

Gestão Energética para Edifícios Inteligentes

João Tiago Ribeiro do Vale

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientadores: Professor Renato Jorge Caleira Nunes

Professor Paulo Rogério Barreiros D' Almeida Pereira

Júri

Presidente: Professor Nuno Cavaco Gomes Horta

Orientador: Professor Renato Jorge Caleira Nunes

Vogal: Professor Paulo Jorge Fernandes Carreira

Maio de 2014

Agradecimentos

Este trabalho e todo o meu percurso académico devem-se a um conjunto de pessoas e entidades muito importantes, sem as quais não teria sido possível chegar onde cheguei.

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais pela oportunidade de ter realizado este percurso académico e me terem permitido chegar onde me encontro hoje.

Em segundo lugar agradeço todo o apoio da minha namorada, fiel companheira e amiga, pelo ombro amigo, suporte e compreensão incondicional face a todos os desafios com que me deparei, pelo seu incansável espírito crítico e positivo ao longo de todo este percurso.

Em terceiro lugar agradeço ao meu orientador, Professor Renato Nunes, pela sua contínua dedicação, análise crítica e disponibilidade.

Quero ainda agradecer a todos os colegas e amigos próximos, não mencionados, que contribuíram directa ou indirectamente ao longo deste percurso, deste trabalho e da minha vida pessoal. Agradeço em especial todo o apoio e compreensão de David Lampreia e Diogo Morais, pela presença amiga e singela neste percurso, e agradeço ainda todo o suporte, contributos, ideias e companheirismo de David Castro e João Camejo ao longo do curso e deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, agradeço à empresa Data Identity e colegas, que me acolheram ao longo desta dissertação, pelas ferramentas, apoio, conhecimento, espírito crítico e rigoroso que me passaram ao longo destes meses.

Resumo

A rede de energia tem um grande impacto na vida do ser humano, a qual utilizamos diariamente. A pressão macroeconómica e desafios na gestão energética de fontes de energias renováveis ou distribuídas levantam discussões sobre o futuro. Uma possível solução passa pela evolução para uma rede inteligente, designada por SmartGrid. Um problema na actual rede refere-se ao sobredimensionamento, provocado pela necessidade em cobrir picos de consumo e gerir riscos associados à produção não controlável de algumas fontes de energia renováveis.

Alguns autores defendem a utilização de um modelo com mecanismos que controlem o consumo final e contribuam para uma homogeneização do consumo durante o dia. O consumidor deve ser chamado a intervir e a reduzir o consumo a pedido da SmartGrid. De modo a serem eficientes, os mecanismos serão automáticos e sem necessidade de intervenção do consumidor. Por outro lado, estes não deverão ser invasivos o suficiente para terem um impacto negativo e restringir a rotina do consumidor.

Neste trabalho, pretende-se explorar a interacção entre a SmartGrid e o consumidor para automatizar e permitir ao utilizador definir preferências e restrições sobre cargas, que poderão ser controladas pela SmartGrid. Com este objectivo, foi definido um modelo conceptual, propondo-se uma arquitectura hierárquica que visa modelar os mecanismos e automação necessários. Esta arquitectura mostrou ser adequada para lidar com casos simples, tais como uma habitação, até casos complexos, tais como uma pequena freguesia. Para validar o modelo, foi desenvolvido um simulador que permitiu testar e obter dados concretos de vários cenários.

Palavras-chave:

Gestão energética, SmartGrids, Edifícios Inteligentes, Controlo de consumo, Ferramenta de simulação

Abstract

The power grid has a great impact in human life. Macroeconomic pressures and challenges, regarding energy management of renewable sources, gave birth to discussions on how the current grid will evolve. One solution refers to the evolution of the current grid to a smarter and modern grid, known by SmartGrid. The current grid is oversized, due to the need to cover the daily peak consumption and risks associated with non-controllable production, like some sources of renewable energy.

Several authors defend a model with mechanisms that allow consumption control and contribute to homogenize the total consumption throughout the day. The end consumer should be called to intervene and reduce its consumption, at a request from the SmartGrid. In order for these mechanisms to be efficient, they should be automatic and without any need for manual intervention. On the other hand, these mechanisms should not overly invade the consumer's routine, so that they have a negative impact.

During this paper, interactions between the SmartGrid and end consumer will be explored, allowing for automation and definition of user preferences and restrictions over loads, which will be later controlled by the SmartGrid. It was created a conceptual model that proposes a hierarchical architecture to module the required mechanisms and automation. This architecture revealed to be adequate to handle cases from simple to complex, such as a house or a small town. In order to validate this model, a simulator was designed, which allowed testing and data collecting regarding different scenarios.

Key-words:

Energy management, SmartGrids, Smart Buildings, Consumption Control, Simulation platform

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contexto e Motivação	1
1.2	Objectivos	2
1.3	Estrutura da dissertação	3
2	Trabalho relacionado	5
2.1	As origens da rede de energia eléctrica	5
2.1.1	Os intervenientes em Portugal	5
2.1.2	Uma necessidade de mudança	8
2.2	SmartGrid	9
2.2.1	Um novo paradigma: objectivos e mudança	9
2.2.2	Conceitos e ideias	11
2.2.3	InovCity	13
2.2.4	Ausgrid	15
2.3	Edifícios inteligentes	15
2.3.1	Introdução	15
2.3.2	Ambientes inteligentes	15
2.3.3	Gestão Energética em Edifícios Inteligentes	17
2.3.4	SmartGrids e Edifícios inteligentes	18
2.4	Simuladores	19
3	Modelo conceptual	21
3.1	Arquitectura	21
3.1.1	Abordagem hierárquica	21
3.1.2	Fluxos de energia e comunicação	22
3.1.3	Mecanismos de decisão: local e global	23
3.1.4	Escalabilidade e Flexibilidade	25
3.2	Principais conceitos	25
3.2.1	Nó de produção – ProductionNode	26

3.2.2	Nó de carga - LoadNode	27
3.2.3	Períodos temporais	29
3.2.4	Perfil de utilização das cargas - LoadProfile	29
3.2.5	Nó inteligente - SmartNode	30
3.2.6	Histórico dos nós	34
3.2.7	DumbNode.....	34
3.3	Políticas de poupança	35
3.3.1	Planos de poupança a curto prazo.....	36
3.3.2	Planos de poupança a longo prazo	39
4	SmartFlow2	43
4.1	Estrutura do simulador	43
4.1.1	Interacção com o simulador	44
4.1.2	IDs	45
4.1.3	LoadUsers	47
4.2	Funcionamento do simulador	47
4.2.1	Fluxos	48
4.2.2	Simulação	50
4.2.3	SmartNode.Update	51
4.2.4	Mapeamento de conceitos no Simulador	51
4.3	Políticas de poupança	52
4.3.1	Planos de poupança a curto prazo.....	52
4.3.2	Planos de poupança a longo prazo	54
4.4	Ficheiros de dados e de configuração	56
4.4.1	network.xml.....	56
4.4.2	data.csv	58
4.4.3	splt.csv	59
4.5	Demonstração	60
4.5.1	Ambiente doméstico – “casa tipo I”	60
4.5.2	Dados	62
4.5.3	Discussão dos resultados.....	63

5	Simulação e Discussão de Resultados	67
5.1	Ambientes de simulação	67
5.1.1	Ambiente empresarial.....	68
5.1.2	Ambiente fabril.....	68
5.1.3	Ambiente público	68
5.2	Cenário para simulação: Freguesia ABC	69
5.3	Simulação e Resultados.....	70
5.3.1	Planos de poupança.....	70
5.3.2	Simulação	71
5.3.3	Freguesia ABC sem planos de poupança e sem nós de produção	72
5.3.4	Freguesia ABC com planos de poupança e sem nós de produção	73
5.4	Discussão de resultados	74
5.4.1	Bairro1, Bairro2 e root sem planos de poupança.....	74
5.4.2	Bairro1, Bairro2 e root com planos de poupança.....	75
5.4.3	Conclusões	76
6	Conclusões.....	79
6.1	Trabalho Futuro	81
7	Referências	83
	ANEXOS.....	a

Lista de tabelas

Tabela 1 - Resumo dos planos de poupança.....	36
---	----

Lista de figuras

Figura 1 - Diagrama do Consumo Total nacional para o dia 08-01-2014 [11].....	7
Figura 2 –Arquitectura em árvore e tipos de nós	22
Figura 3 - Mecanismos de decisão numa arquitectura simplificada	24
Figura 4 - Exemplo de um sistema que inclui todos os tipos de nós	26
Figura 5 - Fluxos e mecanismos de decisão.....	32
Figura 6 - Integração da SmartGrid com Edifícios Inteligentes.....	35
Figura 7 - Planos de poupança a curto prazo	37
Figura 8 - Planos de poupança a longo prazo	39
Figura 9 - Interface do simulador por linha de comandos.....	45
Figura 10 - utilização de IDs no network.xml	46
Figura 11 – Fluxograma para despoletar planos a curto prazo	53
Figura 12 - Fluxograma para despoletar planos a longo prazo	54
Figura 13 - Exemplo parcial de network.xml	57
Figura 14 - Exemplo parcial de um ficheiro data.csv	59
Figura 15 - Exemplo parcial de ficheiro splt.csv.....	60
Figura 16 – arquitectura do cenário: ambiente doméstico	61
Figura 17 - Consumo no ambiente doméstico durante a semana	63
Figura 18 - Consumo no ambiente doméstico durante o fim-de-semana.....	63
Figura 19 – bairro1, bairro2 e root: Simulação sem planos de poupança & sem produção	72
Figura 20 - bairro1, bairro2 e root: Simulação com planos de poupança & sem produção.....	73
Figura 21 – Consumo total da freguesia ABC com e sem planos de poupança	75

Lista de acrónimos

AMI	Advanced Metering Infrastructure
AmI	Ambient Intelligence
AMR	Automatic Meter Reading
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BAS	Building Automation System
CPE	Companhia Portuguesa de Electricidade
CRGE	Companhias Reunidas de Gás e Electricidade
EDP	Energias de Portugal
ETF	European Task Force
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
REN	Redes Energéticas Nacionais
SPLT	Saving Plan, Long Term
SPST	Saving Plan, Short Term

1 Introdução

1.1 Contexto e Motivação

Hoje em dia, a energia eléctrica assume-se como um dos principais bens essenciais existentes, com um papel central no desenvolvimento do ser humano, sem o qual a vida como a conhecemos não seria possível. Inicialmente, a rede de energia eléctrica foi construída para fornecer energia ao consumidor, privilegiando a utilização de fontes de produção de energia centralizadas. Actualmente, a rede de energia eléctrica depara-se com novos desafios e necessidades, que deverão ser enquadrados com o seu contexto histórico e paralelamente com um contexto macroeconómico bastante diferente. Os investimentos requeridos a serem realizados na infra-estrutura acarretam custos significativos e requerem uma justificação e rentabilização cuidadosas.

