da época sazonal (Verão e Inverno), escolha do dia em causa (Dia Útil, Sábado e Domingo), escolha da tarifa (simples, bi-horário e tri-horário para a tarifa atual e modelo 1, 2 e 3 para a tarifa PTR). Por último um *popupmenu* para a escolha da potência contratada (Potência máxima). Quando os dados estiverem todos introduzido, existe um botão "*Run*" para iniciar a execução da simulação de acordo com os dados introduzidos.

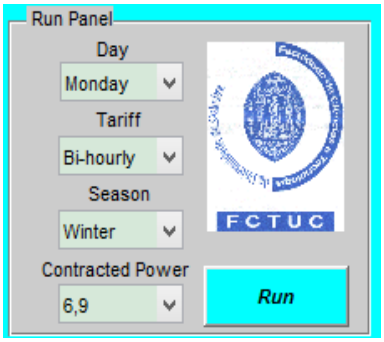


Figura 25- Menu 4

5. Estudo de casos

O simulador está concebido para alocar ciclos de cargas de uma determinada residência com vários cenários: Verão, Inverno, tarifa Simples, bi-horária, tri-horária, modelo 1, modelo 2, modelo 3 e potência contratada a variar de 3,45 até 20,7 kVA em diferentes intervalos de flexibilidade para alocação da carga por parte do utilizador. Oferece ainda a possibilidade de fazer alocação do carregamento do VE em dois modos diferentes de carga, padrão e semi-rápida.

5.1. *Simulação de Inverno*

Nesta simulação, a *Baseline* da residência foi construída através da média de dados retirados de um mês típico de Inverno (Março de 2013) com temperaturas máximas inferiores a 17º C.

Nesta simulação será considerada a ativação noturna do VE, MLL, MLR e TRM. Esta situação retrata o caso típico em que um consumidor chega a casa com o seu veículo elétrico por volta das 20:00h e precisa que o mesmo esteja disponível no dia seguinte. Aqui considera-se também que a MLL, o TRM e a MLR serão ativadas também durante a noite.

Como o VE em carregamento padrão tem uma potência máxima de aproximadamente 3680 W, considera-se uma potência contratada de 6,9 kVA.

Com um intervalo de flexibilidade a partir das 21:00h até as 07:00h do dia seguinte, e com a tarifa simples, obtém-se o seguinte gráfico para alocação das quatro cargas:

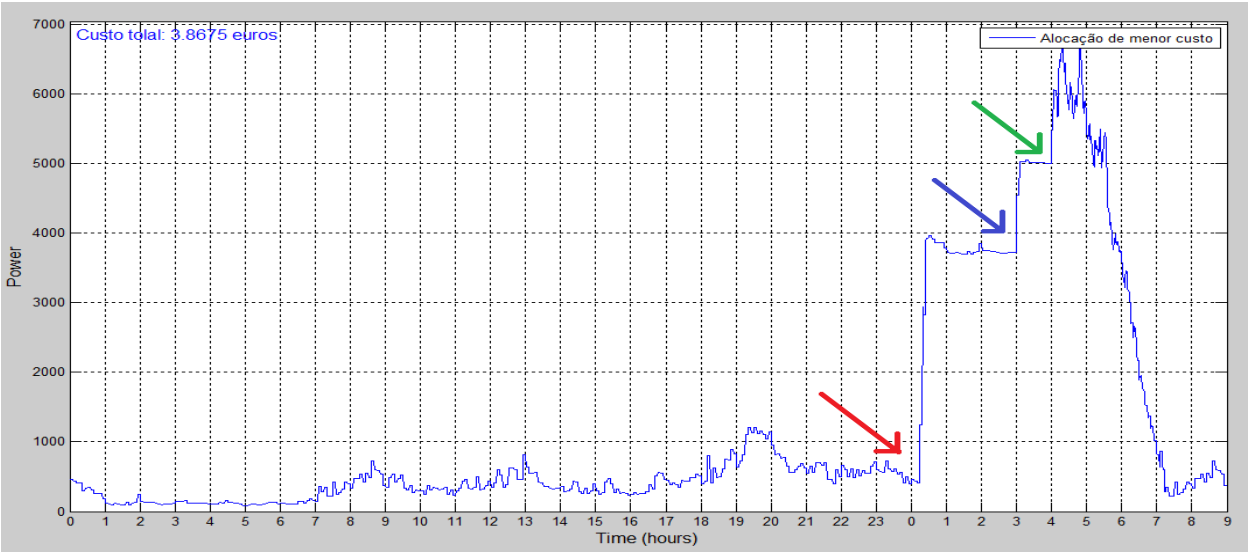


Figura 26- Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, PC=6,9 kVA

Na seta vermelha está representado o início da alocação do VE, onde soma aproximadamente 3500W à *Baseline*; na seta azul começa a alocação do TRM; finalmente, na seta verde, está

representada a alocação da MLL e da MLR. O custo desta operação fica em 3,8675 euros nas 33 horas para o **modelo 1**, 2.92 euros para o **modelo 2** e 2.65 euros para o **modelo 3**.

Ao mudar a potência contratada para 10,35 kVA, verifica-se uma manutenção do custo relativo ao **modelo 1**, **modelo 2** e **modelo 3**.

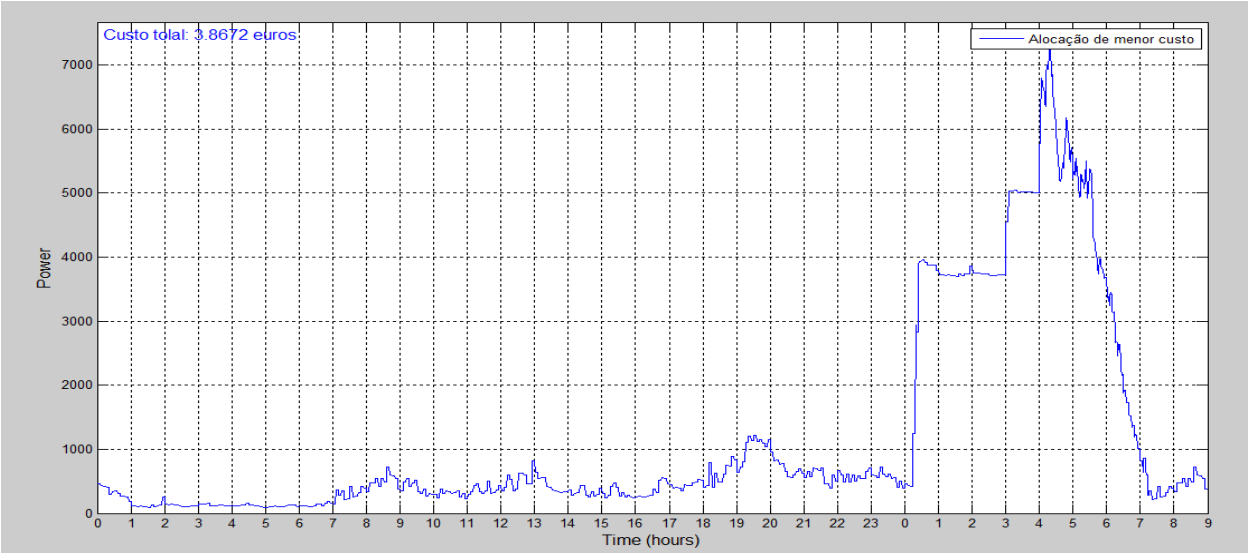


Figura 27-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, PC=10,35 kVA

Esta mesma simulação feita de uma sexta para um sábado tem a seguinte curva de potência:

