

# **Modelização e Gestão de Equipamentos e Sistemas Elétricos no Sector Residencial**

## **Dissertação Final**

Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética

**Bruno Diogo Machado Martins    21499**

Orientadores

Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares

Professora Doutora Ana Isabel Pinheiro Nunes Pereira

Bragança, Janeiro de 2017

“A mente que se abre a uma nova  
ideia, jamais volta ao seu tamanho  
inicial”

**ALBERT EINSTEIN**

## **Agradecimentos**

O espaço limitado desta secção de agradecimentos, seguramente não me permite prestar o verdadeiro agradecimento a todas as pessoas que ao longo do meu Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética me ajudaram, diretamente ou indiretamente, a dar passos seguros na concretização dos meus objetivos e realizar mais esta etapa da minha formação académica. Sendo assim, estas poucas palavras que irei proferir são de um profundo e sentido sentimento de reconhecido agradecimento.

Ao Coordenador do Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética e Orientador da Dissertação, Professor Orlando Soares, primeiramente quero expressar o meu enorme contentamento por frequentar este Mestrado que muito me ajudou e contribuiu para o enriquecimento na minha formação académica e científica. Por outro lado, enquanto Orientador quero prestar o meu profundo agradecimento pela orientação e apoio incondicionais que me elevaram os meus conhecimentos e, sem dúvida, estimularam o desejo de querer, sempre, saber mais e de querer melhorar.

À Professora Ana Isabel Pereira, o meu sincero agradecimento pela coorientação neste meu Projeto. Muito obrigado pelo seu profissionalismo e disponibilidade demonstrados ao longo do tempo que me ajudou. O seu apoio foi determinante na elaboração da Tese.

À Minha Namorada, um especial agradecimento por todos os dias incentivar-me a terminar esta etapa da minha vida e animar-me mesmo nos dias em que a preguiça dominava sobre a vontade de trabalhar.

À Minha Família, em especial Pais, Irmã e Avó, um enorme obrigado por nunca deixarem de acreditar em mim e pelos ensinamentos da vida. Espero que esta etapa, que agora termino, possa de alguma forma retribuir todo o esforço e carinho que demonstraram durante este período da minha formação académica.

## Resumo

O aumento da produção distribuída nas redes elétricas em geral, e da energia solar fotovoltaica em particular, colocam novos desafios na utilização da energia, na operação do sector eléctrico e de planeamento das redes. Em relação ao primeiro, os consumidores deixaram de ter apenas esse papel e assumem também um papel de produtores de energia, tornando-se ativos nos sistemas eléctricos de energia, ou seja, tornam-se prosumidores.

Neste contexto, apresenta-se neste trabalho uma alternativa para que os prosumidores possam tirar proveito da energia que produzem para cobrir parte das suas necessidades de eletricidade. Assim, para gerir estas necessidades apresentam-se as características de diversos equipamentos e sistemas eléctricos do sector residencial, possibilitando a definição de um perfil de cargas para cada equipamento, e sua otimização/adequação à disponibilidade diária de produção de energia renovável, em particular a de origem fotovoltaica. Para a identificação das curvas características dos equipamentos, recorreu-se à Série de Fourier que irá servir para fazer a aproximação à curva resultante dos dados reais obtidos por monitorização. Depois de caracterizados os equipamentos, traçado o perfil de consumos diários de uma habitação é feita a sua otimização de modo a aproveitar o máximo da energia eléctrica produzida pelos painéis fotovoltaicos.

Além dos benefícios referidos para os utilizadores de energia, é de salientar que os resultados apresentados poderão ter uma grande utilidade prática, quer para as empresas instaladoras de sistemas solares fotovoltaicos, pois permite-lhes identificar à partida qual a potência fotovoltaica ótima para uma determinada habitação, uma vez que será feita uma caracterização geral de consumo/produção de uma habitação tipo, quer para os operadores da rede de distribuição, pois permite-lhes ter informação do fluxo de energia.

**Palavras-chave:** Ajuste de Curvas; Série de Fourier; Autoconsumo; Sistemas Fotovoltaicos; Perfis de Consumo.

## **Abstract**

The increase in distributed energy production in general, and photovoltaic solar energy in particular, pose new challenges in the use of energy and in the operation and planning of the electric grid. Nowadays, consumers are no longer just energy consumers but they are also energy producers, becoming active players in the electric power systems, that is, becoming prosumers.

In this context, this paper presents a way for the prosumers to take advantage of the energy they produce to cover part of its electricity needs. In order to manage these needs, the characteristics of several residential electrical equipment and systems are presented, including the tracing of a load profile and its optimization by adapting it to the daily availability of energy production, particularly by photovoltaic systems. For the identification of those characteristics it was used the Fourier Series as the curve fitting technic for approaching to the real data obtained by monitoring. After the characterization of the equipment, the daily consumption profile of a household is traced, in order to optimize the use of the energy produced by photovoltaic panels.

In addition to the benefits obtained for the energy consumers, it should be noted that these results may have tremendous practical applications to the companies dealing with the installation of photovoltaic solar systems, as it allows them to identify the optimum photovoltaic power consumption for a particular house, and also for the operators dealing with the distribution of power grid, once it allows them to have comprehensive information about the flow of energy.

**Keywords:** Curve Fitting; Fourier Series; Self-Consumption; Photovoltaic Systems; Consumption Profile.

# Índice

1.	Introdução .....	1
2.	Estado da Arte .....	3
2.1.	Introdução .....	3
2.2.	Autoconsumo .....	3
2.2.1.	Autoconsumo com acumulação .....	4
2.3.	Edifícios NZEB .....	5
2.3.1.	Conceito .....	5
2.3.2.	Enquadramento legal .....	6
2.3.3.	Portugal 2020 .....	8
2.4.	Redes Inteligentes .....	9
2.4.1.	O caso da InovGrid .....	11
2.5.	Domótica .....	13
2.5.1.	Conceito .....	13
2.5.2.	Áreas de atuação .....	14
2.5.3.	Funcionamento .....	15
2.6.	Soluções comerciais existentes .....	15
2.6.1.	SMA Home Manager .....	15
2.6.2.	EDP Re:dy .....	16
3.	Casos de estudo – Perfis de Cargas .....	18
3.1.	Máquina de Lavar Roupa .....	19
3.2.	Máquina de Lavar Loiça .....	21
3.3.	Frigorífico .....	23
3.4.	Bombas de Calor .....	24
4.	Modelação Matemática – Curve fitting .....	26
4.1.	Métodos de ajuste de curvas - Curve Fitting .....	26
4.1.1.	Interpolação Polinomial .....	27
4.1.2.	Interpolação Spline .....	28
4.1.3.	Regressão Polinomial .....	29
4.1.4.	Regressão não-polinomial – Exponencial .....	30
4.1.5.	Regressão não-polinomial – Soma de senos .....	31

4.1.6. Série de Fourier.....	33
5. Estimativa da Produção Fotovoltaica .....	36
6. Resultados.....	40
6.1. Série de Fourier .....	40
6.2. Gestão das cargas.....	45
7. Conclusão .....	48
Bibliografia.....	49
Anexos.....	52

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens de edifícios NZEB (Futursolutions, 2015). .....	8
Tabela 2 - Comparação entre as Redes (Torres, 2014).....	11
Tabela 3 – Valores ótimos de K. ....	44
Tabela 4 - Dados referente à Máquina de Lavar Roupa a 40°C, classe A++ .....	52
Tabela 5 - Dados referentes à Máquina de Lavar Roupa a 40°C, classe A .....	55
Tabela 6 - Dados referentes à Máquina de Lavar Roupa a Frio, classe A.....	58
Tabela 7 - Dados referentes à Máquina de lavar loiça a °65 .....	61
Tabela 8 - Dados referentes Máquina de lavar loiça a °75 .....	64
Tabela 9 - Dados referentes ao frigorífico.....	67
Tabela 10 - Dados referentes a Bomba de Calor .....	70

## Lista de Figuras

Figura 1- Autoconsumo com acumulação (Sinersol, 2016). .....	5
Figura 2 - Edifícios NZEB. ....	6
Figura 3 - Esquema de uma rede inteligente (Rivera, Teixeira, & Esposito, 2013). .....	10
Figura 4 - Projeto InovGrid (EDP Distribuição, 2014). ....	12
Figura 5 - Domótica residencial. ....	14
Figura 6 - Analisador de Redes OWL+USB. (OWL, 2016) .....	18
Figura 7 - Perfil de uma máquina de lavar roupa a 40°C classe A++.....	20
Figura 8 – Perfil de uma máquina lavar roupa a 40°C, classe A. ....	20
Figura 9 – Perfil de uma máquina lavar roupa a frio, classe A. ....	21
Figura 10 - Perfil Máquina de Lavar Loiça 65°C. ....	22
Figura 11 - Perfil Máquina Lavar Loiça a 75°C. ....	22
Figura 12 – Perfil de um ciclo de um Frigorífico. ....	23
Figura 13 – Ciclo diário de um frigorífico. ....	23
Figura 14 – Perfil de um ciclo de uma Bomba de calor. ....	24
Figura 15 – Ciclo diário de uma bomba de calor. ....	25
Figura 16 - Toolbox Curve Fitting. (Mathworks, 2016). .....	27
Figura 17 – Ajuste de curva por interpolação polinomial. ....	28
Figura 18 – Ajuste de curva por interpolação spline. ....	29
Figura 19 – Ajuste e curva por regressão polinomial. ....	30
Figura 20 - Ajuste de curva por regressão não-polinomial: exponencial. ....	31
Figura 21- Representação de uma função não-periódica como periódica. (Gerald & Wheatley, 1999). .....	32
Figura 22 - Soma de senos.....	32
Figura 23 – Ajuste de curva por série de Fourier. ....	35
Figura 24 - Representação da radiação incidente no painel coletor. ....	37
Figura 25 - Representação do ângulo incidente.....	37
Figura 26 - Variação da radiação média horária na cidade de Bragança (Portugal). ....	39
Figura 27 - Ajuste da curva da MLL para várias ordens da Série de Fourier. ....	40
Figura 28- Ajuste da curva do Frig para várias ordens da Série de Fourier. ....	41
Figura 29 - Ajuste da curva da BC para várias ordens da Série de Fourier.....	41

Figura 30 - Ajuste da curva da MLR para várias ordens da Série de Fourier. ....	42
Figura 31 - Aproximação ótima característica da MLR por Série de Fourier ( $k_{ótimo}=51$ ). .....	42
Figura 32 - Aproximação ótima característica da MLL por Série de Fourier ( $k_{ótimo}=51$ ). .....	43
Figura 33 - Aproximação ótima característica do Frig por Série de Fourier ( $k_{ótimo}=49$ ).	43
Figura 34 - Aproximação ótima característica da BC por Série de Fourier ( $k_{ótimo}=40$ ).	44
Figura 35 - Perfil de carga de uma habitação com tipologia T3 com 4 ocupantes.....	45
Figura 36 - Perfil diário de consumo e produção de energia fotovoltaica para o mês de julho, em Bragança. ....	46
Figura 37 - Perfil diário de consumo e produção de energia fotovoltaica para o mês de dezembro, em Bragança. ....	47
Figura 38 - Perfil diário de consumo e produção de energia fotovoltaica para a radiação média anual, em Bragança.....	47
Figura 39 – Gráfico referente à curva característica e série de Fourier da Máquina de Lavar Roupa a 40°C, classe A++ .....	54
Figura 40 – Gráfico referente aos erros, $r_A$ e $r_B$ , da Máquina de Lavar Roupa a 40°C, classe A++ .....	54
Figura 41 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier da Máquina de Lavar Roupa a 40°C, classe A.....	57
Figura 42 - Gráfico referente aos erros, $r_A$ e $r_B$ , da Máquina de Lavar Roupa a 40°C, classe A.....	57
Figura 43 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, da Máquina de Lavar Roupa a frio, classe A .....	60
Figura 44 - Gráfico referente aos erros, $r_A$ e $r_B$ , da Máquina de Lavar Roupa a frio, classe A .....	60
Figura 45 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, da Máquina de Lavar Loiça a 65°C.....	63
Figura 46 - Gráfico referente aos erros, $r_A$ e $r_B$ , da Máquina de Lavar Loiça a 65°C...	63
Figura 47 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, da Máquina de Lavar Loiça, a 75°C .....	66
Figura 48 - Gráfico referente aos erros, $r_A$ e $r_B$ , da Máquina de Lavar Loiça, a 75°C..	66

Figura 49 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, do Frigorífico..	69
Figura 50 - Gráfico referente aos erros, $r_A$ e $r_B$ , do Frigorífico .....	69
Figura 51 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, da Bomba de Calor .....	72
Figura 52 - Gráfico referente aos erros, $r_A$ e $r_B$ , da Bomba de Calor.....	72

## **Listas de Abreviaturas**

- AVAC** – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
- BC** – Bomba de calor
- CE** – Comunidade Europeia
- DDC** - Diagramas De Carga
- ESE** - Empresas de Serviços Energéticos
- FSE** – Fundo Social Europeu
- FEADER** – Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural
- FEDER** – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
- FEAMP** - Fundo Europeu dos Assuntos Marítimos e das Pescas
- Frig** – Frigorífico
- LCD** – Display de Cristal Líquido
- MLL** – Máquina de lavar loiça
- MLR** – Máquina de lavar roupa
- NZEB** – *Nearly Zero Energy Buildings*
- PC** – Computador Pessoal
- REI** – Rede Elétrica Inteligente
- RES** – Renewable Energy Systems
- SMA** - *System, Mess und Anlagentechnik*
- SGE** – Sistemas de gestão de energia
- TV** – Televisão
- UE** – União Europeia
- UPAC** - Unidade de Produção para Autoconsumo
- VE** - Veículos Elétricos

## 1. Introdução

Pretende-se com o presente capítulo explicar os objetivos de estudo, a metodologia adotada que serviu de suporte a todo o estudo, e por fim uma breve descrição da estrutura utilizada no presente relatório.

O objetivo principal projetado desde o início deste trabalho consistia na modelização e gestão de equipamentos e sistemas elétricos no setor residencial. Para tal, foram monitorizados diagramas de cargas (DDC), de alguns equipamentos domésticos, nomeadamente, máquina de lavar roupa, máquina de lavar loiça, bomba de calor e frigorífico. Estas curvas características foram obtidas através de um analisador de energia, o OWL+USB, que permitiu-nos fazer uma análise e tratamento dos dados obtidos.

No sentido de dar resposta ao principal objetivo, foi necessário realizar um cálculo da estimativa de produção de energia a partir de sistemas fotovoltaicos com recurso a um *software* denominando *PVSyst*. Mediante as regras e condições definidas por lei, foi realizado um estudo e criado um modelo de previsão para determinação da potência fotovoltaica ótima para um determinado produtor.

A presente dissertação é constituída por 6 capítulos, incluindo a presente introdução e a conclusão.

No segundo capítulo foi apresentado o Estado de Arte onde é feito um enquadramento teórico de vários temas, com o respetivo enquadramento nos objetivos deste projeto. Primeiramente foi abordado de uma forma sucinta o autoconsumo. De seguida, foi explicado a importância dos edifícios NZEB, fazendo uma pequena descrição do conceito, bem como as suas vantagens e desvantagens. Outro ponto abordado neste ponto foi o programa Portugal 2020. Posteriormente, foram abordadas as redes inteligentes e o caso *Inovgrid*, um exemplo português destas redes. Ainda neste capítulo, foi feito um enquadramento da domótica, onde se explica o seu conceito, funcionamento e uma solução comercial particular do funcionamento da domótica em Portugal. Para terminar o segundo capítulo, são apresentadas algumas soluções comerciais existentes relacionadas com o tema deste projeto, mais concretamente o *Sunny Home Manager* da SMA, os variados sistemas da *Schneider Electric*,

soluções adaptadas às necessidades do setor elétrico e uma solução comercial particular do funcionamento da domótica em Portugal.

No terceiro capítulo, referente ao nosso caso de estudo, apresentaram-se os dados obtidos por monitorização dos diversos equipamentos utilizados em estudo, sendo apresentados e caracterizados os respetivos diagramas de carga.

No quarto capítulo foi abordado a modelação matemática e a descrição sucinta das técnicas para fazer um ajuste de curvas, onde se irá dar maior ênfase e importância à Série de Fourier, sendo esta usada para concretizar a primeira etapa pretendida.

No quinto capítulo foi feita uma estimativa da produção fotovoltaica onde pretendeu-se gerir as cargas tendo como base as curvas características da produção de energia fotovoltaica.

No sexto capítulo foram apresentados os vários resultados obtidos e uma posterior discussão dos mesmos, para uma melhor compreensão do trabalho realizado, a fim de demonstrar que com o uso da Série de Fourier é possível fazer uma excelente aproximação à curva característica obtida pela monitorização dos equipamento domésticos.

## **2. Estado da Arte**

### **2.1. Introdução**

Neste capítulo é apresentado um enquadramento geral do estado da arte na atualidade. É abordado o autoconsumo, uma atividade regulada por lei e as tecnologias de energias renováveis associadas, bem como os edifícios NZEB, que são conceitos que vão de encontro a uma meta da UE com vista a uma melhoria da eficiência energética nos edifícios.

As redes inteligentes, uma estratégia para combater problemas das redes convencionais, irão ser mencionadas neste capítulo, como também um acordo celebrado entre Portugal e a UE, com o objetivo de crescimento inteligente denominado Portugal 2020.

Numa segunda parte é abordada a domótica, o que implica uma abordagem ao seu conceito e respetivas áreas de aplicação.

No fim do capítulo são apresentadas algumas soluções comerciais existentes neste ramo.

### **2.2. Autoconsumo**

Com a introdução da microprodução em Portugal (Decreto-Lei nº 363/2007), teve início a primeira fase da implementação de sistemas de energias renováveis como produção distribuída, passando os consumidores a ser produtores da sua própria energia. Devido ao aumento do preço da eletricidade e à forte descida dos custos das tecnologias, particularmente dos sistemas fotovoltaicos, estamos a assistir à verdadeira democratização da energia sendo que o presente e o futuro passam pela produção para autoconsumo. Em 2015, o preço de eletricidade subiu cerca de 3,5%, e em 2014 cerca de 7-15% sendo que esta tendência se manterá pelo menos até 2020. Os sistemas de produção de energia poderão ser fotovoltaicos, eólicos ou mistos. Assim, desta forma será possível maximizar a utilização do potencial de sol e vento da zona em questão e reduzir a fatura energética consideravelmente. Com este tipo de sistemas podem-se conseguir poupanças de cerca de 80% no valor total da fatura.

O autoconsumo é uma atividade regulada pelo Decreto-Lei nº 153/2014 de 20 de outubro e em vigor desde o passado dia 16 de janeiro de 2015. O processo de licenciamento é fácil e rápido comparativamente ao regime anterior de microprodução e miniprodução, podendo ser dividido em vários escalões:

- **Até 200W** instalados: **não necessita de qualquer comunicação;**
- **Até 1500W** instalados: basta uma mera **comunicação prévia;**
- **Entre os 1500W-1MW** instalado: é necessário **registo e certificado de exploração;**
- **Acima de 1MW:** é necessária **licença de produção e exploração.**

Este regime de produção vem essencialmente incentivar a produção para consumo próprio, podendo a energia excedente ser vendida à rede (Sinersol, 2016).

#### 2.2.1. Autoconsumo com acumulação

Uma das possibilidades para autoconsumo é fazê-lo com armazenamento em baterias. Com a crescente subida do preço da energia, posterior descida do preço e aumento da durabilidade das baterias, esta solução é cada vez mais interessante.

Durante o dia, os excedentes provenientes do sistema fotovoltaico em vez de serem vendidos á rede podem ser acumulados em baterias e desta forma utilizar a energia à noite ou quando necessária. Estas soluções possibilitam uma taxa de autoconsumo superior, até muito próximo dos 100%. Aqui o produtor fica na mesma ligado à rede de forma a que em qualquer altura, caso pretenda, possa ir buscar energia à rede, ou quando a energia acumulada nas baterias não seja suficiente.

As baterias têm evoluído bastante nos últimos anos. Existem vários tipos disponíveis no mercado tais como: chumbo, gel e lítio. A grande diferença destas é o seu preço/durabilidade. Atualmente já estão disponíveis baterias com mais de 5000 ciclos (uma duração aproximada de mais de 15 anos) (Sinersol, 2016).

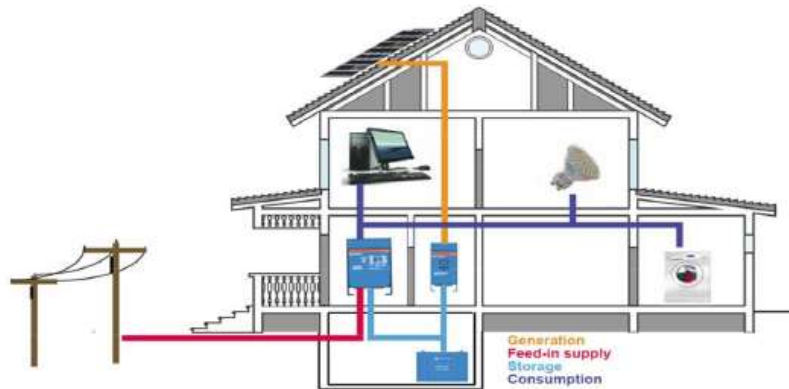


Figura 1- Autoconsumo com acumulação (Sinersol, 2016).

## 2.3. Edifícios NZEB

### 2.3.1. Conceito

São considerados edifícios NZEB determinadas estruturas que numa base de consumo anual, este é igual a zero ou aproximada à energia produzida na infraestrutura através de energias renováveis. Consequentemente estas infraestruturas trazem um impacto nulo no que se trata a emissões de gases para a atmosfera (Jorge, 2013). Esta definição pode ser decomposta em 4 partes dependendo dos objetivos pretendidos:

- **Net-Zero Site Energy:** produção de energia a partir de fontes renováveis (fotovoltaica, eólica, etc.) em quantidade suficiente para compensar as necessidades anuais.
- **Net-Zero Source Energy:** produção de energia em quantidade suficiente para compensar as necessidades anuais (contagem efetuada na fonte). "Source energy" pretende referir a energia primária requerida para produção de energia útil utilizada no local.

- **Net-Zero Energy Emissions:** produção de energia “limpa” em quantidade suficiente para compensar a energia adquirida produzida a partir de fontes convencionais (associados a produção de CO<sub>2</sub>), calculada numa base anual.
- **Net-Zero Energy Costs:** produção (e venda) de energia em quantidade suficiente para compensar os custos associados a aquisição de energia necessária para funcionamento/utilização do edifício, calculada numa base anual (Aelenei, 2012).

