



## **Previsão e definição de perfis na gestão dos recursos de energia no âmbito de edifícios auto-sustentáveis**

**BERNARDETE SOBRAL FARIA**

Outubro de 2015

# **Previsão e definição de perfis na gestão dos recursos de energia no âmbito de edifícios auto-sustentáveis**

**Bernardete Sobral Faria**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Informática, Área de Especialização em Tecnologias do Conhecimento e Decisão**

**Orientador: Doutora Isabel Cecília Correia Da Silva Praça Gomes Pereira**

**Co-Orientador: Doutor Sérgio Filipe Carvalho Ramos**

**Júri:**

Presidente:

[Nome do Presidente, Categoria, Escola]

Vogais:

[Nome do Vogal1, Categoria, Escola]

[Nome do Vogal2, Categoria, Escola] (até 4 vogais)

Porto, outubro 2015



*Aos meus pais, à minha irmã*

*e ao meu namorado.*



# Resumo

Nos últimos anos o consumo de energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis tem aumentado significativamente. Este aumento deve-se ao impacto ambiental que recursos como o petróleo, gás, urânio, carvão, entre outros, têm no meio ambiente e que são notáveis no dia-a-dia com as alterações climáticas e o aquecimento global. Por sua vez, estes recursos têm um ciclo de vida limitado e a dada altura tornar-se-ão escassos.

A preocupação de uma melhoria contínua na redução dos impactos ambientais levou à criação de Normas para uma gestão mais eficiente e sustentável do consumo de energia nos edifícios. Parte da eletricidade vendida pelas empresas de comercialização é produzida através de fontes renováveis, e com a recente publicação do Decreto de Lei nº 153/2014 de 20 outubro de 2014 que regulamenta o autoconsumo, permitindo que também os consumidores possam produzir a sua própria energia nas suas residências para reduzir os custos com a compra de eletricidade. Neste contexto surgiram os edifícios inteligentes. Por edifícios inteligentes entende-se que são edifícios construídos com materiais que os tornam mais eficientes, possuem iluminação e equipamentos elétricos mais eficientes, e têm sistemas de produção de energia que permitem alimentar o próprio edifício, para um consumo mais sustentado. Os sistemas implementados nos edifícios inteligentes visam a monitorização e gestão da energia consumida e produzida para evitar desperdícios de consumo.

O trabalho desenvolvido visa o estudo e a implementação de Redes Neurais Artificiais (RNA) para prever os consumos de energia elétrica dos edifícios N e I do ISEP/GECAD, bem como a previsão da produção dos seus painéis fotovoltaicos. O estudo feito aos dados de consumo permitiu identificar perfis típicos de consumo ao longo de uma semana e de que forma são influenciados pelo contexto, nomeadamente, com os dias da semana versus fim-de-semana, e com as estações do ano, sendo analisados perfis de consumo de inverno e verão. A produção de energia através de painéis fotovoltaicos foi também analisada para perceber se a produção atual é suficiente para satisfazer as necessidades de consumo dos edifícios. Também foi analisada a possibilidade da produção satisfazer parcialmente as necessidades de consumos específicos, por exemplo, da iluminação dos edifícios, dos seus sistemas de ar condicionado ou dos equipamentos usados.

**Palavras-chave:** Energia elétrica, energias renováveis, edifícios inteligentes, sustentabilidade, eficiência energética, previsão.



# Abstract

In recent years the consumption of electricity produced from renewable sources has increased significantly. This increase is due to the environmental impact that resources such as oil, gas, uranium, coal, among others, have on the environment and that are noticeable in day-to-day climate change and global warming. In turn, these resources have a limited life cycle and at some point will become scarce.

The concern of continuous improvement in reducing environmental impacts led to the creation of standards for more efficient and sustainable management of energy consumption in buildings.

Part of the electricity sold by marketing companies is produced from renewable sources, and with the recent publication of Decree Law No. 153/2014 of 20 October 2014 which regulates the self-consumption, so consumers can produce their own energy and thus reduce the cost of buying electricity.

In this context the concept of intelligent buildings has arisen. Intelligent buildings are constructed with materials which make them more efficient, have lighting and electrical equipment more efficient, and have power generation systems that allow to feed the own building, for a more sustained consumption. The systems implemented in the intelligent building aimed at monitoring and manage consumption and production to optimize the use of the resources.

This work aims to study and implement Artificial Neural Networks (ANN) to predict the energy consumption of buildings N and I of ISEP / GECAD, and to forecast the production of their photovoltaic panels. The analysis of consumption data indicate typical consumption profiles over a week and is influenced with the seasons, being analyzed winter and summer consumption profiles. The production of energy through photovoltaic panels was also analyzed to see if the current production is sufficient to meet the energy needs of the buildings. The study if how the production could, even partially, met the consumption was also done, for specific types of consumption, namely: lighting, HVAC and other equipment.

**Keywords:** Electricity, renewable energy, intelligent buildings, sustainability, energy efficiency, prediction.





# Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à Doutora. Isabel Praça pela disponibilidade e acolhimento, pelo contributo dado no desenvolvimento do presente relatório.

Agradeço ao Doutor Sérgio Ramos por me acolher e pelo seu contributo para o desenvolvimento deste relatório.

Quero agradecer aos meus pais por todo apoio nos momentos mais difíceis. Pelos esforços e sacrifícios que têm feito por mim. Por me incentivarem a atingir todos os meus objetivos. Obrigada por tudo!

Agradeço igualmente a minha irmã, que me ajudou e apoiou em tudo o que estava ao seu alcance.

Agradeço ao Bruno por estar sempre ao meu lado, por me incentivar e ajudar a ultrapassar os momentos difíceis. Obrigada pela tua paciência e apoio.

Por último, agradeço o seu contributo aos meus colegas e amigos que me acompanharam durante este percurso.

A todos o meu sincero,  
Obrigada.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos.....	2
1.2	Motivação .....	2
1.3	Organização do Documento .....	3
<b>2</b>	<b>Estado da Arte .....</b>	<b>5</b>
2.1	Consumo de energia .....	5
2.2	Edifícios Inteligentes .....	8
2.3	Programa de Sustentabilidade Europeu .....	12
2.4	Descoberta de Conhecimento em Base de Dados.....	16
2.5	Data Mining.....	18
2.5.1	Definição.....	18
2.5.2	Aplicação .....	19
2.5.3	Técnicas.....	20
2.6	Metodologia CRISP-DM.....	22
2.7	Linguagem de programação R.....	24
2.7.1	Ambiente RStudio .....	25
<b>3</b>	<b>Descrição Técnica.....</b>	<b>27</b>
3.1	Enquadramento .....	27
3.2	Dados .....	30
3.3	Implementação .....	32
3.3.1	Arquitetura .....	32
3.4	Simulações.....	40
3.4.1	Análise de consumos edifício N .....	43
3.4.2	Análise de consumos edifício I .....	46
3.4.3	Análise de produção .....	50
3.4.4	Comparação entre consumos sazonais.....	58
<b>4</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>63</b>
4.1	Objetivos.....	65
4.2	Limitações & trabalho futuro .....	66
4.3	Apreciação final .....	66



# Lista de Figuras

Figura 1: Balanço Energético 2014 [DGEG, 2015] .....	7
Figura 2: Energia produzida por tipo de fontes de energia [EDP,2015] .....	8
Figura 3: Consumo de eletricidade por eletrodoméstico [Silva, 2012].....	10
Figura 4: Protótipo Honda de uma HEMS [Cost of Solar, 2013] .....	12
Figura 5: Infraestrutura de um edifício moderno [Ingo Lück, 2015].....	15
Figura 6: Processo de DCBD [Santos and Azevedo, 2005] .....	17
Figura 7: Neurónio artificial [Tafner, 1998].....	21
Figura 8: Metodologia CRISP_DM [Chapman, 2000] .....	23
Figura 9: Ambiente gráfico RStudio .....	25
Figura 10: Modelo de Domínio .....	30
Figura 11: Arquitetura da aplicação.....	32
Figura 12: Diagrama de Atividades .....	34
Figura 13: Diagrama de Sequência.....	35
Figura 14: Resultado execução de uma RNA .....	40
Figura 15: Gráfico com previsão de consumo do AC no edifício N .....	43
Figura 16: Gráfico com previsão de consumo da iluminação no edifício N .....	44
Figura 17: Gráfico com previsão de consumo dos equipamentos no edifício N .....	45
Figura 18: Consumo global do edifício N .....	46
Figura 19: Gráfico com previsão de consumo do AC no edifício I.....	47
Figura 20: Gráfico com previsão de consumo da iluminação no edifício I .....	48
Figura 21: Gráfico com previsão de consumo dos equipamentos no edifício I .....	49
Figura 22: Consumo global do edifício I .....	50
Figura 23: Perfil de produção.....	51
Figura 24: Comparação do consumo do edifício N com a produção .....	51
Figura 25: Comparação do consumo do edifício I com a produção.....	52
Figura 26: Comparação do consumo do AC do edifício N com a produção.....	53
Figura 27: Comparação do consumo da iluminação do edifício N com a produção.....	54
Figura 28: Comparação do consumo dos equipamentos do edifício N com a produção .....	55
Figura 29: Comparação do consumo do AC do edifício I com a produção .....	56
Figura 30: Comparação do consumo da iluminação do edifício I com a produção .....	57
Figura 31: Comparação do consumo dos equipamentos do edifício I com a produção.....	57
Figura 32: Comparação do consumo de verão do edifício N com o consumo de inverno .....	58
Figura 33: Comparação do consumo de verão do edifício I com o de inverno .....	59



# Lista de Tabelas

Tabela 1: Simulações RNA.....	42
-------------------------------	----





# Acrónimos e Símbolos

## Lista de Acrónimos

<b>AA</b>	Aprendizagem Automática
<b>AC</b>	Ar Condicionado
<b>AG</b>	Algoritmos Genéticos
<b>BaaS</b>	<i>Building as a Service</i>
<b>BD</b>	Base de Dados
<b>DCBD</b>	Descoberta de Conhecimento em Base de Dados
<b>DM</b>	<i>Data Mining</i>
<b>UE</b>	União Europeia
<b>EM</b>	Estados Membro
<b>EPBD</b>	<i>Energy Performance of Building Directive</i>
<b>GECAD</b>	Grupo de Investigação em Engenharia e Computação Inteligente para a Inovação e o Desenvolvimento
<b>HEMS</b>	<i>Home Energy Management Solutions</i>
<b>GEE</b>	Gases Efeito Estufa
<b>IA</b>	Inteligência Artificial
<b>ISEP</b>	Instituto Superior de Engenharia do Porto
<b>NZEB</b>	<i>Nearly Zero Energy Building</i>
<b>RNA</b>	Redes Neurais Artificiais
<b>SVM</b>	<i>Support Vector Machine</i>



# 1 Introdução

Este projeto de investigação foi desenvolvido no âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia Informática no ramo de Tecnologias do Conhecimento e Decisão do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), enquadrando-se na utilização de técnicas de Inteligência Artificial nos projetos sobre Edifícios Inteligentes, que visam investigar como se pode contribuir para tornar os edifícios auto-sustentáveis.

O projeto foi desenvolvido no Grupo de Investigação em Engenharia e Computação Inteligente para a Inovação e o Desenvolvimento (GECAD), e tem como principal objetivo a utilização de métodos de previsão de energia consumida nos laboratórios do GECAD, bem como a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos instalados nos edifícios do ISEP/GECAD. Pretende-se, ainda, perceber como pode ser otimizado o consumo da energia produzida para rentabilizar o uso das energias renováveis e reduzir os custos energéticos.

A abordagem deste tema vai ao encontro das diretivas de eficiência que visam otimizar os consumos em edifícios públicos e habitacionais. Nos últimos anos o foco tem passado também pelos edifícios residenciais, em que são implementadas soluções de geração de energia através de fontes renováveis para venda direta à rede elétrica e/ou autoconsumo. Atualmente, em Portugal, o autoconsumo é permitido e regulamentado através do Decreto de Lei Nº 153/2014 de 20 de outubro de 2014. Os sistemas de produção de eletricidade estão em crescimento e ainda estão em aberto novas oportunidades de desenvolvimento. As oportunidades de melhoria surgem, também, no desenvolvimento de edifícios inteligentes, cujo objetivo é a gestão integrada e otimizada de todos os recursos, de tal modo que o edifício seja auto-sustentável, ou seja, tenha capacidade de produção energética suficiente para satisfazer as suas necessidades de consumo.

## 1.1 Objetivos

O trabalho descrito neste documento tem como principal objetivo a implementação de Redes Neurais Artificiais (RNA) para a previsão do consumo de energia elétrica nos edifícios N e I do ISEP/GECAD, e a identificação de perfis de consumo dos sistemas de Ar Condicionado (AC), iluminação e equipamentos.

Os dados de produção de eletricidade com recurso aos painéis fotovoltaicos também serão analisados para identificar como a energia produzida pode ser utilizada e aproveitada para alimentar as necessidades de energia elétrica dos edifícios, ou seja, para autoconsumo.

Assim, com a realização deste projeto pretende-se atingir os seguintes objetivos:

- Implementação de métodos de previsão dos consumos nos edifícios, diferenciando-os por consumos com sistema de climatização, iluminação e equipamentos;
- Implementação de métodos de previsão da energia produzida com recursos a fontes renováveis;
- Definição de perfis de consumo e de produção;
- Estudo dos perfis de consumo e produção em diferentes contextos;
- Utilização das ferramentas desenvolvidas e comparação de resultados;
- Análise das potencialidades oferecidas com a possibilidade de autoconsumo.

## 1.2 Motivação

Apesar de, em geral, a população mundial já estar familiarizada com as questões ambientais, a verdade é que ainda há muito a fazer para mudar os comportamentos para um consumo de energia mais sustentado. A maior parte da energia é produzida com recurso a fontes não renováveis e poluentes, o que provoca todos os efeitos ambientais que se têm vindo a notar, como o degelo dos glaciares e o aquecimento global, alterações climáticas, um aumento não controlado da poluição do ar, entre outras consequências.

Os elevados consumos de eletricidade e as preocupações ambientais têm aumentado o recurso a fontes de energia renováveis, como o sol e o vento.

Neste contexto, surgiram os edifícios inteligentes, cujos objetivos são a implementação de sistemas de produção de energia elétrica com a instalação de painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas capazes de produzir energia que satisfaça as necessidades de consumo dos edifícios, a utilização de materiais de construção que permitam uma maior eficiência energética, por

exemplo para uma maior eficiência da utilização dos sistemas de climatização, bem como o uso de equipamentos mais eficientes. Apesar das diretivas internacionais, criadas para a construção de edifícios auto-sustentáveis e com capacidade de gerir a energia produzida, serem mais orientadas a edifícios com alguma dimensão e edifícios públicos, estes sistemas hoje em dia também já se direcionam para os edifícios residenciais.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação tem como objetivo a investigação e implementação de redes neuronais para o estudo da gestão de energia nos edifícios do ISEP/GECAD e perceber como é que esta produção pode ser aproveitada para alimentar o edifício diminuindo os custos energéticos. Estes sistemas têm um maior impacto quando os custos com a aquisição de energia têm tarifas variáveis.

### **1.3 Organização do Documento**

A dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos. O presente capítulo introduz e contextualiza o trabalho realizado, apresentando os seus objetivos.

O segundo capítulo apresenta o levantamento do estado da arte, onde é abordada a temática dos edifícios inteligentes e os sistemas existentes no que diz respeito aos sistemas de gestão de energia elétrica.

No terceiro capítulo é apresentada uma análise do trabalho desenvolvido e a sua arquitetura. São apresentadas as tecnologias utilizadas e de que forma foram implementadas. São, ainda, apresentados os resultados obtidos com a implementação de RNA.

No quarto e último capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho realizado e uma apreciação global do mesmo.



## 2 Estado da Arte

Neste capítulo é abordada a temática do consumo energético e como este pode ser otimizado com recurso a fontes de energias renováveis. São também abordados os temas de edifícios inteligentes e gestão de consumos em residências.

É feita, ainda, uma abordagem aos métodos de *Data Mining* (DM), estes podem ser utilizados para a previsão e criação de perfis de consumo e produção de energia, com base em dados históricos.

### 2.1 Consumo de energia

As questões energéticas são um tema de discussão, que apesar de não ser novo, está bastante ativo devido à necessidade de otimizar os consumos energéticos, e ao mesmo tempo minimizar os custos, com a compra de eletricidade, face ao elevado consumo de energia. A aposta no uso de energias renováveis, como o sol e o vento, tem vindo a ser cada vez mais maior. No âmbito dos estudos sobre a eficiência energética da União Europeia (UE), verificou-se que 40% [Grözinger, 2014] da energia final consumida é usada pelos edifícios, em iluminação, climatização, equipamentos, entre outros. Assim como 36% da emissão dos gases de efeito estufa em casas, escritórios, lojas e outros edifícios. Assim torna-se cada vez mais urgente implementar medidas de otimização e aproveitamento dos recursos naturais para satisfazer as necessidades energéticas dos edifícios, tornando-os cada vez mais auto-sustentáveis [Grözinger, 2014].

Em Portugal, ao longo dos anos a taxa de dependência energética manteve-se sempre elevada em consequência do avanço industrial e da evolução tecnológica, uma vez que aumentou o número de equipamentos que necessitam de energia para funcionar. Por exemplo, são cada



vez mais os dispositivos eletrónicos nas habitações, nos escritórios, em edifícios públicos, entre outros.

É ainda importante salientar que a energia primária que satisfaz as necessidades energéticas é maioritariamente importada, são exemplos disso o petróleo, a energia geotérmica, o gás natural, entre outras [DGEG, 2015]. Isto traduz-se em custos de produção mais elevados que se vão refletir nos valores cobrados aos consumidores finais.

Por parte das empresas produtoras de energia assiste-se cada vez mais à utilização de recursos naturais, a ponto de já ser considerável a percentagem de energia proveniente de fontes renováveis. Segundo informação publicada num comunicado da APREN<sup>1</sup> em conjunto com a Quercus<sup>2</sup>, o ano de 2014 foi um ano em que o uso das energias renováveis cresceu consideravelmente. Em 2014 a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis em Portugal foi responsável por 62,7% do total de energia elétrica consumida, com um aumento de 6% em relação a 2013 [Quercus and APREN, 2015]. Estes indicadores são muito importantes para a demonstração dos resultados que estão a ser alcançados com a produção de eletricidade, mostrando assim o elevado potencial que o país tem no que diz respeito à produção de energia com recurso a fontes renováveis.

No gráfico apresentado na figura 1, é mostrada a evolução da dependência energética, em Portugal, ao longo dos anos. A dependência energética é calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Dependência Energética [\%]} = \frac{Imp - Exp}{CEP + NMI} \times 100 \quad (1)$$

, onde *Imp* são as Importações, *Exp* são as Exportações, *CEP* é o Consumo de Energia Primária e *NMI* a Navegação Marítima Internacional [DGEG, 2015].

Analisando o gráfico, verifica-se que a dependência energética baixou 7,9% de 2012 para 2013 e 2,7% de 2013 para 2014. Estas reduções de dependência energética aconteceram em consequência da redução de utilização de energias provenientes de recursos fósseis e importados e do aumento da energia produzida através de fontes renováveis [DGEG, 2015].

---

<sup>1</sup> APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis

<sup>2</sup> Quercus – Associação Nacional de Conservação da Natureza

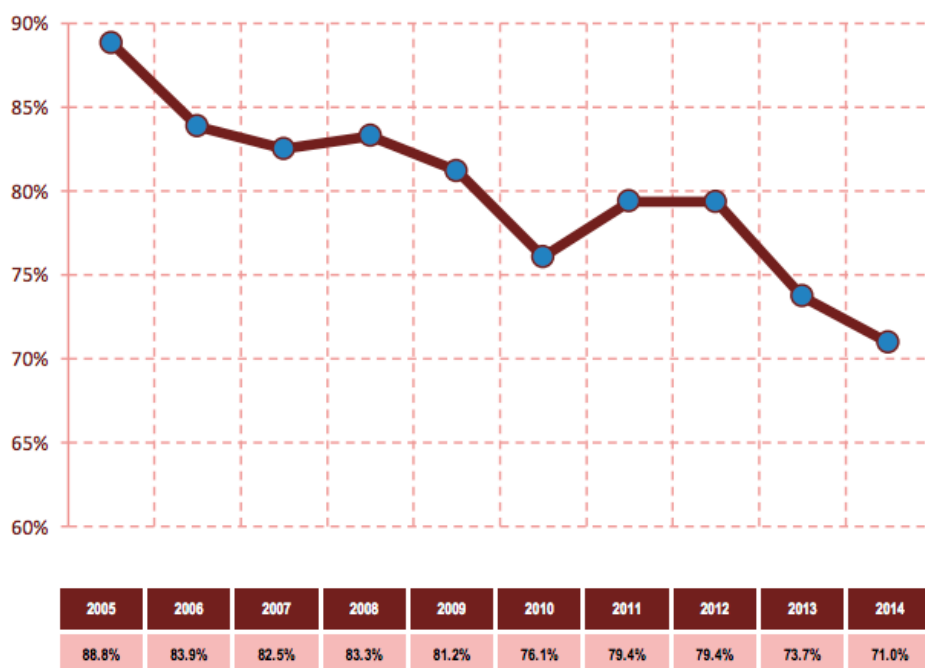


Figura 1: Balanço Energético 2014 [DGEG, 2015]

É ainda de salientar o facto de a procura ter diminuído por parte dos consumidores, o que será mais notável nos próximos anos com o aumento do autoconsumo, através de energia produzida com recurso a fontes renováveis nas próprias residências e edifícios, uma vez que o autoconsumo em Portugal passou a ser legal com a entrada em vigor do Decreto de Lei Nº 153/2014 de 20 de outubro de 2014.