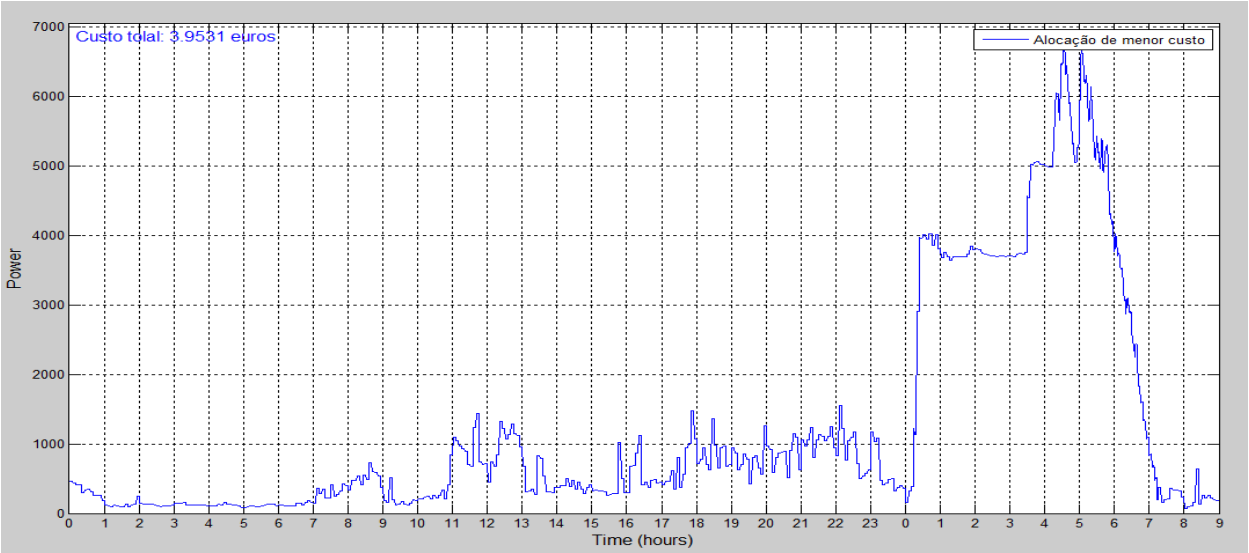


Figura 28- Alocação de 4 cargas numa madrugada num Sábado

É de notar que o preço PTR **modelo 1** numa madrugada de sábado é mais elevado que numa madrugada de um dia normal de semana. Para o **modelo 3,** o preço seria de 2.77 euros enquanto para o **modelo 2** seria 3.02 euros. É de salientar que os gráficos de alocação teriam o mesmo

aspeto, isto porque a tendência de subida e descida de preço é igual para os três modelos da tarifa PTR neste intervalo.

Para uma carga semi-rápida do VE, nas mesmas condições de flexibilidade e num dia de semana, resulta o seguinte gráfico:

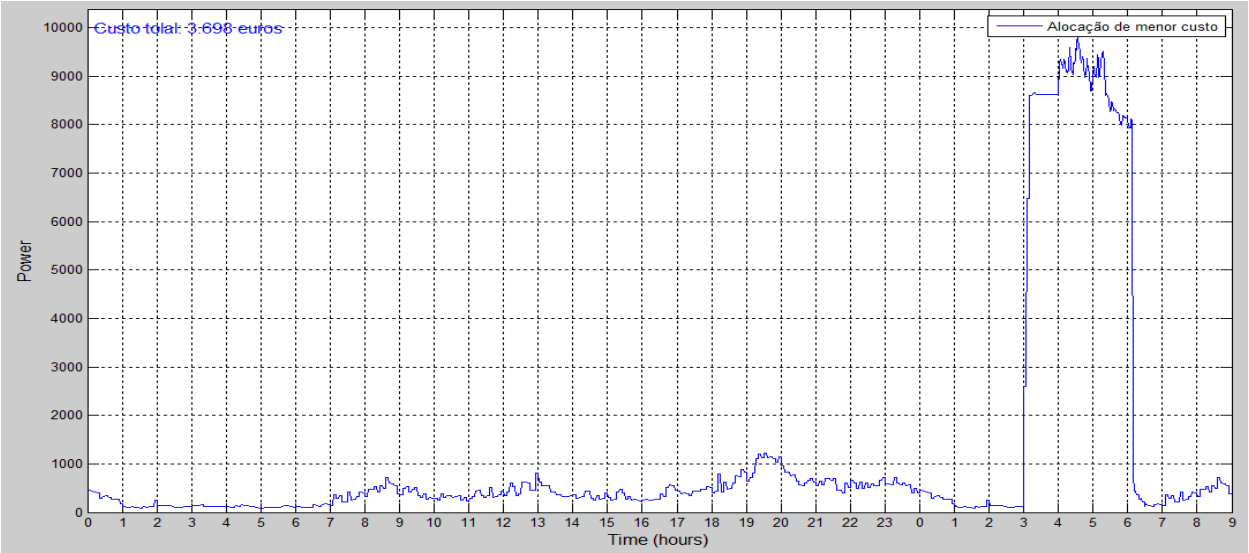


Figura 29-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, carga Semi-rápida

Neste gráfico verifica-se uma poupança de aproximadamente 0.2 euros para o **modelo 1**, ao passo que, para o **modelo 3** o preço desce para os 2.5 euros e para o **modelo 2** a descida é já de 2.77 euros. Em contrapartida, só é possível alocar as cargas com potência contratada superior ou igual a 10,35 kVA, pois neste regime de carga o VE tem uma potência máxima de carga de 7360 W, o que impossibilita a potência contratada de 6,9 kVA a qual está imediatamente antes da de 10,35 kVA.

Para um período de flexibilidade que seja coincidente com um período de pico da procura, obtêm-se a seguinte curva de potência:

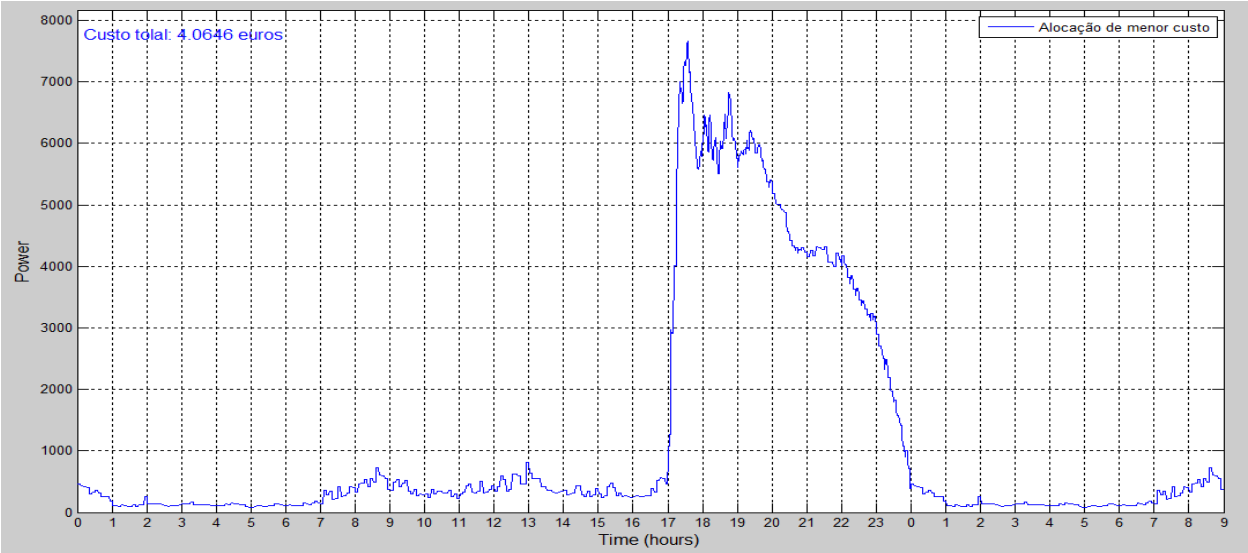


Figura 30-Alocação de 4 cargas num período de pico num dia de Semana, carga *standard*

Esta alocação foi feita no período de maior consumo, o que se reflete no preço desta alocação de carga, o qual subiu para os 4.06 euros no **modelo 1**, 4.9 euros no **modelo 2 e** para os 3.225 euros no **modelo 3**. Nesta simulação a potência contratada é de 10,35 kVA e o modo de carregamento do VE é o padrão. O intervalo de flexibilidade para o VE é das 16:00h até as 23:45h, e o das restantes cargas é das 17:00h até as 23:45h.

Para as mesmas condições, mas com uma carga semi-rápida, obtém-se o seguinte resultado.