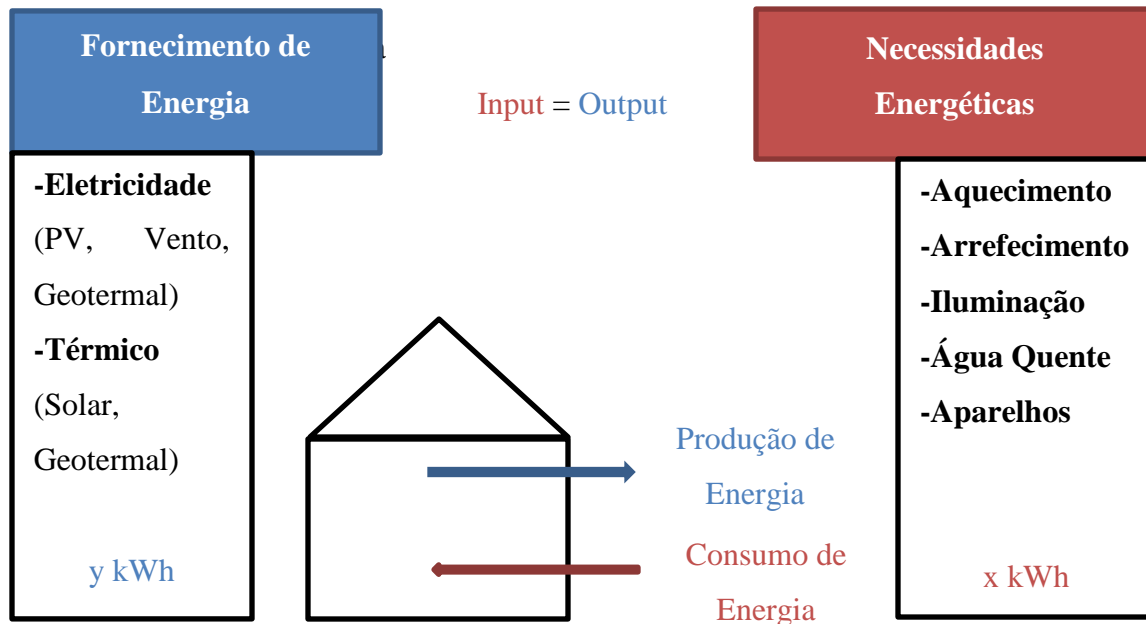


Figura 2 - Edifícios NZEB.

### 2.3.2. Enquadramento legal

Com o RCCTE (DL 80/2006) passou a ser obrigatório a colocação de coletores solares térmicos nas coberturas. No entanto, um edifício é por si só um coletor solar, cujas fachadas e coberturas são constantemente expostas ao sol ao longo do dia e do ano, constituindo elas próprias superfícies naturais de captação da radiação solar se estiverem projetadas e construídas para tal, possibilitando não só a captação, mas também o armazenamento dessa energia para mais tarde ser distribuída.

Portanto, a melhoria da eficiência energética nos edifícios é uma meta da União Europeia, impostas pelas publicações das diretivas de 19 de Maio de 2010 “2010/31/UE”, no qual e refere os desempenhos energéticos dos edifícios, e que veio reformular a diretiva 2002/91/CE (Mendes, Salgueiro, Cardoso, & Coelho, 2012).

Esta nova diretiva enuncia que todos os novos edifícios construídos na União Europeia, a partir de 31 de Dezembro de 2020, sejam NZEB.

Grande parte dos edifícios NZEB procedem ao armazenamento de energia na rede elétrica, mas, porém, também existe edifícios autossustentáveis e independentes da rede. A energia obtida através das tecnologias não fósseis existentes nos locais, como a solar e eólica, reduz o uso global de energia com tecnologias de climatização e iluminação de alta eficiência. Com o aumento dos combustíveis fósseis, e dado a diminuição do preço das tecnologias alternativas este conceito tem vindo a aumentar (Prélis Cerâmica, Lda, 2015). Do ponto de vista energético, a fase de implementação divide-se em dois:

- Na primeira fase torna-se de extrema relevância conhecer as necessidades energéticas de um edifício e verificar as possibilidades da sua redução. Sendo relevante a aquisição de componentes e iluminação eficientes. Deve-se ter uma noção estratégica dos sistemas passivos, e de aproveitamento de fatores naturais com a ventilação e a iluminação natural;
- Na segunda fase, colmatar as necessidades energéticas restantes com as tecnologias de produção de energias renováveis existentes no mercado.

Resumindo, um edifício NZEB deve ser eficiente, capaz de produzir a sua própria energia, de forma barata, renovável e não poluente, levando a alcançar benefícios relacionados com a economia familiar e nacional (Futursolutions, 2015).

Os edifícios NZEB para além de terem grandes vantagens com a sua implementação trazem consigo também algumas desvantagens, como podemos verificar na tabela seguinte:

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens de edifícios NZEB (Futursolutions, 2015).

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<p>Maior conforto térmico;</p> <p>Melhor qualidade de vida para os proprietários;</p>	<p>Custos iniciais de construção de elevados;</p> <p>Baixa produção de energia solar em países de latitudes mais próximas dos polos;</p>
<p>Abrandamento do risco de danos nos equipamentos devido a corte de rede;</p>	<p>Poucos arquitetos, <i>designers</i> e construtores possuem habilitações e conhecimentos para a construção do edifício;</p>
<p>Redução da fatura mensal.</p>	<p>Maior risco de recuperação do investimento inicial na revenda do edifício.</p>

### 2.3.3. Portugal 2020

Portugal 2020 trata-se de um acordo estabelecido em 2014, entre Portugal e a Comunidade Europeia, que adota a programação da Estratégia Europa 2020 e aplica uma política de desenvolvimento económico, social, ambiental e territorial incentivando o crescimento e a criação de emprego nos próximos anos em Portugal. Este acordo estabelece intervenções, investimentos e prioridades de financiamento que possibilitam a promoção de um crescimento inteligente, sustentável para o cumprimento das metas da Europa 2020. Esta parceria foi adotada, reunindo a atuação dos 5 Fundos Europeus Estruturais e de Investimento - FEDER, Fundo de Coesão, FSE, FEADER e FEAMP (Portugal 2020, 2015).

Até 2020 a UE tem nos domínios do emprego, investigação e desenvolvimento, alterações climáticas/energia, educação e inclusão social e redução da pobreza, objetivos bem traçados e com a esperança de os atingir.

No Sistema de Incentivos à Promoção da Eficiência Energética e da Utilização das Energias Renováveis nas Empresas, os apoios têm como objetivo específico a implementação de ações que visem aumentar a eficiência energética e a utilização de energias renováveis para autoconsumo nas empresas, contribuindo assim para a promoção da eficiência energética das empresas e para o aumento da competitividade da economia através da redução da fatura energética (Portugal 2020, 2015). Neste sistema há diversas tecnologias a aplicar, sendo elas:

- Intervenção nos processos produtivos das empresas que se encontrem previstas na auditoria ou estudo de eficiência energética e que demonstrem os respetivos ganhos financeiros líquidos;
- Intervenção ao nível da promoção de energias renováveis nas empresas para autoconsumo, desde que façam parte de soluções integradas que visem a eficiência energética;
- Auditorias;
- Diagnósticos e outros estudos e trabalhos necessários à realização do investimento, desde que não sejam obrigatórios por lei;
- Uma avaliação «ex-post» independente, que permita a avaliação e o acompanhamento do desempenho e da eficiência energética do investimento.

Os principais beneficiários serão as instituições particulares de solidariedade social, as empresas de qualquer dimensão e setor de atividade, as Empresas de Serviços Energéticos (ESE), enquanto veículos promotores da eficiência energética em todos os setores, desde que não realizem a auditoria subjacente ao procedimento para a celebração do contrato de gestão de eficiência energética e as entidades gestoras de instrumentos financeiros para a promoção de eficiência energética nas empresas, tendo como destinatários finais das operações todos os referidos (Portugal 2020, 2015).

#### 2.4. Redes Inteligentes

As redes convencionais de energia foram concebidas inicialmente para transportar e distribuir energia, mas estas atualmente apresentam dificuldades na capacidade de resposta causados pelo aumento da procura de eletricidade, por equipamentos cada vez mais potentes e modernos e pela crescente implementação de veículos elétricos.

Para se minimizar este problema criaram-se as redes inteligentes, “*Smart Grids*”. O conceito de *Smart Grid* – ou Redes Elétricas Inteligentes (REI) – traz uma mudança de

paradigma para o setor de energia elétrica. Este tipo de redes tem como objetivo otimizar a produção, distribuição e consumo de energia, viabilizando a entrada de novos fornecedores e consumidores na rede, com melhorias significativas no monitoramento, gestão, automação e qualidade da energia oferecida, por meio de uma rede elétrica caracterizada pelo uso intensivo das tecnologias de informação e comunicação (TIC) (Rivera, Teixeira, & Esposito, 2013).



Figura 3 - Esquema de uma rede inteligente (Rivera, Teixeira, & Esposito, 2013).

Para que a rede inteligente possa funcionar, tem que se substituir os contadores tradicionais pelos inteligentes, para que desta forma possam facilitar a comunicação bidirecional entre o consumidor e a empresa que presta os serviços. As subestações digitais passam a ser geridas através de um sistema de controlo de informação remoto e centralizado (EDP, 2016).

A rede inteligente permite uma gestão mais eficiente do sistema, respondendo a uma ampla gama de condições e eventos, que podem ocorrer em qualquer parte da rede, seja ao nível da produção, do transporte, da distribuição, ou do consumo. Permite que o sistema seja limpo, seguro, sustentável, confiável, flexível e eficiente funcionando de maneira a integrar as fontes de energia com o consumidor.

Na tabela seguinte é apresentada a comparação entre as redes convencionais e as redes inteligentes.

Tabela 2 - Comparação entre as Redes (Torres, 2014).

<b>Redes Convencionais</b>	<b>Redes Inteligentes</b>
Comunicação unidirecional	Comunicação bidirecional
Produção centralizada	Produção distribuída
Poucos sensores	Inúmeros Sensores
Controlo hierárquico	Controlo Distribuído
Monitorização manual	Auto monitorização
Reparação manual	Autorreparação
Falhas e apagões	Adaptável, e com operação em modo isolado
Controlo limitado	Controlo generalizado
Pouca escolha para o consumidor	Diversas opções para o consumidor
Eletromecânica	Eletromecânica e Digital

#### 2.4.1. O caso da *InovGrid*

As *Smart Grids* estão em constante expansão e tornando-se um dos pilares para a transformação de serviços públicos. Hoje em dia, o mundo enfrenta desafios complexos no setor de energia e as empresas de serviços públicos têm um papel central em trazer soluções inovadoras não apenas para moldar seus negócios, mas também para promover o desenvolvimento de um ecossistema adequado onde novas ideias possam ser desenvolvidas . A EDP Distribuição traduziu a sua Visão futurística no projeto *InovGrid*, que já está a funcionar como piloto de grande escala na cidade de Évora, em Portugal. O projeto *InovGrid* engloba várias áreas inter-relacionadas e atua como uma plataforma aberta que estabelece um terreno comum. Veículos elétricos (VE), microgerações, consumidores, produtores, gestão da procura, iluminação pública, armazenamento, fontes de energia renovável são todas as peças de um grande quebra-cabeça construído em cima do *InovGrid*. Com este projeto já em funcionamento, estão a ser recolhidos dados e efetuadas análises tendo-se chegado já a algumas conclusões sólidas a vários níveis:

- Aumento da eficiência energética, com reduções significativas do consumo;
- Operações técnicas e comerciais com tempos de resposta muito mais rápidos e melhoria direta da qualidade do serviço;
- Redução de perdas técnicas e comerciais, com resultados encorajadores baseados num conhecimento mais detalhado sobre os clientes e os comportamentos da rede;
- Integração mais fácil de RES e outras tecnologias emergentes (por exemplo, VE);
- E por último, mas não menos importante, uma profunda transformação organizacional que culminará com um novo paradigma de estrutura de gestão da rede e da empresa (EDP Distribuição, 2014).

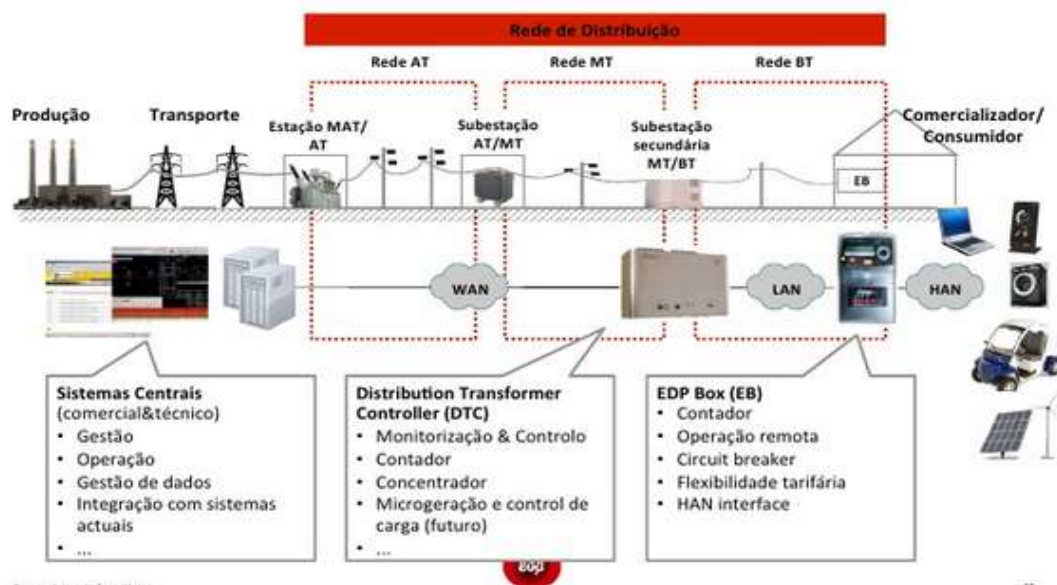


Figura 4 - Projeto *InovGrid* (EDP Distribuição, 2014).

## 2.5. Domótica

### 2.5.1. Conceito

Podem parecer situações futuristas, no entanto, cenários como ligar o aquecimento de casa remotamente quando se inicia o regresso a casa, ligar o sistema de segurança de casa por telemóvel e receber mensagens sobre intrusões, dominar todo o sistema audiovisual e de som ambiente a partir de um único local seja na mão ou num *touchscreen* de parede ou até mesmo adaptar cargas domésticas ao seu horário preferível a partir do telemóvel, são todas opções possíveis com a domótica.

Sendo assim, a domótica é uma tecnologia que pode ser definida como a utilização de um conjunto de tecnologias e sistemas, que funcionam de forma integrada, permitindo o controlo e gestão automática dos diferentes recursos habitacionais, ou seja, é uma integração de tecnologia e serviços para uma melhor qualidade de vida.

A palavra domótica surge da contração do Latim "domus" (casa) com "robótica", "eletrónica" e "informática". (Alves & Mota, 2003)

Este conceito surge da necessidade de encontrar soluções que deem resposta à necessidade do Homem querer minimizar o esforço nas atividades diárias, assim, ao equipar a casa com valências modernas e eficazes, além de aumentar o nível de conforto e de vida ao utilizador, aumenta a comunicação e segurança.

O melhoramento de vida é atingido associando a tecnologia, que tem de ser de fácil utilização para o utilizador comum, sendo que a domótica vai de encontro a este e a outros objetivos, tais como a modernização da casa e a economização energética.



Figura 5 - Domótica residencial.

### 2.5.2. Áreas de atuação

A domótica divide-se em diversas áreas:

- Gestão de Energia: controlo e racionalização energética, telemanutenção e telegestão;
- Conforto: automação de funções domésticas de rotina, tais como controlo de climatização, iluminação e áudio-vídeo;
- Segurança: deteção automática de alarmes contra intrusão, incêndios, inundação e fuga de gás;
- Comunicação: suporte ao acesso remoto do sistema, para monitorizar o seu estado, rececionar alarmes e controlar o seu funcionamento.

A domótica utiliza e associa as vantagens dos meios eletrónicos e informáticos, de forma a obter uma utilização e uma gestão integrada dos diversos equipamentos de um edifício, quer seja residencial ou comercial.

Amplamente, a domótica integra vários sistemas como iluminação, AVAC, áudio, segurança, detecção de fugas de gás e incêndios, rega, internet, controlo de portas e cortinas, eletrodomésticos, entre outros.

Além da melhoria no conforto e na comodidade, um dos principais benefícios da domótica será a redução dos custos energéticos, no entanto, o investimento é elevado (com um preço base de 3000€ por 100m<sup>2</sup>) (Leitão, 2012).

### 2.5.3. Funcionamento

Ao manusear o sistema, pode haver um sistema mais automático ou mais passivo de acordo com as próprias necessidades.

Segundo Leitão (2012), no funcionamento passivo, um elemento reage só quando lhe é transmitida uma ordem, dada diretamente pelo utilizador, utilizando por isso os recursos disponíveis: botão de pressão, painéis táteis, telecomandos.

No funcionamento automático, mais avançado e com mais inteligência, o sistema não só interpreta parâmetros, como reage às circunstâncias (informação que é transmitida por sensores). Por exemplo, detetar que uma janela está aberta e avisar o utilizador, ou que a temperatura está a diminuir e ligar o aquecimento (Leitão, 2012).

## 2.6. Soluções comerciais existentes

### 2.6.1. SMA Home Manager

A SMA (*System, Mess und Anlagentechnik* - Tecnologia de Sistemas, Medições e Instalações) é uma empresa que encabeça a lista de fabricantes de inversores fotovoltaicos da indústria de energia solar. A empresa, fundada em 1981, está sediada na Alemanha e não só promove o desenvolvimento das energias renováveis com os seus produtos, mas também otimiza a eficiência energética da empresa e a produção. Com o *Sunny Home Manager* é permitido a análise do consumo de todos os equipamentos individuais, a integração de

previsões de clima, a indicação de gestão para controlar o consumo, pode controlar o consumo de forma automática e inteligente e tem acesso livre ao *Sunny Portal* com todas as funções básicas (SMA Solar Technology, 2016).

O *Sunny Home Manager* apresenta sistemas para otimização do autoconsumo, tais como um sistema para alterar o perfil de carga, um sistema para armazenamento intermédio de energia fotovoltaica e um sistema que junta estes dois. O *Home Manager* introduz também inversores, contadores de energia e material para a conexão destes, com o objetivo de otimizar o autoconsumo.

As ofertas que este sistema pode proporcionar incidem numa visualização clara das correntes de energia, chaves na residência, como também em diagramas de balanço energético que mostram a geração de energia fotovoltaica e o carregamento ou descarregamento da bateria, bem como uma mistura de energia usada (eletricidade da energia fotovoltaica, baterias) nas várias aplicações individuais, como também um histórico do consumo em gráficos ou um sistema básico de monitorização fotovoltaica para confirmar se o sistema funciona corretamente (*Sunny home manager*, 2016).

#### 2.6.2. EDP Re:dy

O EDP *Re:dy* é um sistema que nos possibilita conectar e controlar uma casa numa única aplicação, onde e quando quiser, sendo este um sistema simples, de fácil utilização e personalizável.

É um sistema de monitorização que permite saber os consumos de energia de uma habitação e de equipamentos, num determinado período, em função da tarifa de energia contratualizada, permitindo identificar aqueles que mais contribuem para a fatura energética. Permite também monitorizar os consumos associados ao carro elétrico ou à produção de energia solar para ter conhecimento do que se produz, e dessa produção o que se aproveitou e o retorno que está a dar.

Além disso, é um sistema que permite controlar remotamente equipamentos, tal como, ar condicionado, bombas de calor ou caldeiras, ou até mesmo desligar os *standby's* e desprogramar a rega através do *smartphone* (EDP, 2016).

Todas as funcionalidades estão disponíveis numa aplicação para *smartphone* ou via web, tendo uma *smart box* para integrar os equipamentos de casa usando protocolos de comunicação (ZigBee, um meio de transmissão sem fios, e PLC's) e periféricos que são as pontes que ligam os equipamentos à *re:dy box*.

### 3. Casos de estudo – Perfis de Cargas

A energia elétrica não é um produto simples, mensurável através dum único parâmetro. As características do consumo impõem a modulação da energia consumida no tempo através de uma função – o diagrama de cargas – que traduz a variação da potência ao longo do tempo.

Os dados adquiridos representam um conjunto discreto de valores podendo ser necessário fazer estimativas em pontos intermédios que estão entre os valores discretos. O método mais simples é marcar os pontos dos dados e então esboçar uma curva mais próxima desses mesmos dados.

De seguida são apresentados alguns diagramas de cargas de alguns equipamentos mais comuns no sector residencial, valores estes que foram monitorizados com recurso ao uso de um analisador de redes (figura 6), em amostras de minuto a minuto, estando registadas as potências elétricas médias. É de realçar, que a partir da curva característica obtida pelo analisador, independentemente da classe energética, será possível dizer a que equipamento corresponde.



Figura 6 - Analisador de Redes OWL+USB. (OWL, 2016)

Após a monitorização de vários equipamentos, constatou-se que para um determinado tipo, os perfis apresentam o mesmo padrão de funcionamento, independentemente do fabricante e eficiência energética do mesmo. Dos equipamentos monitorizados, expõem-se a

seguir quatro desses casos, sendo eles, a máquina de lavar roupa, a máquina de lavar loiça, o frigorífico e a bomba de calor. A máquina de lavar roupa e a máquina de lavar loiça, porque têm uma programação horária controlável, e por isso passível de ser alterada, enquanto que os outros dois não. No caso do frigorífico e da bomba de calor, o primeiro porque encontra-se presente em praticamente todas as habitações e o outro, quando existente, possui um peso considerável na fatura energética, daí a sua importância para o caso em estudo.

### 3.1. Máquina de Lavar Roupa

As máquinas de lavar roupa (MLR), possuem uma taxa de penetração no setor residencial de cerca de 90%, representando cerca de 5% do consumo total de energia numa habitação. Neste tipo de equipamento, além do consumo de água, há consumo de eletricidade para o acionamento do motor de rotação e para a produção de energia térmica através de uma resistência elétrica para aquecimento da água. Como se pode ver pela figura 7, este aquecimento é responsável por cerca de 80 a 90% do consumo total de energia num ciclo de trabalho deste equipamento (Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial, 2004).

Assim, a figura seguinte mostra o ciclo de funcionamento típico de uma máquina de lavar roupa a 40 °C classe A++, onde se pode identificar o nível mais elevado correspondente ao aquecimento inicial da água e os outros níveis onde é possível verificar uma oscilação da curva relativos ao movimento de rotação do tambor.

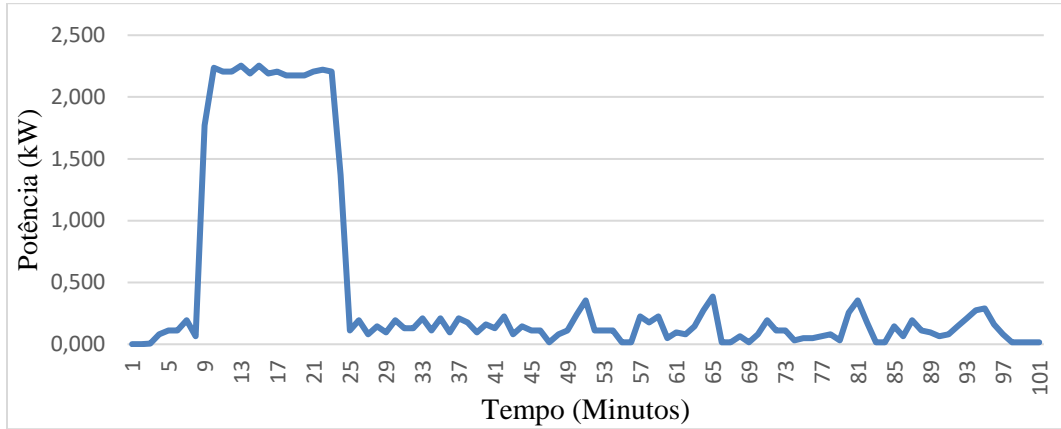


Figura 7 - Perfil de uma máquina de lavar roupa a 40°C classe A++.