Portugal é um país com muito potencial para produção de energia através de fontes renováveis, pois a sua localização geográfica reúne condições muito favoráveis. Portugal tem uma extensa frente marítima que abrange o território nacional de norte a sul do país que permite aproveitar o potencial energético dos ventos marítimos e ondas, tem também uma exposição solar bastante considerável, sendo estes fatores muito importantes e benéficos para a produção de energia através de recursos renováveis, o que permite atingir os objetivos de uma política ambiental mais eficiente e sustentável.

Em Portugal, o grupo EDP dedica-se à produção e fornecimento de energia elétrica. Este possui uma quota de clientes elevada no mercado e de acordo com as políticas de sustentabilidade, nos últimos anos tem feito grandes investimentos no que diz respeito a utilização de fontes renováveis para a produção de energia. A produção de energia sustentável abrange o aproveitamento de um número considerável de fontes de energia, sendo que atualmente as

principais fontes de energia são a hídrica e a eólica. Segundo dados partilhados pela EDP, 54,8% da energia que é utilizada tem origem eólica. Tornando assim o vento a fonte renovável que mais contribui e rentabiliza a produção de energia [EDP,2015].

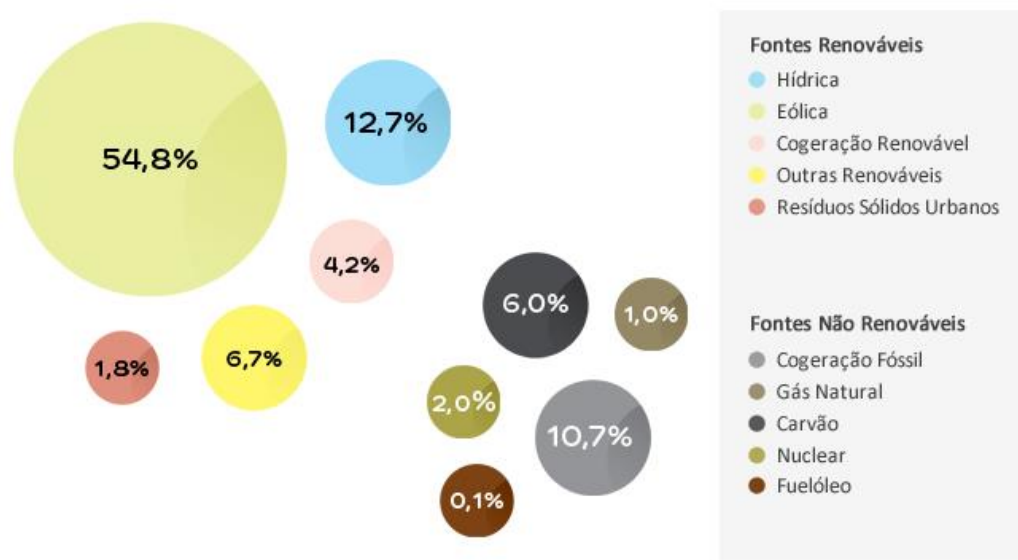


Figura 2: Energia produzida por tipo de fontes de energia [EDP,2015]

## 2.2 Edifícios Inteligentes

Para além das questões abordadas, levanta-se ainda outra questão em termos energéticos: a eficiência energética dos edifícios. Existem vários fatores determinantes para a construção de um edifício eficiente. Deve ser realizada uma análise cuidada e um planeamento de todos os aspetos necessários e a ter em atenção para o sucesso da eficiência do edifício, respeitando tudo isto desde a fase de criação do projeto inicial até à fase final da construção. Os materiais de construção são um dos pontos-chave. A eficiência energética é também afetada pelos materiais usados na construção e no isolamento térmico [Agarwal et al., 2011] [Itron, 2006]. A localização do edifício é igualmente importante, pois é necessário perceber a exposição que este terá ao sol, entre outros fatores afetados pela sua localização geográfica.

Em Portugal o clima varia de acordo com as regiões, enquanto umas são mais quentes e secas outras são mais húmidas e frias, dependendo também das estações do ano. Estes são fatores que têm influência direta no consumo de energia dos edifícios em especial na climatização dos mesmos.

Nos novos edifícios esta problemática já está a ser considerada, sendo já tido em consideração o facto de que o potencial dos edifícios inteligentes e eficientes energeticamente começa a partir do projeto de construção, com a seleção de materiais e estratégias de reduzir a dependência energética do edifício. A implementação de um sistema de monitorização de consumos é também crucial para a gestão dos recursos dos edifícios. Estes sistemas permitem um acompanhamento das necessidades dos mesmos e permite identificar possíveis pontos de melhoria.

Inicialmente esta era uma preocupação de edifícios com alguma dimensão, essencialmente edifícios públicos, mas as atenções viraram-se também para as residências. É neste contexto que surgem as *Home Energy Management Solutions* (HEMS). Estes sistemas já existem há vários anos, mas os primeiros eram sistemas bastante caros o que os tornava um produto difícil de adquirir, mas com o voltar das atenções para os edifícios mais pequenos e para o uso doméstico voltaram a fazer-se mais e novos investimentos na melhoria destes sistemas.

As HEMS instalados numa habitação têm como principal objetivo ajudar o consumidor a reduzir os custos energéticos e utilizar energia que é produzida através de fontes de energia renovável [Al-Ali et al., 2011]. Estes sistemas são constituídos por *software* e *hardware* customizado para gerir a energia de uma casa, e são componente fundamental no novo paradigma das “*Smart Grid*”. Como parte integrante das HEMS, existe ainda a implementação de um sistema de aquisição e armazenamento dos dados de consumo e de produção do edifício [Han et al., 2014]. Os consumos podem ser registados por cada um dos circuitos onde são identificados os consumos da iluminação, equipamentos e sistema de climatização ou Ar Condicionado (AC). Por sua vez os registos de produção de energia elétrica podem ser organizados de acordo com o método de produção de energia, quando utilizado mais que um, sendo os mais comumente utilizados os painéis fotovoltaicos e as eólicas [Han et al., 2014].

Com os dados armazenados é possível utilizar técnicas de exploração de dados, como o *Data Mining* (DM), para analisar e extrair conhecimento dos mesmos. Com recurso a estas técnicas podem ser identificados e determinados perfis típicos de consumo dos edifícios, em diferentes contextos. Por exemplo os consumos durante o fim-de-semana diferem dos consumos que ocorrem durante a semana.

Os vários eletrodomésticos e dispositivos de uma casa possuem diferentes potências, logo uns consomem mais que outros. Atualmente os eletrodomésticos e aparelhos possuem uma classificação energética relativamente ao consumo, seguindo normas que permitem identificar o quão eficientes são. Os consumidores já têm esta questão em atenção na compra dos

eletrodomésticos, mas numa habitação os padrões de utilização dos diferentes eletrodomésticos vão-se mantendo ao longo dos tempos pois cada um deles continua a ter a mesma finalidade de utilização.

Na figura 3 é apresentada uma divisão, em percentagem, dos principais aparelhos e sistemas responsáveis pelos consumos de energia numa habitação.

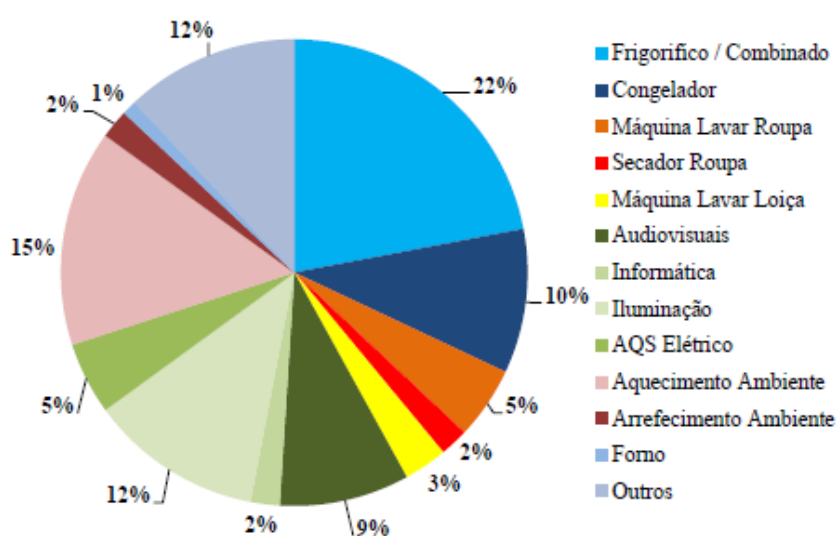


Figura 3: Consumo de eletricidade por eletrodoméstico [Silva, 2012]

Depois de implementado um sistema de armazenamento de dados dos consumos é possível efetuar estudos para identificar qual o perfil de consumo dos diferentes eletrodomésticos.

Numa habitação, existem eletrodomésticos que estão sempre ligados à corrente podendo o consumo de energia variar entre intervalos maiores ou menores dependendo da sua utilização. Por exemplo, uma cozinha dispõe de vários eletrodomésticos, estes terão um período de utilização característico que pode variar consoante o dia da semana e determinados períodos do dia. Estas situações podem ser identificadas e analisadas para a caracterização das necessidades energéticas de acordo com o consumo.

O recurso a sistemas de produção através de energias renováveis são muito dependentes das condições climáticas e variáveis ao longo do dia. Por exemplo, no caso dos painéis fotovoltaicos a produção de energia apenas é feita durante o dia. Assim, é importante que nas HEMS sejam implementados sistemas de armazenamento da energia produzida para que esta seja depois utilizada para consumo em horário diferente daquele em que é produzida.

Outra característica das HEMS é o controlo automático de consumos energéticos em divisões de um edifício que não estejam a ser utilizadas. Estas características fazem com que o sistema seja dotado de inteligência e consiga perceber quando se está a consumir energia elétrica sem necessidade, como, por exemplo, iluminação de uma sala vazia. Para auxiliar estas soluções recorre-se ao uso de sensores, os sistemas HEMS baseiam-se no uso de sensores para identificar as situações de movimentos que possam despoletar o ligar ou desligar de equipamentos para reduzir os consumos de energia [Ingo Lück, 2015].

Com a evolução industrial os grandes produtores de tecnologias que acompanham o mercado de eficiência energética voltaram-se para o desenvolvimento de soluções para os carros elétricos e para as HEMS, são exemplo disso a Honda, Fraunhofer, General Electric, Motorola, Tesla Motors, entre outras.

Em comum todas as marcas procuram implementar sistemas para tornar cada habitação altamente eficiente com o recurso a fontes de energia renováveis, para produzir energia elétrica que permita que as casas sejam auto-sustentáveis.

No caso da Honda já existe um protótipo para uma casa altamente eficiente em que todos os materiais de construção são pensados ao pormenor para questões como, por exemplo, o isolamento térmico para uma maior eficiência da climatização durante as diferentes estações do ano. No que diz respeito ao sistema de produção de energia, este é composto por um conjunto de painéis solares que permitirão produzir energia para satisfazer as necessidades da habitação. O objetivo da marca é implementar um sistema que permita reduzir a dependência de fornecedores de eletricidade [Cost of Solar, 2013].



Figura 4: Protótipo Honda de uma HEMS [Cost of Solar, 2013]

A figura 4 apresenta o protótipo criado pela marca com todos os pontos que a marca considera importantes e essenciais para o desenvolvimento do projeto.

## 2.3 Programa de Sustentabilidade Europeu

De um modo geral, as preocupações energéticas e a evolução dos sistemas inteligentes têm como fator de crescimento as mudanças de requisitos e exigências que vão sendo feitas um pouco por todo o mundo.

Em 1997 foi assinado o protocolo de Quioto por países desenvolvidos / industrializados e em vias de desenvolvimento, tendo como principal objetivo a redução da emissão de gases que provocam o efeito de estufa, também conhecidos como gases de efeito de estufa (GEE) [APA, 2015].

Com os índices de poluição cada vez mais elevados e as alterações climáticas que se fazem sentir, a dada altura tornou-se urgente a definição de um compromisso para que a nível mundial se tentasse reduzir o impacto ambiental provocado pelo crescimento e industrialização.

Assim foram estabelecidos limites, para vários países, das quotas máximas de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. A avaliação do cumprimento dessas metas resulta da comparação dos registos dos resultados nacionais para os anos definidos no protocolo [APA, 2015].

Em maio do ano corrente foi noticiado que Portugal já conseguira atingir as metas impostas no acordo internacional do Protocolo de Quioto de 1997. Assim, Portugal já cumpriu a limitação imposta e já controlou as emissões dos GEE, obtendo valores abaixo dos limites impostos já no ano de 2012. Este resultado foi divulgado no mais recente inventário que Portugal entregou ao secretariado da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas e que fecha o primeiro ciclo de Quioto [Público, 2014].

Contudo os esforços para diminuir os impactos que o crescimento dos países tem no ambiente não se ficaram por aqui e a UE tem mantido esta questão ativa definindo novas estratégias. Em 2020, no que diz respeito às alterações climáticas e sustentabilidade, a UE tem como metas principais a redução das emissões de gases com efeito de estufa em pelo menos 20% , obter 20% da produção de energia a partir de fontes renováveis e aumentar em 20% a eficiência energética. [UE 2020, 2015]

Com estas metas pretende-se que sejam implementadas soluções que melhorem o desempenho energético dos edifícios europeus. Também a produção de energia limpa, através de fontes renováveis, permitirá reduzir as emissões de gases poluentes contribuindo assim para os objetivos de melhoria do meio ambiente.

Para que as ações a tomar sejam de certa forma mais fáceis de identificar e sigam um modelo já pensado e estruturado para resolver estes problemas, estes novos projetos de eficiência energética devem seguir a diretiva *Energy Performance of Building Directive* (EPBD) [Grözinger, 2014].

Desta forma, em 2020 todos os novos edifícios deverão ser altamente eficientes e ter um balanço energético próximo do zero. Apesar de ser um conceito já existente, o objetivo é passar a ser de uso obrigatório. Assim todos os edifícios novos devem ser "*Nearly Zero Energy Buildings*" (NZEB), e estas medidas devem começar a ser implementadas nos edifícios públicos com propriedade do estado [Edifícios, 2012].

Por NZEB entende-se que os edifícios devem ter um maior controlo dos consumos energéticos e as principais fontes de energia devem ter origem na produção de energia com recurso a fontes renováveis. Assim, procura-se que o balanço energético seja muito aproximado de zero, ou seja, as necessidades e a produção energética devem ser sensivelmente equivalentes [Edifícios, 2012]. No entanto, este é ainda um aspeto crítico pois é necessário definir como podem ser geridas as



necessidades energéticas de forma mais eficiente tirando proveito da energia produzida com recurso às fontes renováveis. Desta forma são reduzidos os custos energéticos com a eletricidade que é comprada, principalmente nas situações em que o preço é flutuante de acordo com as condições do mercado.

Apesar de todos estes conceitos serem conhecidos e atualmente já serem introduzidos nas novas construções, o que muda é que agora passam a ser obrigatórios nos Estados Membro (EM) da União Europeia. Embora cada país seja responsável pelo planeamento e gestão da implementação do projeto, o objetivo é alcançar as metas definidas pela EPBD. No entanto os vários países dos EM devem apresentar os seus projetos detalhados para validação dos requisitos, para que se verifique se estes vão de encontro ao esperado [Edifícios, 2012].

Cada EM deve ter também em conta as suas características e condições atmosféricas para definir o seu plano e modo de implementação, bem como qual a melhor forma de aplicar e tirar partido das energias renováveis. É importante conhecer o potencial das tecnologias e como tirar partido das mesmas.

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos vários projetos neste sentido para ajudar no aumento da performance dos edifícios tornando-os mais inteligentes. Para tornar um edifício inteligente é implementado todo um sistema que auxilia a gestão do consumo e produção de energia no edifício, que deve ser adaptado às necessidades do edifício no contexto em que este se insere bem como face aos seus requisitos de utilização.

No âmbito do projeto *Building as a Service* (BaaS), a implementação de um *software* para automatizar o funcionamento normal de um edifício, com recurso a sensores e novas tecnologias, permitirá otimizar os consumos energéticos do edifício evitando desperdícios de eletricidade.

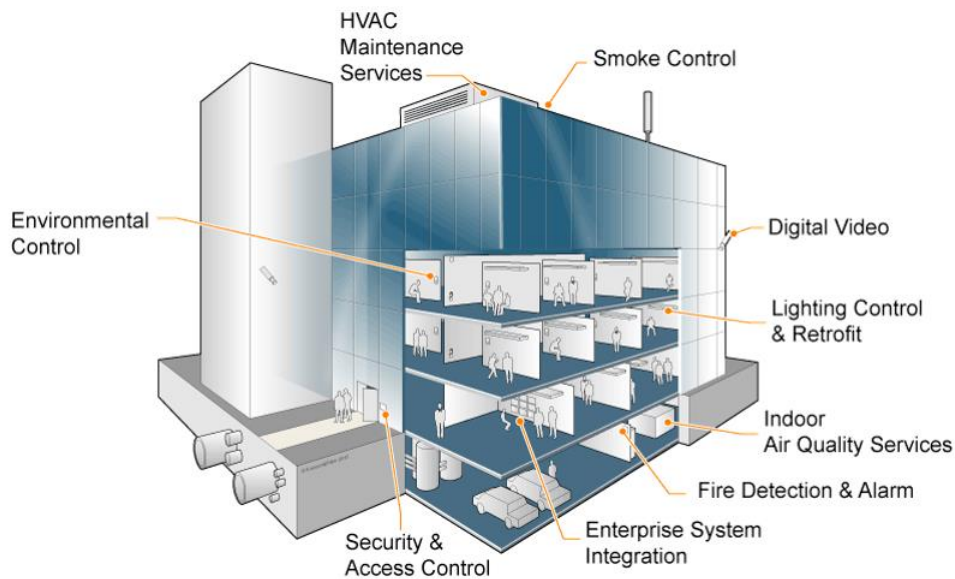


Figura 5: Infraestrutura de um edifício moderno [Ingo Lück, 2015]

Esta necessidade verifica-se ainda mais quando se tratam de edifícios públicos como, por exemplo, os hospitais, escolas, e outros edifícios onde os utilizadores, por norma, não têm que se preocupar com os custos energéticos e manutenção. Assim, os utilizadores ignoram algumas ações como desligar as luzes após sair de uma sala, desligar o AC, e é nestas situações que a utilização de sensores, e outras tecnologias, podem ser usadas a nível de sistemas de gestão de edifícios para reduzir o consumo de energia [Ingo Lück, 2015].

Resumindo, os sistemas inteligentes de gestão de edifícios devem ser possuir algumas características essenciais, tais como: ser dotados de *software* e *hardware* que permitam a monitorização e controlo da energia elétrica consumida, bem como da produzida com recurso a fontes renováveis; devem possuir uma rede de sensores que permitam controlar questões de segurança como, por exemplo, em caso de incêndio e controlo de acessos; também devem ter a função de identificar situações em que esteja a ser desperdiçada energia, como por exemplo, quando as salas deixam de ser utilizadas mas os utilizadores não desligam a iluminação e/ou o AC. Outro aspeto importante é o armazenamento dos dados de consumo e produção, estes permitem realizar análises sobre os perfis de utilização do edifício e identificar possíveis pontos de melhoria.

## 2.4 Descoberta de Conhecimento em Base de Dados

A procura de conhecimento contido em dados, designada por Descoberta de Conhecimento em Base de Dados (DCBD), é um processo automático que envolve a extração de conhecimento a partir de uma Base de Dados (BD).

Os seres humanos adquirem conhecimento através de um processo de aprendizagem. Num sistema computacional esse processo é feito com as alterações que ocorrem, permitindo refazer as mesmas tarefas de forma mais eficaz e eficiente. Descobrir conhecimento é retirar de extensos conjuntos de dados informações que podem ser úteis para a tomada de decisões. A extração não trivial de informação de um grande conjunto de dados é a principal característica do processo de DCBD [Santos and Azevedo, 2005].

No processo de DCBD são usadas ferramentas e técnicas de análise que envolvem diversas etapas, tendo como etapa fundamental o *Data Mining* (DM). O DM é um processo de DCBD, que utiliza várias técnicas e algoritmos para extração de conhecimento em BD.