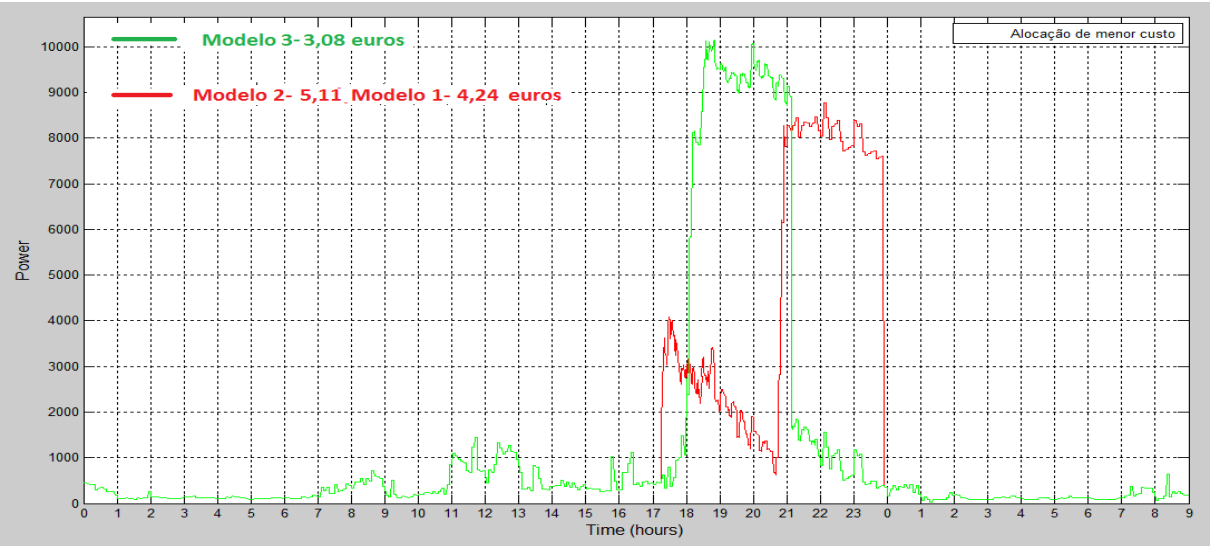


Figura 31- Alocação de 4 cargas num período de pico num dia de Semana, carga Semi-rápida

Relativamente ao **modelo 1** e **2**, o algoritmo vai alocar o VE e o TRM no período mais barato, entre as 21:00h e as 00:00h e, depois, como ultrapassa a potência contratada, se alocar as restantes cargas no mesmo período, irá alocar as restantes cargas entre as 17:00h e as 20:00h. É

de notar que, das 19:00h às 21:00h existe um decréscimo na potência requerida pelas cargas, o que coincide com o período onde a tarifa PTR (**modelo 1** e **modelo 2**) tem um preço mais elevado. Quanto ao **modelo 3**, é onde se consegue obter o melhor preço de alocação e atingir um pico de potência maior.

É de salientar que o consumo médio de uma *Baseline* típica de semana de dias frios é de 9437 Wh e o consumo relativo as 3 cargas sem o VE corresponde a 5800 Wh, o que corresponde ao consumo global diário de 38% e, se considerar o consumo do VE o consumo das 4 cargas, passa então para cerca de 75% do consumo diário global de uma habitação.

Para uma melhor observação das alocações, foi feito um gráfico com o preço das alocações durante um dia (00:00h até as 23:45h) em intervalos de 15 minutos, para um dia de semana do VE com o **modelo 1**, **modelo 2** e **modelo 3**.

Conseguem-se variações de cerca de 0.3 euros alocação PTR com tarifa Simples, de 1.4 euros para tarifa bi-horária e de cerca de 2 euros para a tarifa tri-horária.

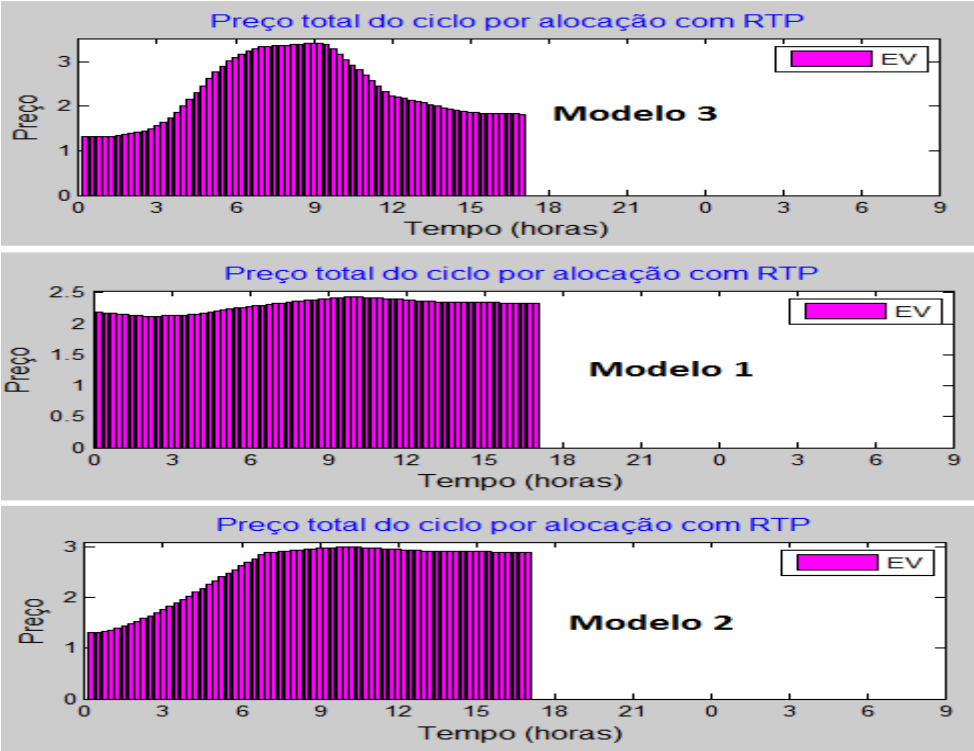


Figura 32- Alocação diária VE PTR

É de salientar o facto da última alocação ser próxima das 17h porque o período de funcionamento do VE de carga Standard total é de 7 horas.

5.2. *Simulação de Verão*

Nesta simulação começamos por considerar a situação da simulação de Inverno, de uma alocação das 4 cargas (TRM, VE, MLR e MLL) no período das 21:00h até as 07:00h do dia seguinte, para uma potência contratada de 6,9 kVA. Neste caso, a tarifa PTR é já referente ao período de Verão e a *Baseline* da residência é de igual modo de um período típico de Verão.

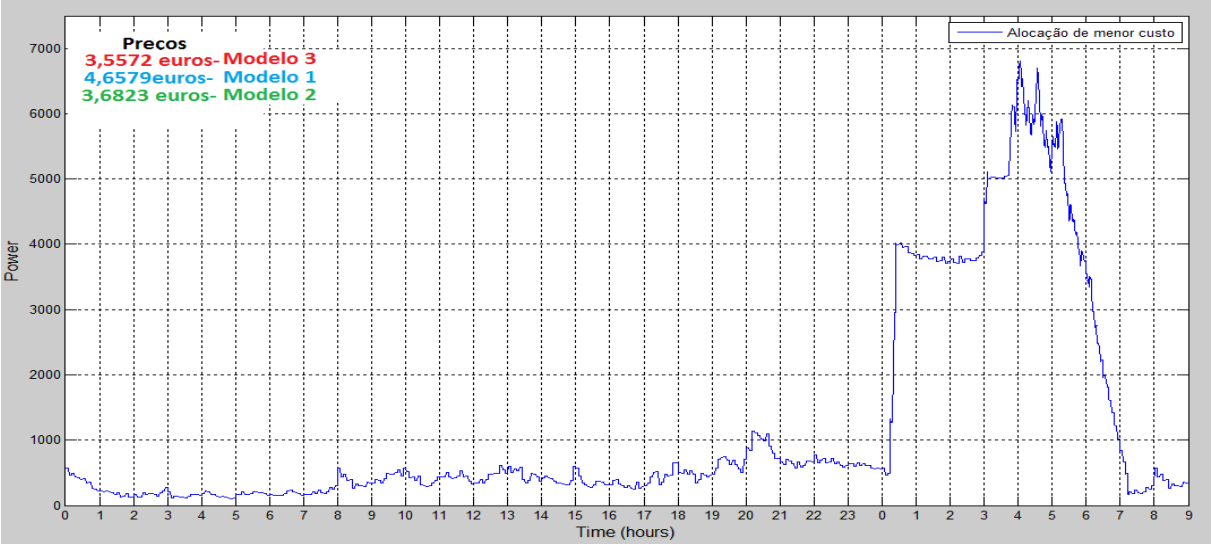


Figura 33-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, PC=6,9 kVA

Entre o **modelo 1** e o **modelo 3** existe uma diferença de 1.1 euros e entre o **modelo 2** e o **modelo 3** existe uma pequena diferença de 0.13 euros. Se aumentarmos a potência contratada para 10,35 kVA obtemos a seguinte curva de potência (Figura 34).