A próxima figura corresponde igualmente ao perfil de uma máquina de lavar roupa a 40°C, mas com uma classe energética diferente, classe A. A principal diferença consiste numa maior variação de potência durante o movimento de rotação do tambor, pois durante o aquecimento inicial da água os níveis são semelhantes, ou seja, neste equipamento o consumo energético é superior, como aliás como seria de esperar.

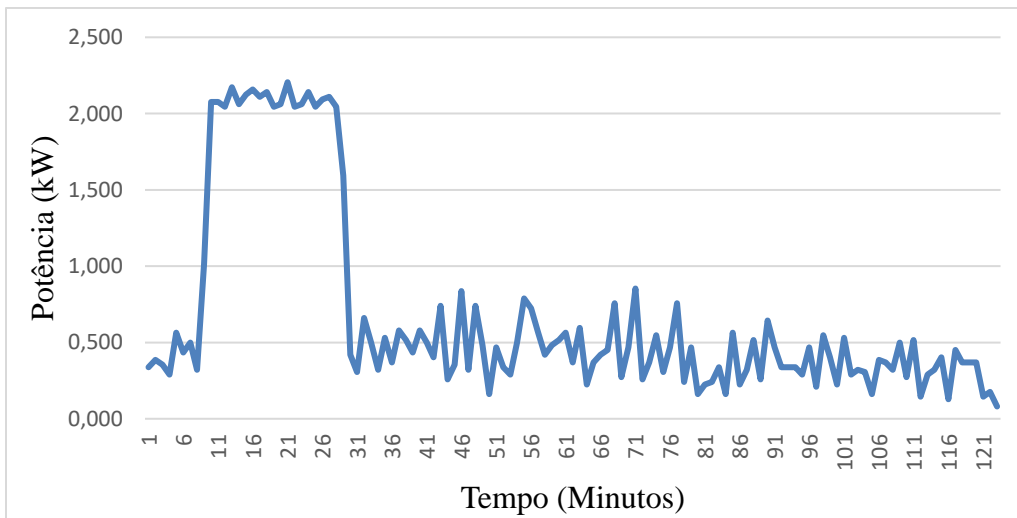


Figura 8 – Perfil de uma máquina lavar roupa a 40°C, classe A.

O caso seguinte trata-se da curva característica da mesma máquina de classe A, mas com o funcionamento a frio, alterando-se bastante em relação às anteriores, sendo possível observar quatro picos de potência correspondentes a alterações de velocidade de rotação do rotor.

Sempre que possível, deve-se optar por estes programas pois a diferença entre lavar a frio (30°C) e lavar a 40°C implica um aumento entre 10 a 30% de energia sendo a diferença entre lavar a frio (30°C) e lavar a 60°C, implica um aumento do consumo de energia entre 200% e 400% (Ecosave, 2016).

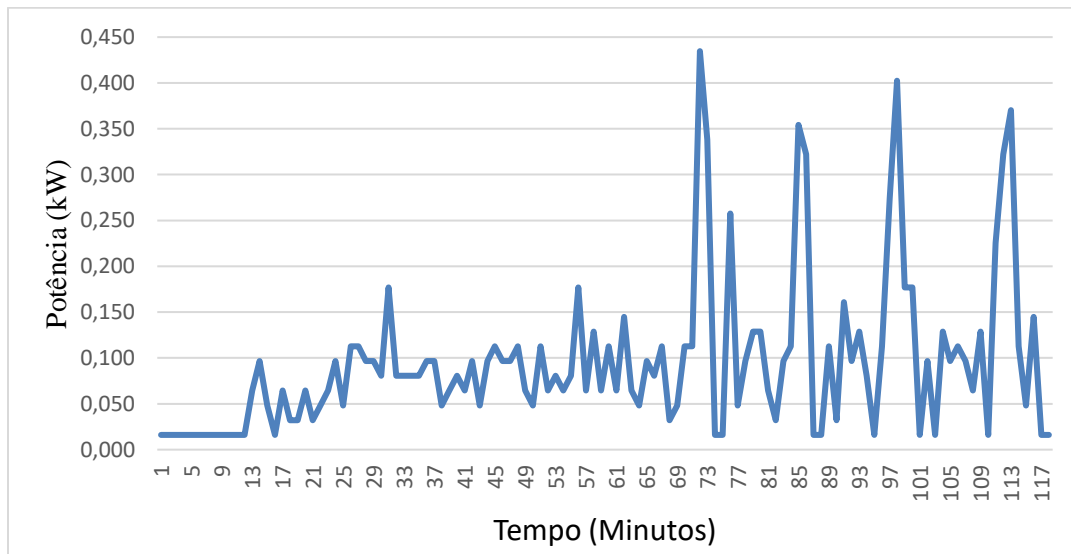


Figura 9 – Perfil de uma máquina lavar roupa a frio, classe A.

### 3.2. Máquina de Lavar Loiça

Na última década a taxa de penetração das máquinas de lavar loiça (MLL) tem tido um crescimento acelerado, estando atualmente presente em cerca de 30% dos agregados familiares. Este equipamento também consome água e eletricidade, sendo esta essencialmente para permitir o aquecimento da água e para a seca da loiça (Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial, 2004).

Na figura 10, representa-se um ciclo típico de uma máquina de lavar loiça a 65°C, onde se pode distinguir duas zonas de funcionamento. O primeiro destes níveis diz respeito ao aquecimento da água e o segundo corresponde à fase final de secagem da loiça.

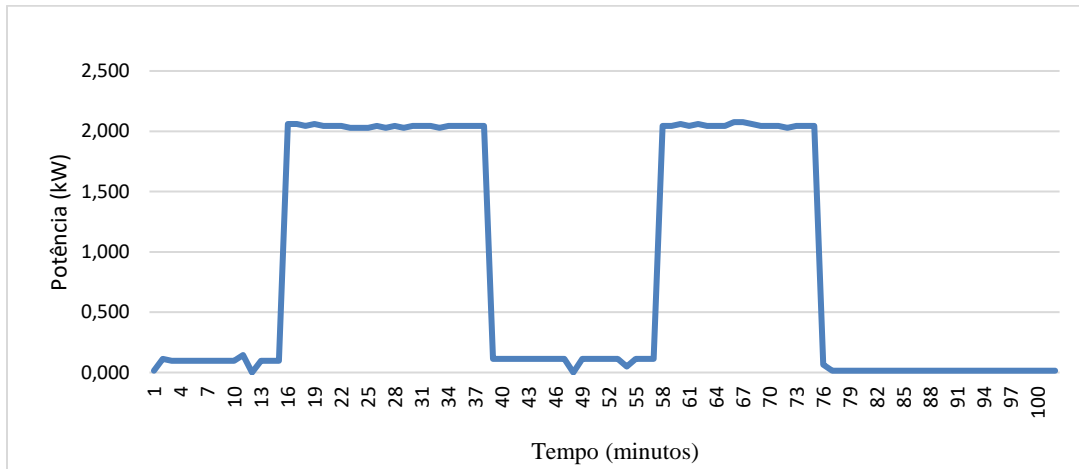


Figura 10 - Perfil Máquina de Lavar Loiça 65°C.

Na figura seguinte é apresentado o perfil de uma máquina de lavar a loiça a 75°C. Neste caso, é fácil de reparar na diferença relativamente ao caso anterior: mais um nível de funcionamento à potência nominal que corresponde ao pré-aquecimento da água.

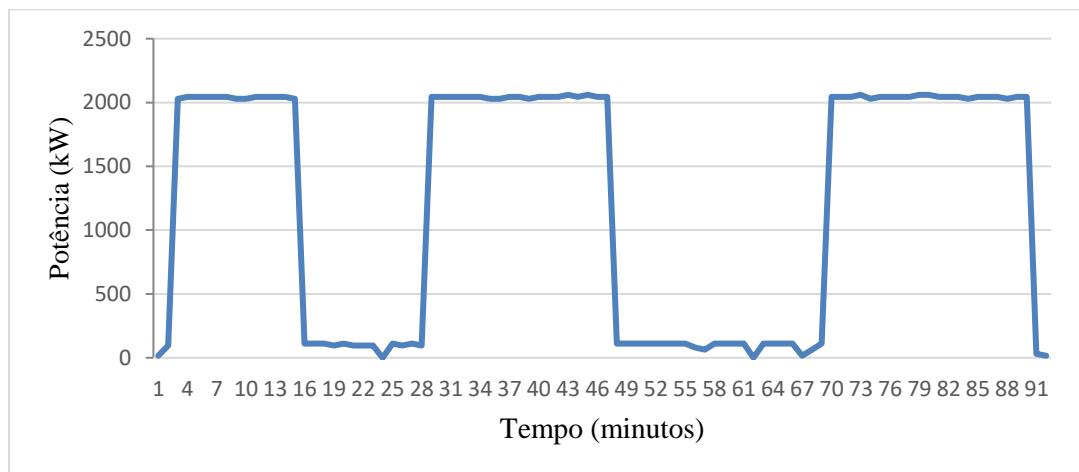


Figura 11 - Perfil Máquina Lavar Loiça a 75°C.

### 3.3. Frigorífico

O funcionamento dos equipamentos de frio, como é exemplo o frigorífico (Frig), é cíclico, em que parte do ciclo corresponde ao funcionamento do compressor à potência nominal e a outra parte ao período em que está parado. A figura 12 mostra um ciclo de trabalho de um frigorífico. Numa situação normal, o ciclo apresentado repete-se cerca 4 a 5 vezes por dia (figura 13), dependendo essencialmente da regulação da temperatura, da capacidade de isolamento e da eficiência do compressor.

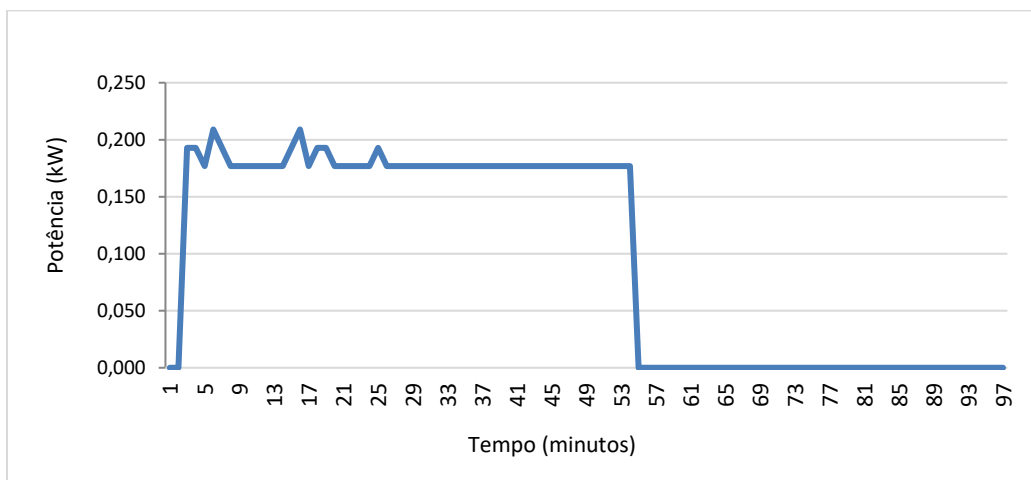


Figura 12 – Perfil de um ciclo de um Frigorífico.

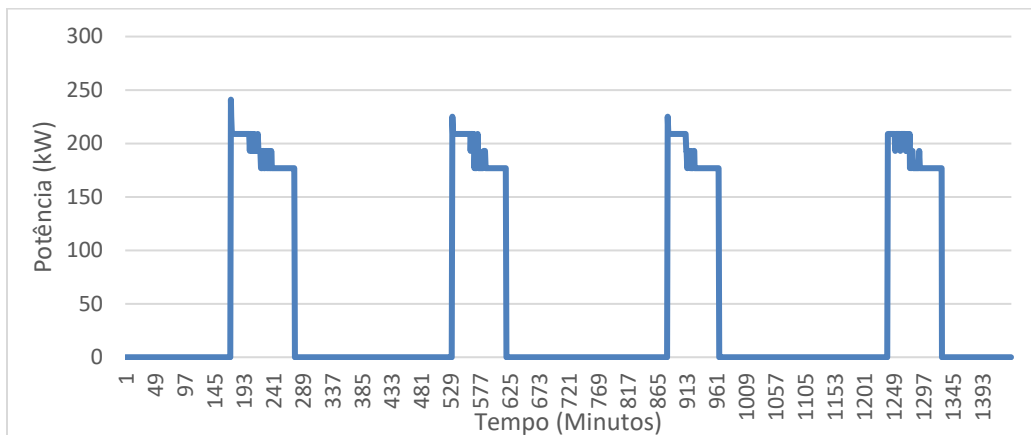


Figura 13 – Ciclo diário de um frigorífico.

### 3.4. Bombas de Calor

As bombas de calor (BC) têm aumentado consideravelmente em Portugal assim como no resto do mundo em geral. Tal deve-se ao aumento do poder de compra das populações e na procura por melhores condições de conforto. Desta forma, estes equipamentos são responsáveis por uma parte significativa dos consumos de energia elétrica numa habitação e consequentemente pelo aumento da fatura energética, tendo levado a União Europeia a definir critérios e valores mínimos de eficiência para estes equipamentos (ICF *International*, 2015).

A figura 14 representa um ciclo de uma bomba de calor podendo este ciclo repetir-se entre várias vezes ao dia (figura 15), embora o seu funcionamento esteja dependente de várias variáveis, como por exemplo, temperatura e pressão.

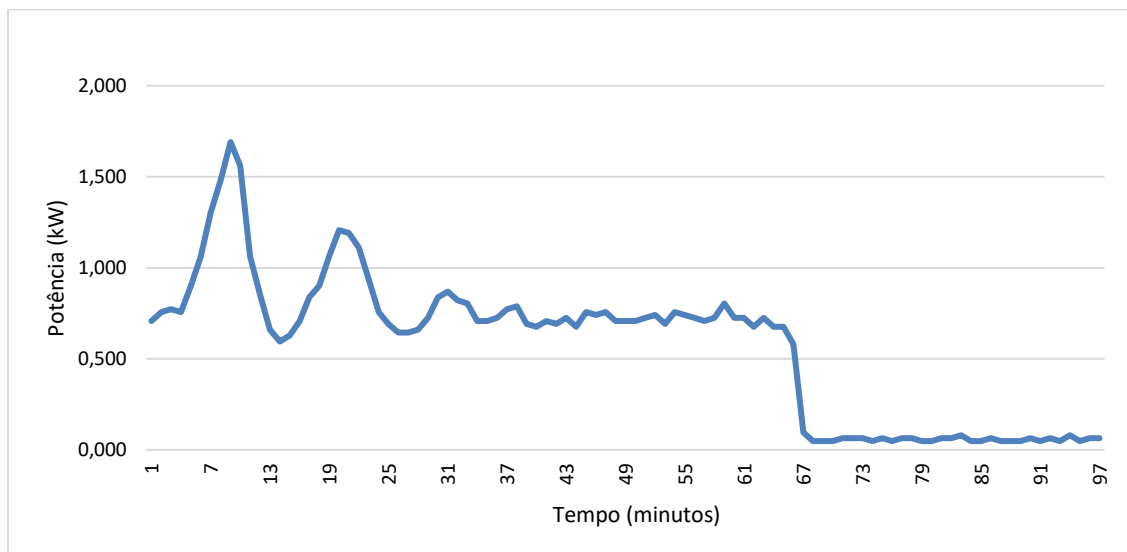


Figura 14 – Perfil de um ciclo de uma Bomba de calor.

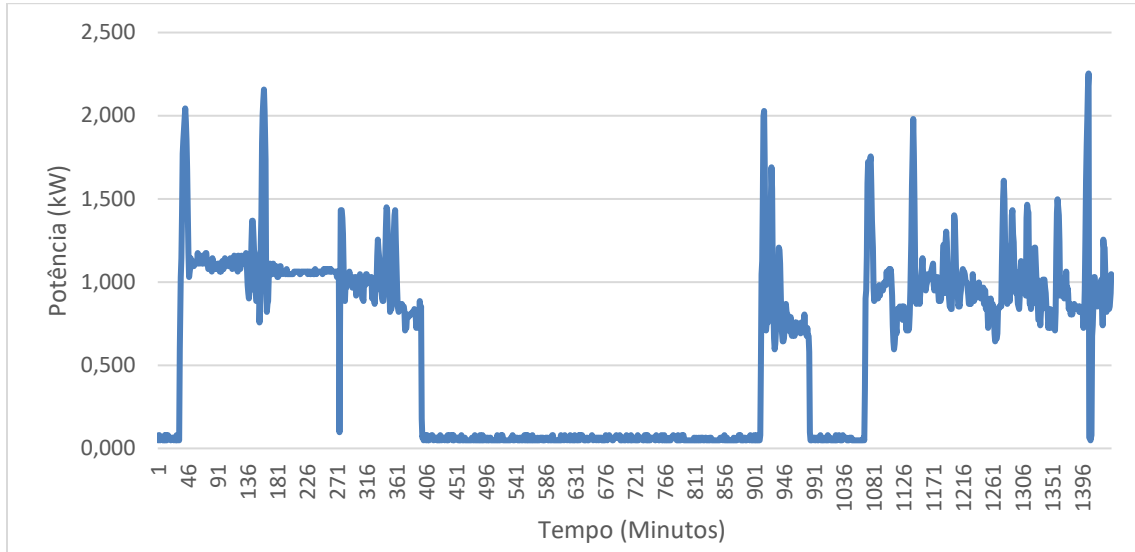


Figura 15 – Ciclo diário de uma bomba de calor.

## 4. Modelação Matemática – *Curve fitting*

Partindo dos dados obtidos tentou-se aplicar modelos matemáticos já existentes para aproximar os dados numéricos obtidos pelo analisador de redes. Para testar a adequação do modelo fez-se a comparação entre os valores previstos pelo modelo e os valores observados, recorrendo-se à ferramenta de simulação Matlab. Com esta ferramenta foi possível identificar funções que se aproximem dos dados reais.

Neste projeto considerou-se várias aproximações dos valores medidos a funções conhecidas, no intuito de identificar aquela que mais eficientemente representa os sinais pretendidos. A eficiência de cada método refere-se aos valores obtidos pela aproximação num determinado intervalo que correspondem ao menor erro para um determinado número de operações aritméticas. Este elemento é essencial quando se pretende implementar funções baseadas em senos, cossenos ou exponenciais em computadores e microprocessadores, como é neste caso o Arduíno.

As técnicas de ajuste de curvas (*curve fitting*) são uma das principais áreas dos métodos computacionais em que os dados de entrada são valores discretos de um conjunto finito e que traduzem um sistema físico real, que neste caso representa a potência elétrica média dos equipamentos, minuto a minuto.

Uma das técnicas mais recorrentes da aproximação de funções é a da interpolação, apesar destes métodos estarem relacionados com outros métodos computacionais, como as regressões e a análise de Fourier. Destas técnicas, algumas foram testadas no caso em estudo e os resultados, que passam pela modelação da função contínua, são apresentados a seguir (Chapra & Canale, 2008) (Oliveira, 2000).

### 4.1. Métodos de ajuste de curvas - *Curve Fitting*

O *Curve Fitting* ou simplesmente ajuste de curva, é um processo em que se elabora uma curva ou função matemática ou equação, que tem o melhor ajuste para uma série de dados de pontos. Do ajuste de curva pode-se usar interpolação, quando for necessário um ajuste exato de dados, ou "*smoothing*" na qual uma função "suave" é construída e que aproximadamente

se ajusta aos dados. Um tópico relacionado é a análise de regressão, que se concentra mais em questões de inferência estatística, tais como quanto a incerteza que está presente numa curva que está apta a dados observados com erros aleatórios. As curvas ajustadas podem ser usadas como um auxílio para visualização de dados, inferir valores de uma função onde não existem dados disponíveis, e para resumir as relações entre duas ou mais variáveis. A extrapolação refere-se ao uso de uma curva ajustada para além da gama dos dados observados, e está sujeita a um certo grau de incerteza, uma vez que pode refletir o método usado para construir a curva, tanto quanto ele reflete os dados observados (Mathworks, 2016).

No Matlab pode ser usado uma ferramenta chamada "Toolbox Curve Fitting" (figura 16) que fornece uma aplicação e funções para ajuste de curvas e superfícies de dados. A caixa de ferramentas permite executar análise exploratória de dados, os dados de pré-processo e pós-processo, comparação de modelos e remover valores atípicos. Pode-se realizar a análise de regressão usando a biblioteca de modelos lineares e não lineares fornecidos ou especificar as próprias equações personalizadas. Depois de criar um ajuste, pode-se aplicar uma variedade de métodos de pós-processo para plotagem, interpolação e extrapolação; estimar intervalos de confiança; e calcular integrais e derivados (Mathworks, 2016).

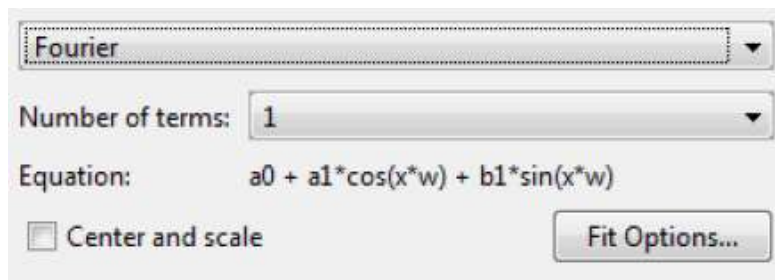


Figura 16 - Toolbox Curve Fitting. (Mathworks, 2016)

#### 4.1.1. Interpolação Polinomial

Partindo dos valores conhecidos e obtidos por medição, o objetivo da interpolação é estimar valores da função  $f(x)$  que não pertençam aos valores amostrados, mas que os utilizem para ajustar os parâmetros da função. Ou seja, o objetivo é o de aproximar esta função  $f(x)$

por outra  $y(x)$ , que utiliza os pontos de amostragem, e cujos resultados serão os mesmos valores da função teórica  $f(x)$  adicionados de um erro numérico associado  $E(x)$ .

$$f(x) = y(x) + E(x) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^m A_{ij}(x) f^{(i)}(a_j) + E(x) \quad [1]$$

O objetivo é encontrar funções  $y(x)$  que aproximem  $f(x)$ , minimizando o erro associado  $E(a_j)=0$ , onde  $a_j$  são os pontos amostrados ou valores conhecidos.