A rede de energia eléctrica tem de suportar quaisquer picos de consumo ao longo do dia, ainda que exista um desaproveitamento da rede durante horas de vazio. Para além do dimensionamento necessário para suportar os picos de consumo, assistimos actualmente a uma forte aposta em energias de fontes renováveis, como por exemplo grandes parques eólicos e energia fotovoltaica em ambientes domésticos. A microgeração assistiu a um crescimento considerável nos últimos anos e acredita-se que terá um impacto bastante significativo num futuro próximo. O problema com as energias renováveis encontra-se associado à sua imprevisibilidade e ao risco que introduzem na rede, existindo a necessidade de se encontrar uma infra-estrutura que seja flexível para acomodar as suas variações. Por este motivo, a rede de energia eléctrica é dimensionada para cobrir todos os picos de máximo de consumo e ainda sobredimensionada para cobrir parcialmente a capacidade de produção de fontes renováveis, de forma a gerir o risco de estas não produzirem a energia necessária à procura.

A crescente importância da energia na comunidade e a evolução das infra-estruturas de países em desenvolvimento levam a que exista um constante aumento na procura energética e dependência associada a esta mesma. A dependência e crescente procura energética suscitam discussões sobre a implementação de uma rede inteligente, que proporcione um maior controlo e fluxo de informação entre consumidor e distribuição de energia. Nunca antes se colocaram tantas questões sobre a gestão deste recurso crítico e sobre a necessidade de melhorar a sua eficiência, com vista a reduzir custos tanto para os intervenientes na rede como para o consumidor final. Para se atingir esta melhoria na eficiência, será necessário levar em conta uma componente inteligente também do lado do consumidor final, nomeadamente ao nível da gestão energética para um dado ambiente. Por este motivo torna-se fundamental considerar uma interligação entre a futura rede inteligente e futuros edifícios e casas inteligentes, de forma a enquadrar e aproximar a gestão energética que ambas as componentes terão de realizar.

Assim surge o conceito de modernizar a rede de energia eléctrica, introduzir-lhe inteligência, melhorar a eficiência dos recursos de produção e acima de tudo melhorar a eficiência no consumo. Este conceito é designado por SmartGrid e assume-se como uma ideia inovadora que pretende reforçar a comunicação entre o produtor, distribuidor e consumidor, no sentido de conceder um papel mais activo e interventivo ao consumidor. Com a introdução desta rede inteligente pretende-se melhorar o consumo, melhorar a gestão e ajustar a procura à oferta energética, com vista a harmonizar os picos de consumo. Este sistema pretende igualmente aproximar o consumidor da rede de energia eléctrica, reforçando os canais de comunicação e sensibilização junto do mesmo.

Para uma adequada operação deste sistema, é necessário que existam mecanismos automáticos que permitam os ajustes necessários, pelo que não é viável pedir ao consumidor que se encarregue de reduzir manualmente o consumo. Um modelo interessante de abordar será o de permitir à rede de distribuição de energia o controlo, de forma remota e directa, sobre algumas cargas e durante alguns períodos acordados com os consumidores. O consumidor deverá definir que cargas podem ser controladas e quando, de forma a contemplar benefícios mensais no custo da energia. Os mecanismos automáticos deverão ser enquadrados com ambientes inteligentes, ou seja, com os edifícios e casas inteligentes onde se encontra o consumidor, muito embora o utilizador deva possuir, em qualquer altura, controlo sobre este automatismo. Ainda que uma poupança num dado ambiente possa ser pouco significativa, a agregação de todas estas “pequenas poupanças” poderão ter um grande impacto na rede.

Importa assim abordar um modelo que proponha uma interacção aberta entre consumidor e produto, que encoraje o consumidor a reduzir o consumo em alturas de necessidade, que preveja a possibilidade de bloquear cargas e dê prioridade ao consumidor na definição dos bloqueios das cargas e quando. Este modelo hierárquico deverá possuir a escalabilidade e a capacidade de agregação necessárias para simular tanto ambientes simples, como casas ou apartamentos, até ambientes mais complexos, tal como bairros ou cidades.

1.2 Objectivos

O principal objectivo deste trabalho é apresentar e testar um modelo que melhore a eficiência na utilização da actual infra-estrutura de rede de energia eléctrica, modelo esse que deverá ser enquadrado com a Gestão Energética em Edifícios Inteligentes. O modelo a ser criado e implementado deverá:

- Ser um modelo de informação que permita descrever a rede, cargas, ambientes domésticos, preferências e restrições do consumidor, entre outros;
- Reduzir as diferenças entre máximos e mínimos registados ao longo de um dia, através da implementação de mecanismos inteligentes para controlo do consumo;
- Ser integrado no contexto da gestão energética de SmartGrids e Edifícios Inteligentes, permitindo explorar interacções entre estes;

- Permitir à rede de distribuição de energia eléctrica controlar e bloquear cargas remotamente, do consumidor final;
- Desencorajar o consumo do utilizador, durante alturas de necessidade de redução do consumo energético;
- Reforçar o acesso a informação por parte do consumidor final;
- Ter sempre em consideração que o consumidor se encontra em controlo e que os mecanismos para redução de consumo não se sobrepõe a este.

Com o intuito de poder validar e dar suporte às ideias conceptualizadas, será necessário recorrer a uma ferramenta de simulação, que permita configurar o modelo e mecanismos propostos, testar e validar diferentes abordagens e obter resultados analíticos que permitam analisar e comparar diferentes cenários, para posterior análise e discussão.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos. No próximo capítulo apresenta-se trabalho relacionado com o tema da dissertação, sendo dada uma visão abrangente dos conceitos, problemas e desafios nas áreas de SmartGrids e Edifícios Inteligentes. No capítulo 3 apresenta-se a proposta de uma solução, do ponto de vista conceptual, que visa dar resposta aos desafios e problemas identificados. O capítulo 4 descreve em maior detalhe alguns aspectos da abordagem seguida e descreve o simulador desenvolvido, sendo apresentados exemplos da sua utilização. No capítulo 5 são apresentados e analisados os resultados da simulação de um cenário de grande dimensão, com o intuito de validar os conceitos propostos. Finalmente, no capítulo 6 são apresentadas conclusões sobre o trabalho, sendo feita uma análise crítica aos conceitos implementados, testes e resultados obtidos e terminando com algumas notas referentes a possíveis melhoramentos e trabalho futuro.

2 Trabalho relacionado

2.1 As origens da rede de energia eléctrica

O potencial da energia eléctrica remonta aos finais de 1800, primeiramente pela sua possível utilização na iluminação [2]. Foi num contexto de deslumbre e fascínio que surgiram as primeiras empresas de produção e distribuição de energia eléctrica, das quais se destaca a primeira grande empresa de produção e distribuição de energia eléctrica em Portugal: a sociedade Companhias Reunidas Gás e Electricidade - C.R.G.E. (1891) e a construção da Central da Boavista (1903) [2]. Além de ruas e casas, a electricidade começou também lentamente a fluir para os transportes e fábricas, sendo o Porto a cidade pioneira a dispor de uma rede de tração eléctrica [2].

Mais tarde surge a possibilidade de se aproveitarem as quedas de água, como factor de maior importância no desenvolvimento industrial [2], valendo a pena destacar a constituição, nesta fase, da Companhia Electro-Hidráulica de Portugal (1918) e a Hidroeléctrica Alto Alentejo (1925) [2] [3]. No entanto, foi em plena II Guerra Mundial que em Portugal se lançou um programa de electrificação nacional [5], onde em finais de 1944 foi promulgada a lei nº2002 [6] relacionada com a electrificação do país. Através desta lei estabeleceram-se os princípios para a produção, transporte e distribuição da energia eléctrica em Portugal, dando preferência à produção de energia centralizada e à utilização de hidroelectricidade. Este foi o início oficial do processo de Electrificação colocado em marcha por todo o país [5]. No final da década de 1960 as empresas concessionárias da produção e transporte da rede eléctrica primária fundem-se numa única empresa, a Companhia Portuguesa de Electricidade (CPE). [5]

Foram descritos acima os primórdios daquele que é actualmente um dos sistemas de maior dimensão e relevo na vida das pessoas, cujo início remonta ao papel do Engenheiro José Nascimento Ferreira Dias, Subsecretário de Estado do Comércio e Indústria em 1944, responsável pela elaboração da lei nº 2002 de Dezembro de 1944, que deu início à electrificação do país.

2.1.1 Os intervenientes em Portugal

Até aos dias de hoje, a rede de energia eléctrica evoluiu e expandiu a cobertura nacional de forma exponencial. Hoje conhecemos a rede de energia eléctrica essencialmente pelos dois principais intervenientes, a EDP e a REN.

Em 1975, o estado reconhece que existe um número elevado de entidades a actuar no sector da electricidade, levando a sobreposições de redes e tarifários diversificados.

Reconhecendo que uma infra-estrutura básica de energia é essencial ao progresso do País, em 1975 o estado Português nacionaliza todas as empresas de produção, transporte e distribuição em Portugal Continental.

A EDP, originalmente Electricidade de Portugal, nasce em 1976 fruto da união de todas as empresas de produção, transporte e distribuição de Portugal Continental que tinham sido nacionalizadas no ano anterior [7]. Os principais objectivos consistiam em integrar a distribuição dos municípios e melhorar a qualidade da rede, continuar o processo de electrificação do território nacional e definir uma tarifa uniforme para todo o país. A EDP resultava, assim, numa empresa responsável pelo transporte e distribuição de energia eléctrica em Portugal e por 95% da sua produção [9].