Inicia-se o processo de DCBD com a compreensão do estudo da aplicação e a perceção dos objetivos a atingir. Seguidamente, agrupam-se os dados a tratar e passa-se à etapa de limpeza através do pré-processamento de dados, tendo que torná-los adequados aos algoritmos a utilizar. Fazem parte do pré-processamento tarefas como a remoção ou inclusão de dados e a transformação de dados para o seu posterior tratamento. Esta é uma tarefa crucial no processo de DCBD pois a qualidade dos dados condiciona a eficiência dos algoritmos aplicados e, por consequência, a qualidade dos resultados obtidos. O pré-processamento pode ser bastante demorado, podendo consumir até cerca de 80% do tempo necessário para todo o processo [Santos and Azevedo, 2005].

Continuando o processo, segue-se a fase de DM que se inicia com a seleção de métodos e técnicas a utilizar. Esta escolha tem por base os objetivos do processo de DM anteriormente referidos.

Algumas técnicas que podem ser aplicadas são as Árvores de Decisão, Redes Neurais Artificiais, Algoritmos Genéticos (AG), Regras de Indução, entre outras.

No final do processo podem ser validadas e analisadas as descobertas, permitindo obter conhecimento. A opinião de peritos neste processo torna-se crucial para a obtenção de conhecimento relevante.

A figura 6 representa o processo de DCBD, que essencialmente é constituído por três etapas fundamentais: pré-processamento, *Data Mining* e pós-processamento, sendo cada umas delas constituída pelas suas sub-tarefas.

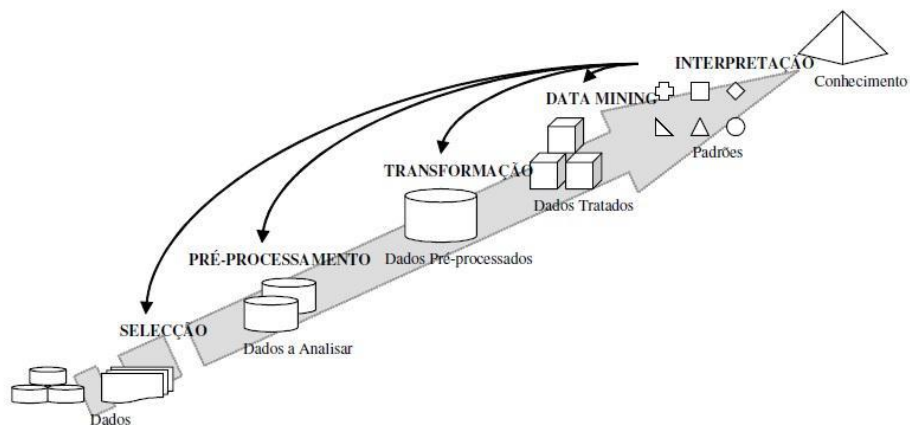


Figura 6: Processo de DCBD [Santos and Azevedo, 2005]

### Seleção

Depois de definido o que se pretende explorar no processo de DCBD, segue-se a seleção e recolha dos dados necessários. O conjunto de dados resultante conterá apenas os dados relevantes para o processo de DCBD.

### Pré-Processamento

Esta etapa comporta a limpeza dos dados. Os dados são tratados de forma a eliminar inconsistências e evitar problemas causados por falta de dados. Também pode ser necessária a reconstrução de dados.

### Transformação

A transformação dos dados inclui a procura de configurações apropriadas para representar os dados. A utilização de mecanismos de transformação dos dados tem como objetivo diminuir o número de registos e/ou atributos em análise, adaptando-os para a utilização dos mesmos nas técnicas de DM.

### Data Mining

A maioria dos métodos de *Data Mining* baseia-se em conceitos de Aprendizagem Automática (AA), Inteligência Artificial (IA) e reconhecimento de padrões. Nesta fase aplicam-se algoritmos para descobrir padrões nos dados, através de uma seleção de métodos e técnicas a aplicar para melhor cumprir os objetivos definidos.

## Interpretação

Os resultados do processo de DCBD podem ser visualizados de diversas formas, porém devem permitir uma análise criteriosa para identificar a necessidade de voltar a qualquer uma das fases anteriores.

Os padrões encontrados são interpretados como conhecimento, que pode dar suporte à tomada de decisão. O objetivo é construir um modelo de saída para tornar os resultados dos modelos e técnicas de *Data Mining* mais eficientes e compreensíveis para os utilizadores finais.

Nesta etapa inclui-se a fase de pós-processamento, pois a determinação dos valores de confiança e suporte são dados muito importantes para a validação das regras encontradas.

## 2.5 Data Mining

Atualmente o uso das tecnologias de informação está generalizado e é crucial em diversos ramos da atividade económica, não se restringindo apenas ao meio tecnológico. Consequentemente, as Base de Dados têm aumentado exponencialmente a quantidade de informação armazenada o que reforçou a importância dessa informação, pois transmitem uma grande porção de conhecimento que pode ser utilizado para otimizar as tomadas de decisão.

A exploração de dados para a descoberta de padrões e relações entre os dados, com recurso à aplicação de algoritmos, constituem as chamadas técnicas de Data Mining. Os sistemas de descoberta de conhecimento são, geralmente, complexos o que exige rigor no seu processo de desenvolvimento [Santos and Azevedo, 2005].

### 2.5.1 Definição

Data Mining é uma fase do processo de DCBD que agrega técnicas de diferentes áreas de investigação para a extração de conhecimento em base de dados. É um processo de análise de dados e extração de conhecimento contido em grandes quantidades de dados, que se foca no estudo de teorias e algoritmos que retirem modelos e relações através dos dados.

O termo DM designa a tarefa de descobrir novos padrões de conhecimento, tendências e generalizações na informação recolhida e preparada para esse fim. Visa, ainda, a identificação de informação e relações interessantes nos dados em análise para retirar conhecimento que, numa primeira análise sobre grandes quantidades de dados, seria difícil de identificar [Santos and Azevedo, 2005].

Com os resultados obtidos na aplicação de técnicas de DM pode-se gerir informação, tomar decisões, controlar processos, entre outras aplicações.

### 2.5.2 Aplicação

Os objetivos mais comuns do *Data Mining* são a classificação, previsão, regressão linear, segmentação, associação ou dependência, sumarização, visualização e deteção de desvios [Santos and Azevedo, 2005].

- A classificação consiste em criar um modelo que permita classificar dados categorizando-os em classes. É uma tarefa de aprendizagem que classifica os dados de acordo com as suas características. A aprendizagem é supervisionada;
- A previsão tem como objetivo prever valores futuros ou desconhecidos tendo por base a descoberta de padrões em valores já adquiridos;
- Regressão linear encontra uma função para fazer a previsão de uma variável. Permite a discriminação de dados com base na combinação de atributos de entrada;
- A segmentação (*Clustering*) permite agrupar registos semelhantes e separá-los de registos distintos. As ferramentas de DM encontram diferentes grupos de dados, que podem ser aplicados em vários problemas. A aprendizagem é não supervisionada;
- A associação e dependência têm como objetivo encontrar um modelo que descreva dependências significativas entre variáveis. As associações surgem quando várias ocorrências estão ligadas num único evento;
- A sumarização encontra uma descrição para um subconjunto de dados através de métodos que derivam de regras de resumo e descoberta de relações;
- A visualização apresenta dados finais de DM em formato visual, descrevendo informações complexas através de diagramas permitindo assim uma melhor representação e compreensão da informação;
- A deteção de desvios concentra-se na descoberta de alterações significativas de dados, tendo por base valores normativos ou previamente medidos.

Há uma variedade de algoritmos cuja seleção depende do objetivo final na sua utilização de *Data Mining*.

### 2.5.3 Técnicas

As técnicas de *Data Mining* são um conjunto de processos baseados em conhecimentos científicos e estão relacionadas com a Inteligência Artificial e Aprendizagem Automática. A cada uma delas estão associados algoritmos que permitem a identificação de padrões e classificação dos resultados. Algumas das técnicas de DM mais conhecidas e utilizadas são:

- Árvores de decisão;
- Regressão;
- Algoritmos genéticos;
- Algoritmos de *clustering*;
- Lógica difusa;
- Algoritmos de vizinhança mais próxima;
- Redes Neurais Artificiais;
- *Support Vector Machines* (SVM).

Dado que no presente trabalho se usaram redes neuronais artificiais para a previsão e criação de perfis de consumos e produção de energia elétrica, com base em registos de dados históricos, apresenta-se, de seguida, uma breve descrição acerca deste tipo de técnicas.

#### 2.5.3.1 Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNA) são uma das técnicas mais usadas em *Data Mining*. As RNA têm um funcionamento inspirado no funcionamento do cérebro humano e utilizam uma arquitetura muito próxima do seu funcionamento, tendo em conta as suas capacidades de aprender e auto corrigir-se [Santos and Azevedo, 2005].

Um cérebro humano é composto por elementos de processamento básicos: os neurónios. Como tal, os constituintes de uma rede neuronal são um agregado de neurónios interligados que funcionam em conjunto. Cada neurónio humano é constituído por um corpo celular que contém um núcleo de onde saem vários ramos, denominados de dendrites, e um ramo mais extenso e isolado, o axónio [Santos and Azevedo, 2005].

A interligação entre os neurónios é feita através das sinapses de um dendrito com as de um axónio. Por meio dessa ligação são propagados sinais através de uma reação eletroquímica.

Uma RNA é uma estrutura computacional que tem como base unidades de processamento (neurónios) interligadas e organizadas em grupos (camadas). Cada neurónio é formado por um conjunto de entradas e saídas que estabelecem a comunicação com o envio de sinais através

das ligações, cada uma com um peso associado. Na construção de uma RNA é necessário determinar o número de neurónios que a constituem, o modo como se interligam, definir a codificação de entrada e a descodificação de saída, o seu tipo, iniciar os pesos da rede e o respetivo treino com um algoritmo apropriado. A figura 7 expõe o modelo de um neurónio artificial.

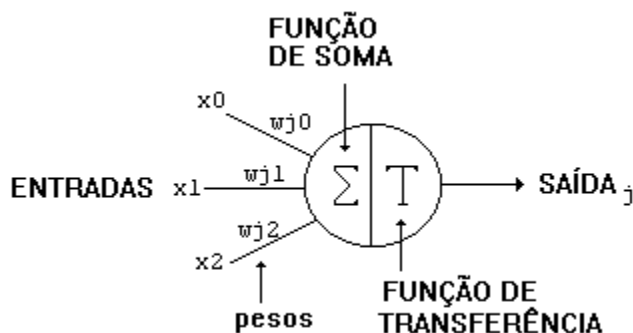


Figura 7: Neurónio artificial [Tafner, 1998]

### Arquiteturas das RNA

Na representação de uma RNA os neurónios estão ligados entre si com uma orientação. A estrutura de uma rede define qual a arquitetura a adotar, de acordo com as várias existentes, sendo que as mais utilizadas são [Santos and Azevedo, 2005]:

- **Redes totalmente ligadas:** todos os neurónios estão interligados entre si;
- **Redes de camada única:** estas redes possuem duas camadas, a camada de entrada e a camada de saída. Os neurónios podem ser treinados individualmente pois são independentes entre si;
- **Redes multi camada:** este tipo de rede é constituído por diferentes camadas ordenadas paralelamente. A primeira camada é a de entrada e a última é a camada de saída, as camadas intermédias designam-se por camadas escondidas.

A forma como os neurónios se interligam entre si numa rede designa-se por topologia. Geralmente, são representadas duas categorias [Santos and Azevedo, 2005]:

- **Redes *Feed forward*:** as ligações são unidirecionais, não existem ciclos, das entradas para as saídas;



- **Redes recorrentes:** com ligações arbitrárias, este tipo de redes possuem ciclos de realimentação.

Normalmente as RNA utilizam uma estrutura *feed forward*, onde cada neurónio está ligado apenas aos da camada seguinte.

### **Métodos de Aprendizagem**

Um aspeto importante a considerar numa rede neuronal é o processo de aprendizagem da rede. Para tal, é necessária a formação de regras de aprendizagem, definindo-se os algoritmos a utilizar para criar relações entre os dados. As regras de aprendizagem instruem a rede neuronal a obter conhecimento acerca dos dados disponíveis e a aplicar esse mesmo conhecimento para auxiliar o utilizador na tomada de decisões. A aprendizagem, numa rede neuronal, consiste na atualização dos pesos das ligações entre os neurónios. Existem três métodos fundamentais em que assenta a aprendizagem das RNA [Santos and Azevedo, 2005]:

- **Aprendizagem supervisionada:** onde são conhecidos os valores de entrada e saída corretos. A aprendizagem da rede permitirá obter valores de saída para novos dados;
- **Aprendizagem não supervisionada:** não é conhecido o valor de saída correto. A aprendizagem realiza-se com a deteção de regularidades e relações nos valores de entrada. Utiliza-se este modelo quando são desconhecidos ou não estão disponíveis os valores de saída;
- **Aprendizagem por reforço:** não são fornecidas as saídas corretas para as entradas. As alterações de pesos baseiam-se nos níveis de atividade entre neurónios interligados.

## **2.6 Metodologia CRISP-DM**

A metodologia CRISP-DM foi desenvolvida em 1996 pelo consórcio de várias empresas, tendo como motivação o interesse pelo *Data Mining* e o interesse da indústria num processo padronizado. A sua finalidade é apoiar um processo de *Data Mining* e resolver problemas de negócio de forma rápida e viável [Chapman, 2000].

É descrita como um processo hierárquico com um ciclo de vida que se desenvolve em seis fases: Estudo do Negócio, Estudo dos dados, Preparação dos dados, Modelação, Avaliação e Implementação. A sequência de execução depende do resultado e desempenho das outras fases. A Figura 8 ilustra o ciclo de vida da metodologia CRISP-DM.

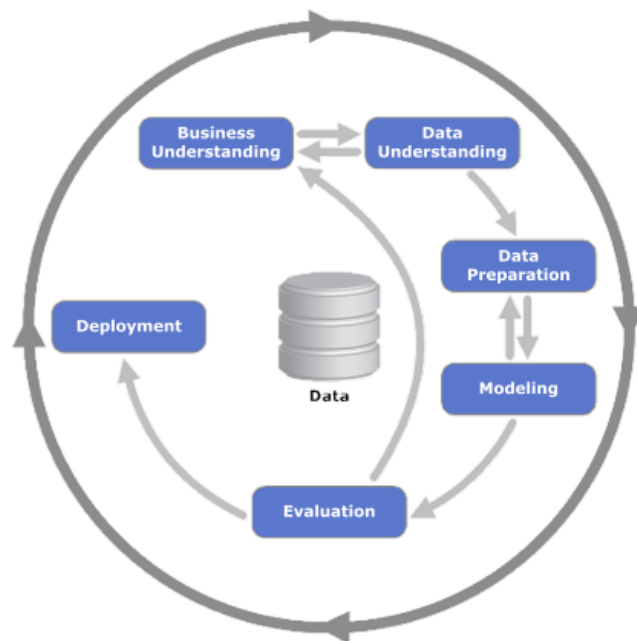


Figura 8: Metodologia CRISP\_DM [Chapman, 2000]

Estudo do negócio - nesta fase o foco passa pela compreensão dos objetivos do projeto e perspectiva de negócio. É feita uma análise dos requisitos do projeto para que esse conhecimento se torne numa decomposição do problema e seja elaborado um primeiro plano para execução do projeto. Assim, as principais tarefas desta fase são: determinar os objetivos do projeto, avaliação da situação, determinação dos objetivos de DM e a produção de um plano de projeto.

Estudo dos Dados – fase de recolha e análise dos dados. Nesta fase adquire-se conhecimento sobre os dados a trabalhar e é possível perceber alguns padrões nos mesmos. Tem como principais objetivos recolher os dados iniciais, descrever os dados, explorar e verificar a qualidade dos dados.

Preparação dos Dados – esta fase compreende todas as tarefas para construir o conjunto de dados final, que será submetido na fase seguinte às técnicas de DM. Os objetivos desta fase são: selecionar e limpar os dados, construir dados em falta, integrar e formatar os dados.

Modelação - Nesta fase é escolhida a técnica de DM a aplicar nos dados. Os *inputs* para o modelo são afinados para obter melhores resultados, e pode ser necessário voltar à fase anterior caso os dados necessitem de ajustes. Esta fase possui como tarefas: selecionar a técnica de modelação, teste de projeto, construir modelo e validar o modelo.

Avaliação – Na fase de avaliação é muito importante garantir que o modelo escolhido é o ideal para o propósito dos objetivos definidos. Aqui é importante determinar se todas as questões do negócio foram contempladas e exploradas. Este passo avalia se o modelo produzido permitiu alcançar os objetivos do projeto. As principais tarefas são: análise dos resultados, revisão do processo e identificação dos passos seguintes.

Implementação – esta fase é a fase final no ciclo de vida de um projeto de DM, e compreende a apresentação do conhecimento obtido através dos resultados do modelo. É importante organizar a informação sobre as dificuldades no decorrer do projeto e expor as soluções para que o modelo possa ser novamente usado. As principais tarefas são: definição do plano de implementação, plano de monitorização e manutenção, escrita do relatório final e revisão de processos e do projeto.

## 2.7 Linguagem de programação R

A linguagem de programação R tem um ambiente próprio de programação para o desenvolvimento de métodos estatísticos e gráficos [R, 2015], e permite implementar várias técnicas de DM pois dispõe de um vasto conjunto de *packages* que permitem utilizar vários algoritmos.

Esta ferramenta é *Open Source*, o que permite a sua evolução e crescimento no mercado, e é também uma vantagem para a sua utilização mais alargada. Tendo em conta que atualmente são realizados muitos estudos sobre dados nas empresas, estas por sua vez recorrem a este tipo de ferramentas para as suas análises e o R é uma alternativa às ferramentas pagas [R, 2015]. Um dos *packages* disponibilizado na linguagem de programação R é o *package* “neuralnet”, este disponibiliza funções para a criação de RNA que permitem criar e gerar previsões sobre um conjunto de dados.

As funções disponibilizadas pelo *package* “neuralnet” foram utilizadas para criar as redes neuronais deste projeto, para a previsão e para a criação de perfis com base nos dados de consumo e produção de energia elétrica dos edifícios do ISEP/GECAD.

A ferramenta R permite a interligação com aplicações Java, assim, podem utilizadas as várias funções da linguagem R em conjunto com aplicações desenvolvidas em Java.

## 2.7.1 Ambiente RStudio

A linguagem R possui um ambiente de programação próprio que permite realizar tarefas como manipulação de dados, cálculos e execução de modelos e possui também um ambiente gráfico.

Para isso recorre a um ambiente integrado com R denominado de R Studio.

No ambiente gráfico é possível executar várias tarefas, tais como [R, 2015]:

- Manipulação de dados e armazenamento dos mesmos;
- Cálculos com matrizes recorrendo aos vários operadores disponíveis;
- Integração de ferramentas intermédias para análise de dados;
- Análise de dados em modo gráfico.

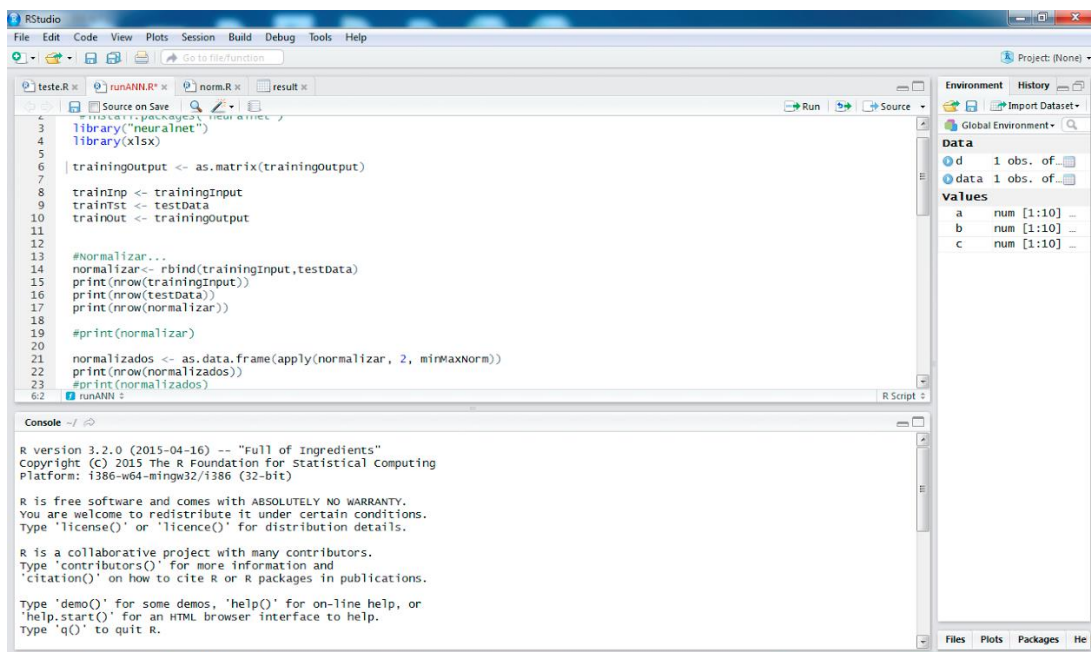


Figura 9: Ambiente gráfico RStudio



## 3 Descrição Técnica

Neste capítulo é descrito o processo de tratamento e análise dos dados recolhidos para o desenvolvimento deste projeto. Também pormenoriza todos os procedimentos realizados ao longo da implementação do projeto.