A interpolação consiste em determinar um polinómio de grau  $n$  único, para os  $n+1$  pontos tubulares distintos  $(x_i, f(x_i))$ , tal que  $y(x)=P_n(x)$  e que obedeça a  $P_n(x_i)=f(x_i)$  (Ralston & Rabinowitz, 2001) (Franco, 2006).

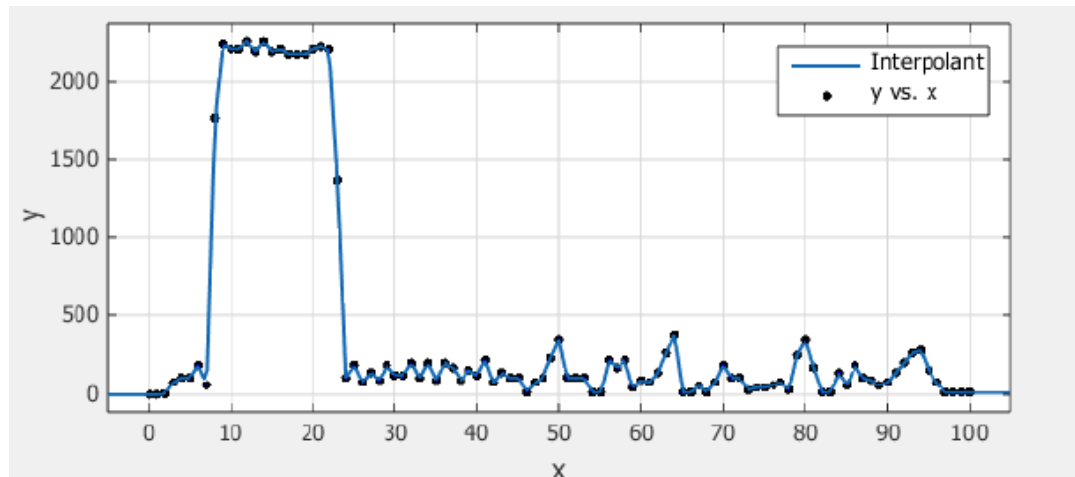


Figura 17 – Ajuste de curva por interpolação polinomial.

#### 4.1.2. Interpolação *Spline*

A técnica de interpolação *spline* consiste em definir uma curva continua passando por um conjunto de pontos fixos. Para calcular a curva são usados os pontos de amostragem podendo ser uma curva linear, quadrática ou cúbica. Neste caso, são utilizados polinómios de pequeno grau para união dos pontos consecutivos da amostragem.

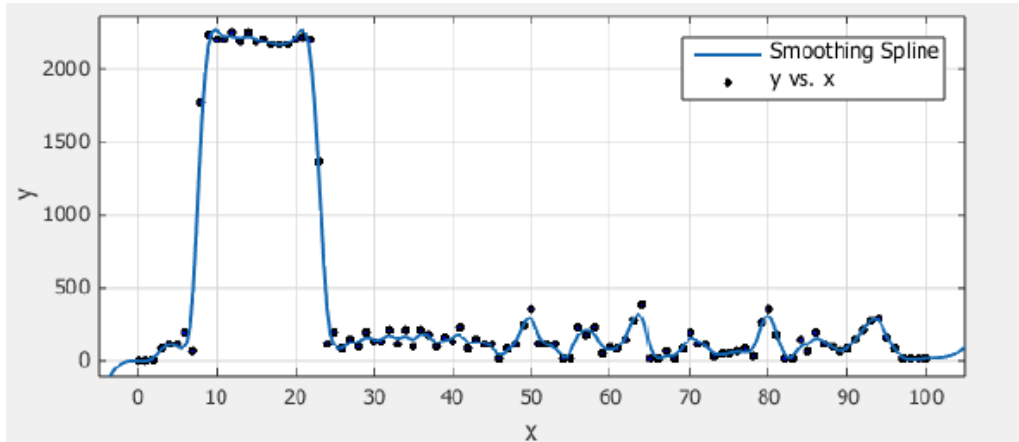


Figura 18 – Ajuste de curva por interpolação *spline*.

No caso dos *splines* cúbicos, o objetivo é determinar um polinómio de terceiro grau para cada intervalo entre os pontos da amostragem, ou seja, a aproximação de pontos consecutivos obedece à função[2] (Ralston & Rabinowitz, 2001) (Franco, 2006).

$$f_i(x) = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i \quad [2]$$

#### 4.1.3. Regressão Polinomial

Quando aos dados conhecidos estiver associado um erro considerável, a interpolação polinomial é inapropriada e pode produzir resultados insatisfatórios. Tal facto ocorre porque os valores obtidos na prática geralmente possuem variações significativas entre as amostragens. Assim, a estratégia mais adequada para aproximar um conjunto de valores consiste em determinar uma função de aproximação que ajuste os dados no seu todo, sem ser necessariamente valor a valor. Esta técnica de aproximação de funções é designada de regressão linear e geralmente são métodos de regressão ótimos para aproximações de valores a um modelo funcional.

A regressão polinomial tem como objetivo definir um polinómio de grau  $m$ , com  $m \leq n$  (considerando que existem  $n+1$  pontos de amostragem). Assim, é necessário adaptar o ajuste para uma função polinomial do tipo [3], onde  $\varepsilon$  é o resíduo ou erro de aproximação

entre o modelo e a amostra. Assim, o erro de aproximação deve ser minimizado para ajustar os parâmetros  $\alpha_i$  para que o modelo corresponda mais fielmente ao fenômeno observado.

$$f(x) = \alpha_0 + \alpha_1x + \alpha_2x^2 + \dots + \alpha_mx^m + \varepsilon \quad [3]$$

Para ajustarmos os parâmetros  $\alpha_i$  dessa função, é necessário resolver um sistema de  $m+1$  equações lineares (Ralston & Rabinowitz, 2001) (Franco, 2006).

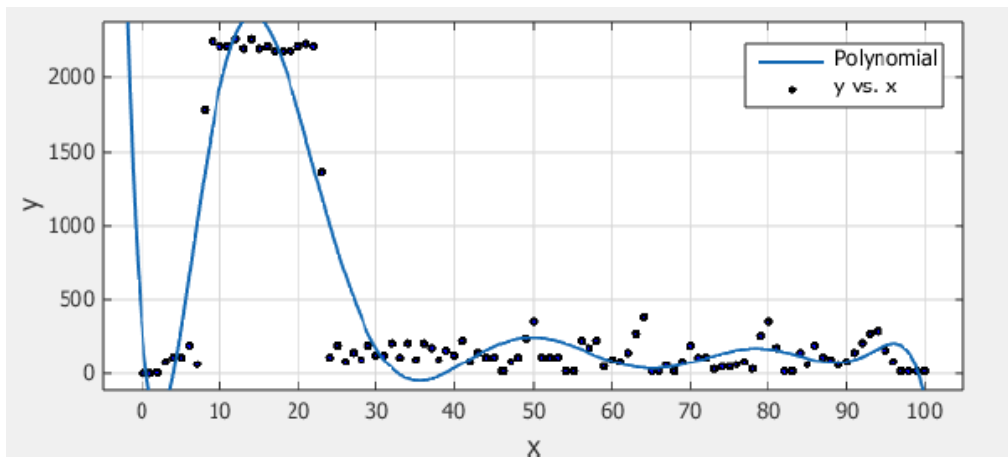


Figura 19 – Ajuste e curva por regressão polinomial.

#### 4.1.4. Regressão não-polinomial – Exponencial

Tal como na regressão polinomial, a regressão não-polinomial baseia-se na obtenção dos coeficientes que minimizam os erros das aproximações, sendo o cálculo feito utilizando o método iterativo de Gauss-Newton. Esse método consiste em expressar a função não-linear através de uma aproximação linear por expansão em série de Taylor [4] (Franco, 2006) (Ralston & Rabinowitz, 2001).

$$f(x) = \sum_{i=1}^m a_i e^{b_i x} \quad [4]$$

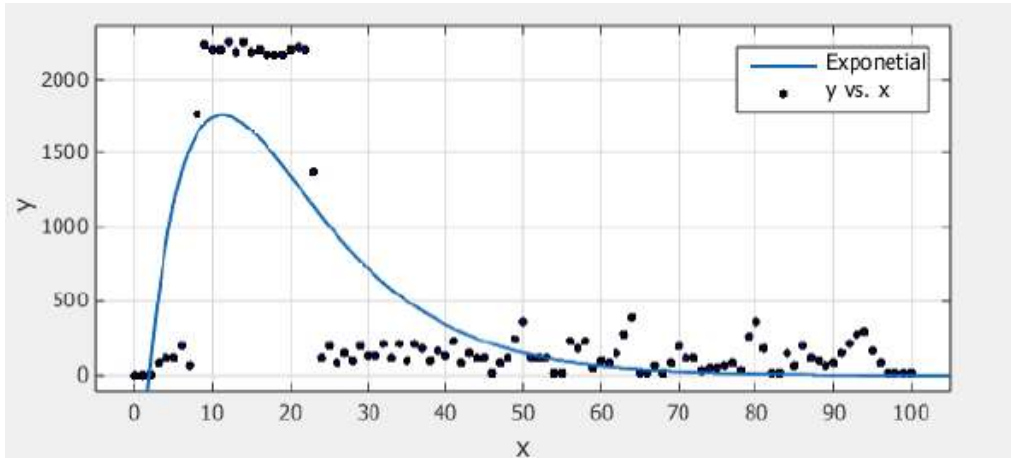


Figura 20 - Ajuste de curva por regressão não-polinomial: exponencial.

#### 4.1.5. Regressão não-polinomial – Soma de senos

Nos vários campos da ciência é frequente a utilização de funções trigonométricas, as quais desempenham um papel fundamental na modelação matemática.

Desta forma, a representação de funções como somas/séries de funções trigonométrica é uma importante ferramenta na resolução analítica de problemas não lineares, sendo a aproximação da Série de Fourier um esquema sistemático para usar séries trigonométricas, como se verá adiante.

Sendo uma soma de termos de senos e/ou cossenos, será obviamente sempre uma função periódica, ou seja, qualquer função  $f(x)$  é periódica, de período  $T$ , se possui o mesmo valor para diferentes valores de  $x$ , que diferem de  $T$ , ou seja:

$$f(x) = f(x + T) = f(x + 2T) = \dots = f(x - T) = \dots \quad [5]$$

Partindo do princípio que não pretendemos a aproximação da função fora do período de funcionamento do equipamento e que não é importante a representação da função fora desse intervalo, poderemos considerar a função periódica considerando o período  $T$  o tempo de funcionamento do equipamento que será representada pela função  $f(x)$ , como é

demonstrado na Fig. 21. Esta figura representa uma função periódica, em que possíveis ocorrências são apresentadas a tracejado (Gerald & Wheatley, 1999).

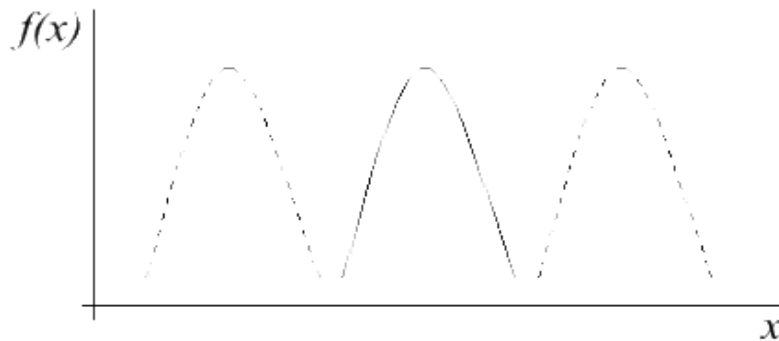


Figura 21- Representação de uma função não-periódica como periódica. (Gerald & Wheatley, 1999)

Podemos ver que o período da função pode começar em qualquer instante do eixo das abcissas. Assim, uma função periódica terá a seguinte forma trigonométrica [6]:

$$f(x) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(k\omega_0 x + \theta_k) \quad [6]$$

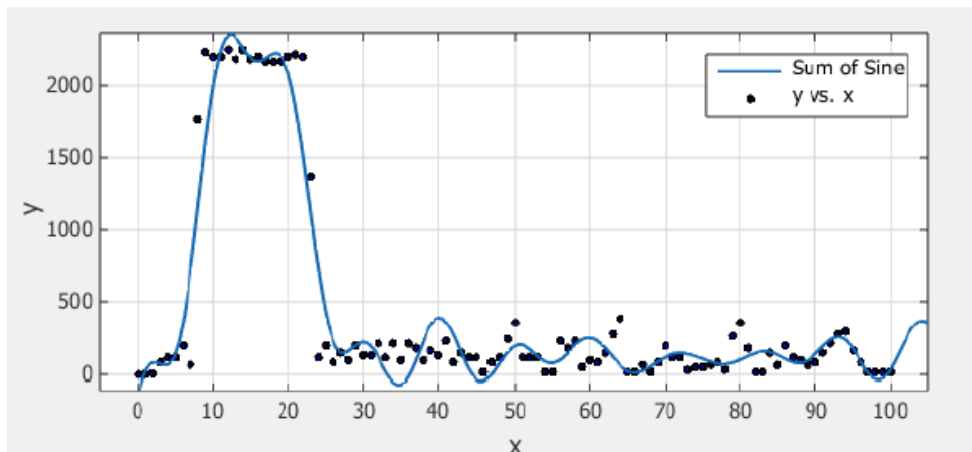


Figura 22 - Soma de senos.

#### 4.1.6. Série de Fourier

A Série de Fourier, deriva da função anterior e é também um método de representar os dados usando as funções trigonométricas de senos e cossenos, propostas inicialmente, em meados de 1800s, pelo matemático francês Jean-Baptiste Joseph Fourier, em que “qualquer função pode ser representada por um número infinito de somas de termos de senos e cossenos”. No entanto, a Série de Fourier proposta será finita sendo o número de termos aqueles que conduzem ao menor erro entre os valores determinados e os valores reais.

Desta forma, a Série de Fourier da função pode ser obtida simplificando [6] através da utilização da identidade trigonométrica em [7]:

$$\begin{aligned} C_k \sin(k\omega_0 x + \theta_k) &= \\ &= C_k [\sin(k\omega_0 x) \cos(\theta_k) + \cos(k\omega_0 x) \sin(\theta_k)] \end{aligned} \quad [7]$$

Onde temos a relação do coeficiente  $C_k$  com os coeficientes  $A_k$  [8] e  $B_k$  [9], mantendo-se o valor de  $A_0$ .

$$A_k = C_k \cos(\theta_k) \quad [8]$$

$$B_k = C_k \sin(\theta_k) \quad [9]$$

Ou ainda:

$$\theta_k = \tan^{-1} \left( \frac{B_k}{A_k} \right) \quad [10]$$

$$C_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \quad [11]$$

Ou seja, desta forma obtemos  $f(x)$ , aproximada por

$$f(x) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [A_k \cos(k\omega_0 x) + B_k \sin(k\omega_0 x)] \quad [12]$$

O próximo passo é determinar os coeficientes  $A_0$ ,  $A_k$  e  $B_k$  da Série de Fourier de [12], onde  $\omega_0 = 2\pi f = 2\pi/T$  é a denominada frequência fundamental.

Os coeficientes da representação da função na Série de Fourier são determinados pelos integrais definidos, num período  $T$ , do produto da função e por termos de senos e cossenos, podendo ser determinados por procedimentos numéricos. O número de termos da série, ou seja, valor máximo de  $k$ , será determinado pelo valor que corresponde ao menor erro (Gerald & Wheatley, 1999).

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_T f(x) dx \quad [13]$$

$$A_k = \frac{2}{T} \int_T f(x) \cos(k\omega_0 x) dx \quad [14]$$

$$B_k = \frac{2}{T} \int_T f(x) \sin(k\omega_0 x) dx \quad [15]$$

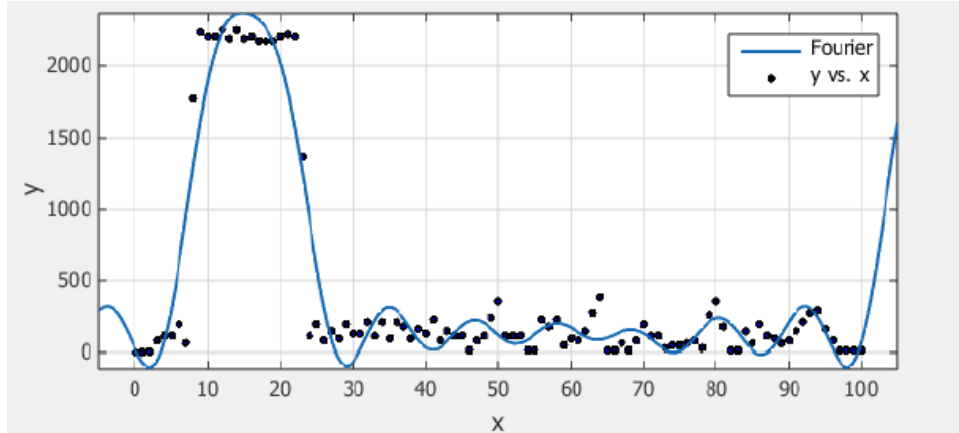


Figura 23 – Ajuste de curva por série de Fourier.

De todas técnicas apresentadas, a soma de senos e a Série de Fourier são as que apresentam melhores resultados. No entanto, os gráficos apresentados são para uma modelização de ordem oito, sendo esta uma limitação da ferramenta do Matlab utilizada. Para se poder aumentar a ordem da série foi implementado um algoritmo também em Matlab. Desta forma foi possível obter dados para uma ordem mais elevada e determinar a ordem de convergência da série. Todos estes dados poderão ser consultados nos anexos onde são apresentados todos os dados obtidos.

Assim, aumentando a ordem da série, ou seja, o número de termos do somatório da equação [12], iremos verificar que a série de Fourier apresenta melhores resultados e maior versatilidade para a representação das várias cargas.

## 5. Estimativa da Produção Fotovoltaica

Depois de identificados e caracterizados todos os equipamentos, pretende-se gerir as cargas tendo como base as curvas características da produção de energia fotovoltaica, bem conhecidas da literatura (Myers, 2013) (Badescu, 2008).

Assim, pretende-se demonstrar o cálculo que permitiu determinar a quantidade de radiação solar disponível na superfície de um painel solar, numa determinada latitude, a uma determinada hora e dia do ano, considerando o céu limpo. A partir dessa radiação podemos estimar a potência elétrica do respetivo painel fotovoltaico.

Assim, a estimativa da radiação incidente na superfície de um painel solar  $I_C$ , em  $W/m^2$ , é dada pela soma de três componentes, a radiação direta, a radiação difusa e a refletida.

$$I_C = I_{BC} + I_{DC} + I_{RC} \quad [16]$$

A radiação no topo da atmosfera  $I_0$  varia consoante a proximidade do planeta ao Sol e pode ser determinada por [17], em  $W/m^2$ , num plano perpendicular aos raios solares, em que  $n$  representa o dia do ano, variando de 1 (1 de janeiro) até 365 (31 de dezembro) e sendo a constante solar  $SC=1.377kW/m^2$ .

$$I_0 = SC \cdot \left[ 1 + 0.034 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \quad [17]$$

Apenas parte desta radiação atinge diretamente uma superfície perpendicular aos raios solares, podendo-se estimar que esse valor depende do percurso a percorrer pela radiação na atmosfera e é determinado por [18]. A variável  $A$  representa a transmissividade média da atmosfera, em  $W/m^2$ , e traduz o fluxo aparente da radiação [19];  $k$  é o coeficiente de extinção da radiação na atmosfera [20] e  $m$  é constante Massa de Ar traduzida por [21].

$$I_B = Ae^{-km} \quad [18]$$

$$A = 1160 + 75 \sin \left[ \frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad [19]$$

$$k = 0.174 + 0.035 \sin \left[ \frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad [20]$$

$$m = \frac{1}{\sin \beta} \quad [21]$$

O ângulo  $\beta$  representa a altura solar ao meio dia no local.

A partir da radiação direta perpendicular pode-se determinar a radiação no plano do coletor  $I_{BC}$ , em  $W/m^2$ , através de [22] utilizando a Fig. 24.

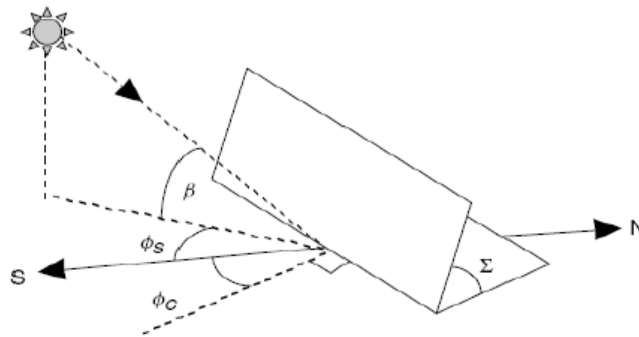


Figura 24 - Representação da radiação incidente no painel coletor.

$$I_{BC} = I_B \cos \theta \quad [22]$$

Em que  $\theta$  é o ângulo incidente, dado por [23]

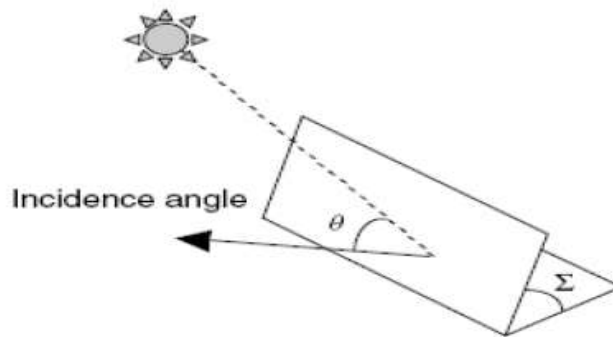


Figura 25 - Representação do ângulo incidente.

$$\cos\theta = \cos\beta\cos(\phi_S - \phi_C)\sin\Sigma + \sin\beta\cos\Sigma \quad [23]$$

Nesta equação, os ângulos  $\beta$  e  $\Sigma$  relacionam-se com a latitude do lugar e declinação solar, respetivamente. Os ângulos  $\phi_S$  e  $\phi_C$  representam dois ângulos de azimute, traduzindo-se a diferença ( $\phi_S - \phi_C$ ) no período de tempo e respetivos ângulos solares horários para os quais se pretende determinar a radiação.