Em 1994, deu-se a separação jurídica do Grupo EDP da actual empresa autónoma REN, que nos dias de hoje é responsável em Portugal Continental pelo transporte de electricidade de muito alta tensão e Gestão Técnica Global do Sistema Eléctrico Nacional e ainda o transporte de gás natural de alta pressão, Gestão Técnica Global do Sistema Nacional de Gás Natural, Recepção, Armazenamento e Regaseificação de GNL e Armazenamento subterrâneo de gás natural [10].

Importa também referir que existem dois tipos de produção: a produção em Regime Ordinário e a produção em Regime Especial. A primeira refere-se à produção de electricidade com base em fontes tradicionais e não renováveis, nomeadamente carvão, gás natural ou albufeiras [11] [13]. A segunda produção refere-se à cogeração e utilização de fontes de energia renováveis, nomeadamente o sol e vento [13].

A EDP em 2012 contabilizava uma capacidade de produção instalada, na Península Ibérica, da ordem dos 13.809 MW e a produção líquida na península ibérica atingiu perto de 28 GW durante esse mesmo ano [11]. No final de 2012, em Portugal, a EDP contabilizava 5.273 MW em centrais hidroeléctricas e 4.330 MW em centrais termoeléctricas [12]. De notar que a EDP não é o único produtor de energia em Portugal. Destacam-se a título de exemplo o grupo GENERG, com um portfólio energético (energia eólica, hídrica e solar) em Portugal de cerca de 750 MW, e o grupo Enel Green Power com um portfólio energético (energia eólica, mini-hídrica, cogeração, solar e biomassa) de cerca de 1868 MW [40] [41].

Em Portugal, a REN dá conta de uma potência instalada total de 17.778 MW (Dezembro de 2013), dos quais 5.239 MW são provenientes de energia Hidráulica, 5.750 MW de origem térmica e 6.789 MW correspondem a produtores em Regime Especial [14]. Também de notar que, em 2007, a potência total contabilizada ascendia a 14.139 MW, que reflecte um aumento de cerca de 25,7% na potência instalada nos últimos 6 anos, ou seja, um aumento anual de cerca de 4,3% desde finais de 2007 até finais de 2013 [14]. De notar ainda que entre os anos de 2011 e 2013 registou-se na realidade uma queda na potência instalada, possivelmente fruto do contexto macroeconómico nacional e internacional que levou a uma reestruturação das projecções futuras, naquele que era um aumento constante do consumo de electricidade per capita em Portugal [15].

A REN contabiliza diariamente os valores da potência transportada e disponibiliza os mesmos, publicamente, através de um portal, onde podemos encontrar perto de 8 GW de pico máximo ao longo de um dia de semana normal [11]. Em seguida apresenta-se uma figura referente ao consumo registado, pela REN; durante um dia de semana:

Data para análise

08-01-2014



Executar »



Download

Diagrama de Consumo Total

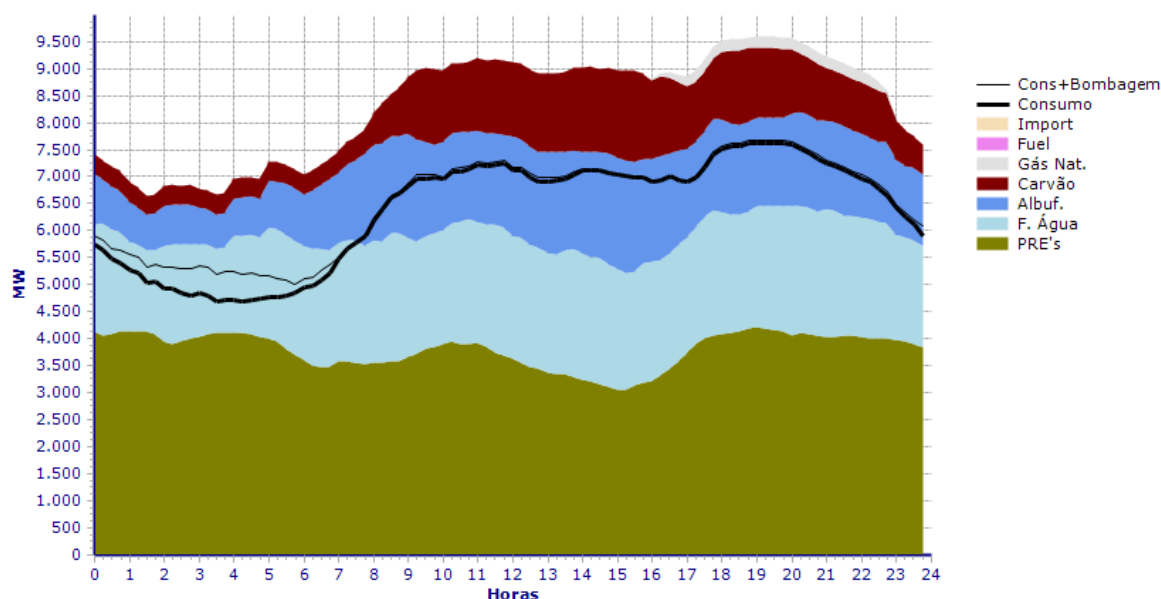


Figura 1 - Diagrama do Consumo Total nacional para o dia 08-01-2014 [11]

Não obstante a capacidade instalada, é pouco comum encontrar picos diários superiores a 10 GW, ainda que a diferença entre o máximo e o mínimo num mesmo dia possa atingir os 50-80% de diferença, face ao mínimo registado. Ou seja, num dia de semana é comum serem encontrados picos de consumo da ordem dos 7-8 MW e no mesmo dia encontrarmos mínimos da ordem dos 4 a 5 MW [11]. A diferença entre máximos e mínimos registados diariamente, enquadrado com as potências contratadas junto do consumidor final, contribui para o sobredimensionamento da rede de energia eléctrica [31]. Além destes dois factores, a redundância requerida numa rede desta natureza e a falta de fiabilidade das fontes de energia renovável também são responsáveis por um dimensionamento acima do necessário, de forma a mitigar os riscos associados a falhas na capacidade de produção [36]. De notar também que, ao contrário de uma rede de comunicação, na rede eléctrica não é possível a existência de taxas de contenção por exemplo, ou seja, a rede deve ser capaz de fornecer a energia requerida por todos os consumidores finais.

Se olharmos agora para o modelo clássico da rede de energia eléctrica, este apoia-se em três elementos:

- 1) **Produção**, centralizada em grandes unidades de produção;
- 2) **Transporte**, responsável por cobrir e garantir o fluxo de energia aos pontos principais do país;
- 3) **Distribuição**, responsável pelo transporte final, ou seja, por entregar a energia ao consumidor e interagir com este.

É neste último elemento que se começam, aos poucos, a dar alguns passos no sentido de se modernizar e dinamizar a distribuição, procurando melhorar a interacção desta com o consumidor final, nomeadamente na recolha e disponibilização de informação.

Também nos consumidores finais é possível observar uma mudança comportamental no sentido de combinar fontes de produção de energia eléctrica e renovável nos seus ambientes domésticos (nomeadamente a fotovoltaica e eólica), contribuindo assim para o crescimento de um modelo distribuído de produção de energia eléctrica em Portugal. A microprodução, ou seja, as instalações de reduzida potência e escala em Portugal [42], tendo registado em meados de 2012 cerca de 65 MW de potência total instalada [32].

2.1.2 Uma necessidade de mudança

A rede de energia é unidireccional, onde normalmente o consumidor final limita-se a ligar o interruptor em sua casa e a energia flui naturalmente e sem perguntas para o seu dispositivo. A única interacção entre consumidor e rede de distribuição de energia é tipicamente realizada através da factura no final do mês.

A rede existente é fruto da história e da forma como foi pensada, projectada e implementada gradualmente desde há cerca de 100 anos atrás até aos dias de hoje. Por este motivo, existem dificuldades e entraves inerentes a uma mudança paradigmática no conceito daquela que é a rede de energia eléctrica, embora seja unânime que o caminho passará por introduzir inteligência na mesma e caminhar lentamente na direcção de uma rede mais distribuída, mais dinâmica, mais flexível e mais comunicativa, algo a que genericamente se designa por SmartGrid.

O European Task Force para a implementação de SmartGrids indica que já existem alguns elementos com inteligência implementados nas redes eléctricas, nomeadamente ao nível da comunicação e automação existentes na rede de transporte. Segundo o grupo, a diferença encontra-se naquilo que se espera de uma futura rede de energia eléctrica inteligente face ao que ela é de momento, esperando encontrar a capacidade de lidar com níveis de complexidade muitíssimo superiores aos existentes actualmente [1]. O mesmo grupo dá conta que a iniciativa de aprofundar e divulgar o conceito de redes de energia eléctrica inteligentes tem crescido na sua difusão e em apoiantes, mas que infelizmente esta implementação não foi abraçada por vários países desde o início, pelo que não escalou e cresceu da forma esperada. Por detrás desta desaceleração poderão estar factores como a incerteza e a possível rejeição da mudança por parte dos consumidores ou os investimentos financeiros e tecnológicos significativos requeridos [1].

Esta mudança paradigmática procura dar resposta às necessidades levantadas no contexto do presente e futuro da rede de energia eléctrica. Mas esta mudança também traz os seus desafios e as suas perguntas às quais deverão ser encontradas respostas e soluções de compromisso no sentido de conseguir modernizar e dinamizar aquela que é uma das redes mais importantes nos dias de hoje.

2.2 SmartGrid

2.2.1 Um novo paradigma: objectivos e mudança

A rede inteligente, ou SmartGrid, refere-se, geralmente, à modernização da actual rede de energia eléctrica, através da introdução de mecanismos e componentes que permitam a automação e acesso remoto aos vários elementos existentes na rede [16] [33]. Ou segundo outro autor, uma rede inteligente é uma colecção de tecnologias, conceitos, topologias e aproximações que permitem a criação de um ambiente totalmente integrado, desde a produção, transporte e distribuição de energia, e onde os processos de negócio, objectivos e necessidades de todos os accionistas são suportados por uma troca eficiente de dados, serviços e transacções [19].