### 3.1 Enquadramento

Este projeto visa o desenvolvimento de uma aplicação para a previsão de consumo de eletricidade em alguns dos edifícios inseridos no *campus* do ISEP, assim como a previsão dos dados de produção de eletricidade com recurso a energias renováveis.

Os dados do estudo efetuado pertencem a uma base de dados disponibilizada pelo GECAD. Nesta base de dados são armazenados registos de três edifícios do ISEP/GECAD: os edifícios F, I e N. Estes são relativos a dados quer de consumo, quer de produção de energia elétrica. Tanto no edifício I como no edifício N, os dados estão separados por salas e por tipos de consumo. Os tipos de consumo estão organizados por consumo energético dos aparelhos de ar condicionado, consumo dos diversos equipamentos ligados a tomadas e consumo da iluminação. Os consumos registados são muito diferentes, pois o total dos equipamentos utilizados em cada uma das áreas é diferente, dependendo do tipo de sala e perfil de utilização. Para o desenvolvimento das previsões foi utilizada uma das técnicas de *Data Mining*: as Redes Neurais Artificiais.

No edifício F estão instalados sistemas de produção de eletricidade, nomeadamente eólico e fotovoltaico. Os dados de produção são separados pela produção proveniente dos painéis fotovoltaicos e pela produção através do aerogerador eólico. Nestes sistemas a produção de

energia depende das condições climatéricas, uma vez que as fontes de energia utilizadas são o sol e o vento, respetivamente.

Numa fase inicial foi realizada uma análise aos dados com necessidade de identificar quais os dados disponíveis, a forma como se encontravam organizados (de forma a possibilitar a associação dos dados a cada uma das salas e edifícios), quais os períodos disponíveis, a cadência de registo e a avaliação dos dados para executar a tarefa de processamento dos mesmos. Este é um passo importante para o processo de descoberta de conhecimento em base de dados, pois permite detetar quais os dados a serem utilizados e se existem situações em que podem ser necessárias ações de correção dos mesmos.

Na análise dos dados recolhidos, foi também importante perceber as características e componentes que constituem o sistema de produção de energia elétrica com recurso aos painéis fotovoltaicos. Assim, os sistemas de produção de energia são constituídos pelos seguintes componentes:

#### Edifício F

##### Sistemas Fotovoltaicos:

- Sistema de seguimento fotovoltaico conectado à rede – 2 painéis (200Wp)
  - 1 Sistema fotovoltaico com seguimento solar
  - 1 Inversor de corrente: *sunny boy 1100*
  - 1 Módulo de comunicação: Sunny Boy RS-485 communication
- Sistema de monitorização fotovoltaico:
  - Sensor box, *webbox*, sensor de temperatura, sensor de vento e portal *sunny*
- Sistema de painéis fotovoltaicos isolados: 3 painéis (200Wp)
  - 1 Inversor de corrente: *Steca compact*
  - 1 Sistema de armazenamento de energia elétrica com recurso a baterias: *EXIDE technologies*
  - 1 Solar charge controller

Também para os distintos edifícios foi realizado um levantamento das características das salas e dos equipamentos existentes.

No edifício N encontram-se agrupadas algumas salas para análise do comportamento, neste caso as análises e previsões serão realizadas para esse conjunto de salas.

Em seguida, são apresentados os detalhes de cada um dos grupos de salas, que são identificados pelo respetivo analisador que faz a monitorização dos seus consumos.

#### Edifício N

##### **Analisador N1:** 3 escritórios

- 3 AC, 12 lâmpadas fluorescentes, 17 monitores, 8 *desktops*, 2 portáteis.

##### **Analisador N2:** 1 escritório, 1 sala de suporte, 1 *boardroom*

- 3 AC, 10 lâmpadas fluorescentes, 6 monitores, 3 *desktops*, 2 portáteis, 1 televisão.

##### **Analisador N3:** 3 escritórios

- 3 AC, 12 lâmpadas fluorescentes, 17 monitores, 8 *desktops*, 1 portátil, 1 impressora.

##### **Analisador N4:** sala comum

- 2 AC, 4 lâmpadas fluorescentes, 1 aquecedor de água, 1 máquina café.

À semelhança do que acontece no edifício N, também para o edifício I as diferentes salas são agrupadas para a recolha e armazenamento dos dados na base de dados. Em seguida, apresentam-se os detalhes de cada um dos grupos de salas existentes que são identificados pelo respetivo analisador.

#### Edifício I

##### **Analisador I1:** 1 escritório *open space*, 1 sala servidores

- *Open space office*: 1 AC, 24 lâmpadas compactas, 5 monitores, 1 desktop, 3 portáteis, 1 telefone, 1 impressora.
- Sala servidores: 1 AC, 8 lâmpadas, 12 servidores, 1 *router*, 2 switches, 3UPS, 2 KBM, 1 *access point*, 1 impressora.

##### **Analisador I2:** edifício I

- 1 sala de estudantes (100 estudantes), 1 escritório (1 pessoa), 1 sala de servidores, 2 escritórios *open space*, 3 salas de reuniões, serviços comuns.

O modelo de domínio apresentado na figura 10 visa apresentar todas as entidades envolvidas no sistema implementado bem como os atributos que as caracterizam. Este modelo visa representar as relações que existem entre cada uma das entidades.



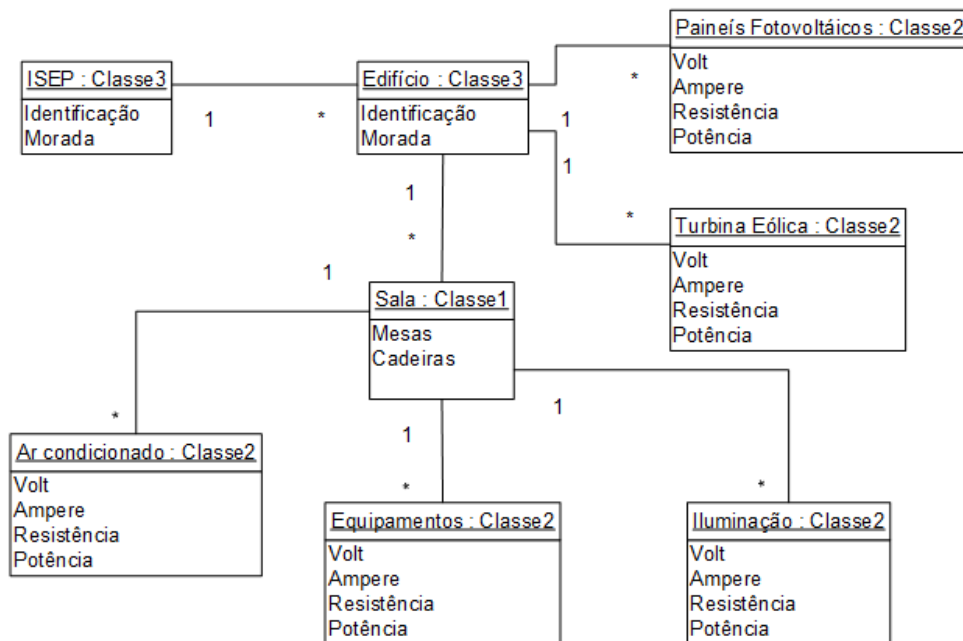


Figura 10: Modelo de Domínio

### 3.2 Dados

Os dados disponíveis para análise através das RNA dizem respeito ao período de 23 de setembro de 2014 até 30 abril de 2015. No entanto, esta base de dados armazena os registos diários de consumo e produção de eletricidade.

Os dados estão disponíveis em dias completos, ou seja, 24 horas, e são registados em 6 instantes diferentes a cada minuto (cadência de 10 minutos). Assim, por cada 60 segundos são disponibilizados 6 registos de medição de consumo e produção de eletricidade, uma vez que a metodologia de armazenamento dos dados é a mesma para os dados de produção e consumo. A criação desta base de dados teve como objetivo a recolha e armazenamento dos dados de consumo e produção de energia para que estes possam ser utilizados nos diversos projetos a desenvolver na instituição.

Com os diversos estudos realizados sobre a produção e utilização das energias renováveis, esta base de dados tem um valor acrescido e permite avançar nas investigações levadas a cabo para os novos objetivos energéticos: edifícios inteligentes e auto-sustentáveis. Esta área de investigação tem ganho maior dinamismo nos últimos tempos.

Após a fase de seleção dos dados, segue-se o pré-processamento. Na fase de pré-processamento é efetuada uma “limpeza” dos dados para eliminação de erros e inconsistências, bem como estimar dados omissos para que estes se tornem compatíveis com a técnica exploratória a utilizar.

Em cada uma das tabelas da base de dados estão armazenados dados de consumo ou produção de energia. Estes dados serão utilizados para a criação dos *inputs* das RNA, assim foram analisados se para todos os dias existiam falhas de registos, sabendo que os dados estão registados ao minuto, e cada minuto tem registos de seis instantes diferentes.

As tabelas em que os dados armazenados estão mais completos, permitem uma análise dos dados com início em 23 setembro de 2014 até ao presente, no entanto existiam algumas falhas de registos que foi necessário ultrapassar. Nem todos os minutos tinham registo ou existiam falhas nos 6 instantes que deveriam ser registados.

No processo de tratamento de dados as falhas de registos foram corrigidas com o cálculo da média entre o último registo retirado da base de dados e o valor seguinte. Desta forma cada dia fica com o mesmo número de registos, o que corresponde a 8640 registos por cada 24 horas, para que possam depois ser utilizados nas redes neuronais e construir corretamente as matrizes para os dados de entrada, teste, treino e *output* da RNA.

Após o tratamento da informação procedeu-se à implementação das RNA, os dados pré-processados foram utilizados para o seu treino e teste. Para cada uma das redes treinadas foi estudado o período de dados a utilizar, pois os dados variam de acordo com o tipo de consumo e podem não conduzir a um resultado satisfatório, ou podem não ter a qualidade desejada para que as RNA possam convergir e demonstrar resultados.

As RNA implementadas permitem prever o consumo energético futuro, sendo que no enquadramento dos edifício inteligentes o período de previsão é normalmente alargado.

As previsões efetuadas abrangem uma semana completa com base na semana anterior. Desta forma é possível prever os consumos e custos num futuro próximo tendo em conta os preços praticados no mercado elétrico. Por outro lado, também é possível prever a energia produzida e, desta forma, potenciar a gestão ativa das cargas.

Com as previsões efetuadas pretende-se identificar perfis de consumo com base na variação dos consumos de eletricidade ao longo de cada dia da semana. Também se pretende auferir como pode ser aproveitada a energia produzida atualmente, através dos painéis fotovoltaicos, para autoconsumo dos edifícios.

### 3.3 Implementação

Neste trabalho foi desenvolvida uma aplicação Java para a criação das RNA com recurso a linguagem R.

#### 3.3.1 Arquitetura

A solução de previsão implementada é alimentada por dados de uma BD já existente de recolha e armazenamento da informação dos sistemas de produção e consumo de energia elétrica. A figura seguinte representa todos os componentes do sistema implementado e a forma como estes estão interligados.

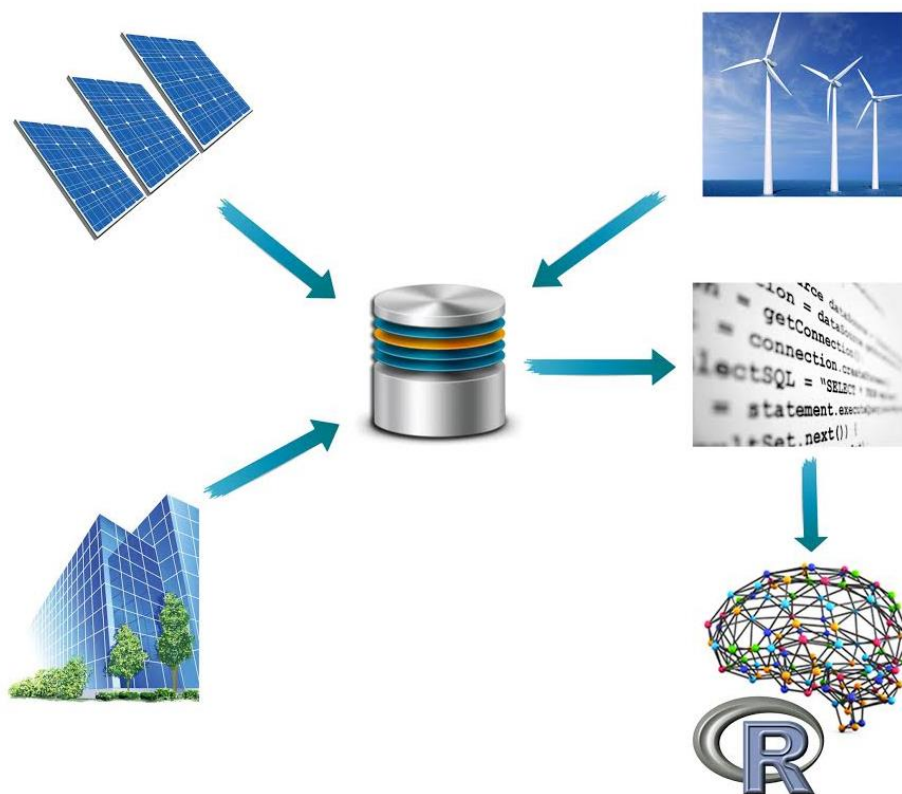


Figura 11: Arquitetura da aplicação

Nos edifícios do ISEP, onde se encontram os laboratórios do GECAD, estão implementados sistemas de produção de energia elétrica com recurso ao uso de energias renováveis, sendo estes os painéis fotovoltaicos e aerogerador eólico. Assim, no esquema da figura 11 estão representados os edifícios do GECAD, os painéis fotovoltaicos e as turbinas eólicas instaladas.

Estes, por sua vez, estão ligados a uma aplicação de recolha dos dados que, por sua vez, está ligada diretamente a uma base de dados, onde são armazenados os dados de produção de energia elétrica diária, bem como os dados de consumo energético dos edifícios, organizados e diferenciados por salas e circuitos. Cada uma das salas possui características diferentes, logo terão consumos diferenciados.

Para a seleção e recolha dos dados foi desenvolvida uma aplicação em Java que se interliga com a base de dados. Nesta aplicação os dados são tratados de forma a que sejam uniformes e completos para serem depois enviados para as redes neuronais. As redes neuronais são construídas e treinadas com recurso à aplicação R. As redes neuronais criadas fazem a previsão dos consumos energéticos da iluminação, equipamentos e ar condicionado, bem como da produção das turbinas eólicas e dos painéis fotovoltaicos.

A aplicação R está também interligada com o Java através de bibliotecas já existentes para garantir a conexão entre as duas tecnologias. A partir da aplicação Java são enviadas instruções para serem executadas na aplicação R.

De acordo com a arquitetura apresentada, os requisitos para a implementação e criação das RNA neste projeto foram os seguintes:

- Acesso à base de dados com as informações recolhidas e armazenadas do consumo e produção de energia elétrica dos edifícios do GECAD;
- Identificação da informação armazenada para os dados de consumo e os dados de produção;
- Seleção e pré-processamento dos dados;
- Implementação do código Java para o processo de recolha e processamento dos dados;
- Interligação entre o código Java e R, com recurso às bibliotecas existentes para o efeito;
- Instalação da aplicação R para permitir a interligação com o código Java. Instalação do ambiente de RStudio e bibliotecas para o desenvolvimento do código das RNA.

A fase de implementação é constituída por várias etapas. Cada etapa tem objetivos diferentes de acordo com as tarefas executadas. Na figura 12 é apresentado o diagrama de atividades com a sequência de execução das várias tarefas para criar as RNA e obter os resultados de previsão.

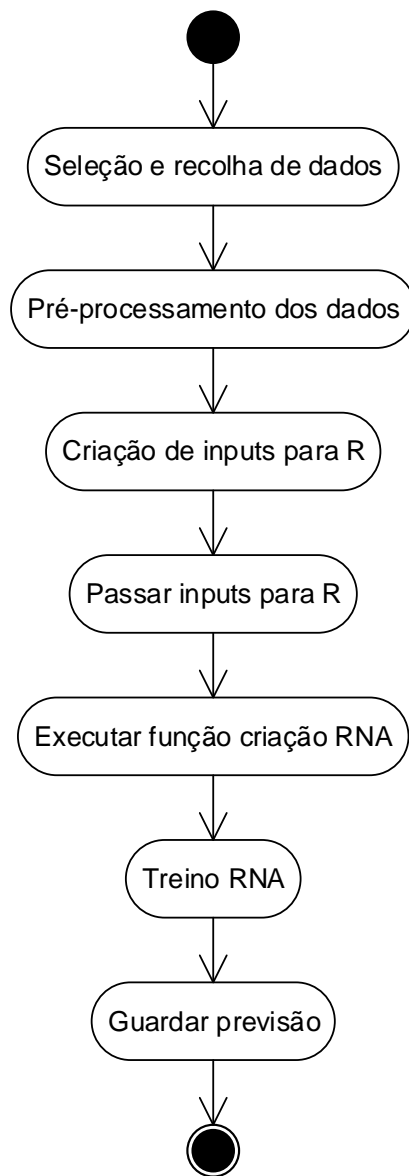


Figura 12: Diagrama de Atividades

Na modelação do sistema é também importante definir o diagrama de sequência, este apresenta a forma como as várias aplicações intervenientes comunicam entre si para a implementação de uma RNA e a ordem pela qual as tarefas devem ser executadas desde a recolha de informação à geração de previsões pelas RNA.

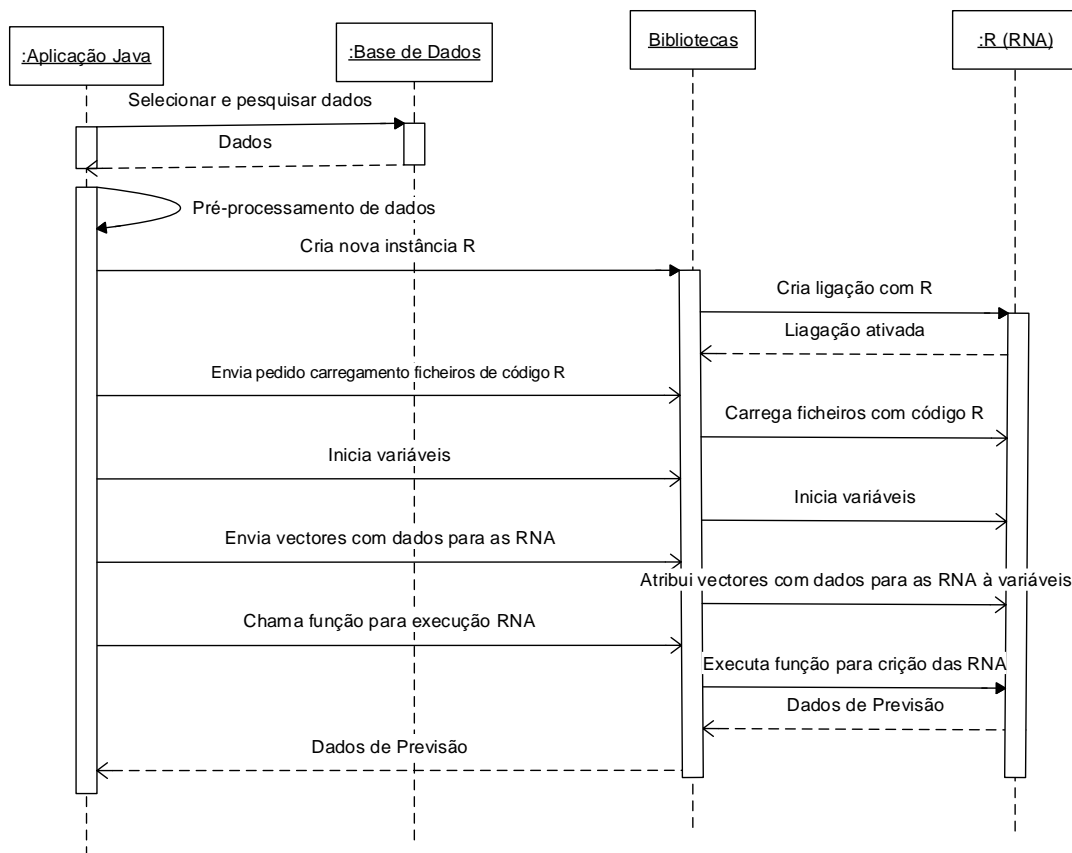


Figura 13: Diagrama de Sequência

Para iniciar o processo de desenvolvimento foi necessário requisitar acesso à BD onde são armazenados os dados dos consumos e produção. Com os dados de acesso concedidos, foi estabelecida a ligação entre o Java e a BD. Com esta ligação os dados são seleccionados e recolhidos para posteriormente servirem de *input* para as redes neuronais.

Em parte dos registos seleccionados existem falhas que tiveram que ser corrigidas na etapa de pré-processamento dos dados. Depois de tratados os dados, seguiu-se a ligação com o R para a execução das RNA.