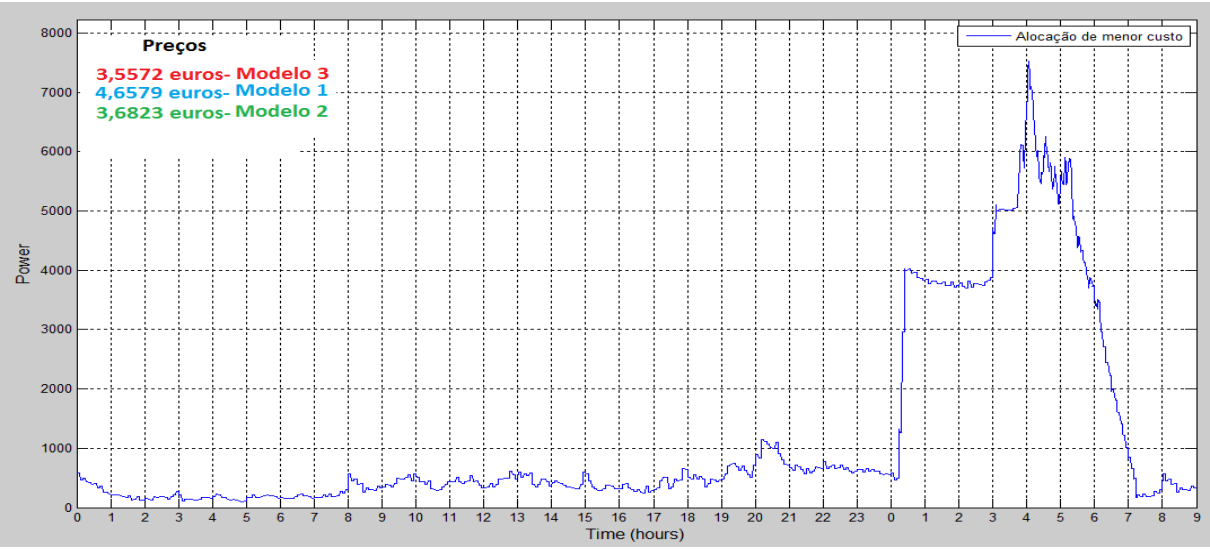


Figura 34-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, PC=10,35 kVA

Verifica-se então, para este caso, que ao aumentar a potência contratada, não iria diminuir o preço por alocação para todos os modelos. Em relação à alocação de Inverno, verifica-se um aumento no preço de alocação das cargas. A mesma simulação feita de uma sexta-feira para um sábado tem a seguinte curva:

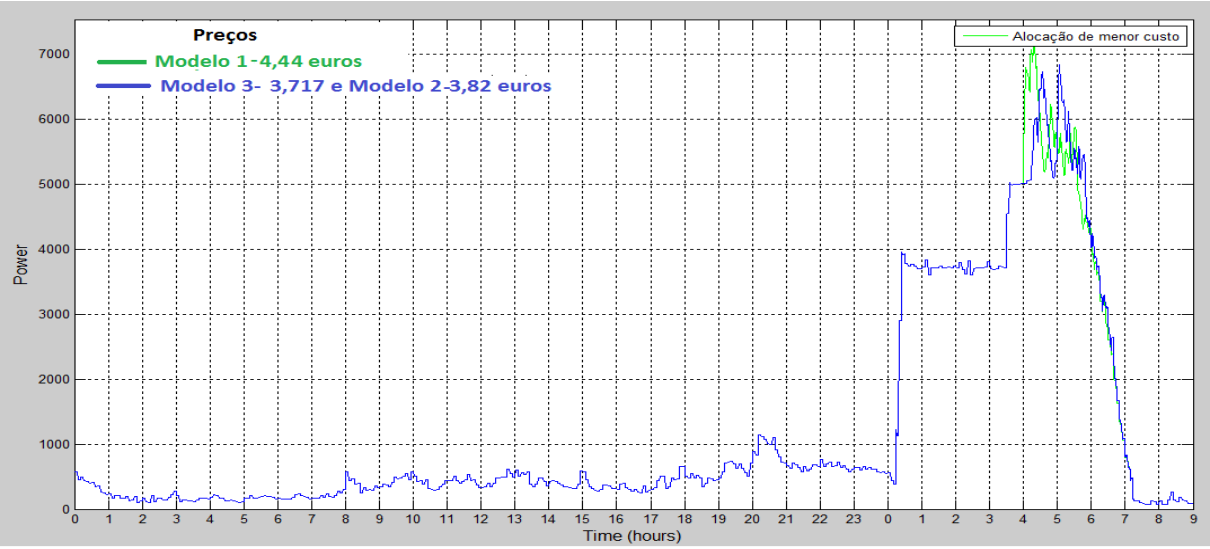


Figura 35-Alocação de 4 cargas numa madrugada Sábado, PC=10,35 kVA

É notável que, a alocação para o **modelo 1** é diferente da alocação do **modelo 2** e **3**, e atinge um maior pico de potência com um maior custo de alocação, havendo cerca de 17% de redução de custos para o **modelo 3** e cerca de 14% de redução para o **modelo 2**.

Nestas mesmas condições de flexibilidade, mas para uma carga semi-rápida do VE, num dia de semana e com uma potência contratada de 10,35 kVA, obtém-se a seguinte curva de potência:

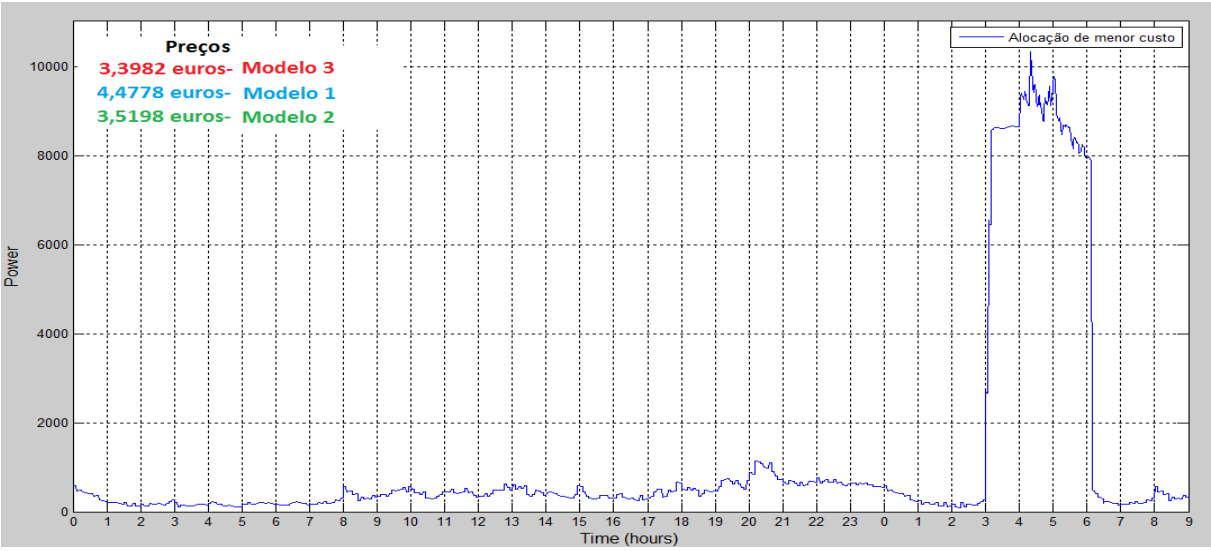


Figura 36-Alocação de 4 cargas numa madrugada num dia de Semana, carga Semi-rápida de VE

Neste caso existe uma redução geral no custo de alocação mas, por outro lado, para se conseguir a alocação é necessária uma potência contratada superior ou igual a 10,35 kVA, pois a potência máxima de funcionamento do VE é cerca de 7360 W.