Parte da radiação direta é alvo de reflexão dos agentes atmosféricos sendo também direcionada para a superfície coletora a que corresponde a radiação difusa. Pode-se determinar esta radiação a partir da radiação direta afetada por um fator de difusão  $C$  que caracteriza os tais agentes atmosféricos e pode ser expressa por [24], sendo então a radiação difusa determinada por [25], em que  $\Sigma$  representa a inclinação do painel coletor, e que neste caso é o painel fotovoltaico.

$$C = 0.095 + 0.04\sin\left[\frac{360}{365}(n - 100)\right] \quad [24]$$

$$I_{DC} = CI_B\left(\frac{1 + \cos\Sigma}{2}\right) \quad [25]$$

Por último, tem-se que considerar a quantidade de radiação que é refletida pelos elementos envolventes à nossa superfície coletora e que depende do índice de reflexão desses elementos, onde se inclui o chão, já que o nosso plano não se encontra na horizontal. Assim, a radiação refletida  $I_{RC}$ , em  $\text{W/m}^2$ , que atinge o plano coletor é determinada por [26] e depende do índice de reflexão, ou albedo, da superfície.

$$I_{RC} = \rho I_B(\sin\beta + C)\left(\frac{1 - \cos\Sigma}{2}\right) \quad [26]$$

Combinando [22], [25] e [26] obtemos uma estimativa para o valor da radiação média [16], sob condições reais, para um determinado local e num determinado instante ao longo do ano.

Na Fig. 26, pode-se verificar a radiação média horária para a cidade de Bragança (Portugal), à latitude de  $41.806^\circ$  N e longitude de  $6.757^\circ$  W, ao longo do dia e do ano. Pode

verificar-se que o valor máximo da radiação média foi de cerca de  $4510 \text{ W/m}^2$ , e verificou-se entre as 13 e 14 horas solares do dia  $n=169$ , ou seja, dia 18 de junho.

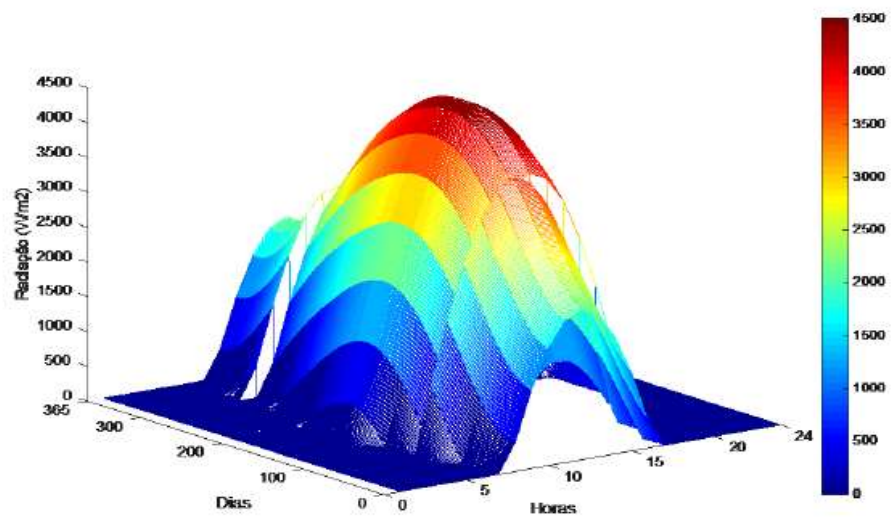


Figura 26 - Variação da radiação média horária na cidade de Bragança (Portugal).

## 6. Resultados

### 6.1. Série de Fourier

Como foi referido anteriormente, para que se tenha uma representação da Série de Fourier o mais fidedigna possível entre a curva de aproximação e o ajuste à curva resultante dos dados reais, foi necessário determinar a ordem da série, ou seja, determinar quantos coeficientes de  $A_k$  e  $B_k$ , serão necessários determinar (Kreider, Ostberg, Kuller, & Perkins, 1972).

Pelas Figs. 27 a 30, pode-se verificar que a aproximação da curva aos dados reais difere para diferentes ordens da Série de Fourier onde se verifica que para uma determinada ordem a curva afasta-se da curva real, tornando-se necessário determinar a ordem ótima – *kótimo*. Este *kótimo* foi determinado tendo em conta os erros relativos da curva característica inicial dos equipamentos e da curva obtida pela série de Fourier. Todos estes dados poderão ser consultados nos anexos.

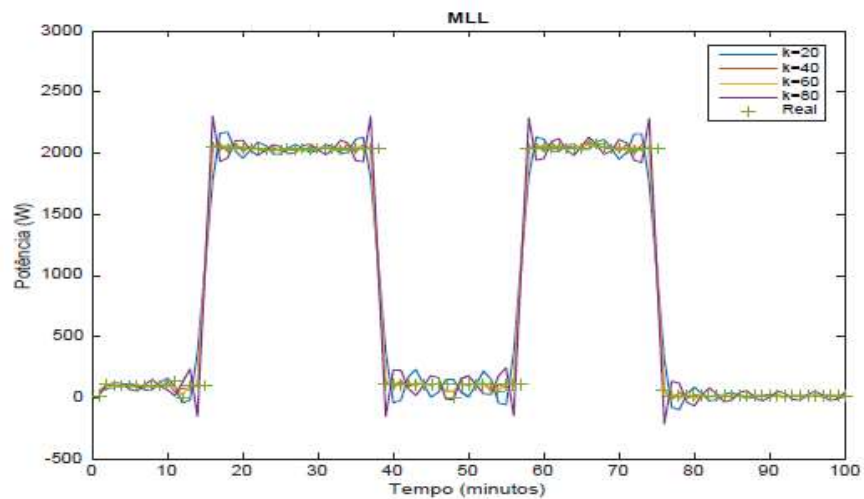


Figura 27 - Ajuste da curva da MLL para várias ordens da Série de Fourier.

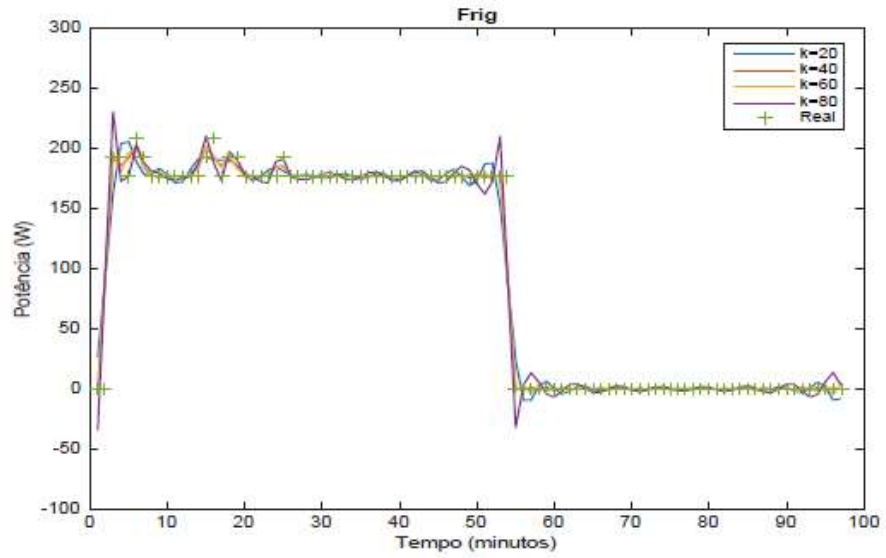


Figura 28- Ajuste da curva do Frig para várias ordens da Série de Fourier.

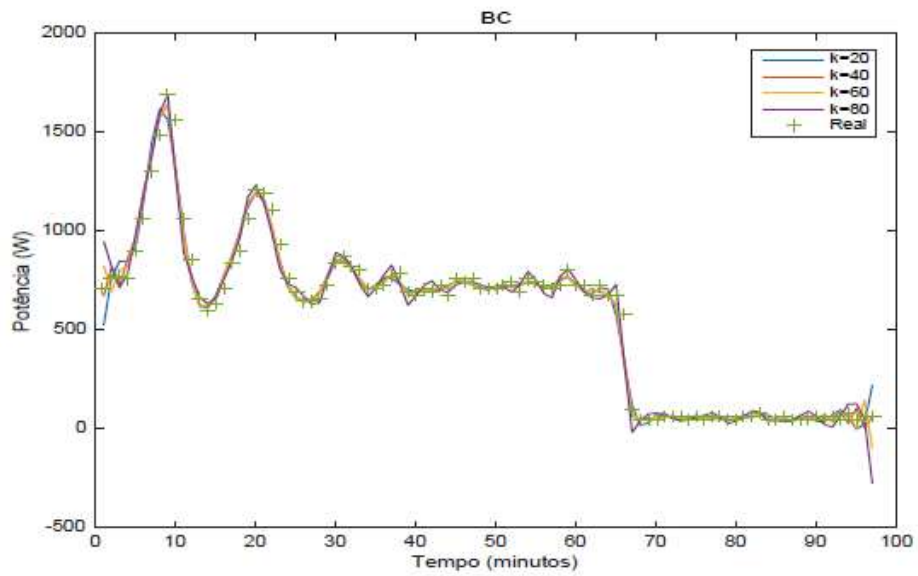


Figura 29 - Ajuste da curva da BC para várias ordens da Série de Fourier.

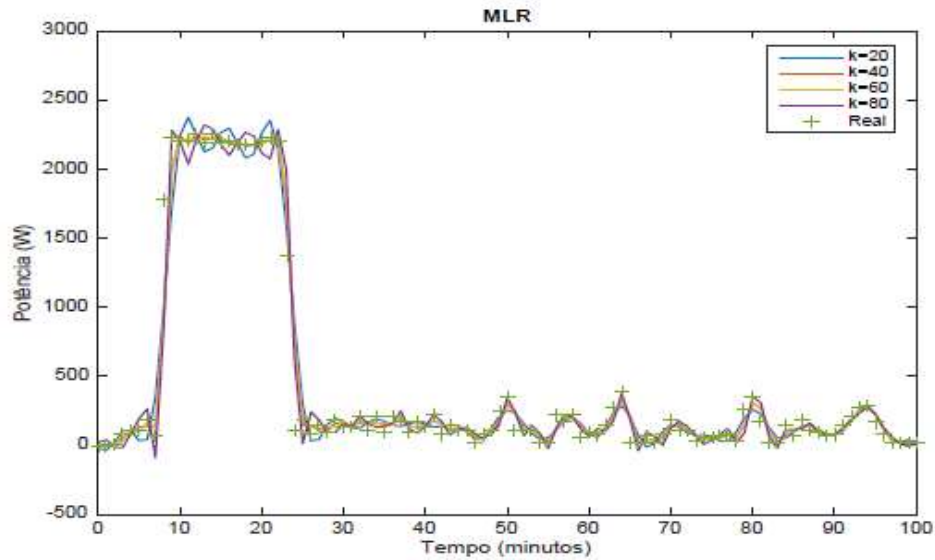


Figura 30 - Ajuste da curva da MLR para várias ordens da Série de Fourier.

Determinada a ordem ótima pela convergência da Série de Fourier (Kreider, Ostberg, Kuller, & Perkins, 1972), obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 3. Com estes valores é possível obter as curvas de aproximação pela Série de Fourier que melhor representam as potências elétricas dos referidos equipamentos, representadas pelas curvas das Figs. 31 a 34.

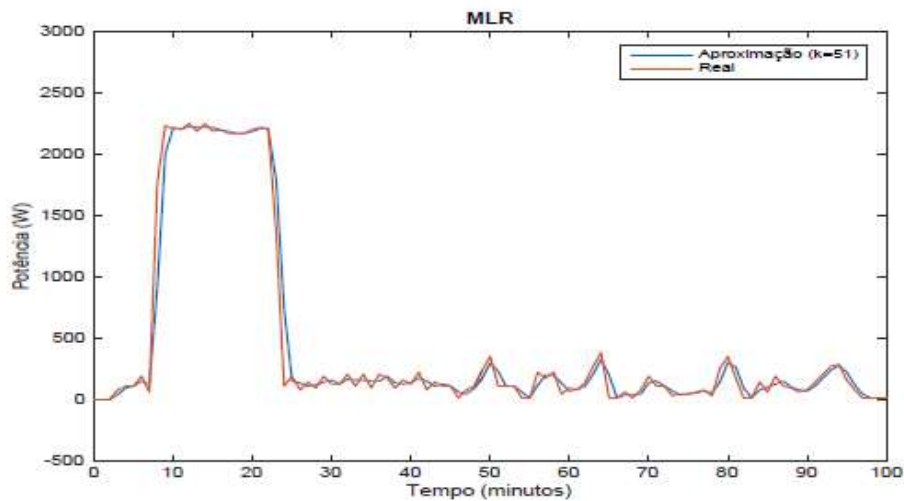


Figura 31 - Aproximação ótima característica da MLR por Série de Fourier ( $k_{\text{ótimo}}=51$ ).

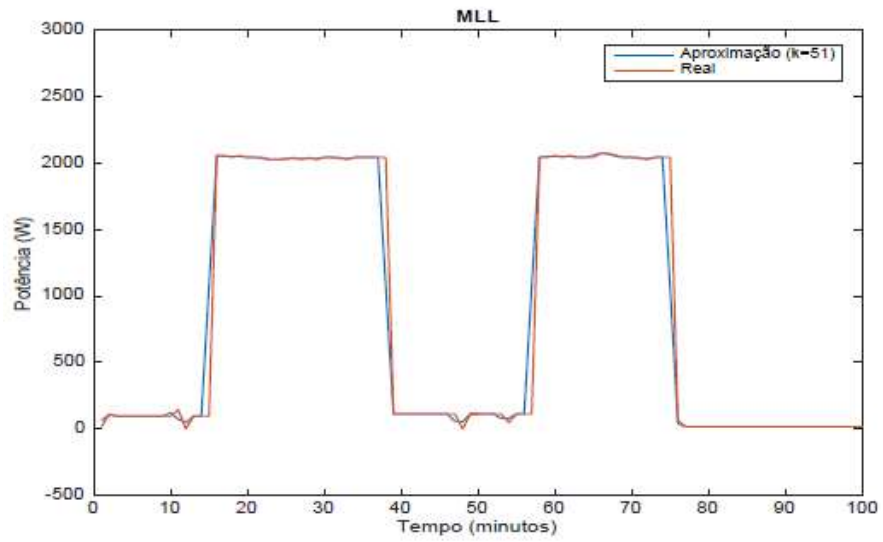


Figura 32 - Aproximação ótima característica da MLL por Série de Fourier ( $k_{\text{ótimo}}=51$ ).

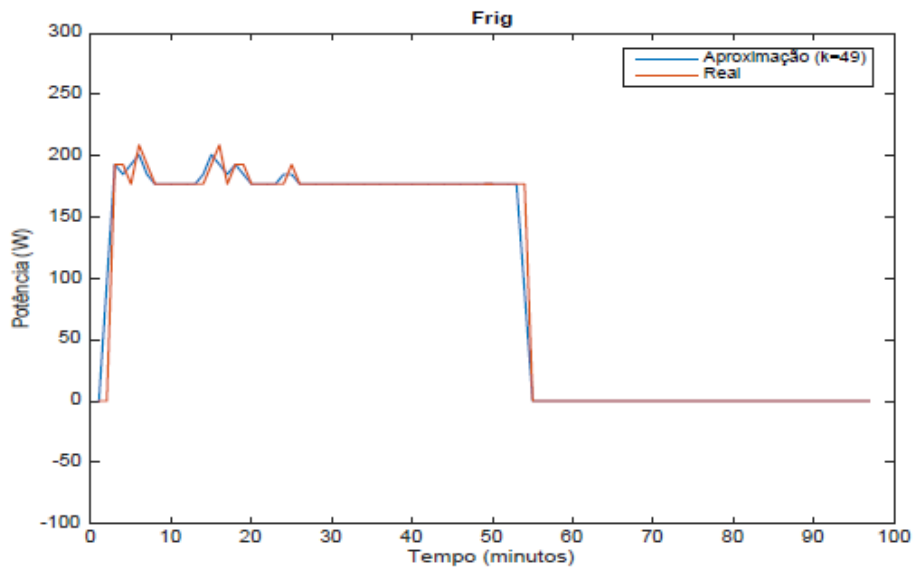


Figura 33 - Aproximação ótima característica do Frig por Série de Fourier ( $k_{\text{ótimo}}=49$ ).

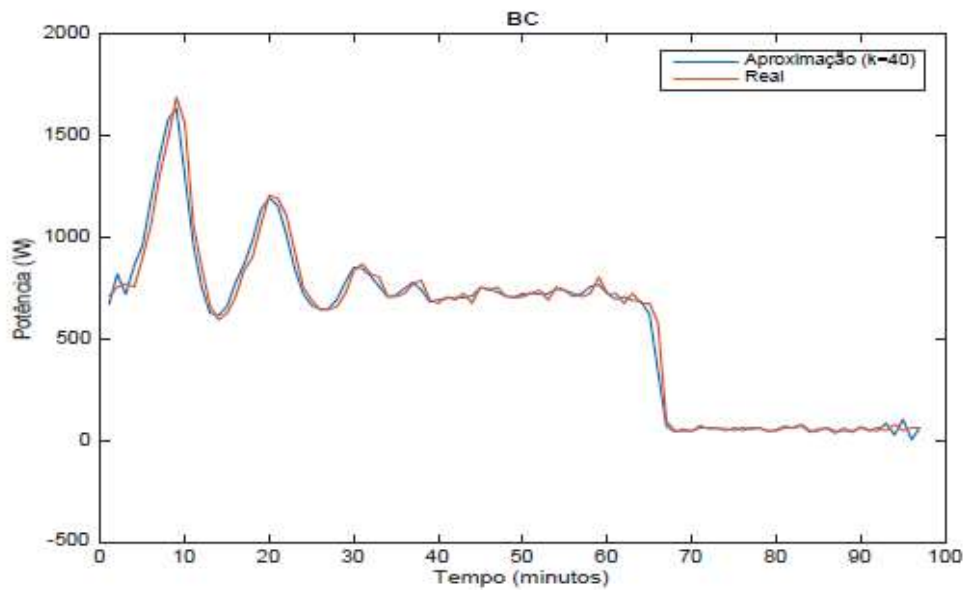


Figura 34 - Aproximação ótima característica da BC por Série de Fourier ( $k_{\text{ótimo}}=40$ ).

Também foi feita a análise em termos da energia consumida por esses equipamentos durante um ciclo de funcionamento, tendo-se verificado que o erro entre os dados reais e a curva de aproximação é insignificante.

Tabela 3 – Valores ótimos de K.

Equipamentos	kótimo	Energia Consumida (W)		
		Real	Aprox.	Erro
<b>MLR</b>	51	738,6	738,4	0,027%
<b>MLL</b>	51	1460,2	1459,9	0,021%
<b>Frig</b>	49	1563,3	1563,4	0,006%
<b>BC</b>	40	9279,0	9214,6	0,694%

## 6.2. Gestão das cargas

Tendo como base as curvas características das estimativas de produção de energia fotovoltaica representadas a azul, pelas linhas nas Figs. 35 a 38, a solução passa por uma abordagem de programação linear do problema, ou seja, pretende-se minimizar uma função objetivo sujeita a determinadas restrições impostas pela produção de energia em vigor (Decreto-Lei nº 153/2014, 2014).

Como função objetivo pretende-se minimizar a diferença entre a energia elétrica consumida  $E_{con}$  e a energia produzida pelo sistema solar fotovoltaico  $E_{FV}$  [26].

$$\text{Minimizar } \{E_{con} - E_{FV}\} \quad [26]$$

Para isso, deve-se ter em consideração que se deve tentar evitar que a potência instantânea total de todos os equipamentos, representada no perfil de cargas, Fig. 34, de uma habitação típica com tipologia T3, e quatro ocupantes, ultrapasse a potência fotovoltaica disponível no mesmo período, representas na Fig. 35 para valores de radiação solar referentes aos meses de julho (mês de maior radiação solar); ou na Fig. 36 para o mês dezembro (mês de menor radiação solar); ou na Fig. 37 para um valor médio anual de radiação, para a cidade de Bragança, Portugal.

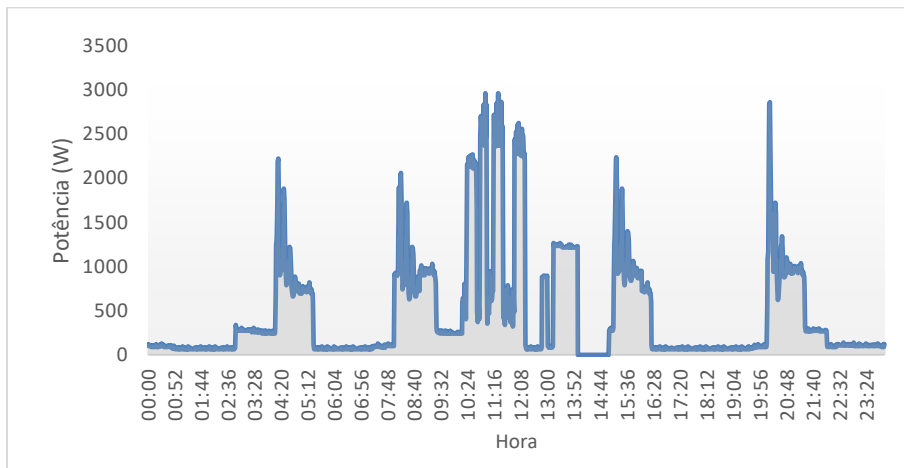


Figura 35 - Perfil de carga de uma habitação com tipologia T3 com 4 ocupantes.

Nas figuras seguintes verifica-se que efetivamente consegue-se otimizar o perfil de cargas dos equipamentos e sistemas elétricos colocando os equipamentos flexíveis, tal como a MLR e MLL, a funcionarem dentro da curva de produção de energia fotovoltaica, representada pela linha azul.

Como seria de esperar existe um excedente de produção nos meses de maior radiação (figura 36) e um défice de produção (figura 37), face ao consumo nos meses de menor radiação. Considerando que, em termos legais (Decreto-Lei nº 153/2014, 2014), é o balanço anual de produção e consumo que convém equilibrar, os resultados obtidos são bastante satisfatórios.

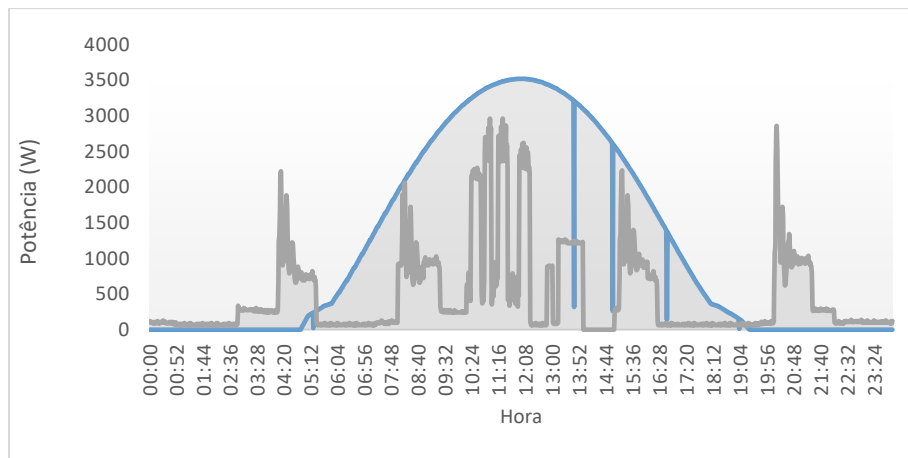


Figura 36 - Perfil diário de consumo e produção de energia fotovoltaica para o mês de julho, em Bragança.