Para a interligação entre o código Java e o R foram utilizadas as bibliotecas já existentes para o efeito, sendo estas as seguintes: JRI, JRJEngine e REngine. O uso destas bibliotecas permite enviar dados para o R e, posteriormente, executar as funções que permitem a criação das RNA para previsão.

Existem mesmo funções que permitem que na consola do Java possam ser executadas chamadas a funções R em *Real Time* como se o utilizador estivesse a trabalhar na consola da

aplicação R. Estas bibliotecas foram importadas para o Java permitindo assim aceder aos seus métodos que posteriormente possibilitam as chamadas à API do R.

Para que a aplicação Java consiga comunicar com a aplicação R é necessário fazer o *import* de, pelo menos, duas classes para uma utilização posterior:

```
import org.rosuda.JRI.Rengine;  
import org.rosuda.JRI.REXP;
```

Código 1: Excerto de código

Ao importar as classes de ligação entre o Java e o R, representadas no excerto de código 1, são disponibilizados os métodos que permitem executar as instruções no R através do Java.

No excerto de código 2 é apresentado o método de criação de uma instância para a execução do R a partir do código Java.

É também utilizado o método “eval” da classe REngine, este permite o envio de expressões que vão ser lidas e executadas pelo R. Neste caso são indicados os ficheiros com o código que deve ser lido e executado para o tratamento dos dados de *input* da rede neuronal.

A expressão entre aspas é a expressão que é interpretada pelo R para execução.

```
System.out.println("Creating Rengine (with arguments)");  
    Rengine re=new Rengine(args, false, new RTestAPP());  
  
System.out.println(re.eval("source('norm.r')"));  
System.out.println(re.eval("source('runANN.r')"));
```

Código 2: Exemplo de inicialização R

No excerto de código número 3 são apresentadas as instruções de passagem de dados para execução na aplicação R. No primeiro bloco de código é feita a passagem dos seguintes vetores:

- *Input*: este vetor contém os dados que serão utilizados como dados de entrada da rede neuronal. Os dados de *input* utilizados na criação das redes neuronais compreendem o período de 30 de setembro de 2014 a 05 de abril de 2015.
- *Output*: correspondem ao período de tempo que se pretende prever com recurso às redes neuronais. Este dados são utilizados durante o processo de treino da RNA. Para os dados de teste das RNA foram seleccionados dados entre os dias 6 e 12 de abril de 2015.

- *Testdata*: estes dados são utilizados na fase de testes das RNA, estes dados servem como treino da RNA. Para o treino das redes neuronais foram utilizados dados que compreendem o período de 23 de setembro de 2014 a 29 de março de 2015.

Todos estes dados são organizados durante a fase de seleção e processamento dos dados para serem posteriormente carregados, tratados e utilizados durante a execução das RNA na tecnologia R.

No excerto de código número 3, é também demonstrado o uso da classe REXP, esta classe permite armazenar em cache os objetos R que são devolvidos na instrução executada. Aqui os dados de *input* e teste para a RNA são convertidos para uma matriz, de forma a ficarem uniformes com o formato de dados com que as redes neuronais trabalham.

Para a função de criação das redes neuronais são utilizados alguns parâmetros para ajuste da precisão das redes, os parâmetros adicionais configurados foram o *threshold* e as camadas escondidas (*hidden layers*). O *threshold* indica o limite de derivação do erro das RNA. Por sua vez o número de *hidden layers*, como o próprio nome indica, corresponde ao número de camadas escondidas que vão ser executadas na RNA.

Depois de definidos todos os *inputs* para a criação da RNA procedeu-se à fase seguinte da criação, treino e teste das redes neuronais.

```
REXP x;

re.assign("inputdata", inputdata);
re.assign("output", outputdata);
re.assign("testdata", testdata);

System.out.println(x=re.eval("inputdata<- matrix(inputdata, 60480)"));
System.out.println(x=re.eval("testdata <- matrix(testdata, 60480)"));
System.out.println(x=re.eval("output"));

int hiddenLayers[] = {5};
re.assign("hiddenLayers", hiddenLayers);

double threshold[] = {0.00001};
re.assign("threshold", threshold);

System.out.println(x=re.eval("result <- runANN(inputdata, output,
testdata, hiddenLayers, threshold)"));
System.out.println("RES:"+x);
```

Código 3: Passagem de parâmetros para o R



Para a execução das RNA com os dados enviados é chamada a função “runANN” com os respetivos parâmetros. Esta função faz parte do código do ficheiro “runANN.R”, o que significa que na prática todo o código R é executado a partir deste ficheiro.

```
runANN <- function(trainingInput, trainingOutput, testData, hiddenLayers,
threshold){
  #install.packages('neuralnet')
  library("neuralnet")
  library(xlsx)

  trainingOutput <- as.matrix(trainingOutput)

  #Normalize data to values between 0 and 1
  normalizar<- rbind(trainingInput,testData)

  normalizados <- as.data.frame(apply(normalizar, 2, minMaxNorm))
  print(nrow(normalizados))

  trainingInput <-normalizados[1:nrow(trainingInput),]
  incr <- nrow(trainingInput)+1
  testData<-normalizados[incr:nrow(normalizados),]

  #Generate column names for trainingInput and trainingOutput. Required for
  formula construction
  colnames(trainingInput) <- inputColNames <-
  paste0("x",1:ncol(trainingInput))
  colnames(trainingOutput) <- outputColNames <-
  paste0("y",1:ncol(trainingOutput))

  #Column bind the data into one variable
  trainingdata <- cbind(trainingInput,trainingOutput)

  #construct formula
  formula <- as.formula(paste(paste(outputColNames, collapse= "+"),
  paste("~", paste(inputColNames, collapse= "+"))))

  #Train the neural network
  net.sqrt <- neuralnet(formula,trainingdata, hidden=hiddenLayers,
  threshold=threshold,rep=15)
  print(net.sqrt)

  #Test the neural network on some training data
  net.results <- compute(net.sqrt, testData) network

  #See the results
  print(net.results$net.result)
  result<-cbind(net.results$net.result,trainingOutput)
  write.xlsx(result, "C:\\Users\\Dete\\Desktop\\Material R\\Java
  Project\\RTest\\output.xlsx", sheetName="Folha1")

  return(net.results$net.result)
}
```

Código 4: Código de criação e execução das redes neuronais

O código apresentado no excerto de código número 4 inclui todas as funções necessárias para a criação, treino e teste das RNA. Assim, a função “runANN” recebe todos os parâmetros que são enviados através do código Java.

Os dados que servem de *input* para a criação das RNA em R devem ser normalizados. Esta normalização dos dados acontece devido aos resultados que vão ser gerados pela rede neuronal. Na prática quando os dados não são normalizados os resultados das redes neuronais tendem a ter valores todos iguais.

Para a normalização dos dados é usada uma função min-max que transforma todos os valores de *input* e dados de teste em valores num intervalo entre 0 e 1. Esta função encontra-se num ficheiro que também é carregado inicialmente através do código java para que seja reconhecida.

```
minMaxNorm <- function(v){  
  return ((v - min(v)) / (max(v) - min(v)))  
}
```

Código 5: Função de normalização

Depois de normalizados todos os dados necessários, são então criadas as redes neuronais. A função “neuralnet” permite treinar a RNA, para isso são usados os dados de *input* e *output* que são agrupados numa variável *formula*, esta variável representa simbolicamente o modelo que vai ser criado. Podem ser incluídos vários parâmetros no treino das redes para ajustar performance, no entanto os parâmetros a utilizar devem ser avaliados em função dos resultados obtidos. Foram realizados vários testes sobre os valores a definir para os parâmetros *threshold* e *hiddenLayers*. Para a obtenção de melhores performances e melhores resultados de previsão foram utilizadas 5 *hiddenLayers* e um *threshold* de 0.00001.

Para verificar qual o valor de *threshold* mais indicado, foram realizados testes de execução para valores entre 0.000001 e 0.1, reduzindo o valor do erro em cada uma das execuções. O *threshold*=0.00001 permitiu obter uma menor derivação do erro, e permitiu que as RNA convergissem, pois com o valores de 0.000001 as RNA não convergiram. Com a parametrização de *hiddenLayers*=5 foram obtidas melhores resultados nas previsões realizadas, e também melhores performances de execução. Foram testados intervalos de *hidden layers* entre 0 e 20, para valores de *hidden layers* superiores a 5 a performance reduzia drasticamente, bem como a qualidade das previsões, em que os valores de *output* das RNA eram muito semelhantes. Para além de não variação distanciavam-se dos resultados esperados. Com valores de *hiddenLayers*

inferiores as previsões também se distanciavam consideravelmente dos resultados esperados. O parâmetro *rep* indica o número de repetições para o treino da rede neural. A função de treino deve ser invocada da seguinte forma:

```
net.sqr <- neuralnet(formula, trainingdata, threshold=0.00001, hiddenLayers=5,rep=15)
```

Para o teste da RNA e geração dos valores de previsão é executada a função “compute” que recebe como entradas a rede neuronal treinada e os dados de teste. A função de teste deve ser invocada da seguinte forma:

```
net.results <- compute(net.sqr, testData)
```

Depois de executados todos os passos anteriores os resultados podem ser impressos na consola e são apresentados da seguinte forma:

```
Call: neuralnet(formula = formula, data = trainingdata, hidden = hiddenLayers, threshold = threshold, rep = 15)

15 repetitions were calculated.

      Error Reached Threshold Steps
1 267507068.8 0.0009548059439 3006
2 267507068.8 0.0006070572945 3047
3 267507068.8 0.0008624009893 2999
4 267507068.8 0.0009715546867 2947
5 267507068.8 0.0007521935977 3047
6 267507068.8 0.0008824094373 2971
7 267507068.8 0.0009619439561 2974
8 267507068.8 0.0007141092906 3001
9 267507068.8 0.0009171146476 2985
11 267507068.8 0.0009850771259 2948
12 267507068.8 0.0007790482797 2937
13 267507068.8 0.0009497684147 2992
14 267507068.8 0.0009766800532 2968
15 267507068.8 0.0009654227705 3027
10 267507068.8 0.0009687467433 2950

[REAL* (13.852088189377607, 16.39976545122515, 16.220993850645613, 21.222540856814852, 17.11548873908062, 15.880174845749112, 19.24106247064104, 17.400:
RES: [REAL* (13.852088189377607, 16.39976545122515, 16.220993850645613, 21.222540856814852, 17.11548873908062, 15.880174845749112, 19.24106247064104, 17.400:
```

Figura 14: Resultado execução de uma RNA

### 3.4 Simulações

As simulações realizadas visam a construção de redes neuronais para a previsão dos consumos para os edifícios N e I do ISEP/GECAD. As RNA construídas foram criadas com dados históricos desde Setembro de 2014 até ao mês de abril de 2015. Foram realizadas simulações para a identificação do consumo semanal com base na semana anterior, assim, o período de simulação estabelecido foi uma semana. A semana a prever em cada uma das redes neuronais tem início numa segunda-feira e termina a um domingo. A semana de previsão engloba o período de 6 de abril de 2015, inclusive, até ao dia 12 de abril de 2015.

Com a utilização dos dados de uma semana completa, pretende-se identificar perfis de consumo diários, quais os períodos de maior e menor utilização durante cada dia e identificar diferenças de consumo de acordo com o dia da semana.

Nos sistemas de monitorização e gestão de consumo nos edifícios inteligentes a identificação de perfis de consumo é muito importante para uma melhor gestão dos consumos e a otimização da utilização dos recursos de energia com base em fontes renováveis.

Nas RNA implementadas foi possível identificar perfis de consumo com os diferentes comportamentos de consumo ao longo da semana estudada, para períodos diurnos e noturnos e ainda a identificação das diferenças de consumo no fim-de-semana. Com os resultados apresentados é possível perceber qual a variação do consumo e se os custos com a eletricidade poderão aumentar em consumos futuros.

Outro aspeto importante no contexto dos edifícios inteligentes é perceber se os sistemas de produção de energia elétrica com recurso a fontes renováveis utilizados, como por exemplo painéis fotovoltaicos e aerogeradores, produzem energia elétrica suficiente para o consumo do edifício. Uma vez que os edifícios no futuro tenderão a ser NZEB, é importante monitorizar não só o consumo de eletricidade mas também o que é produzido, para identificar potenciais melhorias nos sistemas de produção e evitar a compra de eletricidade em mercado. No entanto, é sempre importante avaliar o custo benefício de implementação de melhorias para o aumento de produção de eletricidade. Devem ser consideradas abordagens alternativas, uma abordagem importante é a do edifício poder efetuar uma gestão global tendo em conta o conhecimento do consumo, produção e do preço a que lhe é vendida a energia elétrica em qualquer instante de análise. Deste modo, a introdução de tarifas dinâmicas, com variação de hora a hora, como já acontece em alguns países como os EUA e Espanha, seria um caso de estudo alternativo, onde a previsão de consumos e produção assume importância basililar.

A tabela 1 são apresentadas as 19 simulações efetuadas para a previsão dos diferentes recursos, assim como um resumo da *performance* de cada uma das redes. Analisando os resultados alcançados, verifica-se que foram obtidos bons tempos de execução das RNA. Também para cada uma das diferentes redes neuronais executadas foram atingidos bons resultados de derivação do erro.

Tabela 1: Simulações RNA

<b>Simulação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Precisão Estimada</b>	<b>Tempo Execução</b>
1	Previsão de consumos do AC durante uma semana para o analisador 1 do edifício N	0,0000085	00:18:45
2	Previsão de consumos do Iluminação durante uma semana para o analisador 1 do edifício N	0,0000081	00:31:17
3	Previsão de consumos dos equipamentos durante uma semana para o analisador 1 do edifício N	0,0000092	03:09:11
4	Previsão de consumos do AC durante uma semana para o analisador 2 do edifício N	0,0000035	00:30:38
5	Previsão de consumos do Iluminação durante uma semana para o analisador 2 do edifício N	0,0000076	00:14:05
6	Previsão de consumos dos equipamentos durante uma semana para o analisador 2 do edifício N	0,0000077	01:00:06
7	Previsão de consumos do AC durante uma semana para o analisador 3 do edifício N	0,0000042	01:40:05
8	Previsão de consumos do Iluminação durante uma semana para o analisador 3 do edifício N	0,0000072	00:22:39
9	Previsão de consumos dos equipamentos durante uma semana para o analisador 3 do edifício N	0,0000071	01:03:36
10	Previsão de consumos do AC durante uma semana para o analisador 4 do edifício N	0,0000065	00:12:11
11	Previsão de consumos do Iluminação durante uma semana para o analisador 4 do edifício N	0,0000061	00:25:21
12	Previsão de consumos dos equipamentos durante uma semana para o analisador 4 do edifício N	0,0000070	00:18:37
13	Previsão de consumos do AC durante uma semana para o analisador 1 do edifício I	0,0000059	00:11:12
14	Previsão de consumos do Iluminação durante uma semana para o analisador 1 do edifício I	0,0000009	02:00:08
15	Previsão de consumos dos equipamentos durante uma semana para o analisador 1 do edifício I	0,0000088	01:17:34
16	Previsão de consumos do AC durante uma semana para o analisador 2 do edifício I	0,0000074	00:26:22
17	Previsão de consumos do Iluminação durante uma semana para o analisador 2 do edifício I	0,0000059	01:08:35
18	Previsão de consumos dos equipamentos durante uma semana para o analisador 2 do edifício I	0,0000058	01:25:57
19	Previsão de produção de energia com os painéis fotovoltaicos	0,000098	02:45:17

### 3.4.1 Análise de consumos edifício N

Para cada um dos analisadores foram estudados os consumos relativos ao AC, iluminação e equipamentos. Estas análises permitiram perceber os perfis de consumo de cada um durante o período de uma semana. Os consumos e previsão de consumo são apresentados em KW e para um período de 7 dias, de segunda a domingo.

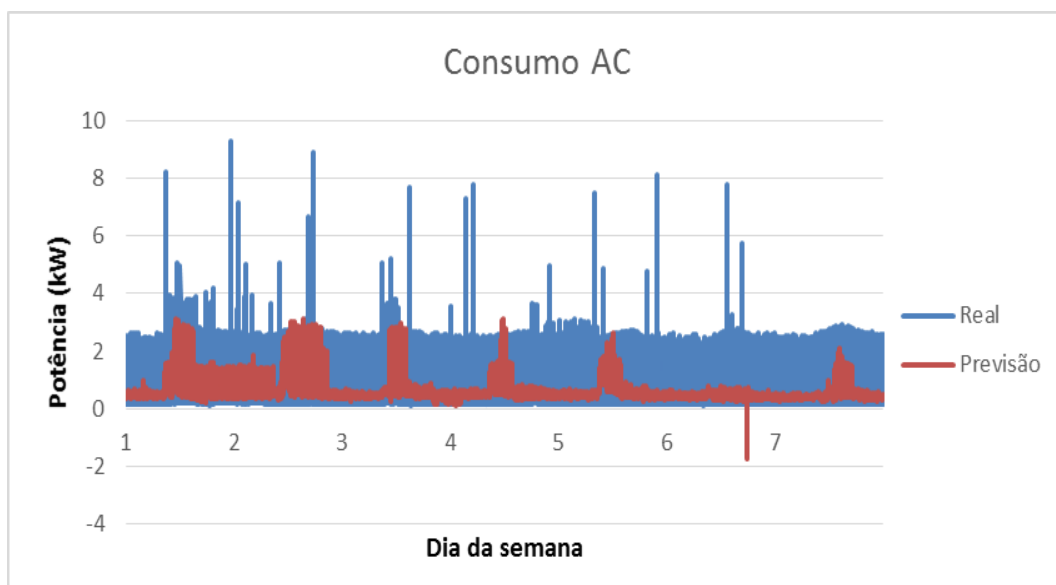


Figura 15: Gráfico com previsão de consumo do AC no edifício N

Analisando o consumo apresentado no gráfico da figura 15, onde são apresentados os consumos de AC para as salas dos analisadores do edifício N, verifica-se que a previsão de consumo para os equipamentos de AC no edifício N não reflete o consumo total. A previsão fica abaixo dos kW consumidos na realidade. Como os AC estão, por norma, programados para entrar em funcionamento de acordo com a temperatura das salas, analisando os dados é possível perceber a variabilidade destes ao longo do dia gerando assim picos de consumo. Apesar de os consumos previstos ficaram abaixo do que efetivamente aconteceu, é importante notar que a previsão também evidencia o perfil de utilização do AC durante a semana. Assim, como era de esperar, é notável que os AC têm um maior período de utilização durante os dias úteis e durante o período do dia, tendo utilização reduzida durante a noite.

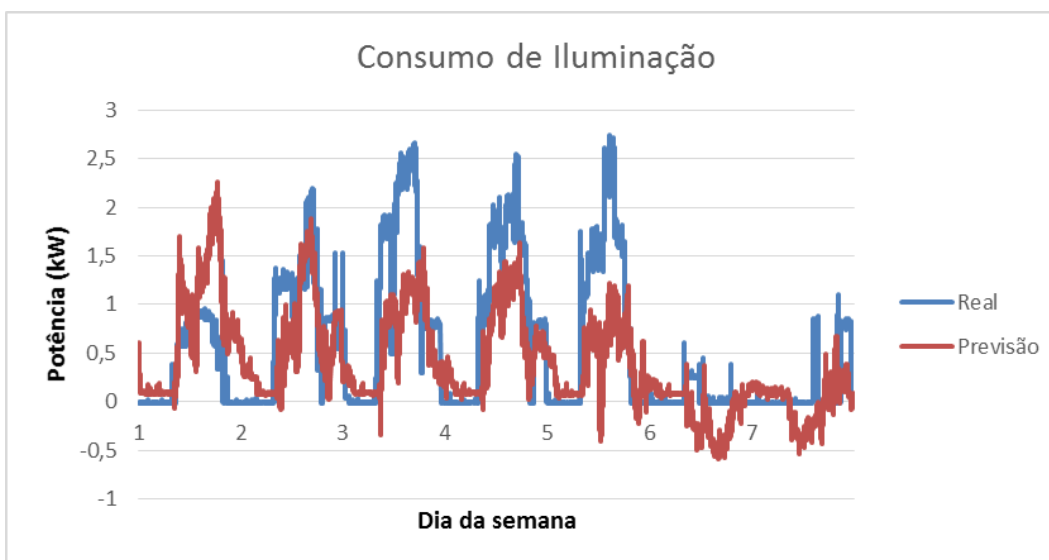


Figura 16: Gráfico com previsão de consumo da iluminação no edifício N

Analisando o consumo apresentado na figura 16, verifica-se que a previsão de consumo para a iluminação difere dos resultados reais. No entanto a previsão acompanha o padrão das oscilações dos consumos ao longo do período analisado. Quando ao perfil de consumo, este está bem definido e identificado nos resultados apresentados. Existe um perfil de consumo mais ativo durante os dias úteis, os primeiros cinco dias da semana, e um período com reduzida utilização nos dias 6 e 7 que correspondem ao fim-de-semana.