No prosseguimento com a simulação de Inverno, é efetuada de seguida uma alocação num intervalo que coincide com o pico de procura. Neste caso, o intervalo de flexibilidade do VE começas às 16:00h e termina às 23:45h devido ao longo tempo necessário para uma carga completa do mesmo. Em relação às restantes cargas, o intervalo de flexibilidade começa às 17:00 e termina às 23:45h.

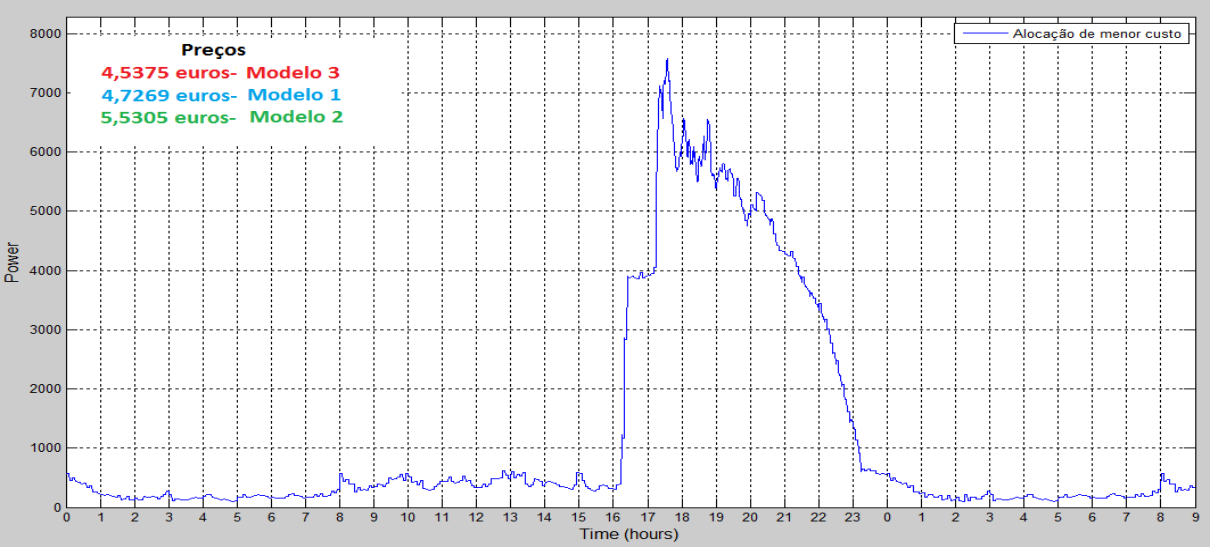


Figura 37-Alocação de 4 cargas num período de pico num dia de Semana, carga standard

Para uma mesma situação mas para uma carga semi-rápida do VE temos a seguinte curva de potência:

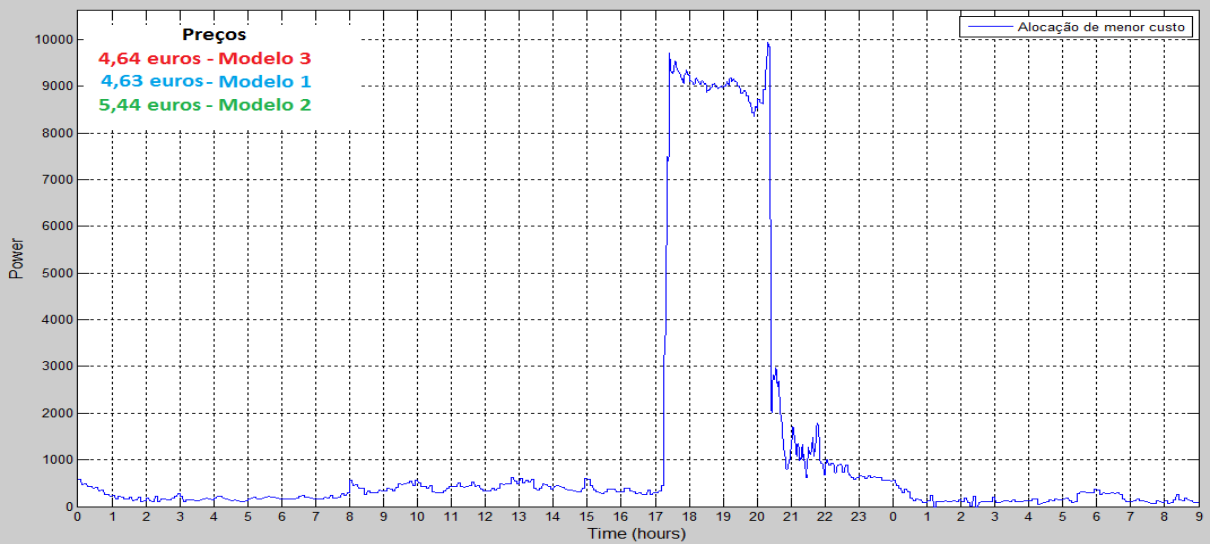


Figura 38-Alocação de 4 cargas num período de pico num dia de Semana, carga Semi-rápida

Neste caso, verifica-se que o **modelo 1** é o que consegue o melhor preço por alocação o que é normal devido à pequena oscilação de preços que o mesmo tem, e ao facto do **modelo 2** e **3** terem preços muito elevados em períodos de maior procura. Contrariamente ao mesmo cenário de Inverno, que para todos os modelos tem uma mesma curva de potência na alocação das cargas, o modelo que apresenta o custo mais baixo já não é o **modelo 3** mas sim o **modelo 1**. É de notar também que às 20:30h já estão finalizados quase todos os ciclos de funcionamento das cargas a alocar, ou seja, o período de pico de procura é evitado na alocação das cargas.

Para uma melhor compreensão da variação do preço por alocação com o PTR Verão, foi feita uma simulação com todas as possibilidades de alocação em intervalos de 15minutos de um dia útil do VE.

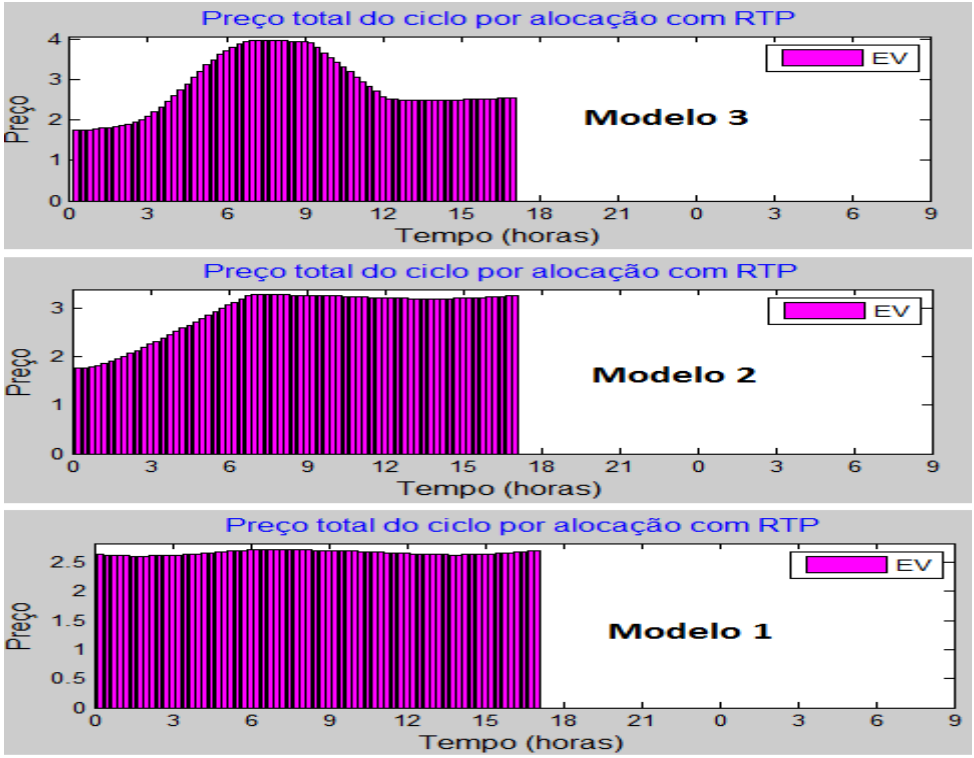


Figura 39- Alocação diária VE Verão

Nesta imagem é evidente a existência duma reduzida oscilação no preço para o **modelo 1** e grandes variações para os **modelos 2** e **3**. Relativamente à simulação de inverno verifica-se que existe um aumento no preço em geral.