O termo não define por si só as tecnologias, conceitos e processos envolvidos nesta modernização, existindo inclusive vários argumentos e pontos de vista diferentes e complementares nesta matéria. Existe no entanto algum esforço em tentar definir alguns *standards* que sirvam de base à implementação futura das tecnologias por detrás de uma SmartGrid [33].

O que é comum aos vários pontos de vista é a origem desta ampla necessidade de modernizar a rede de energia eléctrica: maximizar o retorno financeiro da rede de energia eléctrica [17]. Por poucas palavras, procura-se encontrar melhorias na eficiência e utilização dos recursos e componentes energéticos na rede actual, maximizando a sua utilização ao passo que se atrasam novos investimentos. A melhoria que se procura poderá passar por algumas estratégias, tais como melhorar a operação da rede em si e otimizar o consumo do consumidor final [17].

Segundo o European Task Force para a implementação de SmartGrids, é expectável que este tipo de redes possua algumas características, tais como [1]:

- Uma maior integração dos consumidores na optimização de todo o sistema;
- Mais informação, tanto para os consumidores como para os produtores;
- Facilidade em adicionar novas unidades geradoras de energia, independentemente do seu tamanho;
- Integração com energias renováveis, com suporte aos picos de produção e balanceamento de carga;
- Manter ou melhorar o serviço de energia eléctrica.

Em primeira análise, a componente tecnológica da estratégia refere-se directamente à melhoria da operação da rede, que pode ser conseguida, por exemplo, com a introdução de novos elementos de entrega de energia, de controlo e monitorização. A componente menos tecnológica da solução poderá passar por implementar estratégias de controlo e/ou incentivo aos consumidores finais, cujo propósito será o de tentar influenciar os comportamentos dos consumidores finais no sentido de se adaptarem

às necessidades da rede eléctrica. Esta última corresponde a uma mudança no paradigma daquela que é a interacção entre consumidor e rede de distribuição, sensibilizando os consumidores para tomarem parte no processo de melhorar a eficiência da rede [1].

David G. Hart, membro sénior do IEEE, publicou um artigo em 2008, onde destaca alguns aspectos chave para a implementação de uma rede inteligente [17]:

- A rede deverá ter a capacidade para recuperar sozinha em caso de falha;
- O fornecimento de energia deverá ser o mais transparente possível para o utilizador final, evitando falhas, picos de tensão, entre outros problemas de qualidade ou fiabilidade;
- Deverá suportar energias renováveis;
- Deverá monitorizar as componentes da rede, recorrendo a sensores de baixo custo.

Com um ponto de vista semelhante, Richard E. Brown publicou um artigo, também em 2008, onde refere as características desejáveis de um sistema de distribuição no futuro [18]:

- Capacidade de recuperar sozinha (“self-healing”);
- Alta fiabilidade e qualidade na entrega de energia;
- Capacidade de resistir a ataques informáticos;
- Acomodar diferentes opções de produção distribuída e de armazenamento;
- Optimizar a utilização dos recursos;
- Diminuir custos com a operação e manutenção da rede.

O mesmo autor refere ainda que quaisquer elementos a serem instalados, na actual infra-estrutura de distribuição de energia eléctrica, deverão ser preparados para que futuramente possam ser introduzidos na SmartGrid. A proposta não é tanto no sentido de instalar elementos com todas as funcionalidades requeridas para uma SmartGrid, mas antes de realizar alguma projecção futura e preparar os actuais investimentos para os tornar “SmartGrid aware”, para que mais tarde possam ser convertidos e inseridos na SmartGrid. Esta ideia permite que gradualmente sejam inseridas funcionalidades e seja preparada a migração para uma futura rede inteligente, sem prejuízo da actual infra-estrutura [18].

O Dr. Hassan Farhangi, director do Group for Advanced Information Technology no British Columbia Institute of Technology, descreve que a próxima geração de rede de energia eléctrica tratar-se-á de uma transformação disruptiva e inevitável, e que deverá ter a capacidade de responder às questões anteriormente levantadas, fornecendo uma visão e controlo absolutos sobre as várias componentes e serviços incorporados na rede [19].

O autor levanta ainda a questão de que os principais problemas na criação e mudança de paradigma advêm da camada de distribuição, onde são registados cerca de 90% de todas as falhas ou problemas com a energia. Como exemplo, a capacidade de controlar a procura-oferta por parte de consumidores não será possível sem a integração de medidores inteligentes e redes de comunicação ao nível doméstico.

Importa também referir que a passagem da rede energética actual para uma rede inteligente, independentemente das tecnologias implementadas, implicará uma mudança drástica de paradigma que dificilmente se verificará repentinamente. Será mais certo assistir-se a uma integração e evolução sistemáticas do actual contexto para um inteligente, minimizando assim os riscos e investimentos associados [19].

O problema desta evolução está no contexto histórico que cada rede destas possui nos dias de hoje, essencialmente pelo simples facto das redes de energia eléctrica já se encontrarem construídas e implementadas de acordo com o paradigma clássico para o qual foram desenvolvidas. Muito embora os distribuidores de energia eléctrica desejem ir nesse sentido, os elevados custos e risco de prejudicar os serviços que agora prestam, sobrepõem-se a qualquer decisão que possam tomar [19], pelo que se espera uma evolução gradual das componentes e sistemas na actual rede de energia eléctrica.

2.2.2 Conceitos e ideias

No âmbito das SmartGrids, são vários os autores que consideram necessário melhorar a infra-estrutura de medição dos consumos através da evolução para uma AMI (“Advanced Metering Infrastructure” ou “Automated Metering Infrastructure”, consoante os autores) [17] e [19]. As características chave esperadas são:

- Comunicação bidireccional, para permitir controlo temporal dos consumos do cliente, relatar de picos de utilização, comunicar directamente para o cliente, possibilidade de desconectar/conectar cargas do cliente, entre outras funções possíveis;
- Capacidade da rede com equipamentos AMI para registar e integrar automaticamente novos pontos de medição;
- Capacidade da rede com equipamentos AMI para se reconfigurar em caso de falha nas comunicações
- Sistema de cobrança interligado com a rede AMI, sistema para gestão de picos, entre outras aplicações possíveis

No contexto actual existem equipamentos com alguma inteligência que procuram ser um primeiro passo nesta direcção de uma infra-estrutura avançada de medição, nomeadamente os contadores inteligentes. Estes contadores têm a particularidade de comunicar alguns valores e de realizar algumas operações remotamente. Menciona-se a EDP BOX [20], exclusivo da EDP Distribuição, que permite

acções remotas de alteração de potência contratada, alterações do tarifário, informações sobre o equipamento, leitura, consumo e tarifa do cliente. Estes equipamentos fazem parte do projecto InovCity e serão detalhados na próxima subsecção.

Estes primeiros elementos podem ser vistos como uma fase intermédia na mudança de paradigma. Hassan Farhangi descreve estes primeiros dispositivos como parte da infra-estrutura AMR (“Automated Meter Reading”), que posteriormente evoluirão para dispositivos de uma AMI e por fim dispositivos de uma SmartGrid.

Existe ainda um outro conceito nesta mudança de paradigma que ajudará a integrar lentamente as alterações requeridas. Esse conceito não é mais do que dividir para conquistar, ou seja, ao invés de se implementar e operar uma Smart Grid como uma rede inteligente global, a ideia será criar várias redes inteligentes de dimensão inferior interligadas entre si designadas por “Microgrid” [19].

Esta segmentação da rede de energia eléctrica traz várias vantagens, uma das quais é a possibilidade de criar e interligar redes inteligentes ou até mesmo implementar mecanismos de inteligência em sub-redes da actual rede energética, permitindo uma construção sistemática e gradual do conceito SmartGrid. Com esta aproximação está-se a repensar todo o modelo clássico da rede de energia eléctrica, de forma a incorporar mais facilmente alguns conceitos, tais como a possibilidade de uma produção mais distribuída.

Espera-se ainda que este conceito de construir sub-redes inteligentes represente um compromisso com menos riscos e mais sistemático no avanço para a solução global. Com estas redes inteligentes de menor dimensão são esperadas algumas características chave, nomeadamente [19] [21]:

- Permitir uma absorção mais flexível de fontes de energia renováveis, ou por outras palavras, ser mais flexível à existência de uma produção mais distribuída;
- Ainda no seguimento de uma produção distribuída, deverá existir a capacidade da produção local cobrir as necessidades de consumo dessa mesma sub-rede;
- A produção nesta rede deverá servir tanto cargas industriais como residenciais e ainda tirar partido de qualquer capacidade de armazenamento na rede para amortecer o comportamento mais errático das fontes renováveis;
- De forma a implementar algum controlo e monitorização mais granular e inteligentes, a rede deverá possuir sensores e medidores inteligentes. O controlo esperado poderá passar pela implementação de mecanismos directos para interacção e comunicação com as cargas;
- Esta rede deverá ser passível de ser integrada numa arquitectura com várias outras microgrids, possibilitando a troca de informação e energia.

Em suma, esperam-se construir pequenas redes inteligentes independentes, com capacidade para se gerirem e funcionarem isoladas do resto da rede, em modo “ilha”, mas sobretudo com capacidade para interagir e integrar uma rede de maior dimensão constituída por várias microgrids. No seguimento deste

conceito, poder-se-á esperar que a SmartGrid surja como uma integração devidamente planeada de várias microgrids inteligentes, capazes de trocar energia, dados e comandos [19].

O contexto económico delicado, os elevados custos financeiros e riscos associados a qualquer decisão nesta área, traduzem-se num cenário de impasse onde as empresas responsáveis pela distribuição de energia dão passos curtos e pouco decisivos neste contexto de redes inteligentes. A razão por detrás desta insegurança encontra-se apegada à realidade histórica da rede, dado que não é possível ligar um interruptor e toda a rede passar a ser inteligente e comunicativa de um momento para o outro.

Apesar das incertezas e dificuldades, existem alguns investimentos e desenvolvimentos com projecção internacional, que merecem atenção para se entender como estão as empresas a lidar com este novo paradigma e que passos escolheram dar.

2.2.3 InovCity

A 6 de Abril de 2010, a EDP deu um primeiro passo nesta iniciativa e construiu uma rede inteligente de energia eléctrica em Évora, com o nome de InovCity [22] [23]. Este projecto visa potenciar a eficiência energética, microprodução e a mobilidade eléctrica, ao tentar ser o primeiro passo e exemplo de sustentabilidade para todo o país [24].