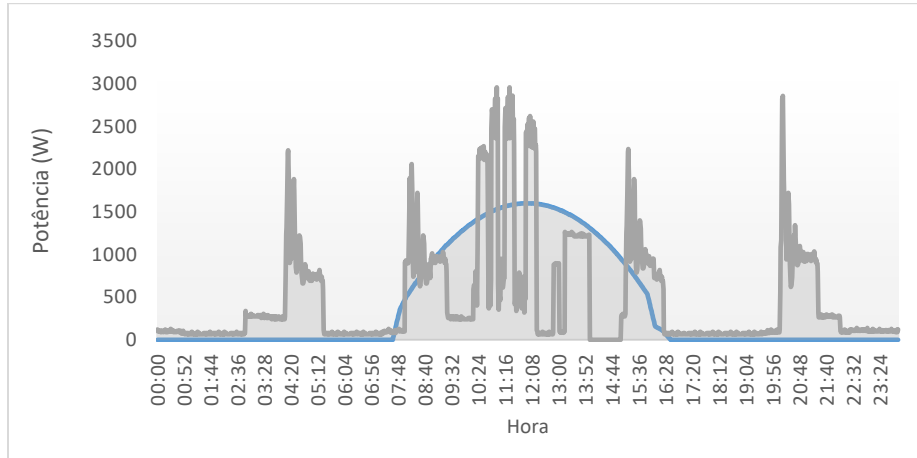


Figura 37 - Perfil diário de consumo e produção de energia fotovoltaica para o mês de dezembro, em Bragança.

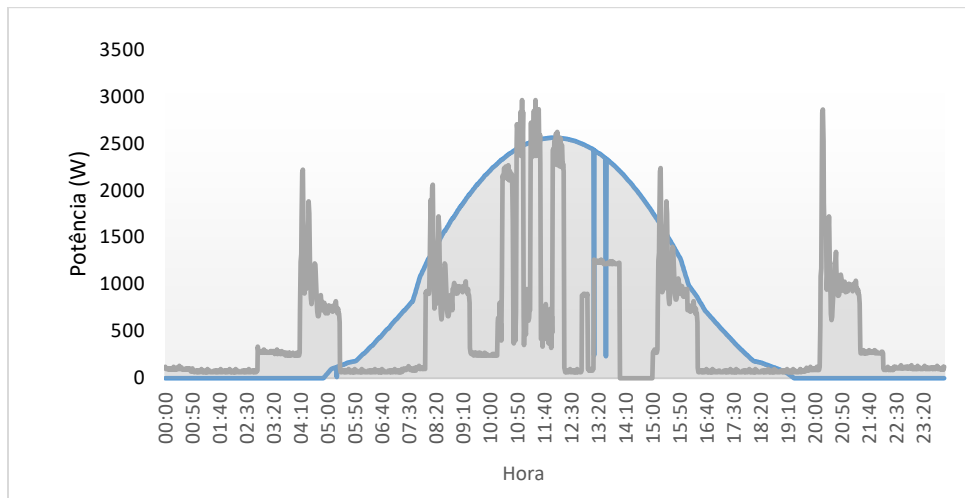


Figura 38 - Perfil diário de consumo e produção de energia fotovoltaica para a radiação média anual, em Bragança.

## 7. Conclusão

Este projeto tentou apresentar uma solução para dar resposta aos atuais desafios que o sector energético enfrenta tentando tirar maior proveito da produção de energia eléctrica de base renovável.

Mostrou-se a necessidade de obter as características dos equipamentos de modo a permitir a criação de forma automática dos perfis de carga diários para uma habitação por forma a diminuir o seu consumo de energia a partir rede eléctrica e maximizar o consumo próprio. Para isso, mostrou-se que a Série de Fourier é uma ferramenta matemática excelente para a aproximação de curvas aos dados reais obtidos através da monitorização de equipamentos domésticos.

Por último mostrou-se que é possível otimizar o período de funcionamento dos equipamentos de modo a que estes operem nos períodos de maior disponibilidade do recurso solar.

Além dos benefícios referidos para os utilizador de energia, é de salientar que os resultados apresentados neste trabalho poderão ter uma grande utilidade prática, quer para as empresas instaladoras de sistemas solares fotovoltaicos pois permite-lhes identificar à partida qual a potência fotovoltaica ótima para uma determinada habitação (Fig. 36); quer para os operadores da rede de distribuição, pois permite-lhes ter informação do fluxo de energia, agora bidirecional, e gerir de forma adequada a rede.

A implementação em *hardware* do sistema de gestão de energia (SGE) apresentado ainda está em desenvolvimento, esperando-se que num futuro próximo possam ser apresentadas todas as funcionalidades.

## Bibliografia

Aelenei, L. (2012). *nearly Zero Energy Buildings*. Obtido de [https://repositorio.ineg.pt/bitstream/10400.9/1589/1/nZEB\\_FigueiraFoz\\_LAelenei.pdf](https://repositorio.ineg.pt/bitstream/10400.9/1589/1/nZEB_FigueiraFoz_LAelenei.pdf)

Alves, J. A., & Mota, J. (2003). *Casas Inteligentes*. Centro Atlântico.

Badescu, V. (2008). *Modeling solar radiation at the earth's surface*. Springer.

Chapra, S., & Canale, R. (2008). *Numerical Methods for Engineers*.

Ecosave, (2016). Obtido de <http://doi.org/2016-09-17>

EDP, (2016). Obtido de Inovgrid: <https://energia.edp.pt/particulares/servicos/redy>

EDP, (2016). EDP. Obtido de Redes inteligentes: <https://www.edpdistribuicao.pt/pt/rede/InovGrid/Pages/RedesInteligentes.aspx>

EDP Distribuição, (2014). Grid Innovation online. Obtido de InovGrid Project - EDP Distribuição (Portugal): <http://www.gridinnovation-online.eu/Articles/Library/InovGrid-Project---EDP-Distribuicao-Portugal.kl>

DGEG, (2004), *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial*. Obtido de [http://eficiencia-energetica.com/images/upload/brochura\\_eficiencia.pdf](http://eficiencia-energetica.com/images/upload/brochura_eficiencia.pdf)

Franco, N., (2006). *Cálculo Numérico*, Pearson Brasil.

Futursolutions, (2015). *Construção Sustentável*. Renováveis Magazine, 46.

Gerald, C., & Wheatley, P. (1999). *Applied Numerical Analysis*, 6nd ed, Pearson.

ICF International, (2015). *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), EPBD Compliance Study - Final Report, União Europeia, 2015*. Obtido de <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/MJ-04-15-968-EN-N.pdf>

Jorge, A. F. (2013). *Convergência para NZEB de um edifício*. Lisboa. Obtido de <http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3167/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>

Kreider, D., Ostberg, D., Kuller, R., & Perkins, F. (1972). *Introdução à análise linear*. Rio de Janeiro: Livro técnico S.A.

Leitão, P., (2012). Texto Pedagógico de apoio à unidade curricular(Automação).

Mathworks, (2016). Obtido de Curve Fitting Toolbox: <http://www.mathworks.com/products/curvefitting/features.html#splines-and-interpolation>

Mendes, J. F., Salgueiro, A., Cardoso, J., & Coelho, R. E. (2012). *Portugal 2020 e a integração de energias renováveis nos edifícios*. Obtido de LNEG: [https://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1543/1/LNEG\\_III%20Jornadas%20AEAC\\_%20Aveiro.pdf](https://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1543/1/LNEG_III%20Jornadas%20AEAC_%20Aveiro.pdf)

Myers, D. R., (2013). *Solar radiation: Practical Modeling for renewable energy*. CRC Press.

Oliveira, P. J.,(2000). *Métodos numéricos em engenharia*. Covilhã.

Portugal 2020, (2015). Portugal 2020. Obtido de O que é o Portugal 2020?: <https://www.portugal2020.pt/Portal2020/o-que-e-o-portugal2020>

Prélis Cerâmica, Lda, (2015). *Prélis Cerâmica, Lda*. Obtido de O futuro hoje: Edifícios NZEB: <http://prelis.pt/nzeb-nearly-zero-energy-buildings>

Ralston, A., & Rabinowitz, P., (2001). *A first course in numerical analysis*, 2nd ed.

Rivera, R., Teixeira, I., & Esposito, A. S., (2013). *Banco Nacional de Desenvolvimento*. Obtido de Redes elétricas inteligentes (smart grid): [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2927/1/RB%2040%20Redes%20el%c3%a9tricas%20inteligentes\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2927/1/RB%2040%20Redes%20el%c3%a9tricas%20inteligentes_P.pdf)

Sinersol, (2016). *Autoconsumo*. Obtido de Sinersol: <http://www.sinersol.pt/pt/Servicos/Solar-Fotovoltaico>

SMA Solar Technology, (2016). *krannich*. Obtido de SMA Solar Technology.

Sunny home manager, (2016). Obtido de <http://www.sma-uk.com/products/monitoring-control/sunny-home-manager.html>

Torres, J., (2014). *Apeenergia*. Obtido de Redes Inteligentes: [http://www.apenergia.pt/uploads/docs/Joao\\_torres.pdf](http://www.apenergia.pt/uploads/docs/Joao_torres.pdf)

## Anexos

### Dados recolhidos através do MATLAB para obtenção do $K_{ótimo}$

Tabela 4 - Dados referente à Máquina de Lavar Roupa a 40°C, classe A++

<b>K</b>	<b>A</b>	<b>RA</b>	<b>B</b>	<b>RB</b>
1	317,3340224	0	518,9834651	0
2	-219,5535906	0	486,0510557	0
3	-439,884786	220.3312	64,46575091	421.5853
4	-234,768457	205.1163	-218,1059353	282.5717
5	28,73382488	263.5023	-178,3633958	39.7425
6	39,69672685	10.9629	-35,12733653	143.2361
7	-63,09425142	102.7910	-24,69614755	10.4312
8	0,021670533	63.1159	-93,79634682	69.1002
9	93,35109482	93.3294	-49,89012691	43.9062
10	119,4011847	26.0501	67,77608549	117.6662
11	-0,256865167	119.6580	90,06454048	22.2885
12	-44,34792884	44.0911	30,28972853	59.7748
13	-9,706794697	34.6411	26,79574191	3.4940
14	47,76389585	57.4707	23,6022857	3.1935
15	-48,52002588	96.2839	34,64108155	11.0388
16	-47,92245002	0.5976	-14,15870312	48.7998
17	-38,76437566	9.1581	-72,88334183	58.7246
18	11,32355818	50.0879	-28,68852102	44.1948
19	25,54357262	14.2200	0,079213553	28.7677
20	4,37677163	21.1668	-15,56053326	15.6397
21	6,919700502	2.5429	-26,96398997	11.4035
22	32,76356922	25.8439	-13,96915699	12.9948
23	19,58497183	13.1786	35,42895393	49.3981
24	2,965996326	16.6190	31,06326689	4.3657
25	-9,356012971	12.3220	10,83754167	20.2257
26	-13,00384243	3.6478	-6,995790875	17.8333
27	-3,19118146	9.8127	15,4432947	22.4391
28	-15,58103096	12.3898	8,536290615	6.9070
29	-24,19491146	8.6139	-2,803131717	11.3394
30	6,957165177	31.1521	-22,8646222	20.0615
31	3,812039579	3.1451	-17,6698003	5.1948
32	5,462596588	1.6506	1,161090081	18.8309

33	2,00442869	3.4582	-0,666869645	1.8280
34	9,340138031	7.3357	-8,677070418	8.0102
35	9,980401533	0.6403	6,21539868	14.8925
36	10,60518636	0.6248	9,291353676	3.0760
37	-9,40192319	20.0071	7,384302299	1.9071
38	-3,013109874	6.3888	4,70986796	2.6744
39	-3,927626979	0.9145	0,520534835	4.1893
40	-4,857870963	0.9302	1,735135907	1.2146
41	-4,901719694	0.0438	2,14768657	0.4126
42	-3,739687352	1.1620	-1,395277506	3.5430
43	-0,055308329	3.6844	-6,797745177	5.4025
44	3,01259389	3.0679	-2,373643479	4.4241
45	-1,719360407	4.7320	-0,107878622	2.2658
46	0,005824566	1.7252	-2,82993162	2.7221
47	2,5203135	2.5145	0,250693756	3.0806
48	1,436352259	1.0840	-0,027267127	0.2780
49	0,202140938	1.2342	1,103086385	1.1304
50	-0,033805745	0.2359	0,053461313	1.0496
51	<b>-0,033805745</b>	<b>0.0000</b>	<b>-0,053461313</b>	<b>0.1069</b>
52	0,202140938	0.2359	-1,103086385	1.0496
53	1,436352259	1.2342	0,027267127	1.1304
54	2,5203135	1.0840	-0,250693756	0.2780
55	0,005824566	2.5145	2,82993162	3.0806
56	-1,719360407	1.7252	0,107878622	2.7221
57	3,01259389	4.7320	2,373643479	2.2658
58	-0,055308329	3.0679	6,797745177	4.4241
59	-3,739687352	3.6844	1,395277506	5.4025
60	-4,901719694	1.1620	-2,14768657	3.5430

Legenda: K=ordem de Fourier; A=Curva do Eletrodoméstico; rA= Erros correspondentes a A; B=Curva de Fourier; rB= Erros Correspondentes a B.

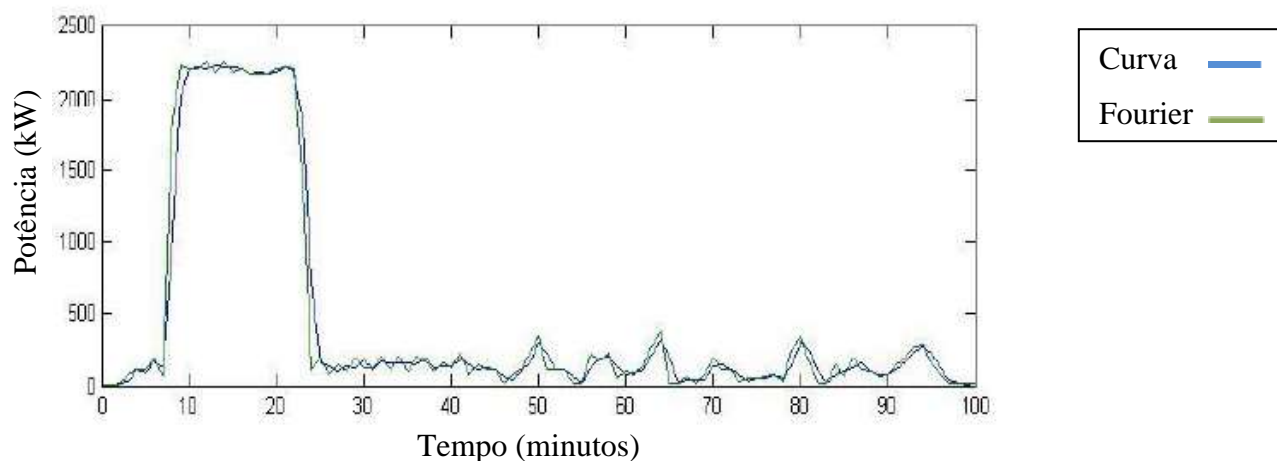


Figura 39 – Gráfico referente à curva característica e série de Fourier da Máquina de Lavar Roupas a 40°C, classe A++

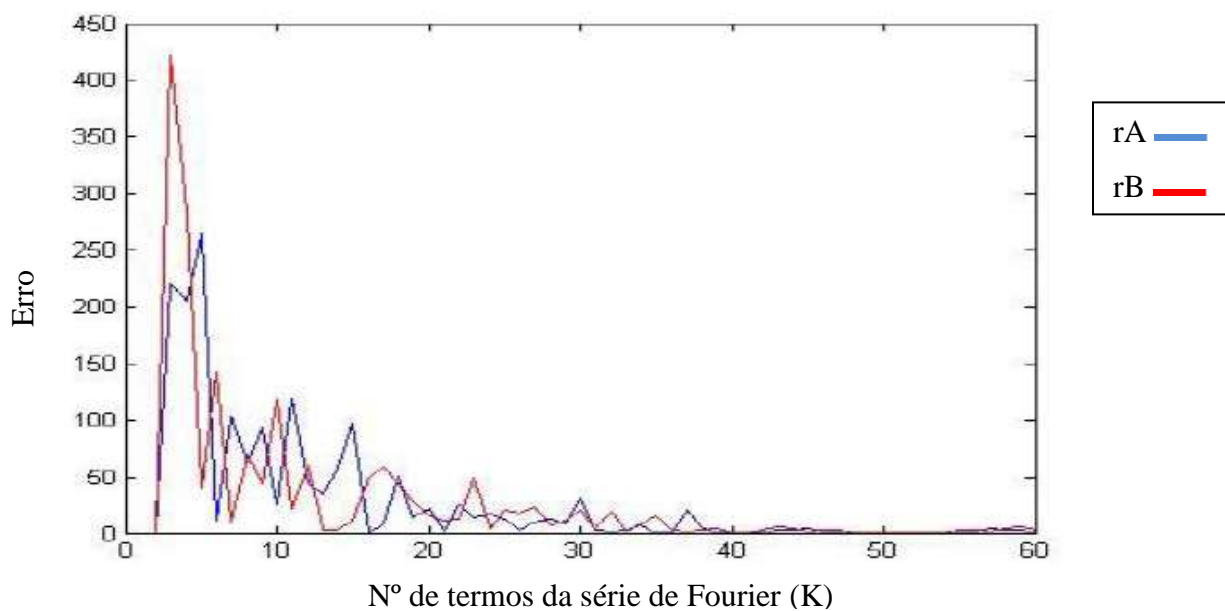


Figura 40 – Gráfico referente aos erros, rA e rB, da Máquina de Lavar Roupas a 40°C, classe A++

Tabela 5 - Dados referentes à Máquina de Lavar Roupas a 40°C, classe A

<b>K</b>	<b>A</b>	<b>RA</b>	<b>B</b>	<b>RB</b>
<b>1</b>	236,3137403	0	480,0810152	0
<b>2</b>	-150,993882	0	428,4380557	0
<b>3</b>	-361,2173847	210.2235	112,5722169	315.8658
<b>4</b>	-189,7660126	171.4514	-121,6476982	234.2199
<b>5</b>	-8,933705577	180.8323	-123,4714752	1.8238
<b>6</b>	-15,52613973	6.5924	-10,14603518	113.3254
<b>7</b>	-55,40417826	39.8780	6,837827934	16.9839
<b>8</b>	-36,26691043	19.1373	-121,4712434	128.3091
<b>9</b>	63,45507549	99.7220	-59,13489342	62.3363
<b>10</b>	73,98069423	10.5256	11,04990473	70.1848
<b>11</b>	34,29375925	39.6869	44,84791082	33.7980
<b>12</b>	-52,76331434	87.0571	6,812014762	38.0359
<b>13</b>	17,00306302	69.7664	5,685962983	1.1261
<b>14</b>	16,02383034	0.9792	53,8511913	48.1652
<b>15</b>	-25,12912095	41.1530	62,25741867	8.4062
<b>16</b>	-27,05258577	1.9235	32,32722636	29.9302
<b>17</b>	-66,1471449	39.0946	-16,08049033	48.4077
<b>18</b>	16,78283492	82.9300	-4,034660063	12.0458
<b>19</b>	-17,5521454	34.3350	9,984382612	14.0190
<b>20</b>	-37,92101749	20.3689	-13,31041558	23.2948
<b>21</b>	-21,17054764	16.7505	-12,77606933	0.5343
<b>22</b>	21,52718082	42.6977	-36,79505973	24.0190
<b>23</b>	26,44716134	4.9200	8,330327846	45.1254
<b>24</b>	17,03145696	9.4157	9,688160813	1.3578
<b>25</b>	-11,05734246	28.0888	11,55313604	1.8650
<b>26</b>	25,1835411	36.2409	-9,941022346	21.4942
<b>27</b>	23,60722124	1.5763	22,72685141	32.6679
<b>28</b>	-8,202411289	31.8096	35,24929074	12.5224
<b>29</b>	-6,28161283	1.9208	3,52650849	31.7228
<b>30</b>	-9,646033987	3.3644	0,314924772	3.2116
<b>31</b>	-0,763621378	8.8824	-7,631690612	7.9466
<b>32</b>	-21,66363733	20.9000	28,89624259	36.5279
<b>33</b>	-27,49092355	5.8273	-5,053005273	33.9492
<b>34</b>	-19,54747873	7.9434	-5,651324278	0.5983
<b>35</b>	8,468574044	28.0161	-14,47406044	8.8227
<b>36</b>	-8,728163537	17.1967	6,514537363	20.9886
<b>37</b>	-5,892244257	2.8359	8,175548841	1.6610
<b>38</b>	6,300477444	12.1927	-12,98794368	21.1635
<b>39</b>	5,994914381	0.3056	11,44547375	24.4334

40	5,528606932	0.4663	-9,460616957	20.9061
41	-3,861383902	9.3900	13,71629369	23.1769
42	-2,759710037	1.1017	0,535000869	13.1813
43	-5,657877456	2.8982	-13,2881129	13.8231
44	4,253247646	9.9111	32,31496698	45.6031
45	-17,83479516	22.0880	-22,83000511	55.1450
46	-19,12781795	1.2930	-10,24951835	12.5805
47	-5,999832039	13.1280	7,948579269	18.1981
48	-8,951245217	2.9514	0,454187424	7.4944
49	8,395762974	17.3470	-2,049863567	2.5041
50	-9,820355422	18.2161	-1,069644315	0.9802
51	-0,669561584	9.1508	-5,135003576	4.0654
52	-4,159711537	3.4901	0,510460184	5.6455
53	-5,277304292	1.1176	0,609272705	0.0988
54	-3,673818968	1.6035	2,511259549	1.9020
55	-0,871366348	2.8025	3,477245619	0.9660
56	-5,172024572	4.3007	-1,608444702	5.0857
57	-2,143156743	3.0289	4,154106707	5.7626
58	-1,4813581	0.6618	1,915330283	2.2388
59	-2,606113794	1.1248	-0,973921273	2.8893
60	-3,344018315	0.7379	0,15572869	1.1296
61	-3,105223396	0.2388	-0,029377002	0.1851
62	<b>-3,105223396</b>	<b>0.0000</b>	<b>0,029377002</b>	<b>0.0588</b>
63	-3,344018315	0.2388	-0,15572869	0.1851
64	-2,606113794	0.7379	0,973921273	1.1296
65	-1,4813581	1.1248	-1,915330283	2.8893
66	-2,143156743	0.6618	-4,154106707	2.2388
67	-5,172024572	3.0289	1,608444702	5.7626
68	-0,871366348	4.3007	-3,477245619	5.0857
69	-3,673818968	2.8025	-2,511259549	0.9660

Legenda: K=ordem de Fourier; A=Curva do Eletrodoméstico; rA= Erros correspondentes a A; B=Curva de Fourier; rB= Erros Correspondentes a B.