Nos dias úteis, o consumo aumenta durante o dia, em especial ao fim do dia com a redução da luz natural, e diminui drasticamente durante a noite, o que condiz com o perfil de utilização das instalações.

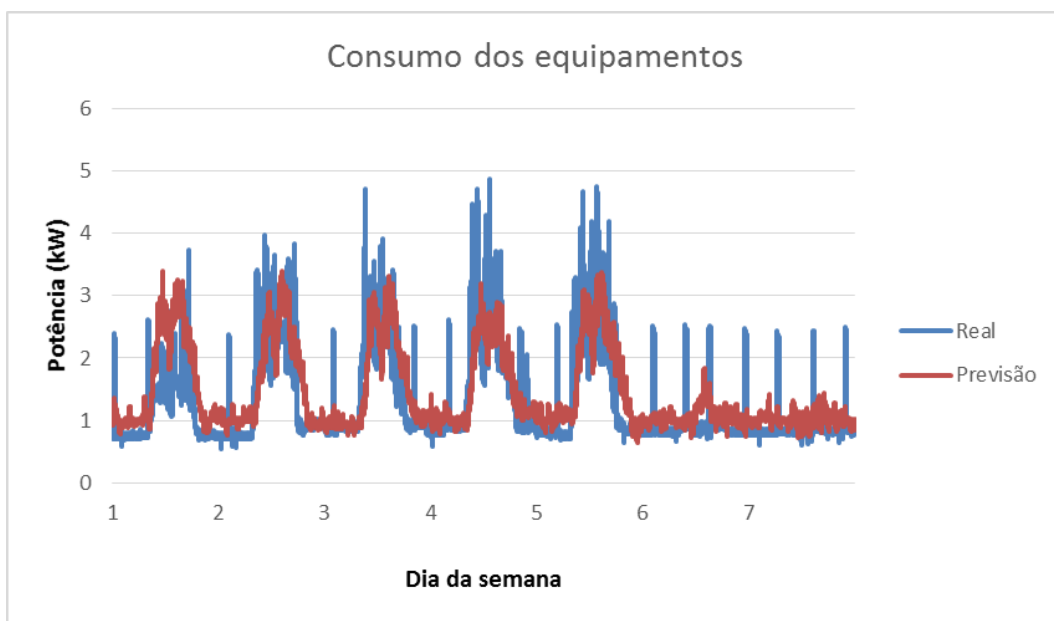


Figura 17: Gráfico com previsão de consumo dos equipamentos no edifício N

Analisando o consumo apresentado no gráfico da figura 17, verifica-se que a previsão de consumo para os equipamentos está próxima dos resultados reais, mas ainda assim com algum erro. À semelhança do que acontece nos gráficos anteriormente analisados, é notável a diferença entre o período de utilização semanal e ao fim-de-semana.

Nos dias úteis, o consumo é elevado no horário diurno e volta a diminuir durante a noite. Durante o fim-de-semana existem alguns picos de consumo, em curtos espaços de tempo, estes podem se originados por equipamentos com uma utilização muito específica, uma vez que também ocorrem picos semelhantes durante os dias úteis, mas estes picos de consumo estão mais dissimulados, durante a semana, dada a maior utilização dos restantes equipamentos.

Uma particularidade no registo do consumo dos equipamentos é que os consumos nunca são reduzidos a zero. Pelo comportamento representado no gráfico, existem constantemente equipamentos a consumir energia, o que define um padrão mínimo de consumo energético nos equipamentos. É de salientar que as redes neuronais conseguiram identificar esta particularidade e prevê-la corretamente.



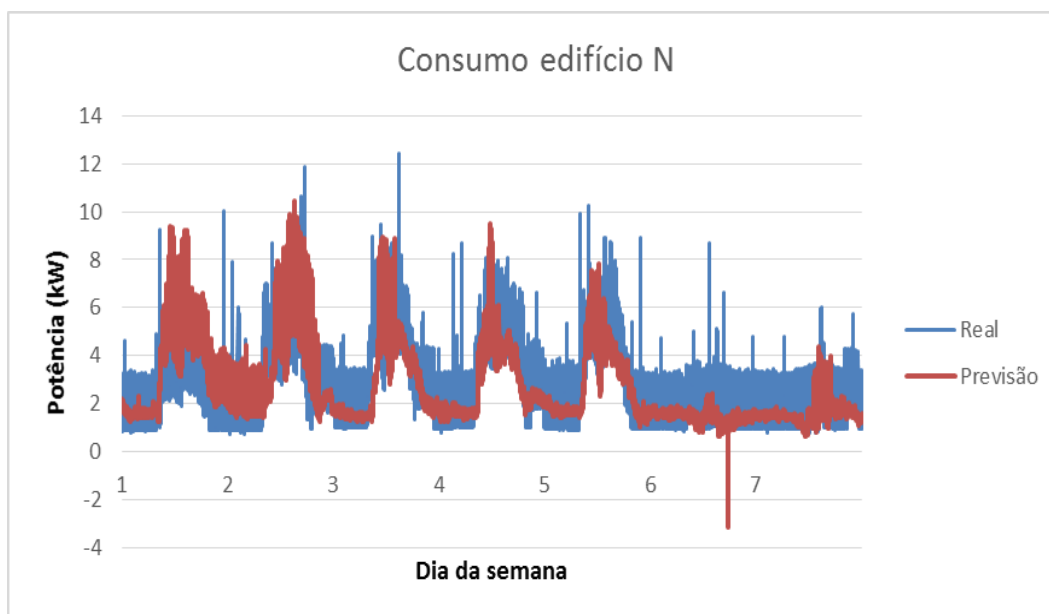


Figura 18: Consumo global do edifício N

O gráfico da figura 18 apresenta um consumo global do edifício N em todos os analisadores. O consumo global vai de encontro ao perfil de consumo descrito anteriormente.

À semelhança do que se verifica nos consumos e previsões da iluminação, AC e equipamentos, é notável a diferença entre o período de utilização semanal e ao fim-de-semana.

Durante a semana estão os períodos de maior consumo em horário diurno, e este baixa consideravelmente durante a noite. O comportamento de consumo noturno assemelha-se ao consumo durante o fim-de-semana.

Com uma visão geral destes consumos, verifica-se que os valores de consumo deste edifício são bastante consideráveis, mesmo nos períodos de menor uso das instalações, dado estarem a ser comparados consumos em kW.

### 3.4.2 Análise de consumos edifício I

Para os analisadores do edifício I foram também estudados os consumos relativos ao AC, iluminação e equipamentos. Estas análises permitiram perceber os perfis de consumo de cada um durante o período de uma semana. Os consumos e previsão de consumo são apresentados em kW e para um período de 7 dias, de segunda a domingo.

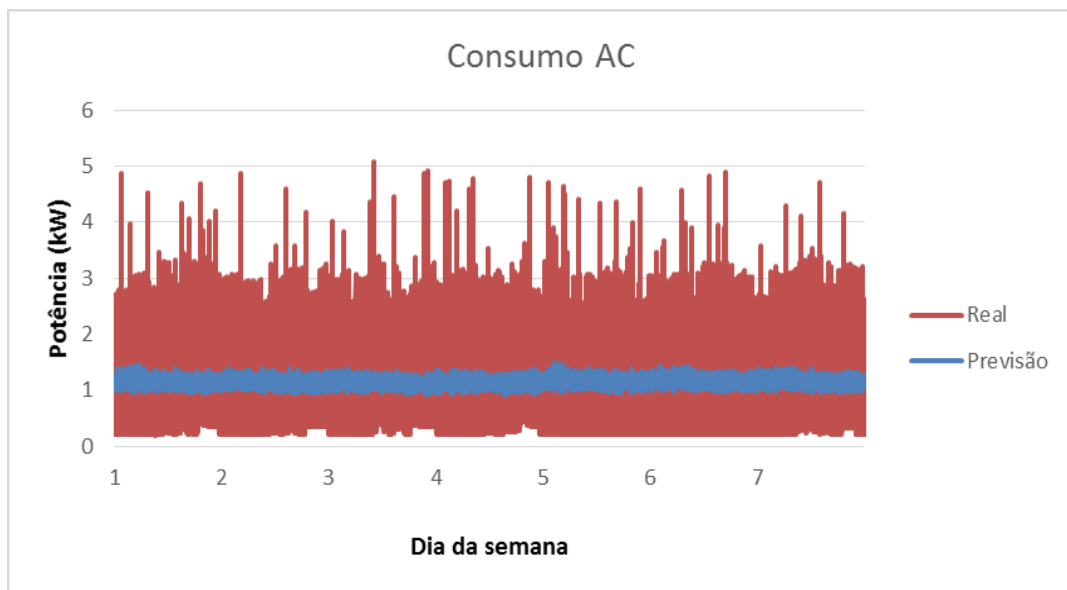


Figura 19: Gráfico com previsão de consumo do AC no edifício I

O gráfico da figura 19 representa os consumos dos analisadores do edifício I. Neste edifício os consumos de ar condicionados são consideráveis, pois numa das salas estão instalados servidores. Na sala de servidores o consumo é constante porque é necessário garantir que a sala se mantém refrigerada, para o bom funcionamento das máquinas.

Neste caso não existe um perfil de consumo distinto por dias de semana ou período do dia, mas sim um perfil de consumos constantes e elevados.

As previsões diferem do consumo real, mas mantêm o padrão de consumo constante no período previsto.

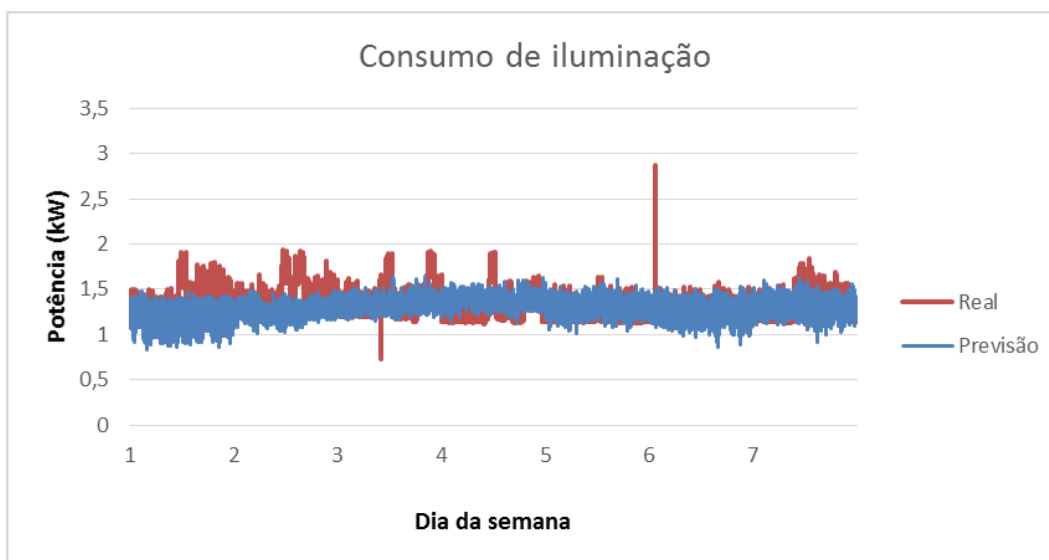


Figura 20: Gráfico com previsão de consumo da iluminação no edifício I

Na figura 20 é apresentado um gráfico com os consumos e previsão de consumos de iluminação dos analisadores do edifício I. Ao contrário do que se verifica no AC, nos consumos de iluminação já é possível encontrar um perfil de consumo diário.

Durante os dias 1 a 5 são registados valores de maior consumo, em especial nos períodos diurnos e final do dia, que diz respeito à altura em que as instalações são utilizadas. No período noturno os consumos diminuem. Analisando os dados, verifica-se, também, que existe sempre consumo gerado pela iluminação.

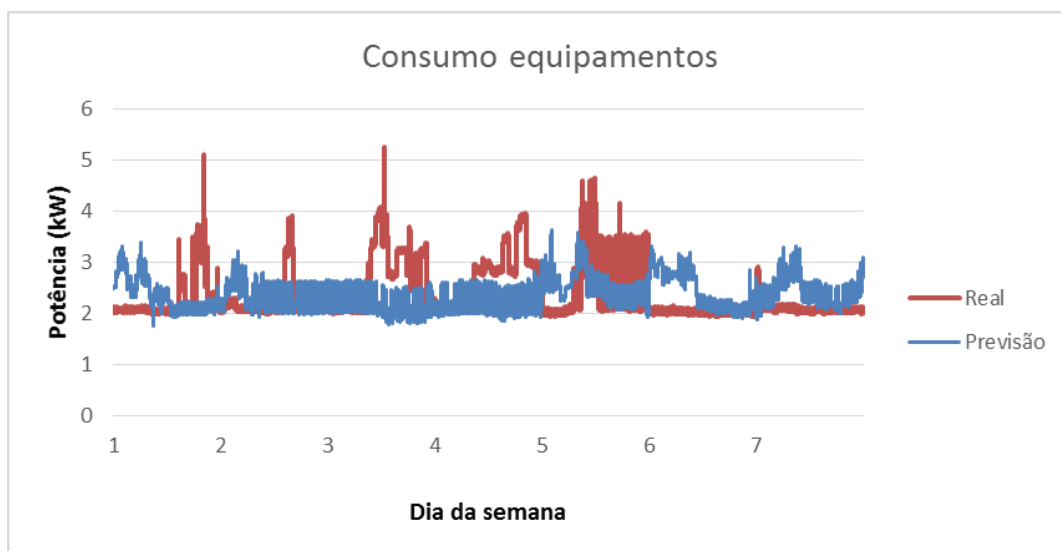


Figura 21: Gráfico com previsão de consumo dos equipamentos no edifício I

Na figura 21 são apresentados os consumos dos equipamentos. Na previsão realizada alguns dos picos de consumo não foram identificados mas esta manteve-se próxima dos consumos com características mais regulares.

O consumo registado demonstra maior atividade durante o dia, e a semelhança dos perfis analisados anteriormente o consumo reduz durante a noite. Também durante o fim-de-semana o consumo é mais reduzido.

Durante todo o período em análise, não existem períodos de consumo a zero ou próximos de zero, o que indica que existem equipamentos que estão ligados permanentemente. Já no edifício N se verifica um comportamento semelhante.

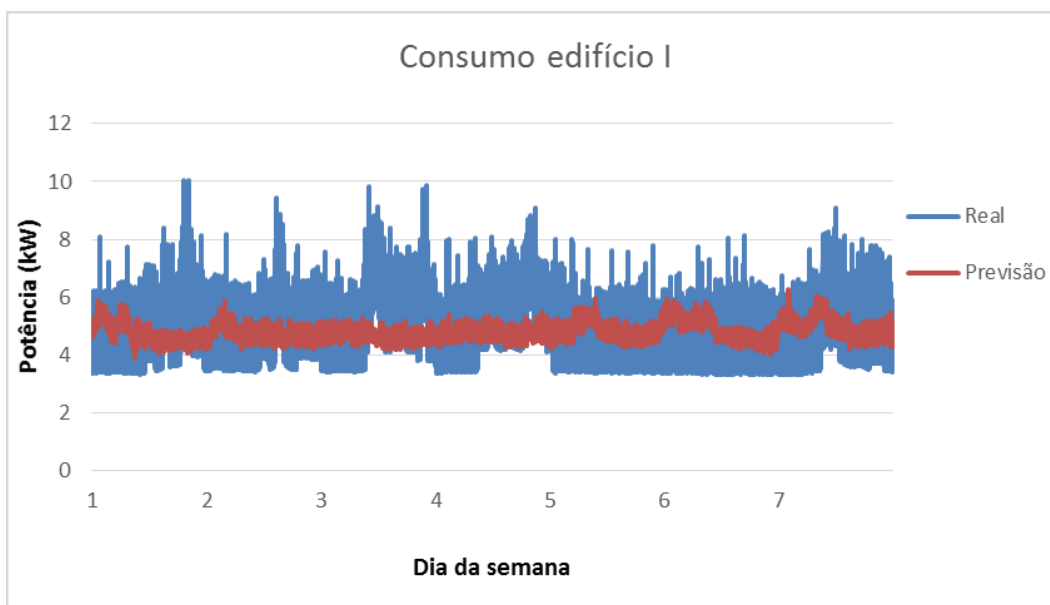


Figura 22: Consumo global do edifício I

No gráfico da figura 22 são apresentados os consumos globais do edifício I em todos os analisadores. No caso do edifício I, em particular, nem todos os tipos de consumo têm um perfil de consumo definido.

Em comparação com o gráfico da figura 18, verifica-se que este edifício tem maiores consumos energéticos e não tem períodos em que os consumos globais reduzem durante o fim-de-semana. No entanto são identificados os períodos de aumento dos consumos, através de picos, durante os períodos semanais e diurnos. Para este tipo de perfil, permanentemente elevado, contribui o funcionamento do AC e dos servidores, que estão em funcionamento durante 24h por dia.

### 3.4.3 Análise de produção

Com os painéis fotovoltaicos instalados no edifício F em funcionamento é possível analisar a energia produzida e comparar com as necessidades energéticas atuais dos edifícios N e I.

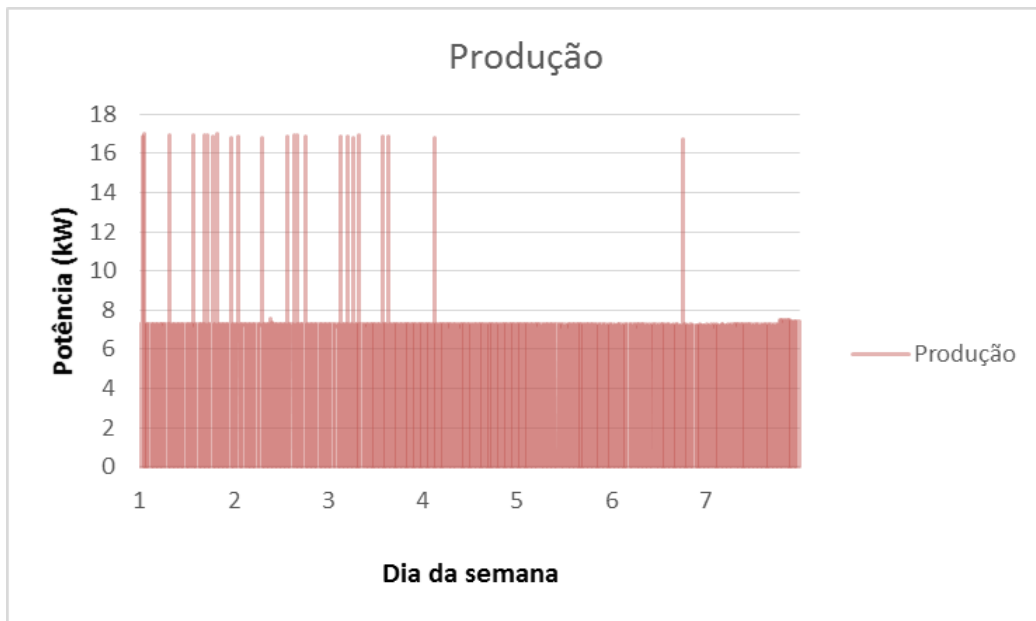


Figura 23: Perfil de produção

No gráfico da figura 23 é apresentada a produção de eletricidade através dos painéis fotovoltaicos, denota-se que a produção mantém um perfil geração de eletricidade pouco variável ao longo da semana. É importante ressaltar que os painéis fotovoltaicos registam informação de produção com valores residuais nos períodos noturnos. E estes influenciam a comparação de resultados entre a produção e o consumo.

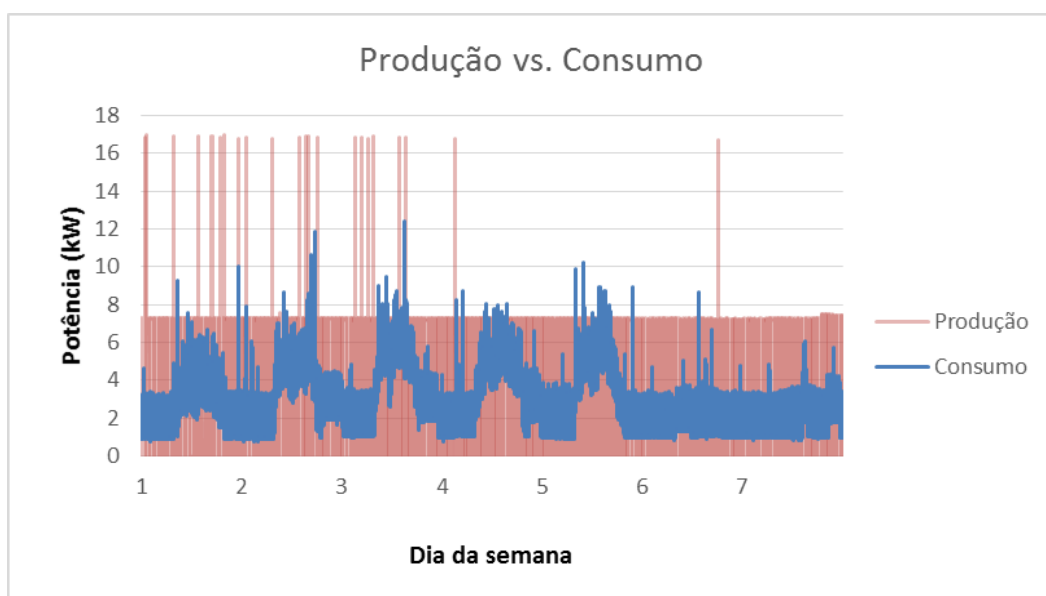


Figura 24: Comparação do consumo do edifício N com a produção

Analisando o gráfico da figura 24 é feita uma comparação entre a eletricidade produzida pelos painéis fotovoltaicos e a energia consumida no edifício N.