São já 31.000 os clientes domésticos que fazem parte deste projecto, no qual cada um possui em casa uma EDP Box (o equipamento referido anteriormente) [24] [25]. Évora foi uma das primeiras “Smart Cities” ibéricas. Embora tenha sido oficialmente lançado em 2010, o conceito já vem desde finais de Outubro de 2007 quando a EDP assinou um protocolo com instituições nacionais, no sentido de criar um novo paradigma para a interacção entre a rede eléctrica e os consumidores finais.

Os objectivos para este projecto eram [26]:

1. Redes de Energia inteligentes
 - a. Controlar, gerir e monitorizar toda a rede de distribuição de electricidade
 - b. Disponibilização de preços permanentemente adaptados a cada perfil e necessidades de consumo.
2. Microprodução inteligente
 - a. Produção de energia eléctrica a nível doméstico, nomeadamente painéis fotovoltaicos ou pequenas turbinas eólicas
3. Casas inteligentes
 - a. Substituição dos atuais contadores de energia por modelos EDP Box [20]
4. Mobilidade inteligente
 - a. Implementação de uma rede de pontos de abastecimento para veículos eléctricos.

Na óptica do consumidor/produzidor final, foram criados planos e preços ajustados ao perfil de consumo, permitindo uma maior flexibilidade e adequação da escolha às necessidades de consumo e de produção. Além destes, existe ainda uma área reservada para consulta destes mesmos valores de produção e consumo, que pode ser acedida utilizando um *web browser*.

O principal impacto deste projecto para o consumidor final centra-se na disponibilização de mais tarifários e alteração do contador de electricidade para um dispositivo com mais funcionalidades [30]. Este novo equipamento foi designado por EDP Box e possibilita a alteração da potência contratada e de tarifários, recolhe informações sobre os equipamentos e ainda informações de leitura, consumo e tarifa, tudo remotamente.

Este tipo de equipamento vai ao encontro do conceito introduzido anteriormente por um autor que descreve este tipo de dispositivos como pertencentes ao grupo de Advanced Meter Reading (AMR), ou seja, são equipamentos de medição mais avançados com alguma capacidade remota, mas ainda bastante longe dos dispositivos avançados esperados numa rede inteligente [19]. São um passo fundamental na transição entre o actual paradigma e uma rede verdadeiramente inteligente, mas são apenas o primeiro passo ainda.

Também importa referir que esta rede inteligente em Évora encontra-se completamente integrada na rede de energia a nível nacional em Portugal, indo ao encontro da ideia de redes inteligentes e não inteligentes poderem coexistir. Desde 2007 aos dias de hoje, a InovCity continua a ser um projecto de referência nesta área, tendo sido visitado pessoalmente por várias entidades internacionais, no sentido de averiguar o seu funcionamento e viabilidade a larga escala [25]. E embora tenha sido oficialmente lançado em 2010, em Julho de 2013 ainda era tido como um conceito que eventualmente poderia ser expandido ao resto do país.

Trata-se de um projecto com bastante interesse e projecção internacional, mas que levanta algumas dúvidas, nomeadamente quanto aos benefícios para a empresa distribuidora de energia em implementar este sistema a nível nacional. Em comunicado no portal do projecto [23], são vários os benefícios apontados, tais como a redução das emissões de CO₂, aposta nas energias renováveis, promoção da sustentabilidade ambiental, maior proximidade entre cliente e comercializador, entre muitos outros. Ora, nenhum destes propósitos tem algum benefício directo para a EDP enquanto empresa e enquanto entidade produtora e distribuidora de energia eléctrica.

O que é claramente um benefício para a EDP será a minoração de custos de operação da rede, a melhoria da gestão da rede, a automatização de vários processos e a existência de um maior controlo sobre as fontes de produção de energia. Algo que também fica claro é que hoje em dia, quase 4 anos após o seu lançamento e mais de 6 anos após a sua concepção, esta ideia ainda não se expandiu a outras zonas do país, pelo que ou não é uma alternativa viável ou ainda não se encontra pronta para a expansão pretendida.

2.2.4 Ausgrid

Outro projecto de relevo, este a nível internacional e aqui descrito muito sucintamente, foi o investimento de 100 milhões de dólares que foi realizado pelo governo Australiano e liderado pela empresa Australiana de distribuição de energia eléctrica, a Ausgrid [38]. De forma análoga à InovCity, este projecto decorre entre 2010 e 2014 e pretende testar algumas tecnologias de uma futura SmartGrid, tais como a recolha de informação de 30.000 ambientes domésticos. Este projecto é muito semelhante à InovCity em termos de dispositivos, conceitos e objectivos, incluindo também dispositivos para recolha de informação sobre os consumos em casa, um portal web que possibilite o acesso a essa informação, aplicações para dispositivos móveis, entre outros.

São estes pequenos e simples passos que as empresas de distribuição estão a dar no sentido de entender o verdadeiro potencial de redes inteligentes. De igual modo, estes pequenos passos representam investimentos bastante relevantes, como foi possível ver no projecto Australiano para 30.000 casas. Embora pequenos, são passos muito importantes que permitem vislumbrar, testar e validar, etapa por etapa, a construção da rede inteligente SmartGrid.

2.3 Edifícios inteligentes

2.3.1 Introdução

Um edifício inteligente é aquele que oferece um ambiente produtivo e que é economicamente racional, através da optimização dos seus quatro elementos básicos - estrutura, sistemas, serviços e gestão - e das inter-relações entre eles. Os edifícios inteligentes ajudam os seus proprietários, gestores e ocupantes a atingir os seus objectivos sob as perspectivas do custo, conforto, adequação, segurança, flexibilidade no longo prazo e valor comercial [51].

Com a constante evolução dos dispositivos móveis e a familiarização no dia-a-dia das pessoas é esperado que estes potenciem e expandam as atuais funcionalidades a outras áreas [34]. Também em casa e no trabalho, estes sistemas embebidos deixaram de ser considerados exemplos caros ou raros, começando aos poucos a ter algum peso na rotina diária. Um passo que se espera dar a médio prazo é o de permitir a interacção simples entre um conjunto de equipamentos, com capacidade para receber informação e tomar algumas decisões simples, sem que seja necessária interacção humana [34]. Este simples e no entanto complexo passo requererá um salto muito significativo naquele que é o paradigma contextual dos equipamentos domésticos.

2.3.2 Ambientes inteligentes

Alguns autores são concordantes e apontam numa direcção: é necessário que haja um caminho no sentido de se criarem ambientes com inteligência subjacente, ambientes esses que deverão ser imersivos e servir de suporte à rotina, sem que o utilizador se aperceba ou sequer requeira que se

aperceba. Este conceito é conhecido, de forma genérica, por Aml (*Ambient Intelligence*) [34] [35]. Num Ambiente Inteligente é esperado encontrar algumas características chaves, tais como:

- **Computação ubíqua e transparente:** para que qualquer interacção entre máquina e utilizador se torne tão transparente quanto possível. De forma a conseguir esta transparência, alguns autores referem algumas capacidades fundamentais, tais como a autonomia e capacidade para operar tanto a nível local como interligado com outros dispositivos, a migração de serviços e de dados de forma a acompanhar a mobilidade do utilizador, entre outros;
- **Aprendizagem e adaptação automáticas:** aqui esperam-se encontrar as faculdades humanas e parte da inteligência do sistema, nomeadamente a capacidade para interagir socialmente com seres humanos, para aprender e adaptar as decisões com base em padrões de comportamento humanos, criar perfis humanos e agir com base em informação do contexto (*Context awareness*), entre muitas outras características. A interacção sócio-humana aqui requerida pressupõe a existência de faculdades normalmente ligadas com a Inteligência Artificial, tais como a capacidade de processamento da fala e de vídeo.
- **Context awareness:** este é um dos termos chaves quando se fala em ambientes inteligentes, referindo-se, de forma abstracta, à capacidade dos dispositivos móveis em entender o contexto no qual estão inseridos, nomeadamente as circunstâncias e restrições do meio (por exemplo, através da recolha de informação utilizando sensores para medir ruído, luz, pressão e temperatura, ou por exemplo a recolha de informação sobre a rede, capacidade de processamento, entre outros). Geralmente este conceito não está tanto associado ao contexto social mas antes ao contexto tecnológico.

Apesar da definição destes três elementos e do que se espera encontrar em cada um deles, os ambientes inteligentes ainda hoje são tratados como um chavão na sociedade humana [35]. A sua construção é na realidade concebida para tomar partido, na maioria dos casos, apenas de sensores e atuadores e alguma comunicação entre estes.

De acordo com alguns autores [35] este nível de inteligência será um problema num cenário a médio prazo, visto não ser capaz de suportar características que hoje são consideradas chave na construção de um ambiente inteligente. Os mesmos autores propõem que, ao invés de se pensar apenas na perspectiva tecnológica e operacional do ambiente, se considerem igualmente técnicas e métodos de Inteligência Artificial durante a concepção destes.

Em ambientes inteligentes, a introdução de Inteligência Artificial poderá ajudar no processamento de algumas tarefas, tais como: a interpretação do meio com base em reconhecimento de voz e de processamento de imagem, capacidade em mapear informação com o conhecimento associado, planear e tomar decisões com base no ambiente, aprendizagem com o meio e interacção com os seres humanos [35].

Ainda no seguimento desta definição de ambientes inteligentes, alguns autores propõem um modelo [34] no qual é possível encontrar e definir quatro entidades principais em torno das quais o ambiente inteligente é construído:

- **Utilizador:** esta é a componente central em todo o processo e em torno do qual o Ambiente, Plataforma e Serviço se deverão adaptar;
- **Ambiente:** data e local, condições meteorológicas, entre outros;
- **Plataforma:** informação sobre hardware e software dos dispositivos embebidos;
- **Serviço:** as funcionalidades, ou serviços, para o utilizador/consumidor final.

Trata-se de um modelo cujas peças e respectivos papéis serão exploradas e aprofundadas mais adiante, quando se definirem os moldes de simulação de uma casa inteligente integrada numa rede de distribuição eléctrica inteligente.