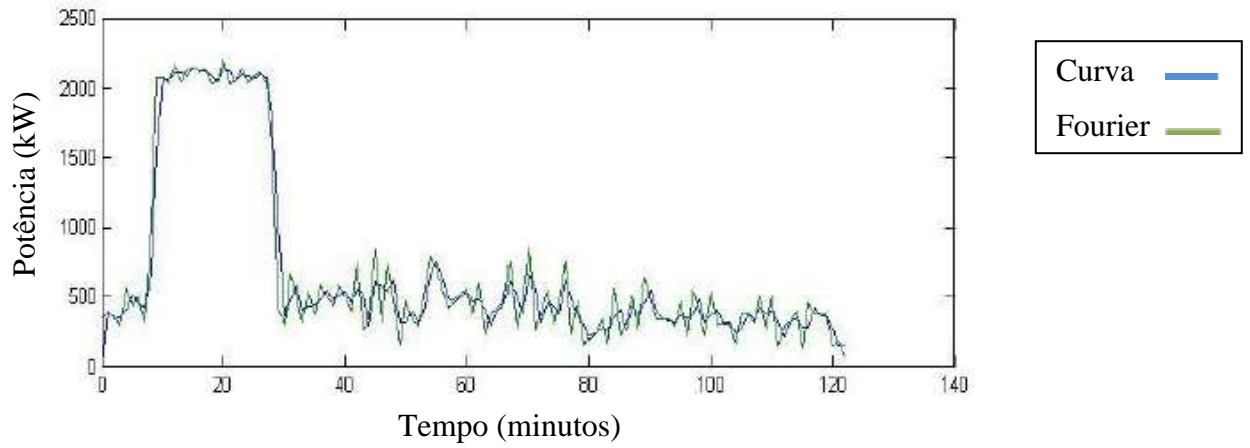


Figura 41 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier da Máquina de Lavar Roupa a 40°C, classe A

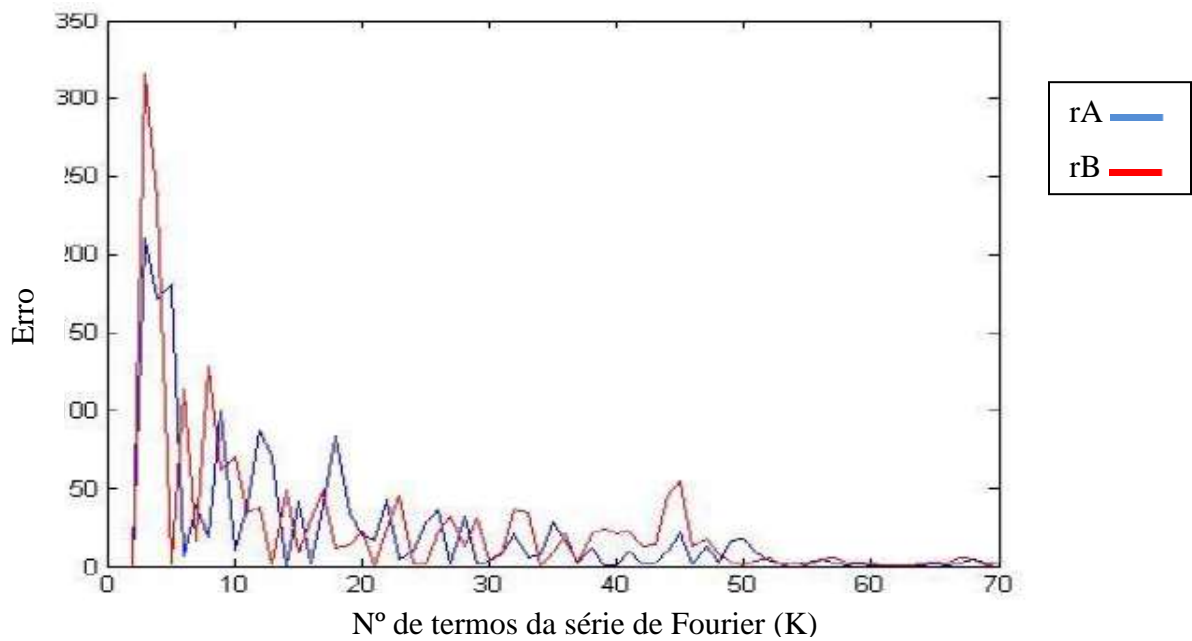


Figura 42 - Gráfico referente aos erros, rA e rB, da Máquina de Lavar Roupa a 40°C, classe A

Tabela 6 - Dados referentes à Máquina de Lavar Roupas a Frio, classe A

<b>K</b>	<b>A</b>	<b>RA</b>	<b>B</b>	<b>RB</b>
<b>1</b>	-0,82028307	0	-2,128459681	0
<b>2</b>	-0,837173712	0	-0,909370705	0
<b>3</b>	0,00553068	0.8427	-1,359048895	0.4497
<b>4</b>	-0,188409846	0.1939	-0,694298732	0.6648
<b>5</b>	0,40713937	0.5955	-0,176696091	0.5176
<b>6</b>	-0,350141667	0.7573	-1,146553267	0.9699
<b>7</b>	-0,362209155	0.0121	-0,87714926	0.2694
<b>8</b>	-0,30502186	0.0572	-1,543643479	0.6665
<b>9</b>	-2,026448605	1.7214	0,37228355	1.9159
<b>10</b>	0,036132016	2.0626	1,131470581	0.7592
<b>11</b>	-0,010903225	0.0470	-0,048982009	1.1805
<b>12</b>	-0,650252446	0.6393	0,127666647	0.1766
<b>13</b>	-0,209678792	0.4406	-0,00020376	0.1279
<b>14</b>	-0,912156264	0.7025	0,286589541	0.2868
<b>15</b>	-0,07283966	0.8393	0,45709982	0.1705
<b>16</b>	-0,463365667	0.3905	0,583216964	0.1261
<b>17</b>	0,85691672	1.3203	1,526001963	0.9428
<b>18</b>	1,749831981	0.8929	-0,710607797	2.2366
<b>19</b>	-0,45441507	2.2042	-0,987762982	0.2772
<b>20</b>	-0,159021802	0.2954	0,691920633	1.6797
<b>21</b>	0,351380835	0.5104	-0,031816253	0.7237
<b>22</b>	-0,009403111	0.3608	0,01456143	0.0464
<b>23</b>	0,504907556	0.5143	-0,756337755	0.7709
<b>24</b>	-0,511636785	1.0165	-0,133093189	0.6232
<b>25</b>	0,209346797	0.7210	-0,399170069	0.2661
<b>26</b>	-0,508630484	0.7180	-0,864167546	0.4650
<b>27</b>	-0,555469625	0.0468	0,554498689	1.4187
<b>28</b>	0,451233304	1.0067	0,323680077	0.2308
<b>29</b>	-0,464668584	0.9159	-0,59539201	0.9191
<b>30</b>	-0,490425031	0.0258	0,247634607	0.8430
<b>31</b>	-0,219960592	0.2705	0,187003549	0.0606
<b>32</b>	-0,367190597	0.1472	0,371024677	0.1840
<b>33</b>	0,163850099	0.5310	0,458247541	0.0872
<b>34</b>	-0,124024078	0.2879	-0,43574918	0.8940
<b>35</b>	-0,046211287	0.0778	0,547974654	0.9837
<b>36</b>	0,594467447	0.6407	0,015301098	0.5327
<b>37</b>	-0,310653361	0.9051	-0,124637067	0.1399
<b>38</b>	-0,05893526	0.2517	0,550079781	0.6747

39	0,334053894	0.3930	-0,009714292	0.5598
40	-0,046844427	0.3809	-0,157597227	0.1479
41	-0,067193769	0.0203	0,038645719	0.1962
42	0,029928545	0.0971	-0,141738642	0.1804
43	0,121631012	0.0917	0,319234327	0.4610
44	0,097603011	0.0240	-0,150798283	0.4700
45	-0,131294596	0.2289	-0,027561558	0.1232
46	0,097439925	0.2287	0,156947407	0.1845
47	0,117069411	0.0196	-0,024399364	0.1813
48	-0,054969718	0.1720	-0,038692232	0.0143
49	0,021664328	0.0766	-0,056795636	0.0181
50	0,085280289	0.0636	0,063981807	0.1208
51	0,116758017	0.0315	-0,118594732	0.1826
52	-0,046387474	0.1631	0,001985628	0.1206
53	-0,040971255	0.0054	-0,169322414	0.1713
54	-0,108743179	0.0678	-0,033141124	0.1362
55	-0,046727059	0.0620	0,048104548	0.0812
56	-0,004956063	0.0418	0,030855188	0.0172
57	-0,018633983	0.0137	-0,010328606	0.0412
58	-0,010049435	0.0086	0,007946413	0.0183
<b>59</b>	<b>-0,016372861</b>	<b>0.0063</b>	<b>-1,22E-14</b>	<b>0.0079</b>
60	-0,010049435	0.0063	-0,007946413	0.0079
61	-0,018633983	0.0086	0,010328606	0.0183
62	-0,004956063	0.0137	-0,030855188	0.0412
63	-0,046727059	0.0418	-0,048104548	0.0172
64	-0,108743179	0.0620	0,033141124	0.0812
65	-0,040971255	0.0678	0,169322414	0.1362

Legenda: K=ordem de Fourier; A=Curva do Eletrodoméstico; rA= Erros correspondentes a A; B=Curva de Fourier; rB= Erros Correspondentes a B.

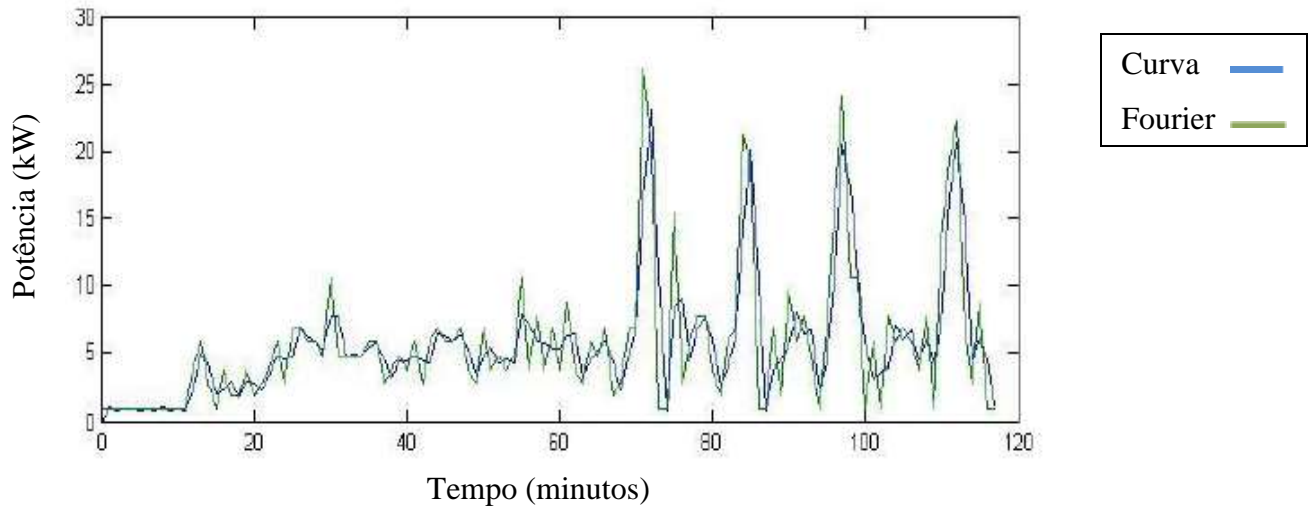


Figura 43 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, da Máquina de Lavar Roupa a frio, classe A

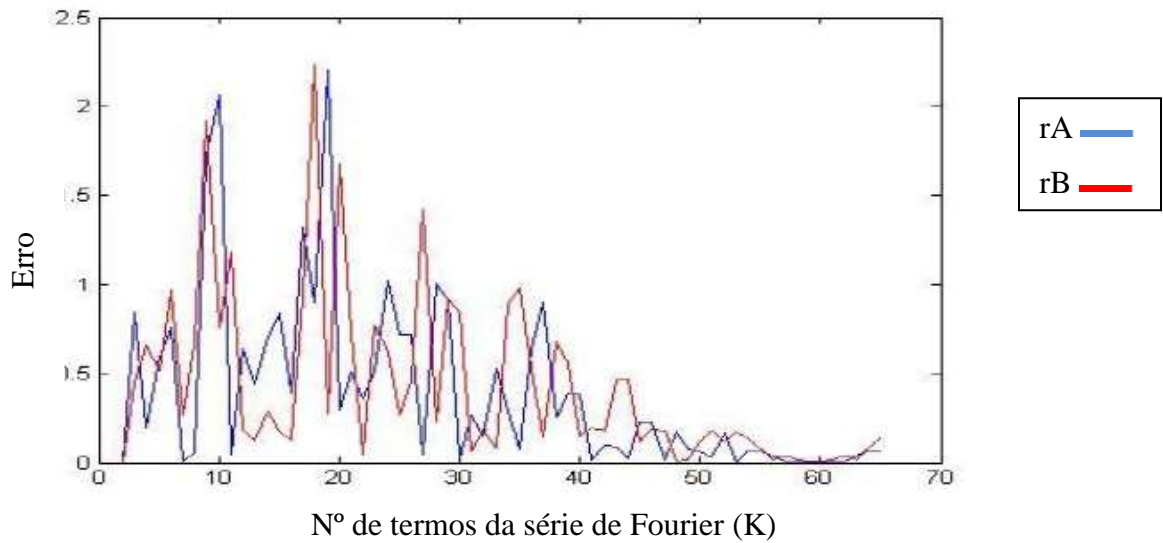


Figura 44 - Gráfico referente aos erros, rA e rB, da Máquina de Lavar Roupa a frio, classe A

Tabela 7 - Dados referentes à Máquina de lavar loiça a °65

<b>K</b>	<b>A</b>	<b>RA</b>	<b>B</b>	<b>RB</b>
1	-473,4997975	0	309,022295	0
2	-756,8667915	0	483,7624836	0
3	454,9594461	1.2118	-484,9463589	968.7088
4	-125,3481205	0.5803	-108,2603217	376.6860
5	34,76089396	0.1601	2,977342956	111.2377
6	143,4531789	0.1087	100,573222	97.5959
7	45,97502764	0.0975	177,4625729	76.8894
8	-146,3587112	0.1923	-167,5932135	345.0558
9	-70,36587101	0.0760	126,4682924	294.0615
10	8,524265204	0.0789	-61,92641124	188.3947
11	53,41743025	0.0449	-97,23967301	35.3133
12	62,69547332	0.0093	16,33756361	113.5772
13	-79,98235122	0.1427	54,98820897	38.6506
14	105,5930828	0.1856	63,86089546	8.8727
15	-78,57739309	0.1842	-21,5690585	85.4300
16	-61,83048736	0.0167	-25,86630914	4.2973
17	23,15686275	0.0850	-12,46397346	13.4023
18	15,09540022	0.0081	13,33161282	25.7956
19	51,68984178	0.0366	-66,44312584	79.7747
20	-30,40194025	0.0821	67,08929554	133.5324
21	-3,942981155	0.0265	34,57119618	32.5181
22	-1,819942993	0.0021	-22,2967717	56.8680
23	-18,85272464	0.0170	-0,849595323	21.4472
24	-33,74081944	0.0149	-44,37676429	43.5272
25	50,33952921	0.0841	35,56730636	79.9441
26	13,09224119	0.0372	-17,26896896	52.8363
27	-15,22504833	0.0283	3,935373607	21.2043
28	-2,543339658	0.0127	30,71064427	26.7753
29	-29,77498922	0.0272	2,341471109	28.3692
30	23,52849856	0.0533	-30,16538224	32.5069
31	-22,63661265	0.0462	-10,5940358	19.5713
32	10,7511136	0.0334	8,888412569	19.4824
33	28,62212638	0.0179	0,515919339	8.3725
34	-11,90196078	0.0405	18,98463532	18.4687
35	-14,01400895	0.0021	-13,92412016	32.9088
36	-11,1793046	0.0028	21,72275163	35.6469
37	3,888197004	0.0151	-18,81521728	40.5380
38	0,069305685	0.0038	-18,2412969	0.5739

39	6,843675691	0.0068	10,14030468	28.3816
40	-0,869902968	0.0077	2,054275724	8.0860
41	12,52984496	0.0134	8,600027602	6.5458
42	-14,19688813	0.0267	-3,038897351	11.6389
43	-8,992074006	0.0052	1,328141261	4.3670
44	6,520654868	0.0155	-2,213614552	3.5418
45	-2,823758476	0.0093	-3,836389131	1.6228
46	4,92106295	0.0077	-4,669532654	0.8331
47	-2,608621557	0.0075	6,178389636	10.8479
48	1,560147499	0.0042	1,056809113	5.1216
49	-0,729781197	0.0023	-1,463103255	2.5199
50	-1,530529035	0.0008	0,498190703	1.9613
<b>51</b>	<b>-0,31372549</b>	<b>0.0012</b>	<b>3,659E-13</b>	<b>0.4982</b>
52	-1,530529035	0.0012	-0,498190703	0.4982
53	-0,729781197	0.0008	1,463103255	1.9613
54	1,560147499	0.0023	-1,056809113	2.5199
55	-2,608621557	0.0042	-6,178389636	5.1216

Legenda: K=ordem de Fourier; A=Curva do Eletrodoméstico; rA= Erros correspondentes a A; B=Curva de Fourier; rB= Erros Correspondentes a B.

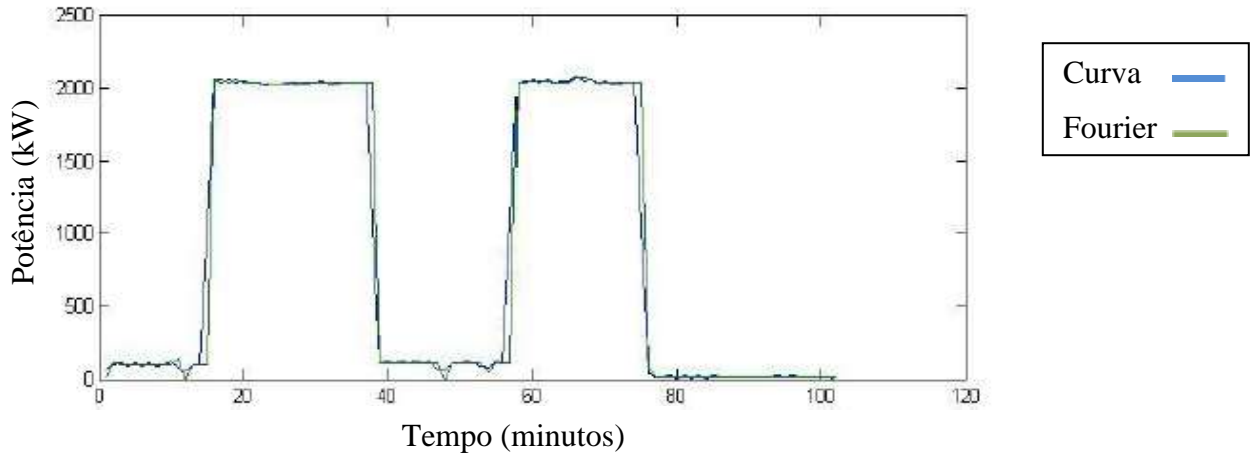


Figura 45 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, da Máquina de Lavar Loixa a 65°C

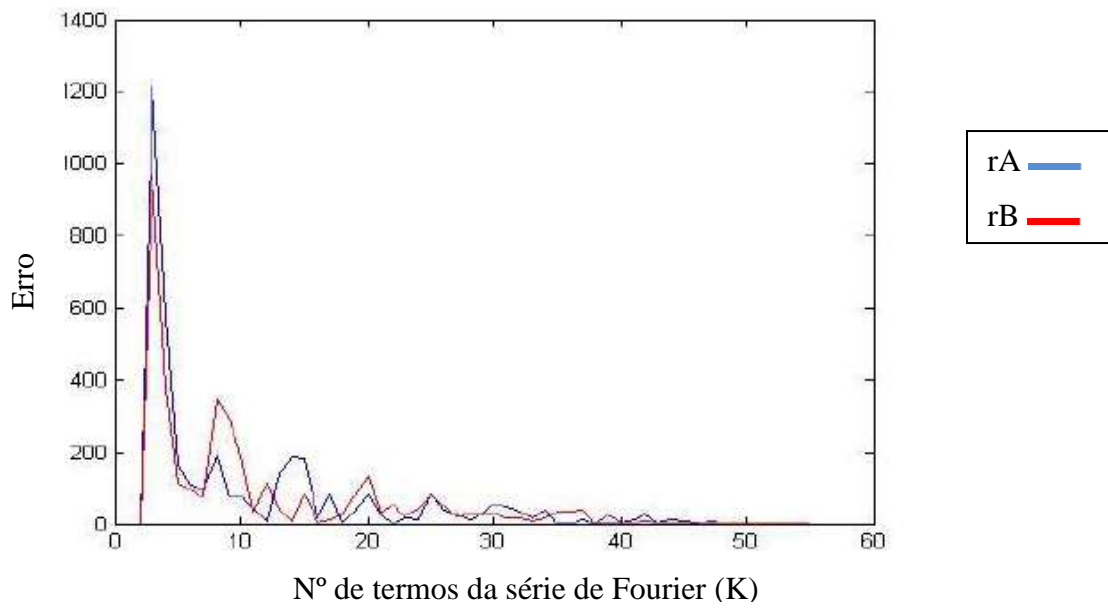


Figura 46 - Gráfico referente aos erros, rA e rB, da Máquina de Lavar Loixa a 65°C

Tabela 8 - Dados referentes Máquina de lavar loiça a °75

<b>K</b>	<b>A</b>	<b>RA</b>	<b>B</b>	<b>RB</b>
<b>1</b>	346,6299743	0	88,49510885	0
<b>2</b>	343,599155	0	-712,8442751	0
<b>3</b>	-301,1640341	644.7632	580,4009155	1.2932
<b>4</b>	-400,5489589	99.3849	128,8751028	0.4515
<b>5</b>	-172,8822248	227.6667	-55,81818577	0.1847
<b>6</b>	-32,43333956	140.4489	-247,7074138	0.1919
<b>7</b>	-269,4987073	237.0654	85,14747545	0.3329
<b>8</b>	-61,93055605	207.5682	-31,67798431	0.1168
<b>9</b>	-19,62139584	42.3092	113,1578451	0.1448
<b>10</b>	-142,0857168	122.4643	-8,739967038	0.1219
<b>11</b>	-297,8721277	155.7864	-3,422163259	0.0053
<b>12</b>	-42,38751324	255.4846	-57,34509769	0.0539
<b>13</b>	-35,64309927	6.7444	39,67385544	0.0970
<b>14</b>	-43,65359358	8.0105	-61,71284125	0.1014
<b>15</b>	-115,2541671	71.6006	22,34583705	0.0841
<b>16</b>	-24,49752163	90.7566	73,77503311	0.0514
<b>17</b>	-102,2639177	77.7664	18,41010398	0.0554
<b>18</b>	-31,7677569	70.4962	-94,98980769	0.1134
<b>19</b>	-42,99488491	11.2271	-2,747991138	0.0922
<b>20</b>	15,88106106	58.8759	42,39116128	0.0451
<b>21</b>	-20,94335919	36.8244	4,218782245	0.0382
<b>22</b>	25,44991376	46.3933	-9,592108633	0.0138
<b>23</b>	-63,86956522	89.3195	23,60869565	0.0332
<b>24</b>	-6,184989528	57.6846	-3,444055478	0.0271
<b>25</b>	29,58827555	35.7733	-33,19215817	0.0297
<b>26</b>	55,49823305	25.9100	2,821306124	0.0360
<b>27</b>	-21,64397775	77.1422	13,61423101	0.0108
<b>28</b>	29,18801528	50.8320	18,62440211	0.0050
<b>29</b>	20,63466376	8.5534	1,686207225	0.0169
<b>30</b>	13,58474791	7.0499	-7,248314073	0.0089
<b>31</b>	-2,960000514	16.5447	-25,89723094	0.0186
<b>32</b>	50,93602006	53.8960	11,58824664	0.0375
<b>33</b>	24,87789724	26.0581	9,769518917	0.0018
<b>34</b>	15,30556364	9.5723	2,555453941	0.0072
<b>35</b>	1,945192851	13.3604	-9,392574471	0.0119
<b>36</b>	13,62100809	11.6758	14,07059293	0.0235

37	10,90437615	2.7166	-11,80234546	0.0259
38	22,23926246	11.3349	-8,439644946	0.0034
39	7,125134402	15.1141	1,483388102	0.0099
40	2,559885792	4.5652	14,483597	0.0130
41	3,600476084	1.0406	-6,19718589	0.0207
<b>42</b>	<b>3,937444</b>	<b>0.3370</b>	<b>-1,106264</b>	<b>0.0051</b>
43	-2,509080073	6.4465	-2,412306228	0.0013
44	0,950505538	3.4596	0,81181242	0.0032
45	1,814551069	0.8640	-0,673269757	0.0015
46	-0,347826087	2.1624	-4,59E-12	0.0007
47	1,814551069	2.1624	0,673269757	0.0007
48	0,950505538	0.8640	-0,81181242	0.0015
49	-2,509080073	3.4596	2,412306228	0.0032
50	3,937444033	6.4465	1,106264325	0.0013

Legenda: K=ordem de Fourier; A=Curva do Eletrodoméstico; rA= Erros correspondentes a A; B=Curva de Fourier; rB= Erros Correspondentes a B.