É possível verificar que nos períodos noturnos, altura em que os registos de produção reduzem, correspondendo aos períodos iniciais e finais de cada um dos dias identificados, existem registos com valores residuais da produção diária.

Para a semana em análise verifica-se que quando o consumo de energia é elevado, ou seja, nos períodos diurnos e em horário normal de trabalho, a energia produzida não é suficiente para satisfazer a necessidade de eletricidade. Ao longo de cada dia, nos dados de produção existem bastantes registos em que não se registou produção de energia, mesmo sendo em pequenos intervalos de tempo, afetando a disponibilidade de energia elétrica para autoconsumo.

No entanto também é importante notar que foram registados picos de produção de eletricidade. Quando a produção aumenta significativamente, esta atinge valores superiores ao consumo.

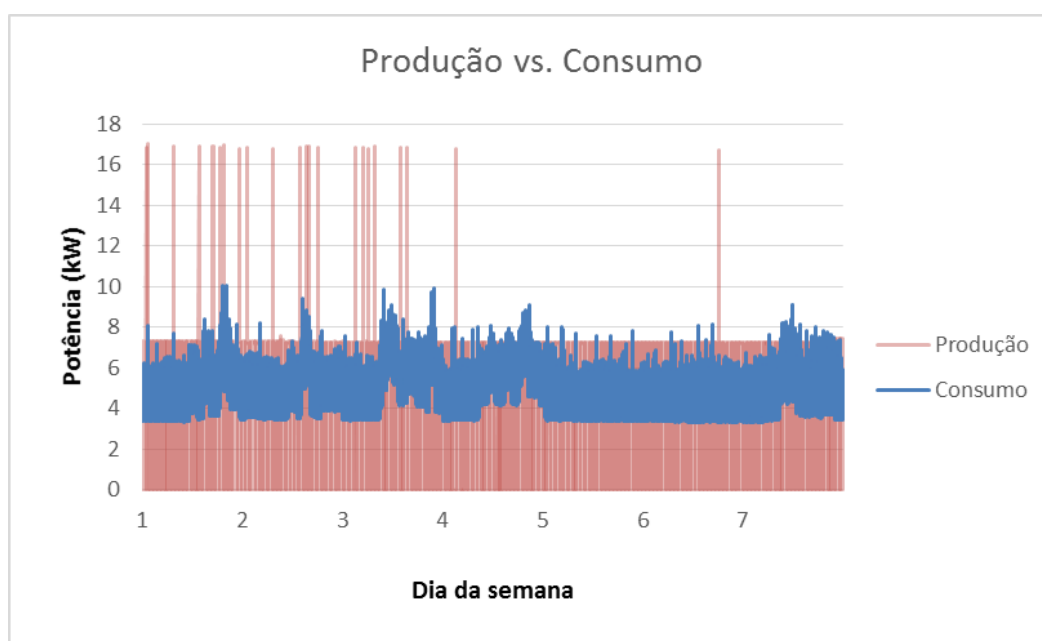


Figura 25: Comparação do consumo do edifício I com a produção

Analisando o gráfico da figura 25 é feita uma comparação entre a eletricidade produzida pelos painéis fotovoltaicos e a energia consumida no edifício I.

Considerando os períodos de maior consumo do edifício I, a energia produzida não é suficiente para satisfazer a necessidade de eletricidade.

Como referido anteriormente, mais uma vez, é importante notar que foram registados picos de produção de eletricidade que cobriam as necessidades face ao consumo, mas também existem períodos em que não foi produzida energia elétrica.

Com a análise comparativa efetuada sobre a energia produzida e a energia consumida, tanto no edifício N como no edifício I, conclui-se que a energia produzida não consegue ser suficiente para alimentar as necessidades de energia dos dois edifícios, apesar de existirem momentos de picos de produção elevada, estes são bastante escassos durante o período analisado.

Para um maior aproveitamento da produção fotovoltaica é necessário instalar mais painéis solares, visto que os edifícios têm um consumo de eletricidade bastante elevado e necessidades constantes.

Como os resultados das análises anteriores demonstraram, a energia produzida não é suficiente para satisfazer as necessidades de consumo de cada um dos edifícios como um todo. Surgiu então a necessidade de analisar até que ponto esta pode ser aproveitada para alimentar um dos edifícios, ainda que de forma parcial.

Para cada uma das componentes do edifício N foram analisadas as possibilidades de aproveitamento da energia produzida face aos consumos com o AC, iluminação e equipamentos.

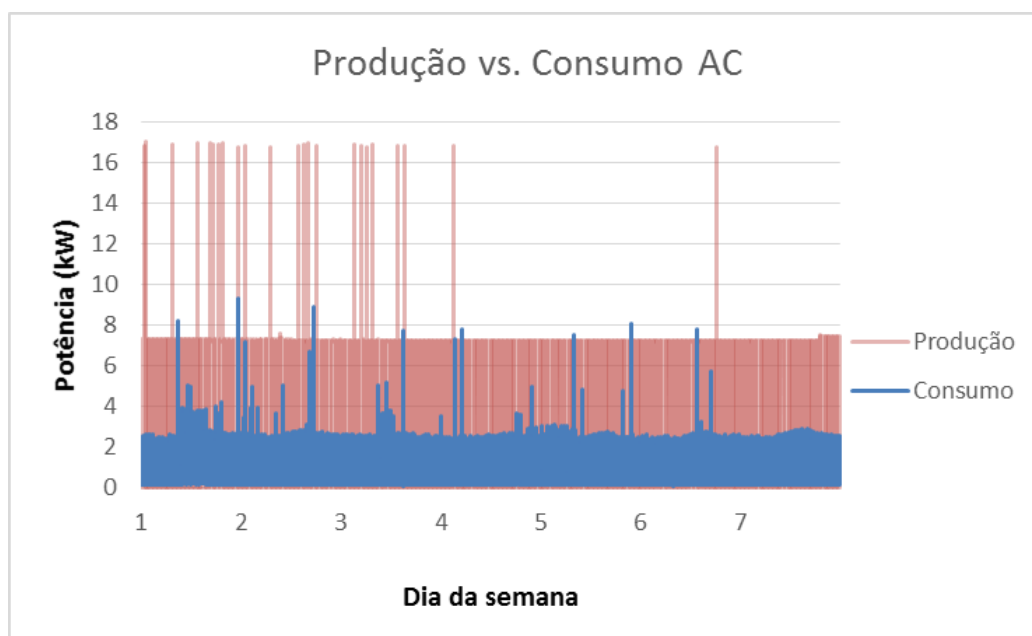


Figura 26: Comparação do consumo do AC do edifício N com a produção



Ao examinar os resultados do gráfico da figura 26, verifica-se que o consumo de energia por parte do AC nos períodos de maior utilização supera a energia produzida. Apesar de grande parte do consumo ser inferior à produção, existem períodos de maior utilização do AC em que os valores de energia consumida superam a energia produzida.

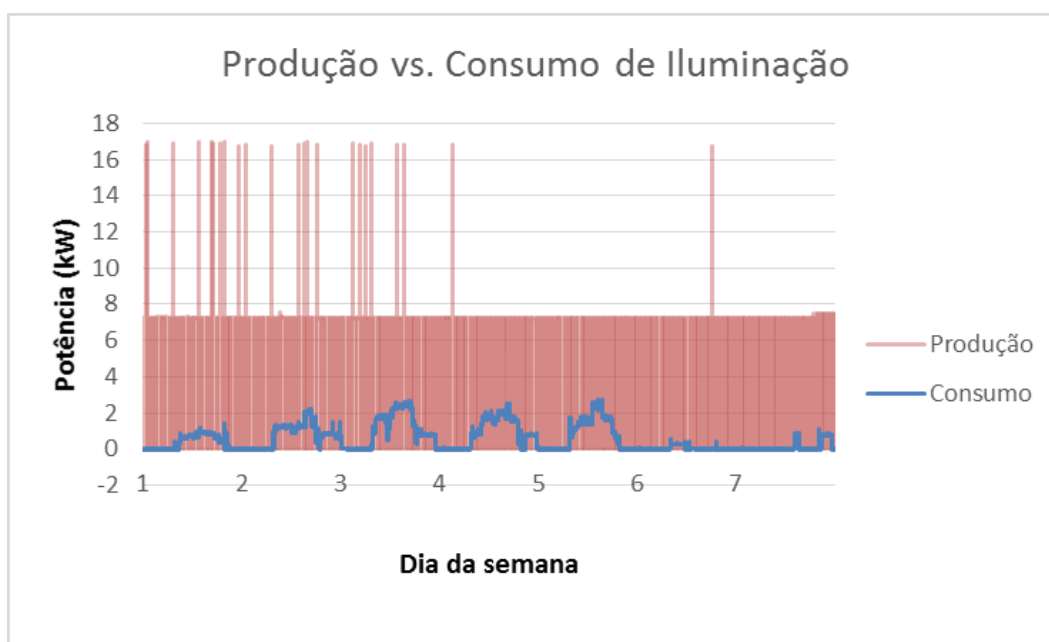


Figura 27: Comparação do consumo da iluminação do edifício N com a produção

Como se pode verificar através do gráfico da figura 27, a produção de energia é superior ao consumo com a iluminação no edifício N. Assim, verifica-se que a produção consegue satisfazer as necessidades do uso de eletricidade com a iluminação. Desta forma pode concluir-se que a energia de produção pode ser utilizada para alimentar o circuito elétrico que diz respeito à iluminação no edifício N.

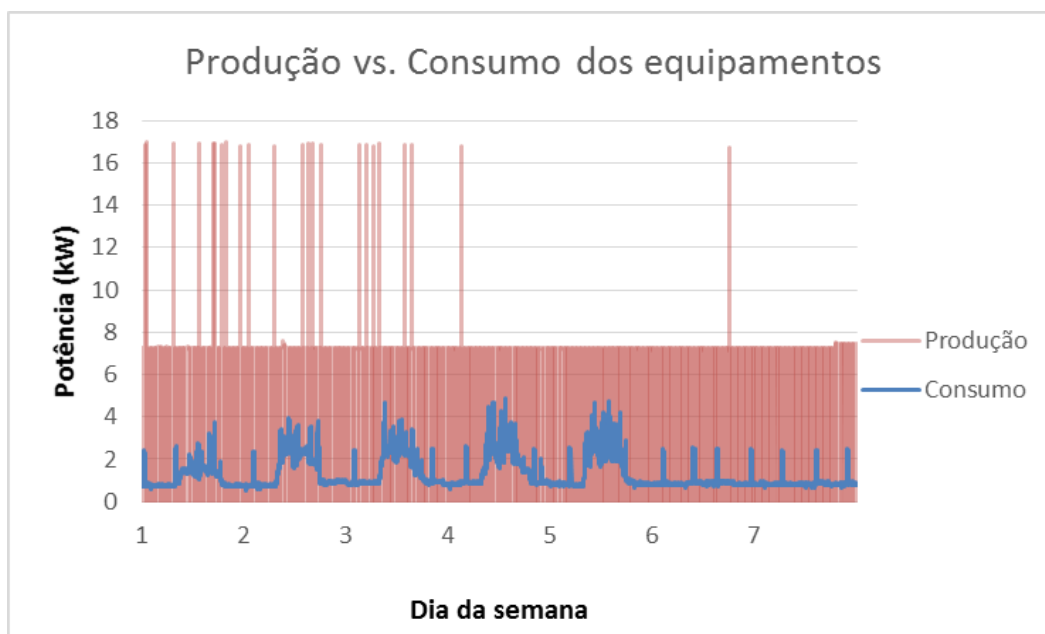


Figura 28: Comparação do consumo dos equipamentos do edifício N com a produção

Ao analisar o gráfico da figura 28, verifica-se que o consumo de eletricidade por parte dos vários equipamentos é inferior à produção de energia. Permitindo assim dizer que a eletricidade produzida pode ser utilizada para alimentar os consumos dos equipamentos no edifício N durante o seu período de utilização. No caso dos diferentes equipamentos, estes têm um perfil de consumo bastante ativo, o autoconsumo permitiria reduzir os custos com a compra de eletricidade.

Da mesma forma, também para o edifício I, foram analisadas as possibilidades de aproveitamento da energia produzida face aos consumos com o AC, iluminação e equipamentos.

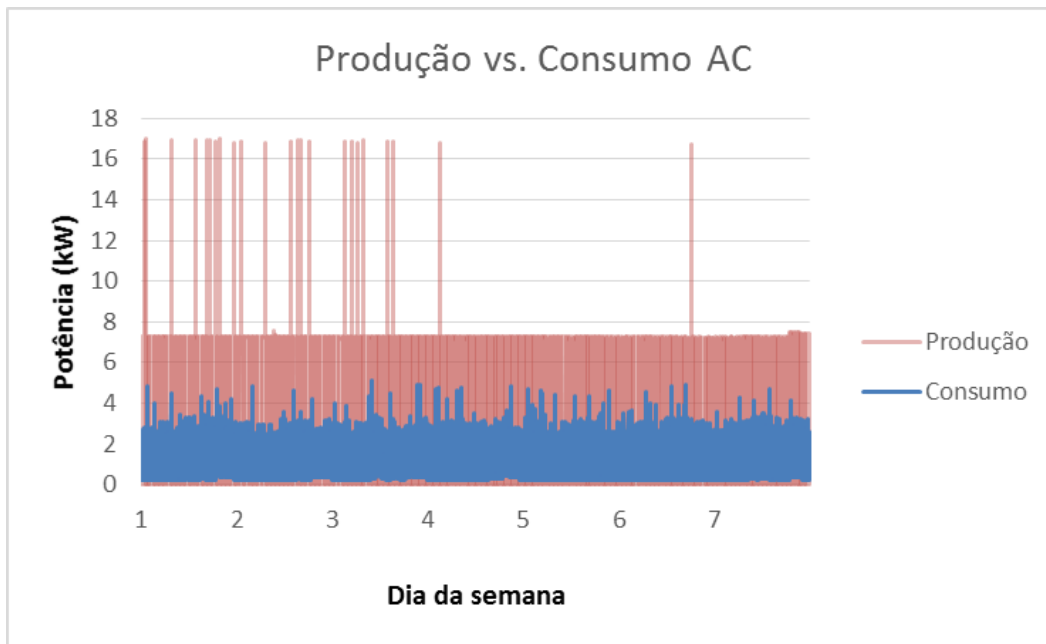


Figura 29: Comparação do consumo do AC do edifício I com a produção

No gráfico da figura 29 está representada a produção atual dos fotovoltaicos contra o consumo dos AC no edifício I, verifica-se que o consumo de energia por parte do AC é constante e elevado. A produção atual é superior ao consumo, no entanto é importante notar que os AC neste edifício necessitam de estar sempre ligados devido à refrigeração da sala de servidores, e nos momentos em que a produção é nula será necessário comprar um valor considerável de kW ao fornecedor. A utilização da energia produzida para autoconsumo seria uma solução para a redução significativa de custos com a compra de eletricidade.

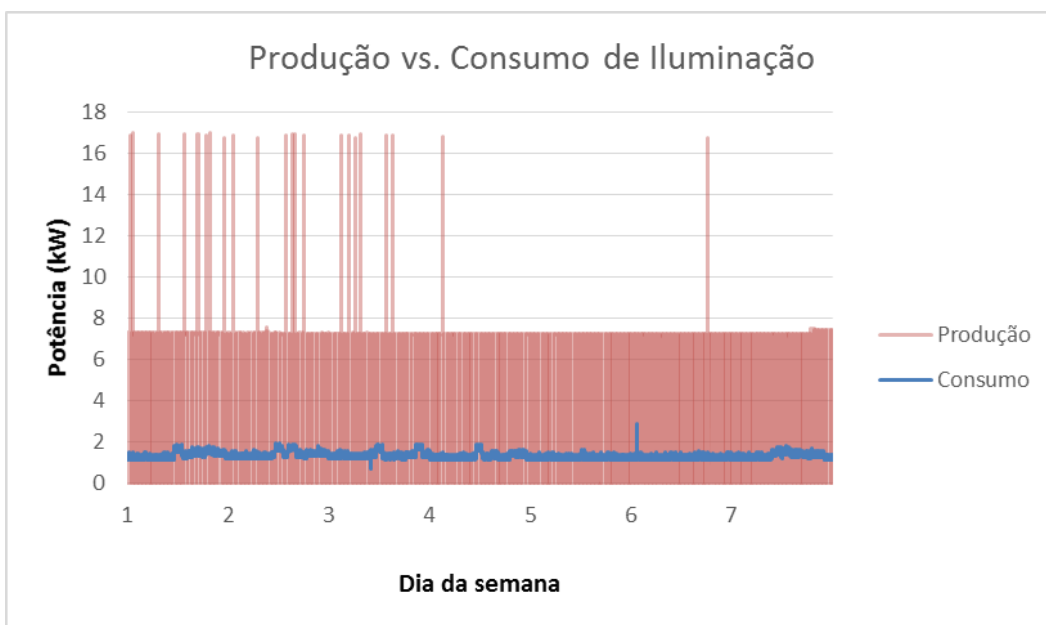


Figura 30: Comparação do consumo da iluminação do edifício I com a produção

Como se pode verificar através do gráfico da figura 30, a produção de energia é superior ao consumo com a iluminação no edifício I. Assim, a produção consegue satisfazer as necessidades do uso de eletricidade com a iluminação, pelo que se conclui que a energia produzida pode ser utilizada para alimentar o circuito elétrico que diz respeito à iluminação no edifício I.

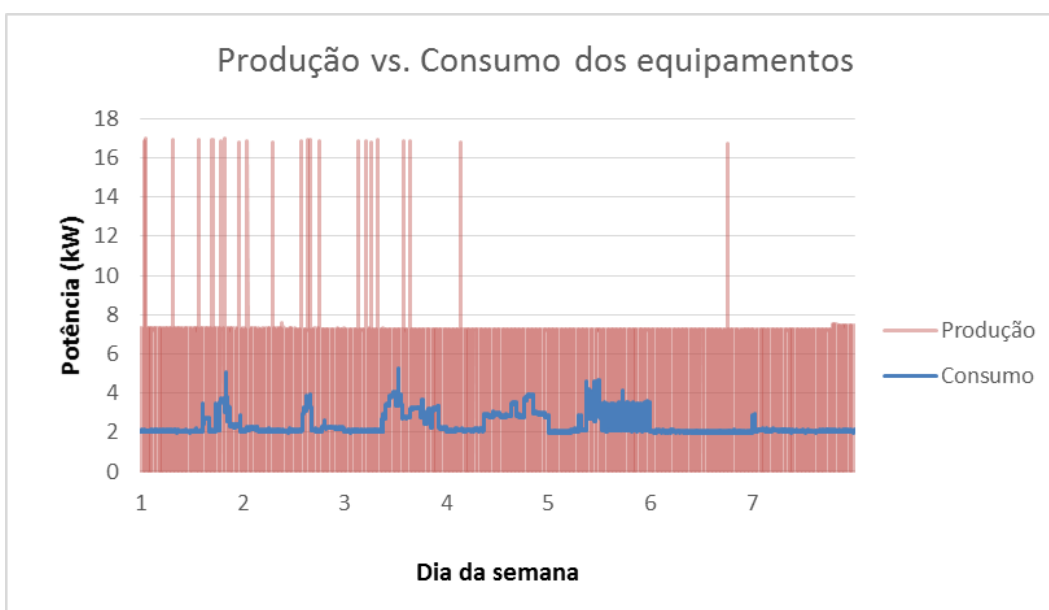


Figura 31: Comparação do consumo dos equipamentos do edifício I com a produção

Analisando o gráfico da figura 31, verifica-se que o consumo de eletricidade dos equipamentos é inferior à produção de energia. Desta forma, a eletricidade produzida pode ser utilizada para o consumo de energia no circuito dos equipamentos no edifício I. Neste edifício, os equipamentos também têm um perfil de consumo bastante ativo e elevado, em especial durante o dia, pelo que o autoconsumo permitiria reduzir os custos com a compra de eletricidade.

#### 3.4.4 Comparação entre consumos sazonais

Outro aspeto importante na caracterização de consumos é a diferença entre os consumos de verão e de inverno. De acordo com a estação do ano os perfis podem sofrer alterações e estas devem ser levadas em conta. Para comparação com a semana já utilizada de 6 a 12 de abril de 2015, foram recolhidos dados de Dezembro de 2015 para a semana de 1 a 7.