2.3.3 Gestão Energética em Edifícios Inteligentes

Outro termo amplamente divulgado neste âmbito é o BAS (*Building Automation System*) [36]. Este sistema central pode ser visto como uma ferramenta na operação e manutenção eficiente dos vários sistemas existentes num edifício, com o intuito de melhorar a interacção dos utilizadores com os últimos. Estes sistemas começaram por controlar e ajudar na operação de AVAC, tendo evoluído para incluírem também telecomunicações, automação em escritórios, iluminação, segurança, gestão da energia e consumos.

Com a crescente utilização de fontes de energia renováveis em edifícios e a necessidade de gerir e controlar de forma mais eficiente os recursos energéticos, existe a necessidade de explorar novos mecanismos, processos e tecnologias. Esta gestão é conseguida através da implementação de sistemas responsáveis pela gestão e controlo da energia num dado edifício.

Não nos podemos esquecer dos desafios energéticos com que a rede de energia se defronta actualmente, tais como o impacto ambiental da produção energética e o constante declínio de fontes de energia não renováveis, a necessidade de minimização dos custos do sistema, garantindo a mesma segurança, integridade e fiabilidade que actualmente possuem [37]. Face às pressões exercidas pelos agentes económicos, torna-se crucial encontrar um compromisso que forneça uma resposta sólida na integração de fontes de energia renováveis e distribuídas com a actual rede eléctrica, como por exemplo ao nível da microprodução fotovoltaica em edifícios. Esta integração e gestão energética deverão ser realizadas por uma componente ao nível do sistema de automação de um Edifício Inteligente.

A resposta poderá estar em partir e identificar o problema pelas suas componentes, começando pela Produção, Transporte e Distribuição de energia eléctrica, terminando na componente final de Consumo. Se olharmos para este problema apenas do ponto de vista do lado da produção e transporte de energia eléctrica, estaremos a descurar um elemento fundamental: o consumidor final. É este que, antes de mais, é responsável pela necessidade energética, ou por outras palavras, o consumidor é o responsável pelo consumo num dado instante. A produção, transporte e distribuição apenas existem para cobrir essa mesma necessidade final.

Idealmente a rede poderia ter a capacidade de controlar, ou pelo menos influenciar, o consumo total durante os momentos de menor produção de energia (por exemplo, devido a um imprevisto na geração de energia por parte de fontes renováveis ou devido a um período de manutenção na rede), colocando assim quase de parte a necessidade de fontes não renováveis auxiliares ou da importação de energia. Por esta razão, é entre a fronteira de Distribuição de Energia e a de Consumo final que surge a oportunidade de interligar a componente inteligente de Gestão Energética em Edifícios com a componente inteligente de uma rede de distribuição de energia eléctrica, abrindo portas a todo um novo domínio na gestão da procura e oferta de energia eléctrica [37]. Esta ideia permite, entre outros, reforçar a confiança e fiabilidade na rede, melhorar a eficiência dos recursos utilizados, permitir um melhor controlo e troca de informação com o consumidor final.

2.3.4 SmartGrids e Edifícios inteligentes

A gestão da procura e oferta de energia eléctrica pretende coordenar as actividades de produção e consumo da energia eléctrica, no sentido de evitar picos e tentar manter o fluxo de energia eléctrica tão constante quanto possível ao longo do dia [36]. Ainda neste meio é comum encontrar imprevistos provocados por alterações pontuais no consumo final, falhas na rede, imprevisibilidades na produção por parte de fontes renováveis, entre outros cenários. Todos estes imprevistos referidos são independentes do consumidor final, que continuará o seu dia a dia a ligar e a desligar o interruptor. Ora, estas razões levam à necessidade de existência de fontes de energia não renováveis mas fiáveis, de forma a mitigar o risco de não existir energia em quantidade suficiente por qualquer razão que seja, e em particular razão pelas fontes renováveis. Ora do ponto de vista económico, este cenário é bastante dispendioso visto existirem vários factores de risco e pouco controlo no consumo, pelo que se irá reflectir na existência de um dimensionamento da rede muito acima do necessário. Em alternativa a esta hipótese, poderão ser consideradas propostas de armazenamento de energia, tais como a utilização de conjuntos de baterias, com o intuito de mitigar estes riscos e cobrir os momentos de menor produção de energia eléctrica [36], muito embora não seja prático nem economicamente viável ter grandes unidades de armazenamento de energia espalhados pelo território nacional.

É neste ponto que entra a proposta de interligar o sistema inteligente da rede de distribuição de energia eléctrica com o sistema inteligente nas casas [36], levando a uma melhoria na gestão de todos os riscos referidos anteriormente. Esta interligação permite então que a gestão de oferta-procura de energia eléctrica, da rede de distribuição, forneça informação ao sistema inteligente de um edifício BAS (*Building Automation System*), no sentido de limitar, ou não, o consumo, dependendo no período em questão.

Essa informação será utilizada pelo BAS do edifício para limitar e gerir o consumo, podendo por exemplo desactivar cargas não essenciais durante um período em que a carga pedida é superior à produção fornecida. A produção fornecida é da responsabilidade do sistema de Gestão (e produção) de Energia, que por sua vez irá receber informações do BAS e irá produzir mais ou menos energia consoante as necessidades de oferta e procura da rede de energia eléctrica. Tem-se então:

- **(1) Sistema para a gestão de edifícios (BAS):** que recebe informações do sistema de gestão da procura de energia (3) e que delega ordens para o sistema de produção de energia
- **(2) Sistema de produção (gestão) de energia:** recebe informações do BAS (1) no sentido de aumentar ou reduzir a produção de energia. Por sua vez a produção de energia eléctrica (2) irá informar o sistema de gestão de procura de energia (3);
- **(3) Sistema de gestão de procura de energia eléctrica:** este sistema recolhe informação sobre a actual produção e consumos, realiza algumas previsões, delegando por fim parte dessa informação para o sistema de gestão de edifícios (1).

Segundo os autores [36], esta interligação e estas decisões deverão ser passíveis de ser automatizadas e sem necessidade de intervenção directa por parte do utilizador. Não quer isto dizer que não seja possível a um utilizador interagir manualmente com o sistema.

Através da interligação destes três sistemas assiste-se a uma coordenação conjunta de parte a parte no sentido de adequar a produção de energia eléctrica ao consumo tanto naquele instante como num futuro próximo. A coordenação permite assim integrar mais facilmente sistemas de produção distribuídos e com base em energias renováveis, garantindo assim alguma flexibilidade, controlo e adaptabilidade do sistema às condições existentes. Este sistema apresenta aspectos importantes que serão explorados com o desenvolvimento da dissertação, servindo de base a alguns conceitos e processos mais adiante.

2.4 Simuladores

A análise de sistemas de energia, através do uso de plataformas de simulação, não é uma novidade na área de Energia em Engenharia. Existe uma diversidade bastante significativa em plataformas para a simulação de correntes de curto-circuito, estabilidade de sistemas de energia, protecções, modelos económicos, entre vários outros por exemplo.

Além destas, existem ainda plataformas que permitem simular e analisar o comportamento de uma SmartGrid, tais como a Gridspice [28]. Este projecto open-source trata-se de uma plataforma baseada em serviços *cloud* que procura simular o comportamento de uma SmartGrid a vários níveis. De momento encontra-se em fase beta e está disponível para instalação, à responsabilidade do utilizador.

Outra ferramenta também a destacar é o projecto open-source OpenDSS, desenhado para simular sistemas de distribuição de energia eléctrica [29]. Este projecto serve de referência ao ERPI (Electric Power Research Institute) como sistema de análise de sistemas de energia, nomeadamente nas áreas de modernização de redes e SmartGrids. Permite análises ao nível dos fluxos, harmónicas, cálculos correntes de fuga, entre outros.

Também a empresa Maplesoft apresenta uma solução nesse sentido, fazendo uso de uma ferramenta que permite até a integração com o MATLAB e o Simulink [39]. Não é a primeira ferramenta a fazer uso das capacidades do MATLAB e Simulink nestas áreas, embora nem sempre os projectos que foram encontrados se encontrem disponíveis para instalação e testes.

Estes e outros simuladores fazem parte de um conjunto de ferramentas que possuem uma complexidade e uma especificidade bastante elevadas e que são ideais para uma análise cuidada e muito próxima da realidade. No entanto, a ausência de maturidade em algumas ferramentas de análise de SmartGrids, a falta de uma documentação mais cuidada e abrangente, ou a falta do suporte de uma comunidade ampla levou a que fosse tomada a decisão de não depositar confiança em investir tempo e esforço na instalação, configuração e *debug* destas plataformas. Neste sentido, optou-se antes por explorar uma arquitectura que oferecesse uma maior liberdade na definição dos parâmetros e entidades utilizadas, algo que não poderia ser oferecido pelas arquitecturas das ferramentas existentes. A utilização de qualquer uma das plataformas anteriores poderia colocar barreiras e restringir os graus de liberdade na exploração de conceitos ou vertentes relevantes durante a dissertação, pelo que a opção tomada propõem-se a flexibilizar ao máximo o desenvolvimento e testes de novas ideias.

Surge então a necessidade de se encontrar um simulador menos específico, em termos de área de actuação, que permitisse simultaneamente ser flexível e abrangente no domínio de SmartGrids e Edifícios Inteligentes. O simulador a ser encontrado deveria ainda potenciar e explorar novas formas de relação com o consumidor final. Reunidos estes requisitos, concluiu-se que nenhuma das plataformas analisadas reunia ou cumpria parcialmente estas condições, pelo que se deu início à construção de uma ferramenta de testes que permitisse a flexibilidade, abrangência e abstracção requeridas, de forma a dar resposta aos desafios impostos na integração entre SmartGrids e Edifícios Inteligentes.

3 Modelo conceptual

No seguimento da análise de SmartGrids e Edifícios inteligentes, pretendem-se explorar e aprofundar alguns desses mesmos conceitos. A proposta que se segue terá como suporte algumas das ideias dos autores referenciados no capítulo anterior e apresentará um conjunto de novos conceitos e mecanismos integrados numa abordagem que pretende resolver alguns dos problemas identificados anteriormente.

O foco será na integração de SmartGrids com Edifícios inteligentes e com o consumidor final.