5.3. *Comparação de PTR com tarifa atual*

A tarifa atual baseia-se em tarifas fixas que estão preestabelecidas. Estas não variam para dias com as mesmas propriedades sazonais e diárias (por exemplo dia da semana diferente de Sábado). Em relação à tarifa PTR, os preços estão sempre a variar de dia para dia e de hora para hora.

De seguida é apresentada uma comparação entre o preço de um dia inteiro de alocação do TRM com a tarifa atual e com a tarifa PTR.

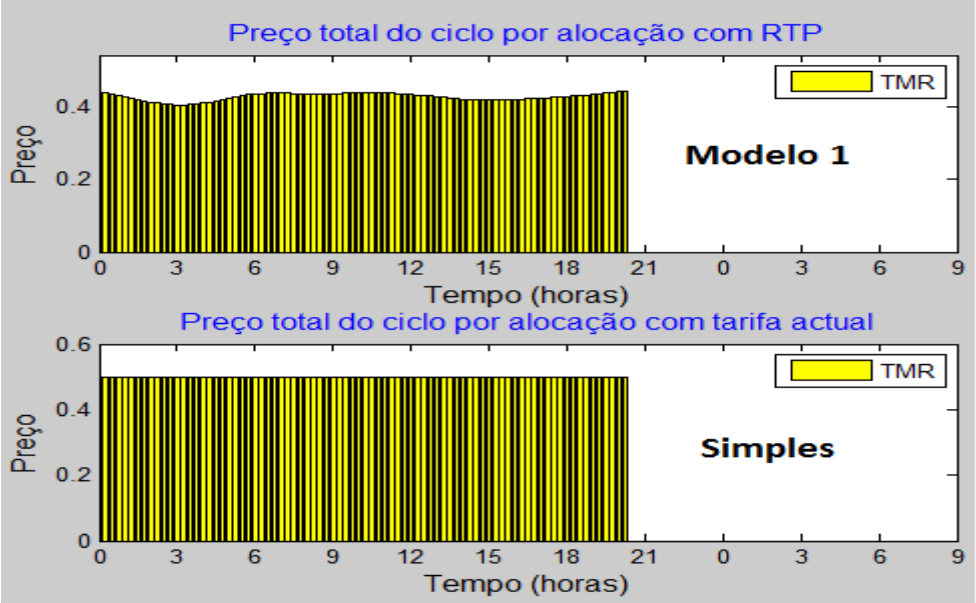


Figura 40- Alocação diária TRM com tarifa Simples

É visível que, com a tarifa atual, o preço não se altera para a tarifa simples, enquanto com a tarifa simples PTR existe ainda uma pequena variação em volta de um preço muito similar a tarifa atual.

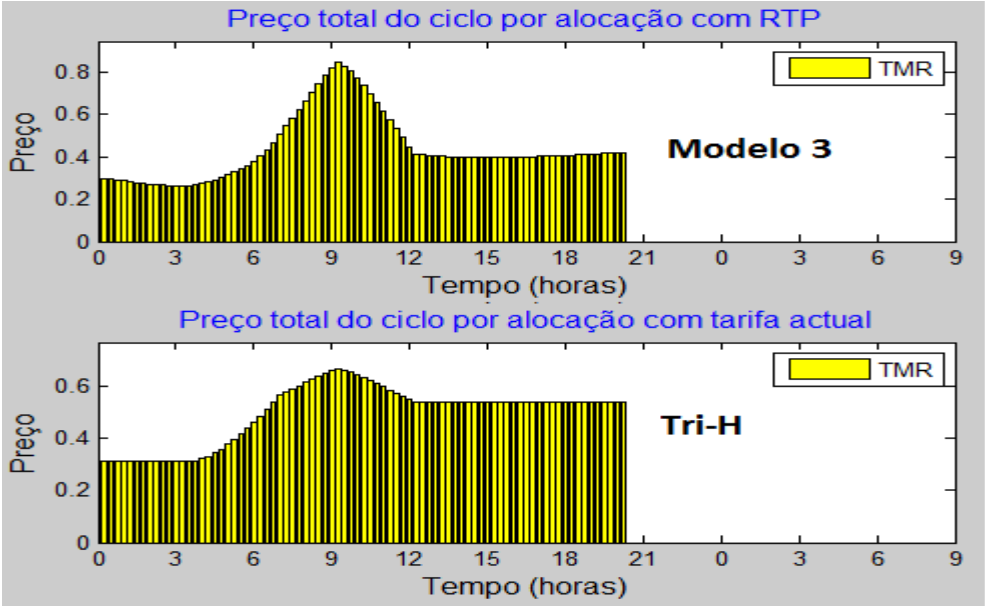


Figura 41- Alocação diária TRM com tarifa Tri-H

A tarifa Tri-H do tarifário atual tem três níveis de preços fixos; no **modelo 3** do PTR tem também três níveis mas a tarifa está constantemente em variação. Conseguem-se preços mais altos com o **modelo 3** do PTR mas conseguem-se também preços mais baixos de alocação. Verifica-se também que para o tarifário Tri-H e o modelo 3 do PTR a hora de alocação onde o preço é máximo é a mesma.

Em suma, conclui-se que os modelos de PTR apresentam melhores resultados nas alocações das diversas cargas cíclicas, devido a uma maior oscilação de preços.

6. Conclusões

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões acerca do trabalho realizado, sobretudo no que concerne à análise dos resultados das simulações efetuadas das alocações das cargas cíclicas.

Este simulador tem como objetivo, para além de fazer uma alocação de acordo com o período de flexibilidade indicado pelo consumidor, encontrar a solução de menor custo para a alocação de todas as cargas cíclicas disponíveis com três modelos de PTR. Analisando as simulações efetuadas, verifica-se que quanto maior forem as oscilações do preço disponibilizado por tarifas do tipo RTP, maior é a possibilidade de obter ganhos monetários com uma alocação de cargas otimizada. É expectável que num futuro próximo este tipo de tarifas PTR venham a estar disponíveis e com variações de preços de amplitudes significativas, de modo a incentivar os consumidores a fazerem desvios na alocação das cargas deslocáveis, sem impacto no conforto ou no serviço que prestam, permitindo igualmente um maior controle da rede.

A potência contratada deveria ter também uma maior flexibilidade. Nos períodos de baixa procura da rede devia poder-se ultrapassar a potência contratada, dentro de certos limites, de forma a facilitar o processo de alocação, garantido assim melhor aproveitamento dos períodos com preços baixos sem incorrer em custos acrescidos com potência contratada.

Nestas simulações está bem explícita a importância do VE como carga residencial, com o aumento do número de VE no mercado, e até a possibilidade de haver mais de um veículo numa residência. Este será um ponto de extrema importância na avaliação das alocações desta carga com grande impacto no diagrama da rede.

Para que exista um grande desvio de consumos para horas de vazio, terá de existir uma grande cooperação entre os clientes e os comercializadores de energia, assim como uma evolução significativa nas próprias cargas, para que estas tenham a capacidade de serem programadas ou receberem ordem de uma Energy Box que faça o seu controlo tirando partido das variações de preços que têm que ser comunicadas com a devida antecedência.

6.1. *Trabalhos Futuros*

Esta dissertação baseou-se na alocação de cargas apenas de uma residência. Como trabalho futuro proponho que o ponto de focagem seja a agregação de um conjunto de residências, e que a alocação de cargas seja feita a nível global, de forma a responder aos estímulos da rede.

A continuidade de monitorização de habitações e de cargas do setor doméstico, com possibilidade de serem controladas, será importante para a obtenção de uma base de dados mais diversificada para que no futuro possa ser utilizada em estudos sobre o impacto da DR.