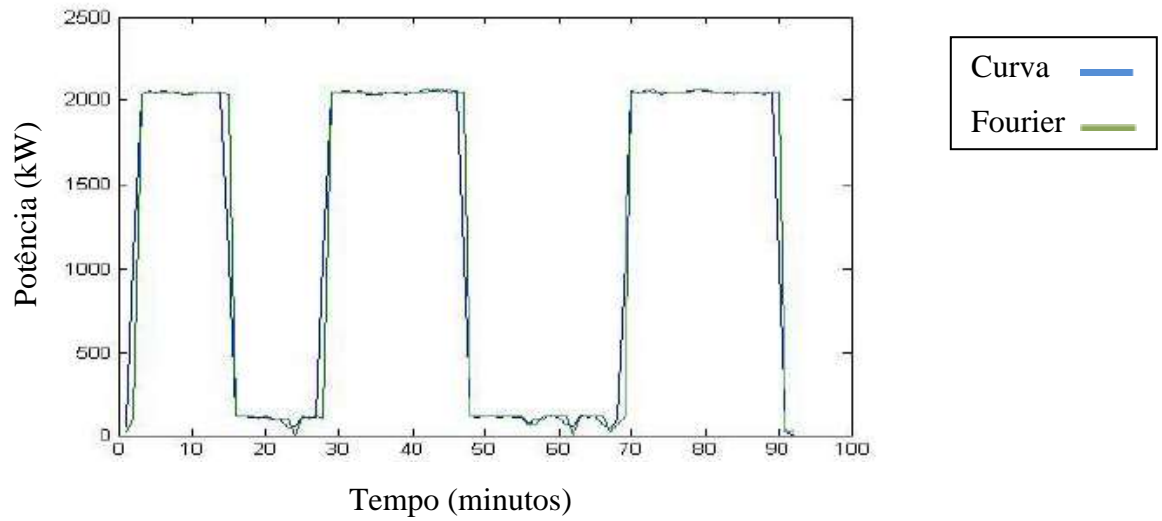


Figura 47 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, da Máquina de Lavar Loixa, a 75°C

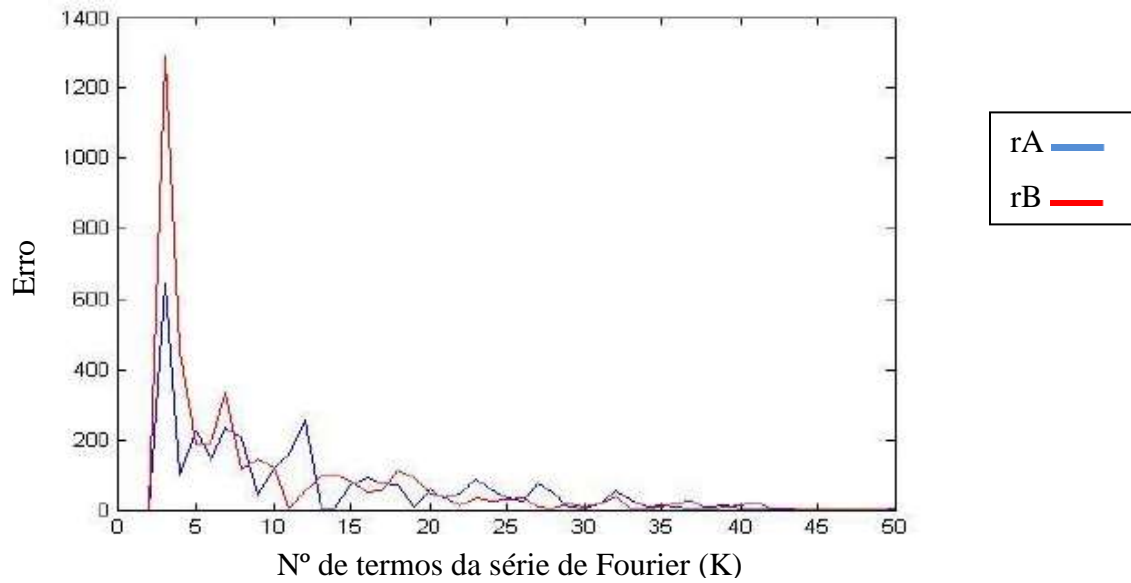


Figura 48 - Gráfico referente aos erros, rA e rB, da Máquina de Lavar Loixa, a 75°C

Tabela 9 - Dados referentes ao frigorífico

<b>K</b>	<b>A</b>	<b>RA</b>	<b>B</b>	<b>RB</b>
<b>1</b>	-0,02455	0	0,110884	0
<b>2</b>	0,011348	0	0,008205	0
<b>3</b>	-0,0241	0,035451	0,027215	0,01901
<b>4</b>	0,007049	0,031152	0,010243	0,016972
<b>5</b>	-0,01686	0,023908	0,007118	0,003126
<b>6</b>	0,002	0,018858	0,012927	0,005809
<b>7</b>	-0,01107	0,013073	0,000435	0,012492
<b>8</b>	-0,00516	0,005911	0,011858	0,011422
<b>9</b>	-0,00729	0,002125	-0,00303	0,014885
<b>10</b>	-0,00916	0,00187	0,005593	0,00862
<b>11</b>	-0,00173	0,007422	-0,00405	0,009646
<b>12</b>	-0,00804	0,006309	0,001549	0,005602
<b>13</b>	6,39E-06	0,008051	-0,00053	0,002082
<b>14</b>	-0,00772	0,007725	-0,002	0,001471
<b>15</b>	-0,00057	0,007149	0,000293	0,002297
<b>16</b>	-0,00432	0,003754	-0,00443	0,004721
<b>17</b>	-0,00167	0,002652	0,001198	0,005626
<b>18</b>	-0,00167	3,31E-06	-0,00481	0,006009
<b>19</b>	-0,00245	0,000775	0,00013	0,004941
<b>20</b>	0,001025	0,003474	-0,00318	0,003305
<b>21</b>	-0,00321	0,00423	-0,00034	0,002837
<b>22</b>	0,000644	0,003849	-0,00157	0,001227
<b>23</b>	-0,00306	0,003706	-0,00278	0,00121
<b>24</b>	0,000798	0,00386	-0,00113	0,001648
<b>25</b>	-0,001	0,001797	-0,0038	0,002673
<b>26</b>	0,000628	0,001628	-0,00054	0,003266
<b>27</b>	0,001027	0,000399	-0,00318	0,002641
<b>28</b>	-0,00017	0,001197	-1,04E-05	0,003166
<b>29</b>	0,001332	0,001502	-0,00222	0,002209
<b>30</b>	-0,00052	0,001853	-0,00149	0,000734
<b>31</b>	0,002718	0,00324	-0,00159	0,000102
<b>32</b>	0,000919	0,001799	-0,00112	0,000469
<b>33</b>	0,002168	0,001249	0,000704	0,001823
<b>34</b>	0,000528	0,00164	-0,00081	0,001514
<b>35</b>	0,000964	0,000436	0,000716	0,001526
<b>36</b>	0,001173	0,00021	-0,00079	0,001501
<b>37</b>	0,000507	0,000666	0,000748	0,001533
<b>38</b>	0,001347	0,00084	-5,71E-05	0,000805
<b>39</b>	0,000107	0,00124	0,00061	0,000667

40	0,000895	0,000788	0,000615	4,81E-06
41	-0,00028	0,001177	0,000196	0,000419
42	0,000381	0,000663	0,000467	0,000271
43	0,000101	0,00028	-0,00014	0,000606
44	0,000192	9,06E-05	0,000529	0,000668
45	0,000109	8,30E-05	4,22E-05	0,000487
46	-0,0001	0,000213	0,000242	0,0002
47	7,97E-05	0,000184	1,50E-05	0,000227
48	-2,69E-05	0,000107	2,85E-05	1,35E-05
49	<b>-2,69E-05</b>	<b>2,57E-18</b>	<b>-2,85E-05</b>	<b>5,70E-05</b>
50	7,97E-05	0,000107	-1,50E-05	1,34579E-05
51	-0,0001	0,000184	-0,00024	0,000227
52	0,000109	0,000213	-4,22E-05	0,0002
53	0,000192	8,30E-05	-0,00053	0,000487
54	0,000101	9,06E-05	0,000139	0,000668
55	0,000381	0,00028	-0,00047	0,000606

Legenda: K=ordem de Fourier; A=Curva do Eletrodoméstico; rA= Erros correspondentes a A; B=Curva de Fourier; rB= Erros Correspondentes a B.

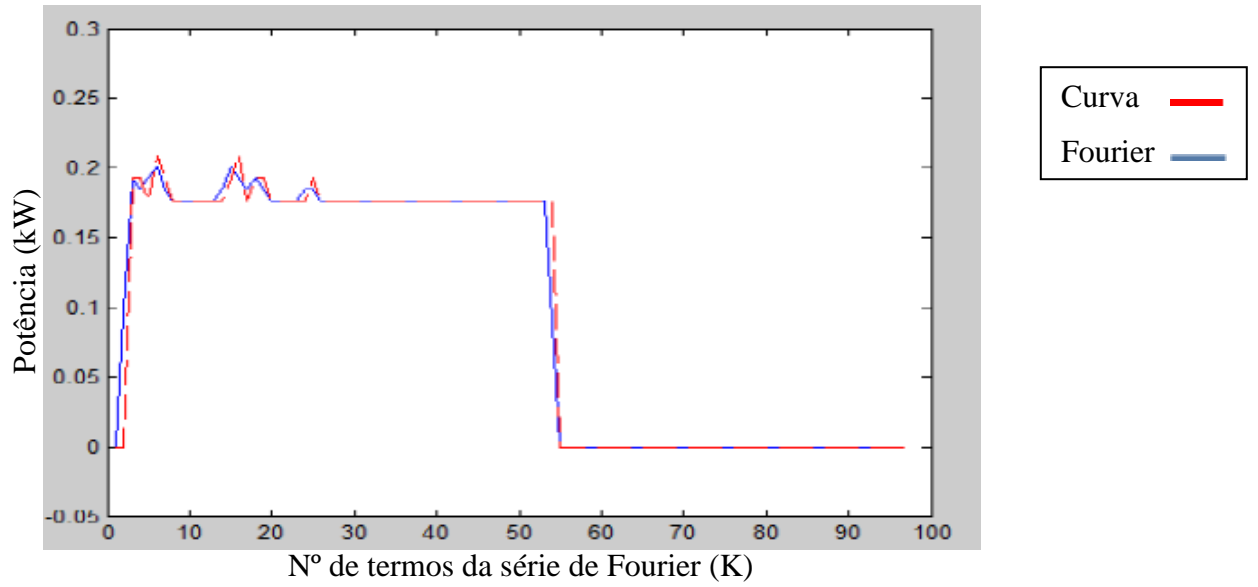


Figura 49 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, do Frigorífico

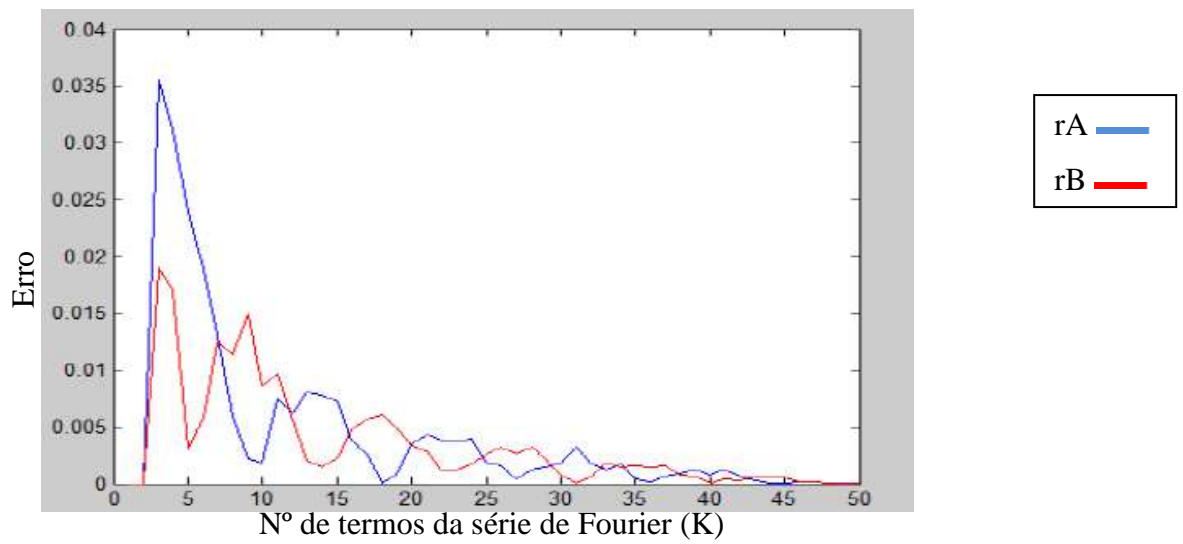


Figura 50 - Gráfico referente aos erros, rA e rB, do Frigorífico

Tabela 10 - Dados referentes a Bomba de Calor

<b>K</b>	<b>A</b>	<b>RA</b>	<b>B</b>	<b>RB</b>
1	-0,11705	0	0,389253	0
2	0,081845	0	0,256091	0
3	-0,0122	0,094044	0,052416	0,203676
4	-0,07657	0,064374	0,107953	0,055538
5	-0,00573	0,070839	0,112281	0,004328
6	-0,05024	0,044505	0,045801	0,06648
7	-0,12712	0,076879	0,024578	0,021224
8	-0,05242	0,074695	-0,03797	0,062547
9	0,028823	0,081245	-0,07125	0,033279
10	0,027975	0,000848	-0,00638	0,064869
11	0,021613	0,006363	0,046265	0,052644
12	0,0168	0,004813	0,010313	0,035952
13	0,005167	0,011633	0,020636	0,010323
14	-0,00802	0,01319	0,048242	0,027606
15	-0,00111	0,006916	0,023003	0,025239
16	-0,02657	0,025464	0,014117	0,008886
17	-0,02934	0,002766	0,021944	0,007827
18	-0,00402	0,025319	-0,00315	0,025093
19	-0,00748	0,003461	-0,00081	0,002342
20	-0,01128	0,003805	0,01421	0,015017
21	0,000866	0,012151	0,004177	0,010033
22	-0,01001	0,010876	0,005874	0,001697
23	-0,00579	0,004215	0,010014	0,004141
24	-0,00408	0,001719	0,016463	0,006449
25	-0,00867	0,004595	0,006114	0,010349
26	-0,01405	0,005375	0,008519	0,002405
27	-0,01004	0,004006	0,010578	0,002059
28	-0,01142	0,001377	-0,00281	0,013387
29	-0,01319	0,001771	0,001737	0,004546
30	-0,00518	0,008009	0,003665	0,001928
31	-0,00528	9,74E-05	-0,00014	0,003807
32	-0,0093	0,004022	0,003427	0,003569
33	-0,00603	0,003272	0,006622	0,003194
34	-0,00525	0,000778	0,002049	0,004573
35	-0,00987	0,004624	0,002675	0,000626
36	-0,00765	0,002223	0,004748	0,002073
37	-0,00919	0,001538	0,003222	0,001526
38	-0,01133	0,002146	-0,00034	0,003562
39	-0,00815	0,003182	0,001711	0,002051

<b>40</b>	<b>-0,00628</b>	<b>0,00187</b>	<b>0,000849</b>	<b>0,000862</b>
<b>41</b>	-0,00816	0,001876	-0,00107	0,001915
<b>42</b>	-0,0075	0,000656	0,003259	0,004326

Legenda: K=ordem de Fourier; A=Curva do Eletrodoméstico; rA= Erros correspondentes a A; B=Curva de Fourier; rB= Erros Correspondentes a B.

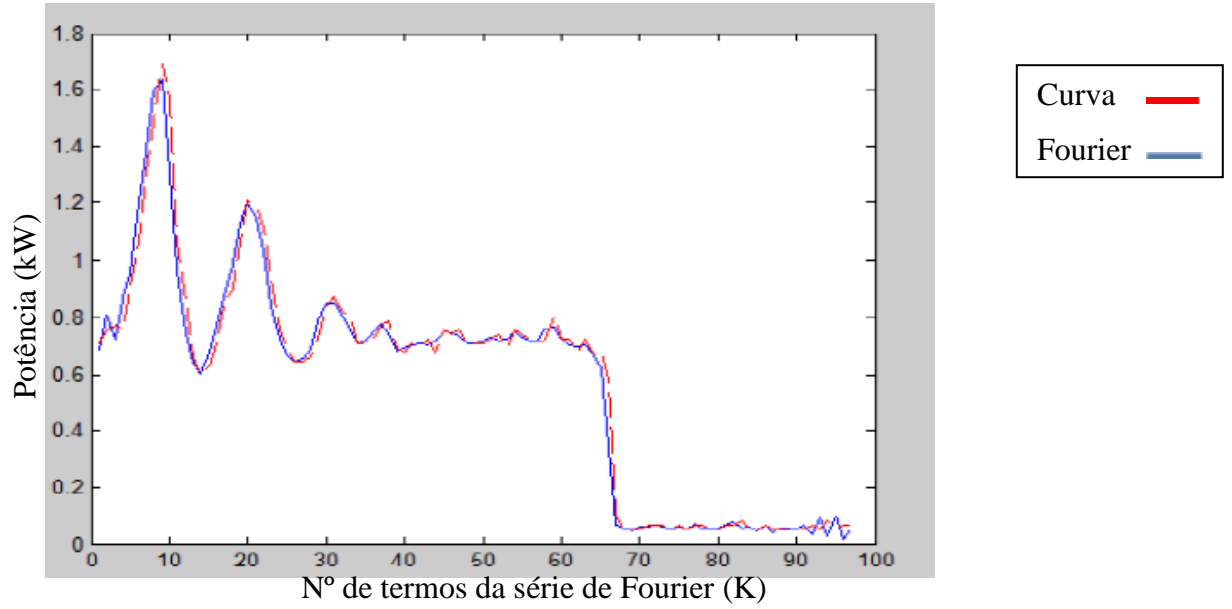


Figura 51 - Gráfico referente à curva característica e série de Fourier, da Bomba de Calor

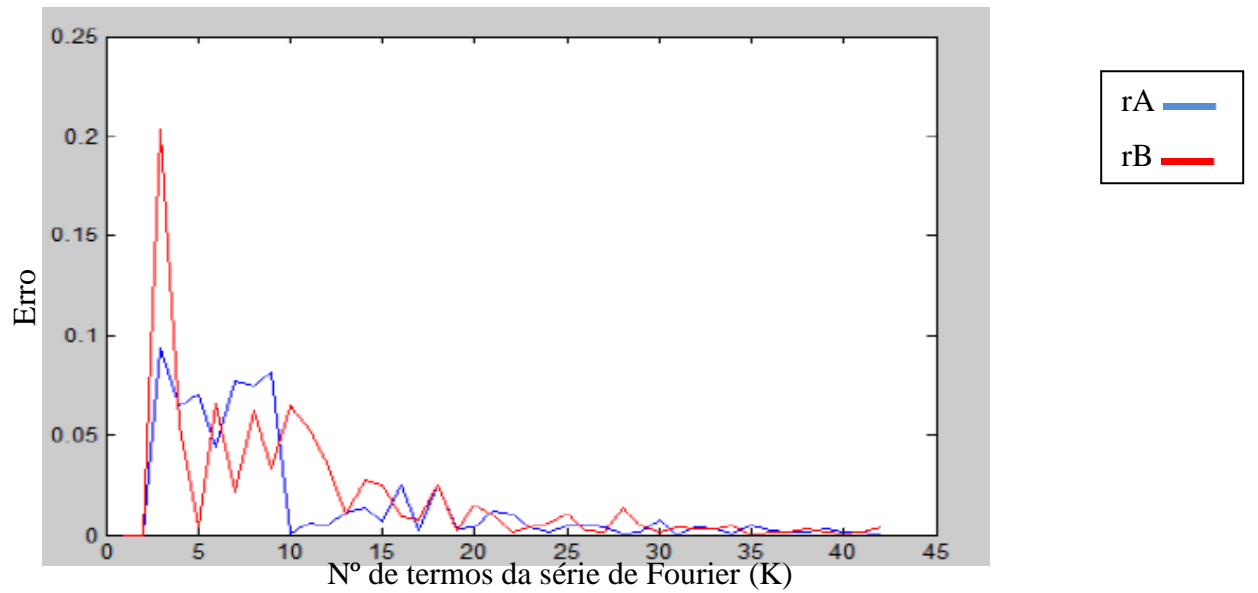


Figura 52 - Gráfico referente aos erros, rA e rB, da Bomba de Calor