3.1 Arquitectura

Em seguida apresentam-se os principais destaques da arquitectura base, nomeadamente a abordagem hierárquica seguida, a introdução do conceito de fluxo e os mecanismos de decisão propostos.

3.1.1 Abordagem hierárquica

A rede de energia eléctrica possui vários elementos com diferentes características no seu seio: existem elementos de produção, elementos de transporte e elementos de distribuição, cada um com variadíssimas características, comportamentos e contextos diferentes. Adicionalmente, existe ainda o conceito lado de consumidor final que pode ser, por exemplo, um sistema de iluminação pública numa freguesia, um utilizador em casa ou no escritório, uma fábrica. Relativamente a edifícios inteligentes, existem igualmente vários elementos a considerar, nomeadamente os pisos e divisões do edifício, as cargas subjacentes, entre outros. Em virtude da diversidade de cada um destes elementos e seus contextos, propõe-se que sejam representados, de forma abstracta, usando o conceito de “nó”.

Genericamente, uma rede de energia eléctrica em Portugal pode ser representada por um grafo, com alguns pontos de interligação com a rede vizinha Espanhola. No âmbito desta dissertação e no sentido de testar e validar algumas ideias, esta arquitectura foi estruturada de forma hierárquica usando uma tipologia em árvore. Cada nó representa uma interface que permite abstrair a realidade por baixo, existindo nós terminais que representam cargas ou elementos de produção.

Segue-se um exemplo dos diferentes tipos de nós e da interligação entre a rede de energia eléctrica e um ambiente doméstico. As diferentes cores pretendem distinguir a finalidade de cada um dos nós, cores essas que serão aprofundadas mais à frente quando forem introduzidos os tipos de nós. A interligação entre cada nó simula, de forma simplificada, a rede de comunicação e de transporte de energia.

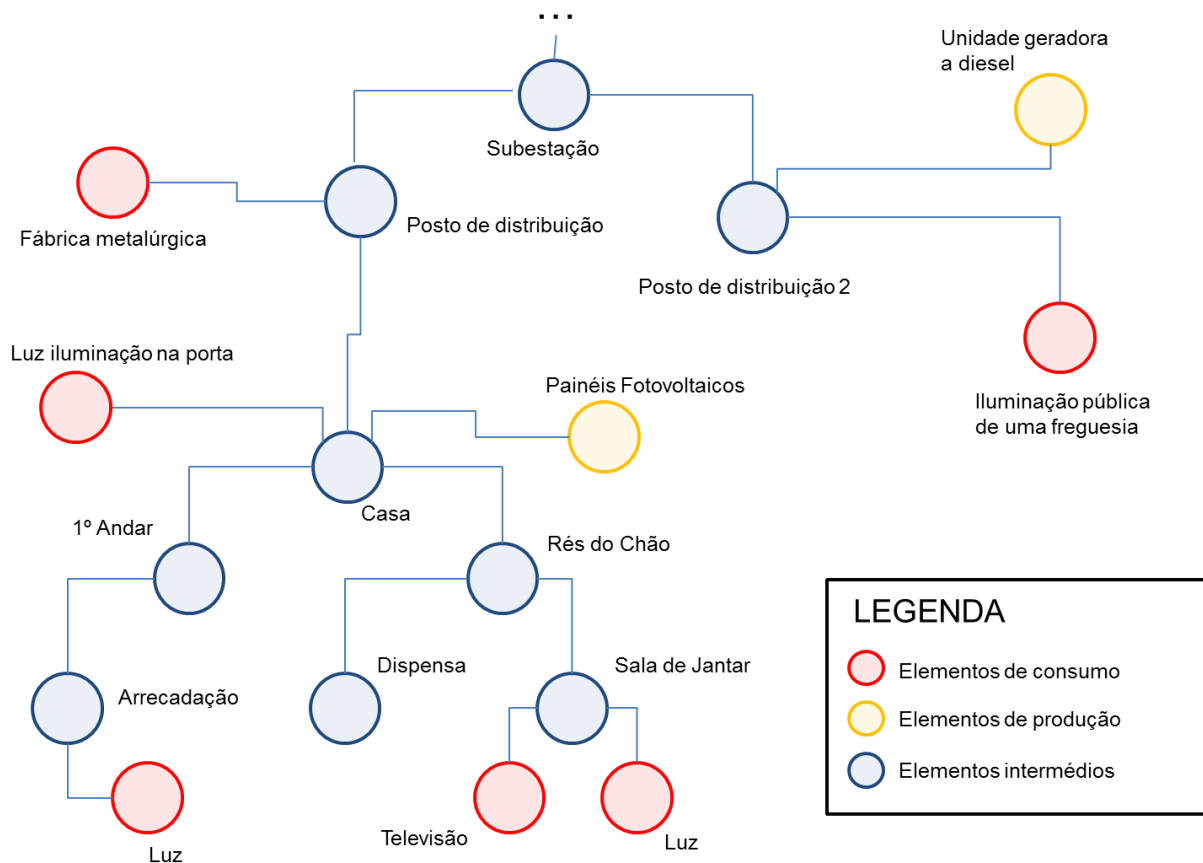


Figura 2 –Arquitectura em árvore e tipos de nós

Em suma, a abordagem proposta seguirá uma arquitectura em árvore, cujos nós irão simular, da melhor forma possível, o contexto de cada elemento real. Com esta abordagem, todos os mecanismos e conceitos subjacentes descritos de seguida terão como ponto de origem o nó raiz da árvore e deslocar-se-ão sempre no sentido de chegar aos extremos da mesma.

3.1.2 Fluxos de energia e comunicação

Na rede eléctrica actual, a energia que circula é medida como um valor positivo, dado pela produção e importação de energia. Esse mesmo valor será igual à soma do consumo com as perdas na rede de transporte e exportação, visto não existir armazenamento de energia. Com esta ideia presente e no seguimento da arquitectura proposta, introduz-se o conceito de fluxo de energia.

Um fluxo de energia poderá ter um valor negativo ou positivo, correspondendo o primeiro a um consumo e o segundo a uma produção de energia. A opção de se utilizarem fluxos providencia algumas vantagens, cujo principal impacto é no âmbito da implementação da ferramenta de simulação:

- Uniformização das métricas
 - Simplifica a aplicação dos planos de poupança, visto apenas ser necessário consultar um valor;

- Histórico dos nós terá, pelo menos, metade dos valores e será mais facilmente exportável para um ficheiro de dados externo (o data.csv);
- Menos valores a serem trocados entre nós;

Cada nó da árvore irá registar o valor correspondente à soma de todos os factores que contribuem para a produção de energia e irá subtrair todos os factores de consumo de energia em todos os seus nós vizinhos. Findo este cálculo, o valor obtido será correspondente ao fluxo local naquele nó, que será posteriormente enviado para o seu nó pai, para que também este possa realizar o cálculo do seu fluxo local e assim sucessivamente até ao nó raiz da árvore.

Além do fluxo de energia, existirá em paralelo um fluxo de informação propagando-se de forma sequencial por todos os nós, iniciando-se no topo da árvore, percorrerá todos os nós até cada ponto mais extremo na árvore e em sentido inverso. A aplicação dos fluxos de informação e de energia será detalhada mais adiante, quando se analisar o nó inteligente SmartNode.

3.1.3 Mecanismos de decisão: local e global

Foram identificados dois mecanismos referentes à propagação da informação e de energia. Todos estes mecanismos servem de base à construção da arquitectura ferramenta de simulação.

De modo a controlar e monitorizar o comportamento da rede como um todo, torna-se crucial que exista a capacidade de tomar decisões. As decisões seguem dois paradigmas ou mecanismos:

- **Mecanismo de decisão global:** existe uma entidade única na rede, com uma visão alargada da árvore, responsável por recolher e processar informação, e que pode enviar ordens para qualquer elemento da rede;
- **Mecanismo de decisão distribuído:** não há uma entidade central de decisão, pelo que esta responsabilidade é distribuída por vários elementos que em conjunto trocam informação e tomam decisões.

Os dois paradigmas são ambos válidos e possuem vantagens e desvantagens: o primeiro remete para uma simplificação e centralização na tomada de decisão, pelo que a entidade responsável deverá ter a capacidade de receber grandes quantidades de informação, processar todos os dados e enviar ordens para os restantes nós. O segundo paradigma remete para uma distribuição do processamento de dados e da tomada de decisão, o que pode tornar-se mais complexo em certos casos, mas que oferece uma solução escalável e mais facilmente expansível. Nesta dissertação serão usados os dois tipos de mecanismos.

Na figura seguinte apresenta-se uma simplificação da arquitectura e da abrangência dos mecanismos de decisão.