O desenvolvimento de novos algoritmos de alocação de cargas que tenham em conta os diversos tipos de cargas caraterizadas: deslocáveis, interrompíveis e com ajuste de parâmetros de controlo.

Bibliografia

[1] EDP Inovcity, "Évora - Inovcity." [Online]. Available: www.inovcity.com.

[2] Stijn Vandael, Bert Claessens, Maarten Hommelberg,Tom Holvoet, and Geert Deconinck, IEEE, "*A Scalable Three-Step Approach for Demand Side Management of Plug-in Hybrid Vehicles*"

[3] Instituto Nacional de Estatística, I.P. e Direcção-Geral de Energia e Geologia, "*Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*", Lisboa, 2011.

[4] Alessandro Agnetis, Gabriella Dellino, Gianluca De Pascale, Giacomo Innocenti, Marco Pranzo, Antonio Vicino "*Optimization models for consumer flexibility aggregation in smart grids: the ADDRESS approach"*.

[5] O. Abarrategui, J. Marti, and A. Gonzalez, "Constructing the Active European Power Grid," pp. 1-4.

[6] B. Panajotovic, M. Jankovic, and B. Odadzic, "*ICT and smart grid*," 2011 10th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), Ieee, pp. 118-121, Oct-2011.

[7] European Commission, "*European Smart Grids Technology Platform*," European Communities, p. 44, 2006.

[8] U.S. Department of Energy by Litos Strategic Communication under contract No. DE-AC26-04NT41817, Subtask 560.01.04, "*The Smart Grid: An Introduction*".

[9] Á. O. Gomes, "*Simulação de Cargas Eléctricas no Contexto do Condicionamento da Procura de Energia Eléctrica,*" Coimbra, 1995.

[10] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY "*Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them"* [S.l.]: U.S. Department of Energy. 2006.

[11] MESSIAS A. A. *9º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Eletrotécnica*. [S.l.]: [s.n.]. 2009.

[12] P. Faria, Z. Vale "*Demand response in electrical energy supply: An optimal real time pricing approach*"

[13] SOARES A. R. G. "*Gestão Integrada de Recursos Energéticos a Contextualização e Análise"*. [S.l.]: [s.n.]. 2011.

[14] The Iberian Energy Derivatives Exchange, OMIP [online], http://www.omip.pt

[15] Mercado Grossista de Eletricidade, ERSE [online], http://www.erse.pt

[16] Eletricidade de Portugal, EDP comercial [online], http://www.edpsu.pt

[17] D. Livengood and R. Larson, "*The Energy Box: Locally Automated Optimal Control of Residential Electricity Usage*," Service Science, vol. 1, no. 1, pp. 1-16, 01-Mar-2009.

Anexos

A. PTR modelo 1

Tabela 2- PTR modelo 1

	Verão					Inverno			
	10/08/2012		11/08/2012	12/08/2012		25/01/2013		26/01/2013	27/01/2013
Horas	Semana	sexta	Sabado	Domingo		Semana	sexta	Sabado	Domingo
00:00	0,1294	0,1294	0,1314	0,1259		0,1106	0,1106	0,1102	0,1146
01:00	0,1259	0,1259	0,1294	0,1201		0,1094	0,1094	0,1059	0,1052
02:00	0,1212	0,1212	0,1281	0,1141		0,0985	0,0985	0,1003	0,0986
03:00	0,1149	0,1149	0,1279	0,1132		0,0959	0,0959	0,0984	0,0938
04:00	0,1138	0,1138	0,1255	0,1096		0,0915	0,0915	0,0874	0,0852
05:00	0,1143	0,1143	0,1238	0,1096		0,0940	0,0940	0,0819	0,0816
06:00	0,1201	0,1201	0,1238	0,1096		0,0997	0,0997	0,0820	0,0819
07:00	0,1261	0,1261	0,1243	0,1096		0,0992	0,0992	0,0978	0,0893
08:00	0,1243	0,1243	0,1139	0,1074		0,0992	0,0992	0,0984	0,0853
09:00	0,1204	0,1204	0,1201	0,1115		0,1006	0,1006	0,1017	0,0984
10:00	0,1243	0,1243	0,1201	0,1127		0,1095	0,1095	0,1062	0,1025
11:00	0,1243	0,1243	0,1201	0,1150		0,1112	0,1112	0,1119	0,1118
12:00	0,1243	0,1243	0,1155	0,1201		0,1129	0,1129	0,1108	0,1183
13:00	0,1243	0,1243	0,1126	0,1201		0,1117	0,1117	0,1124	0,1143
14:00	0,1193	0,1193	0,1110	0,1183		0,1102	0,1102	0,1124	0,1085
15:00	0,1193	0,1193	0,1098	0,1150		0,1101	0,1101	0,1076	0,1038
16:00	0,1171	0,1171	0,1081	0,1078		0,1047	0,1047	0,1098	0,1010
17:00	0,1191	0,1191	0,1105	0,1117		0,1027	0,1027	0,1118	0,0995
18:00	0,1201	0,1201	0,1099	0,1127		0,1025	0,1025	0,1135	0,0882
19:00	0,1201	0,1201	0,1116	0,1181		0,1101	0,1101	0,1212	0,0972
20:00	0,1237	0,1237	0,1126	0,1243		0,1101	0,1101	0,1212	0,0992
21:00	0,1243	0,1243	0,1133	0,1243		0,1082	0,1082	0,1183	0,1047
22:00	0,1269	0,1269	0,1182	0,1330		0,1025	0,1025	0,1124	0,1090
23:00	0,1272	0,1272	0,1182	0,1315		0,1007	0,1007	0,1103	0,1052

B. PTR modelo 2

Tabela 3- PTR modelo 2

	Verão					Inverno			
Horas	Semana	sexta	Sabado	Domingo		Semana	sexta	Sabado	Domingo
	10/08/2012		11/08/2012	12/08/2012		25/01/2013		26/01/2013	27/01/2013
00:00	0,0892	0,0892	0,0912	0,0857		0,0704	0,0704	0,0700	0,0744
01:00	0,0857	0,0857	0,0892	0,0799		0,0692	0,0692	0,0657	0,0650
02:00	0,0810	0,0810	0,0879	0,0739		0,0583	0,0583	0,0601	0,0584
03:00	0,0747	0,0747	0,0877	0,0730		0,0557	0,0557	0,0582	0,0536
04:00	0,0736	0,0736	0,0853	0,0694		0,0513	0,0513	0,0472	0,0450
05:00	0,0741	0,0741	0,0836	0,0694		0,0538	0,0538	0,0417	0,0414
06:00	0,0799	0,0799	0,0836	0,0694		0,0595	0,0595	0,0418	0,0417
07:00	0,1515	0,1515	0,0841	0,0694		0,1246	0,1246	0,0576	0,0491
08:00	0,1497	0,1497	0,0737	0,0672		0,1246	0,1246	0,0582	0,0451
09:00	0,1458	0,1458	0,1455	0,0713		0,1260	0,1260	0,0615	0,0582
10:00	0,1497	0,1497	0,1455	0,0725		0,1349	0,1349	0,1316	0,0623
11:00	0,1497	0,1497	0,1455	0,0748		0,1366	0,1366	0,1373	0,0716
12:00	0,1497	0,1497	0,1409	0,0799		0,1383	0,1383	0,1362	0,0781
13:00	0,1497	0,1497	0,1380	0,0799		0,1371	0,1371	0,0722	0,0741
14:00	0,1447	0,1447	0,0708	0,0781		0,1356	0,1356	0,0722	0,0683
15:00	0,1447	0,1447	0,0696	0,0748		0,1355	0,1355	0,0674	0,0636
16:00	0,1425	0,1425	0,0679	0,0676		0,1301	0,1301	0,0696	0,0608
17:00	0,1445	0,1445	0,0703	0,0715		0,1281	0,1281	0,0716	0,0593
18:00	0,1455	0,1455	0,0697	0,0725		0,1279	0,1279	0,0733	0,0480
19:00	0,1455	0,1455	0,0714	0,0779		0,1355	0,1355	0,1466	0,0570
20:00	0,1491	0,1491	0,1380	0,0841		0,1355	0,1355	0,1466	0,0590
21:00	0,1497	0,1497	0,1387	0,0841		0,1336	0,1336	0,1437	0,0645
22:00	0,1523	0,1523	0,0780	0,0928		0,1279	0,1279	0,0722	0,0688
23:00	0,1526	0,1526	0,0780	0,0913		0,1261	0,1261	0,0701	0,0650