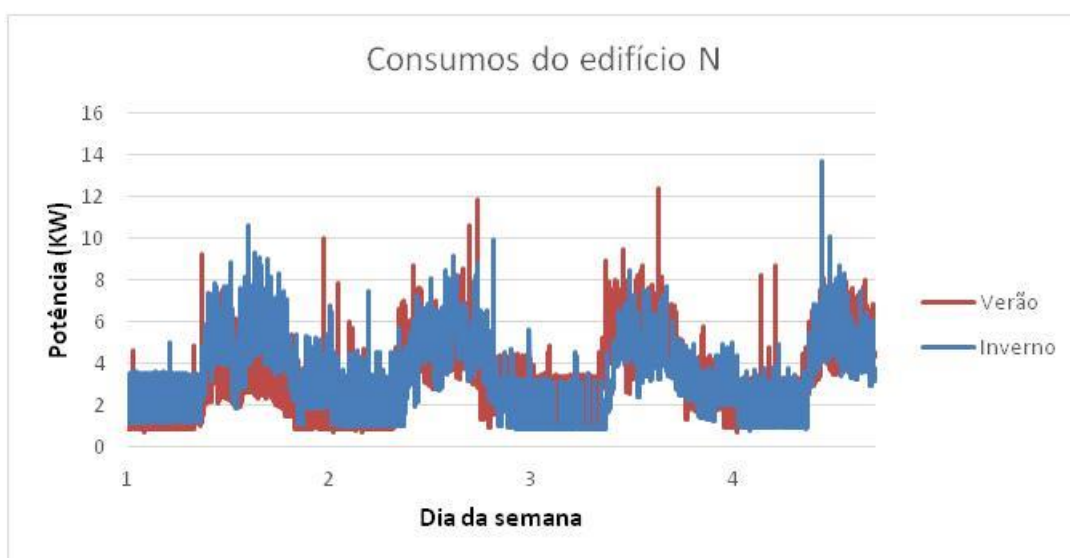


Figura 32: Comparação do consumo de verão do edifício N com o consumo de inverno

Analisando os consumos de Verão em comparação com os consumos de Inverno no edifício N, como representado no gráfico da figura 32, conclui-se que os dois períodos em têm o mesmo perfil de consumo. Ou seja, os consumos aumentam durante o período diurno e diminuem durante a noite, bem como ao fim de semana.

No entanto os consumos de inverno são superiores aos de verão em alguns períodos, como é visível no gráfico. Estes consumos superiores devem-se maioritariamente a um aumento dos

consumos de iluminação e AC. Durante o inverno as luzes estão ligadas com mais frequência e durante mais tempo ao longo do dia, alturas nas quais se verificam os aumentos de consumo. Também no caso dos AC, estes têm uma maior utilização para o aquecimento das salas visto que nos períodos de inverno as temperaturas no exterior são consideravelmente baixas.

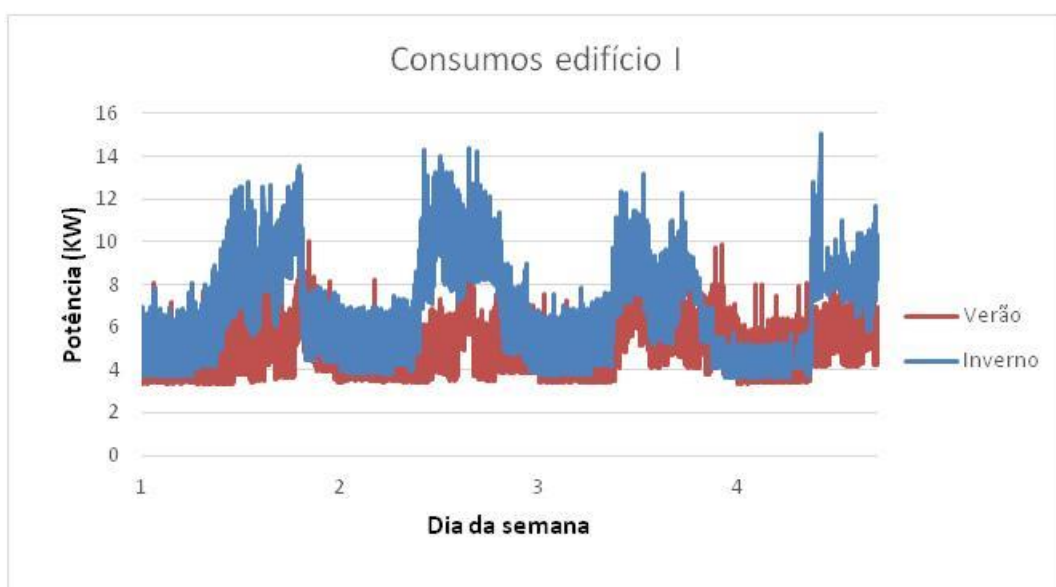


Figura 33: Comparação do consumo de verão do edifício I com o de inverno

No edifício I, de acordo com o gráfico da figura 32, os consumos do edifício aumentaram significativamente face aos consumos de verão, e o perfil de consumo mantém as mesmas características já abordadas anteriormente. No entanto, os consumos com o AC e iluminação aumentaram face aos consumos registados no perfil de verão.

Continua a verificar-se um maior consumo durante o dia com redução ao fim de semana e durante a noite. Olhando para o fim-de-semana, em particular, a diferença de consumos de verão para inverno não é significativa. Em termos de consumos estes têm valores muito semelhantes, o que indica que o consumo apenas se altera significativamente entre a segunda e a sexta-feira.

Com as simulações e comparações realizadas foi possível concluir que os consumos de AC, iluminação e equipamentos no edifício N têm um perfil de consumo muito semelhante em todos os analisadores do edifício. Assim, identificou-se que os períodos de maior consumo ocorrem durante o dia, o que vai de encontro ao período de maior utilização das instalações do

edifício. Isto verifica-se para os consumos em época de verão e inverno, sendo que os consumos de inverno são superiores.

No período noturno os consumos são mais baixos, e o mesmo se verifica para os dias de sábado e domingo, altura em que as instalações praticamente não são utilizadas.

O edifício I tem um perfil global de consumo diferente do edifício N, apesar de os perfis de consumo para a iluminação e equipamentos também denotarem diferenças entre o período diurno e noturno, e fim-de-semana, existe o caso particular do AC. O AC está em permanente funcionamento devido à refrigeração da sala onde estão instalados os servidores. No entanto é possível dizer que o perfil de utilização dos edifícios é diurno. Os edifícios N e I têm um consumo energético muito elevado e mesmo nos períodos de menor consumo, este é bastante significativo.

Numa análise comparativa dos dados de produção com os dados de consumo de energia de cada um dos edifícios, verificou-se que a energia produzida atualmente pelos painéis fotovoltaicos não é suficiente para alimentar os edifícios durante os períodos de maior consumo. No entanto nos períodos de consumo mais reduzido, em horário diurno, a produção registada tem um grande potencial para satisfazer o consumo. Assim, deve ser avaliada a possibilidade de aumentar a produção fotovoltaica.

No entanto, de modo a perceber como a energia produzida atualmente pode ser aproveitada foram realizadas mais análises. Nestas análises foram comparados, individualmente, os consumos do AC, iluminação e dos equipamentos do edifício N. foi possível apurar que a produção atual não é suficiente para alimentar o AC nos períodos de maior utilização, mas pode ser aproveitada para os consumos que dizem respeito à iluminação ou para o consumo dos diversos equipamentos. Uma vez que a energia produzida satisfaz as necessidades de consumo de um destes dois componentes, é necessário optar por um dos dois para que a produção seja injetada na rede para um dos circuitos. Uma vez que o consumo dos equipamentos é bastante elevado ao longo do tempo, pode ser vantajoso optar por injetar a eletricidade produzida para autoconsumo o circuito dos equipamentos. Com o aproveitamento da energia produzida seriam reduzidos consideravelmente os custos com a compra de eletricidade.

As análises realizadas demonstram, ainda, que o consumo é significativamente mais elevado de inverno do que no período de verão estudado. Tendo como exemplo o caso da iluminação, é normal que este aumento de consumo aconteça, pois a luz solar é mais reduzida no inverno e

obriga a que a iluminação seja utilizada mais frequentemente, e durante mais tempo, no inverno.

Em Portugal a exposição solar, e o clima são muito favoráveis para a exploração da produção através de fotovoltaicos. Portugal tem muitos dias com sol ao longo do ano, o que permite grande viabilidade destes recursos para produzirem energia suficiente para edifícios com um perfil de consumo semelhante ao dos edifícios analisados.

Visto que o autoconsumo já é permitido, e que é uma solução viável nos edifícios analisados, a implementação de sistemas de autoconsumo em edifícios universitários seria uma mais-valia para a redução da fatura energética. Os edifícios universitários têm um perfil de consumo maioritariamente em horário diurno, que condiz com o horário em que se pode obter uma maior produção de eletricidade com recurso a painéis fotovoltaicos. Também outros tipos de escolas se enquadram neste perfil.

O mesmo se aplica a todos os edifícios de serviços com um horário de funcionamento diurnos, são exemplo disso empresas de prestação de serviços, edifícios públicos, entre outros. Com a instalação de painéis fotovoltaicos que permitam produzir energia para o autoconsumo, a redução de custos é significativa, e vai de encontro aos objetivos estabelecidos para a UE em 2020.





## 4 Conclusões

Com a realização deste projeto foram aplicados conhecimentos sobre técnicas de DM. Foram também adquiridos conhecimentos sobre toda a temática dos edifícios inteligentes, gestão de edifícios e como estas devem ser aplicadas.

O processo de desenvolvimento foi constituído por várias etapas, como base de trabalho foram utilizados os dados armazenados na BD, fornecida pelo GECAD, que possui registos de consumo e produção de eletricidade. Sobre estes dados foram executadas as diferentes fases do processo de descoberta de conhecimento. Primeiramente os dados foram selecionados e extraídos da BD para análise. Seguiu-se a fase de pré-processamento dos dados, onde foram tratadas as falhas de dados históricos, repondo assim os registos em falta e preparando os dados para a sua utilização nas RNA. Estes dados foram transformados, na etapa de transformação, em *inputs* válidos para as RNA permitindo assim a sua execução. Depois de executadas as RNA os dados foram recolhidos e interpretados.

A par desde processo de DCBD, foi realizada a etapa de desenvolvimento de uma aplicação para a implementação das redes neuronais. Para isso foi desenvolvida uma aplicação Java que permitiu recolher os dados selecionados da BD disponibilizada, assim como, o pré-processamento dos mesmos para colmatar as falhas nos registos. Nesta aplicação foi incluída a interligação com a linguagem R, para a execução das diferentes RNA.

Para a criação, treino e teste das RNA foi construído um código específico com o auxílio da linguagem R, que dispõe do *package* “neuralnet” para a criação de redes neuronais.

Com o desenvolvimento da aplicação Java foram criadas condições para a implementação de RNA de uma forma mais simples e automatizada. Foram ainda desenvolvidas e adquiridas novas

competências com a utilização da linguagem R. A linguagem R e o seu funcionamento era desconhecido, mas foi possível utilizar uma nova ferramenta e integrá-la com a aplicação Java. Com as RNA desenvolvidas foi possível analisar os perfis de produção e consumo do GECAD e efetuar previsões dos consumos de eletricidade. Esta é uma das funcionalidades importantes para os sistemas de gestão de edifícios inteligentes.

O estudo realizado permitiu identificar perfis de consumo nos dois edifícios para perceber quais os períodos de maior e menor utilização e como o autoconsumo pode ser útil na redução dos custos energéticos. Com os dados recolhidos foi possível perceber que os dois edifícios têm valores de consumos muito elevados, mesmo em períodos de menor utilização. Atualmente os painéis fotovoltaicos instalados não são suficientes para dar resposta aos consumos durante o dia no edifício N ou I. A produção atual é muito inferior ao consumo gerado pelos dois edifícios, pelo que seria necessário estudar novas soluções para o aumento da produção de forma a potenciar o autoconsumo. No entanto, também se verificou que a energia produzida permite alimentar as necessidades dos circuitos de iluminação e dos vários equipamentos. Assim, a energia produzida pode ser utilizada para autoconsumo no circuito que compreende a iluminação do edifício N ou no circuito dos equipamentos.

Perceber o potencial do autoconsumo nos edifícios com este perfil de consumo é bastante útil para desenvolver esforços na melhoria da gestão dos edifícios. As universidades, escolas e edifícios públicos têm, por norma, consumos de eletricidade bastante elevados, mas com perfil adequado para tirar partido da produção fotovoltaica, viável no nosso país em que os dias e as horas de sol são em grande número.

Com o trabalho realizado foi possível identificar aspetos relevantes a ter em atenção na gestão de edifícios. Quando se conhece com antecedência o consumo e produção de um edifício, este conhecimento pode potenciar uma gestão dos recursos (das cargas) mais eficiente por parte do gestor dos edifícios.

Na gestão de edifícios, sejam estes comerciais, industriais, serviços ou residenciais, quando utilizadas as previsões de consumo, produção, condições atmosféricas e preços de mercado, estas permitem auxiliar a gestão eficiente de todos os recursos envolvidos visando, naturalmente, aproveitar a produção de índole renovável. Com uma gestão de edifícios eficiente é possível aproveitar as horas cuja tarifa de eletricidade é mais baixa e gerir, ou cortar, cargas nas horas que não há produção renovável e tarifas de eletricidades mais caras. Esta gestão deve minimizar o custo do consumo de eletricidade e manter os níveis de funcionalidade e de conforto dos ocupantes nos níveis desejados e estabelecidos por estes.

## 4.1 Objetivos

Como já referido no Capítulo 1, este projeto teve por base alguns objetivos que serão descritos em conjunto com o seu grau de realização.

- Implementação de métodos de previsão dos consumos nos edifícios, diferenciando-os por consumos com sistema de climatização, iluminação e equipamentos: para a previsão dos consumos dos edifícios N e I do ISEP/GECAD, foi desenvolvida uma aplicação Java para o processo de seleção, pré-processamento e transformação de dados. Estes dados foram utilizados como *input* para as RNA. Para o treino e teste das RNA foi utilizada a aplicação R. Este objetivo foi alcançado e finalizado.
- Implementação de métodos de previsão da energia produzida com recursos a fontes renováveis: para a previsão da energia produzida, foi utilizada a aplicação desenvolvida para a previsão de consumo de energia dos edifícios do ISEP/GECAD. Este objetivo foi também alcançado.
- Definição de perfis de consumo e de produção: com previsão dos consumos dos edifícios N e I do ISEP/GECAD foi possível identificar os perfis de consumo de eletricidade ao longo de uma semana. De forma geral, e de acordo com o perfil de utilização dos edifícios, verifica-se que o consumo aumenta em horário diurno, de acordo com os horários de maior utilização. Foi também possível verificar que o consumo difere entre os dias úteis da semana e do consumo ao fim de semana. O perfil de produção é estável ao longo da semana em análise. Este objetivo foi também concluído.  
Estudo dos perfis de consumo e produção em diferentes contextos: os consumos dos edifícios N e I do ISEP/GECAD foram distinguidos em dois tipos de perfis: perfil de verão e inverno. Nos dois edifícios, verificou-se um maior do consumo energético no perfil de inverno face ao perfil de verão. O aumento de consumo durante o inverno deve-se a uma maior utilização dos AC nas salas dos edifícios, assim como o consumo com a iluminação. Este objetivo foi também conseguido.
- Utilização das ferramentas desenvolvidas e comparação de resultados: com a aplicação desenvolvida foram implementadas as RNA de previsão de consumos e produção. As previsões realizadas distanciam-se dos valores reais de consumo e produção de energia. Assim verificou-se que a utilização de RNA não é adequada para

previsões com um horizonte temporal alargado, e não permitiram gerar valores com a precisão necessária para a utilização num gestor de edifícios.

- Análise das potencialidades oferecidas com a possibilidade de autoconsumo: com as análises efetuadas sobre o consumo de energia, foi possível identificar o perfil de consumo de cada um dos circuitos em estudo, o AC, iluminação e os equipamentos. Também foi identificado o perfil de produção atual. O que permitiu perceber como pode ser aproveitada a energia produzida atualmente para reduzir os custos de eletricidade. Assim, foi possível identificar que a energia atualmente produzida pode ser utilizada para alimentar as necessidades de consumo da iluminação do edifício N, ou pode ser utilizada para alimentar o circuito dos equipamentos.

## 4.2 Limitações & trabalho futuro

O trabalho desenvolvido foi direcionado para uma análise dos edifícios do N e I do ISEP/GECAD, e para a produção dos painéis fotovoltaicos do edifício F. Com os resultados de previsão obtidos através da utilização de RNA, detetou-se que este não é o método de previsão mais adequado para este tipo de análises. Num trabalho futuro ter-se-ia de encontrar novas soluções e novos algoritmos para a previsão de *long-term forecasting*, para que as previsões sejam mais precisas e permitam auxiliar um sistema de gestão de edifícios.

A investigação e implementação de soluções para a gestão inteligente de edifícios e autoconsumo são temas que tendencialmente se irão desenvolver nos próximos anos com o aumento da procura de soluções deste tipo.

## 4.3 Apreciação final

Durante o projeto tive a oportunidade de trabalhar com novas ferramentas e novos conceitos. Com o trabalho desenvolvido tive a oportunidade de aplicar conhecimentos, e aprender a trabalhar com uma nova linguagem, a linguagem R, que me permitiu desenvolver este projeto. Foi uma experiência enriquecedora pois permitiu alargar os meus conhecimentos a uma área de extrema importância e atualidade.

# Referências

- [Agarwal et al., 2011] Agarwal Y., Weng T., Rajesh K. Understanding the Role of Buildings in a Smart Microgrid, 2011.
- [Al-Ali et al., 2011] Al-Ali A., El-Hag A., Bahadiri M., Harbaji M., Ali El Y., HajSmart Home Renewable Energy Management System, 2011.
- [APA, 2015] Agência Portuguesa do Ambiente, disponível em: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>. [último acesso: Out 2015].
- [Chapman, 2000] Chapman P., Clinton J., Kerber R., Khabaza T., Reinartz T., Shearer C., Wirth R. Step-by-step data mining guide, 2000.
- [Cost of Solar, 2013] Cost of Solar, disponível em: <http://costofsolar.com/hondas-open-source-smart-home-aims-zero-net-energy/> [último acesso: Set 2015].
- [DGEG, 2015] Direção Geral de Energia e Geologia. “Balanço Energético - Sintético 2014”, disponível em: [http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/dgeg\\_balanco\\_sintetico\\_2014\\_1436461747.pdf](http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/dgeg_balanco_sintetico_2014_1436461747.pdf) [último acesso: Set 2015].
- [Edifícios, 2012] Edifícios e Energia, disponível em: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/tema-de-capa-1> [último acesso: Set 2015].
- [EDP, 2015] EDP, disponível em: <https://energia.edp.pt/empresas/apoio-cliente/origem-energia/?sector=Particulares&year=2014&period=0> [último acesso: Set 2015].
- [Grözinger, 2014] Grözinger, J. et al. Overview of Member States information on NZEBs, Germany, 2014.
- [Han et al., 2014] Han J., Choi C., Park W., Lee I., Kim S., Smart Home Energy Management System Including Renewable Energy Based on ZigBee and PLC, 2014.
- [Ingo Lück, 2015] Ingo Lück, M. et al., “Building as a Service – BaaS. Deliverable. D02 - State of the Art” disponível em: [http://baas-itea2.eu/cms/images/BaaS/Downloads/D02\\_v1\\_SotA\\_with\\_Authors.pdf](http://baas-itea2.eu/cms/images/BaaS/Downloads/D02_v1_SotA_with_Authors.pdf) [último acesso: Set 2015].
- [Itron, 2006] Itron, Inc., CALIFORNIA COMMERCIAL END-USE SURVEY, 2006.
- [Público, 2014] Público, disponível em: <http://www.publico.pt/ecosfera/noticia/portugal-jacumpriu-o-protocolo-de-quioto-1635328> [último acesso: Set 2015].
- [Quercus and APREN, 2015] Quercus and APREN . “Portugal atingiu valor recorde do século na produção de eletricidade renovável e de emissões de CO2 evitadas (13 Mton) ”, disponível em:

- [R, 2015] [http://www.apren.pt/fotos/editor2/2015\\_comunicado\\_quercus\\_e\\_apren.pdf](http://www.apren.pt/fotos/editor2/2015_comunicado_quercus_e_apren.pdf) [último acesso: Out 2015].  
The R Foundation, disponível em: <https://www.r-project.org/about.html> [último acesso: Set 2015].
- [Santos and Azevedo, 2005] Santos, M. F., Azevedo, C. S. Data Mining - Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados. FCA. 2005.
- [Silva, 2012] Silva, P. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Caracterização dos consumos energéticos em edifícios de habitação visando a sua redução. 2012.
- [Tafner, 1998] Tafner, M. A. (1998) Redes Neurais Artificiais: Aprendizado e Plasticidade, disponível em: <http://www.cerebromente.org.br/n05/tecnologia/rna.htm> [último acesso: Set 2015].
- [UE 2020, 2015] Europa 2020, disponível em: [http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index\\_pt.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_pt.htm) [último acesso: Set 2015].