C. PTR modelo 3

Tabela 4- PTR modelo 3

	Verão					Inverno			
Horas	Semana	sexta	Sabado	Domingo		Semana	sexta	Sabado	Domingo
	10/08/2012		11/08/2012	12/08/2012		25/01/2013		26/01/2013	27/01/2013
00:00	0,0892	0,0892	0,0912	0,0857		0,0704	0,0704	0,0700	0,0744
01:00	0,0857	0,0857	0,0892	0,0799		0,0692	0,0692	0,0657	0,0650
02:00	0,0810	0,0810	0,0879	0,0739		0,0583	0,0583	0,0601	0,0584
03:00	0,0747	0,0747	0,0877	0,0730		0,0557	0,0557	0,0582	0,0536
04:00	0,0736	0,0736	0,0853	0,0694		0,0513	0,0513	0,0472	0,0450
05:00	0,0741	0,0741	0,0836	0,0694		0,0538	0,0538	0,0417	0,0414
06:00	0,0799	0,0799	0,0836	0,0694		0,0595	0,0595	0,0418	0,0417
07:00	0,1195	0,1195	0,0841	0,1030		0,0926	0,0926	0,0576	0,0491
08:00	0,1177	0,1177	0,0737	0,1008		0,0926	0,0926	0,0582	0,0451
09:00	0,1138	0,1138	0,1135	0,1049		0,0940	0,0940	0,0615	0,0582
10:00	0,2453	0,2453	0,1135	0,2337		0,2305	0,2305	0,0996	0,0623
11:00	0,2453	0,2453	0,1135	0,2360		0,2322	0,2322	0,1053	0,0716
12:00	0,2453	0,2453	0,1089	0,1135		0,1063	0,1063	0,1042	0,0781
13:00	0,1177	0,1177	0,1060	0,1135		0,1051	0,1051	0,0722	0,0741
14:00	0,1127	0,1127	0,0708	0,1117		0,1036	0,1036	0,0722	0,0683
15:00	0,1127	0,1127	0,0696	0,1084		0,1035	0,1035	0,0674	0,0636
16:00	0,1105	0,1105	0,0679	0,1012		0,0981	0,0981	0,0696	0,0608
17:00	0,1125	0,1125	0,0703	0,1051		0,0961	0,0961	0,0716	0,0593
18:00	0,1135	0,1135	0,0697	0,1061		0,0959	0,0959	0,0733	0,0480
19:00	0,1135	0,1135	0,0714	0,0713		0,0633	0,0633	0,1146	0,0570
20:00	0,1171	0,1171	0,1060	0,0775		0,0633	0,0633	0,1146	0,0590
21:00	0,1177	0,1177	0,1067	0,1177		0,1016	0,1016	0,1117	0,0645
22:00	0,1203	0,1203	0,0780	0,1264		0,0959	0,0959	0,0722	0,0688
23:00	0,1206	0,1206	0,0780	0,1249		0,0941	0,0941	0,0701	0,0650

D. Interface

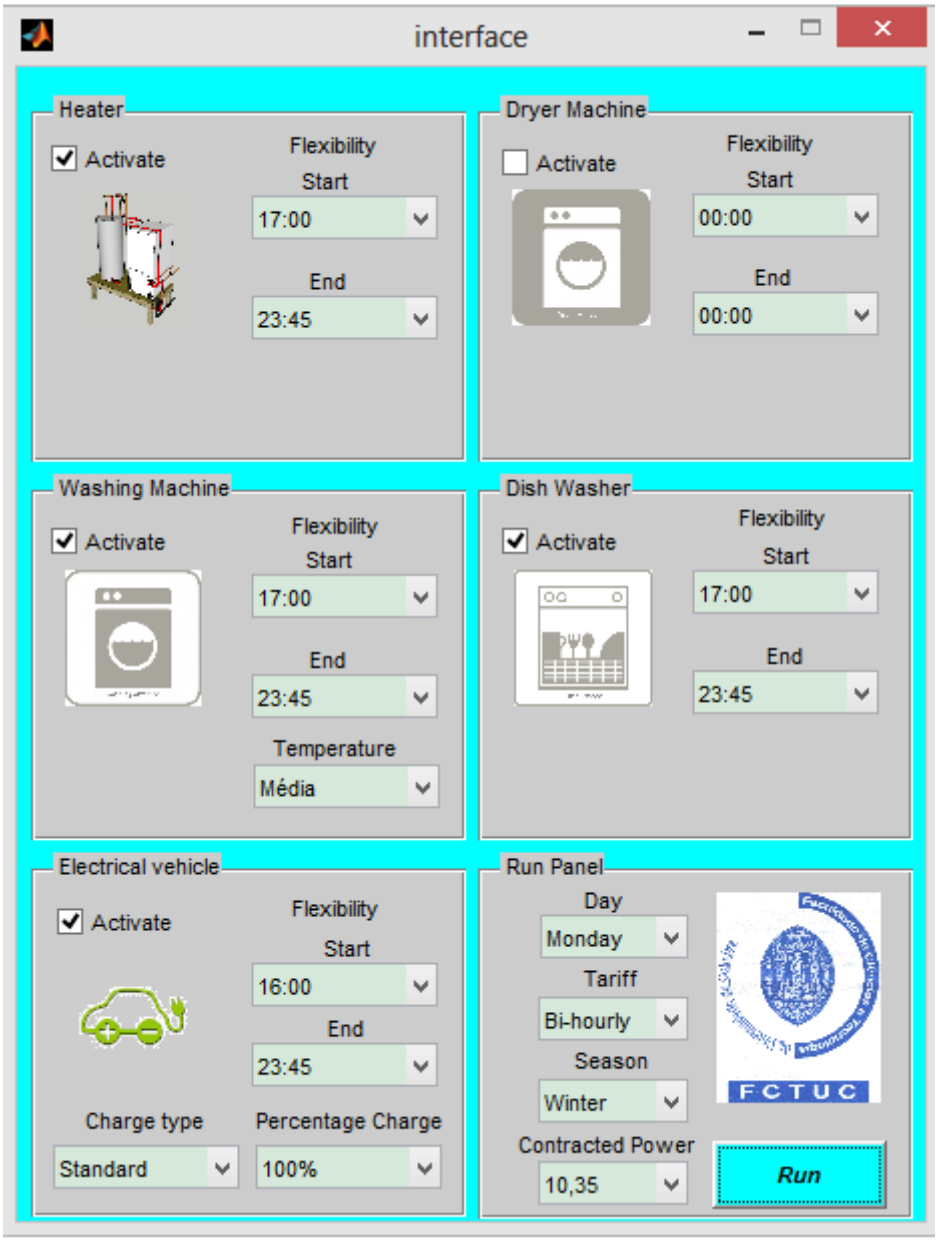


Figura 42- ***Interface***

E. Tarifa atual

Tabela 5- Tarifa atual [16]

Encargos de potência	kVA	EUR/mês	EUR/dia*
Simples	1,15	2,36	0,0776
	2,30	4,14	0,1362
Simples, bi-horária e tri-horária	3,45	5,61	0,1844
	4,60	7,32	0,2407
	5,75	9,00	0,2959
	6,90	10,68	0,3510
Simples, bi-horária e tri-horária	10,35	15,71	0,5165
	13,80	20,75	0,6821
	17,25	25,78	0,8476
	20,70	30,81	1,0131

Preço da energia ativa	Período horário	até 6,90 kVA EUR/kWh	acima 6,90 kVA EUR/kWh
Simples ≤ 2,3kVA		0,1210	-
Simples > 2,3 kVA		0,1405	0,1418
Bi-horária	Horas fora de vazio	0,1641	0,1674
	Horas de vazio	0,0870	0,0878
Tri-horária	Horas de ponta	0,1865	0,1899
	Horas de cheias	0,1483	0,1515
	Horas de vazio	0,0870	0,0878