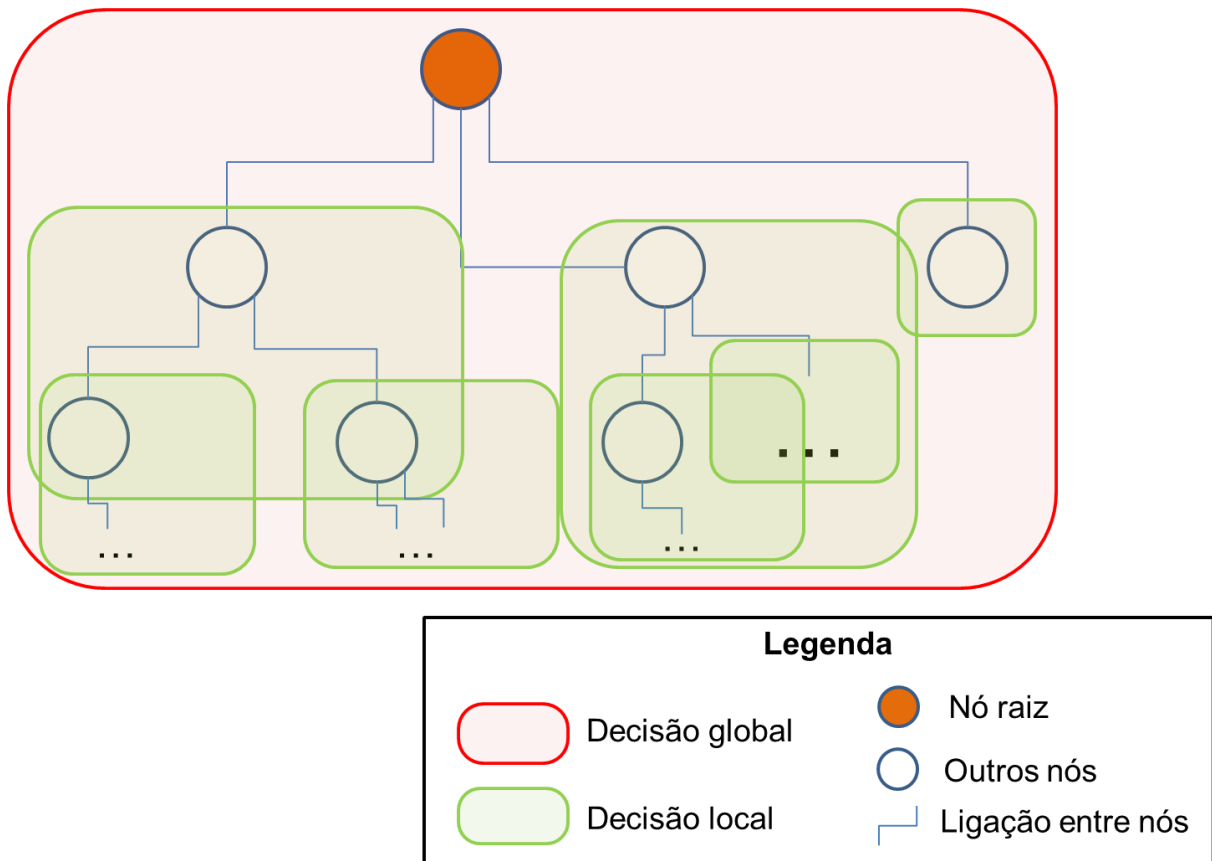


Figura 3 - Mecanismos de decisão numa arquitectura simplificada

Na figura em cima ilustra-se arquitectura e os mecanismos de decisão:

- Existe um e um só mecanismo a **nível global** que abrange toda a rede e todos os nós, localizado no nó raiz da árvore. Este irá receber informação referente a todos os nós da rede, irá processar e tomar decisões com base nessa mesma informação.
- Existe ainda um mecanismo a **nível local** que abrange apenas um nó e seus filhos. O nó irá receber informação dos seus filhos e irá tomar decisões com base nessa informação. A decisão tomada será delegada aos nós filhos para execução e, indirectamente, acabará por ser encaminhada até ao nó no topo da árvore.

A razão para se propor uma arquitectura que utiliza tanto os mecanismos de decisão globais como locais vem da necessidade de aproveitar o melhor de ambos os contextos e de os considerar durante o processamento associado a um sistema.

Pela natureza de uma rede de energia eléctrica, é fundamental que existam pontos de controlo globais a partir dos quais é possível ter uma visão alargada da rede, o controlo e monitorização necessários para qualquer eventualidade. Os pontos de controlo globais referem-se a centros de comando e controlo da rede, onde é possível realizar tarefas relacionadas com o transporte e produção de energia, pelo que se optou em manter um mecanismo de decisão a nível global na rede. No entanto foi igualmente identificado como relevante, no contexto da interligação de Edifícios Inteligentes com

SmartGrids, que caminhamos para um paradigma distribuído, tanto ao nível da produção de energia como do processamento da informação. Com a distribuição da produção de energia e da gestão da mesma, alguns autores propõem que, num futuro a curto prazo, existam redes inteligentes de menor dimensão, com autonomia para se autogerirem. Este último factor é decisivo na justificação para a existência de mecanismos inteligentes, em alguns nós específicos, que serão responsáveis por tomar decisões a nível local. Por último, esta premissa permite introduzir o conceito de inteligência distribuída na rede de energia eléctrica, conceito esse que será abordado adiante aquando a descrição do nó inteligente SmartNode.

Mais adiante, ambos os mecanismos serão aprofundados e poder-se-á observar que em boa verdade correspondem a processos muito subtils, incrementais e semelhantes na sua base e nos seus objectivos, mas que são implementados e referenciam perspectivas diferentes na rede.

3.1.4 Escalabilidade e Flexibilidade

Até ao momento propôs-se uma arquitectura em árvore, com nós a simular o comportamento de componentes reais, a existência de trocas de fluxos de energia e dados entre nós e de mecanismos de decisão tanto a nível local como global. Importa agora referir outro ponto igualmente importante nesta abordagem: a escalabilidade.

Esta arquitectura tem como objectivo criar um modelo para simular tanto ambientes simples como complexos, pelo que importa referir os principais pontos de escalabilidade e flexibilidade:

- Uma abordagem hierárquica em árvore não é por si limitadora da escalabilidade. Podem-se adicionar quaisquer nós em qualquer parte da árvore, tomando em consideração algumas regras de colocação abordadas mais adiante. Um nó poderá ter tantos nós filhos e níveis de profundidade quantos os que forem necessários, pelo que esta arquitectura escala tanto horizontalmente como verticalmente;
- A existência e circulação de fluxos entre nós dinamizam todo o processo de troca de informação e de energia. Por este motivo, a adição e remoção de nós é facilitada e pode ser feita em tempo real, pelo que a rede acomodará rapidamente os novos elementos através de ajustes energéticos tanto a nível local como global.

Durante a concepção dos mecanismos e da arquitectura aqui proposta, a escalabilidade e flexibilidade são duas áreas transversais sempre presentes em cada fase do processo, procurando maximizar a adaptação desta arquitectura ao maior número de casos e aplicações reais.

3.2 Principais conceitos

Em seguida são apresentados alguns dos conceitos chave da arquitectura proposta. Para simular o correcto comportamento de todos os elementos pretendidos (produção, transporte e distribuição de energia e ainda o consumidor final) foram criados vários tipos de nós, onde cada um abrange um conjunto de características de um ou mais contextos. Foram ainda adicionados outros elementos que

ajudam a complementar a sua funcionalidade. A figura seguinte ilustra um sistema em que se encontram representados os quatro tipos de nós propostos.

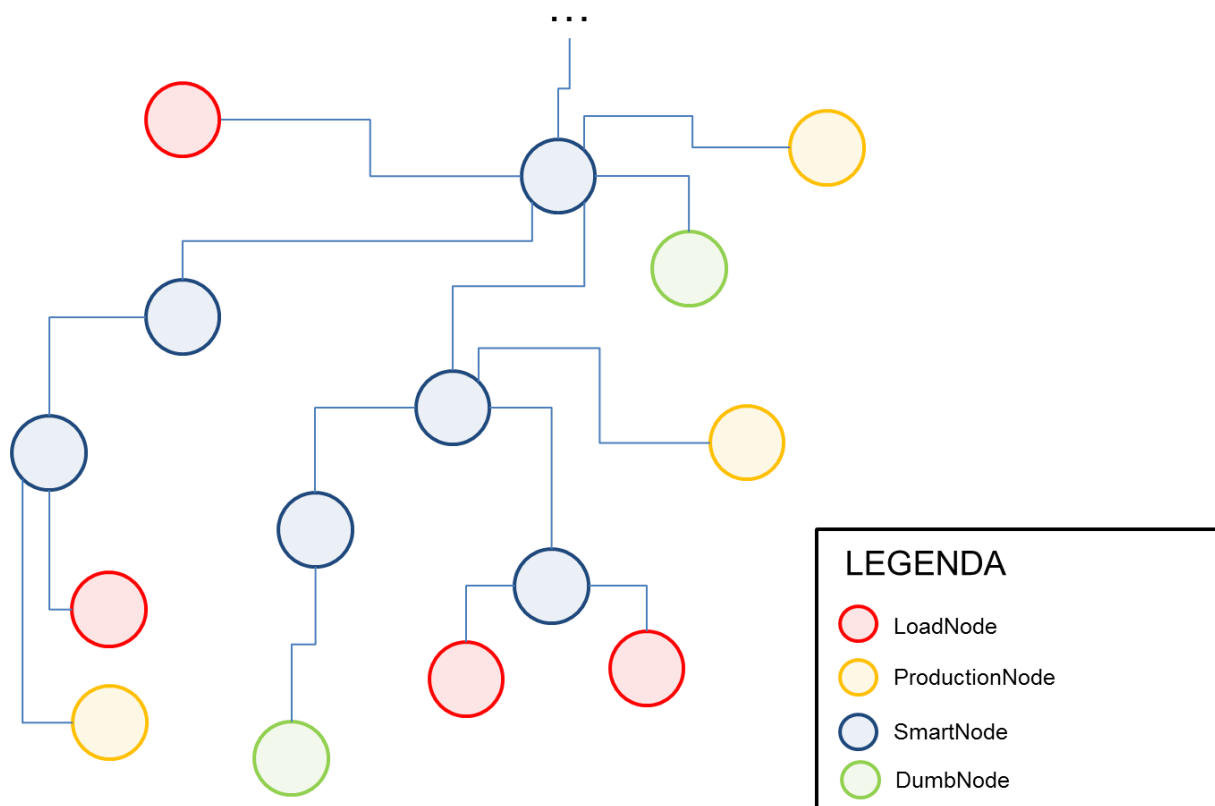


Figura 4 - Exemplo de um sistema que inclui todos os tipos de nós

3.2.1 Nó de produção – ProductionNode

O nó de produção procura representar, de forma muito abrangente, os vários elementos de produção de energia eléctrica, tanto de fontes renováveis como os de fontes não renováveis e com diferentes capacidades. Na rede real estes nós corresponderão, por exemplo, a grupos geradores a gás ou a carvão, barragens, painéis fotovoltaicos ou geradores eólicos tanto domésticos como de grande potência.

Para simular o comportamento pretendido durante a produção de energia, foram criados dois tipos de perfis de produção:

- **Perfil de produção Fixo:** é definido um conjunto de valores de produção que aquele nó irá seguir ao longo do dia. A rede inteligente não tem qualquer controlo sobre este nó, pretendendo-se assim simular o comportamento de fontes não controláveis (renováveis) de energia.
- **Perfil de produção Variável:** para este tipo de nó define-se um valor máximo de produção e uma dada elasticidade. Este nó aceita pedidos da rede para aumentar ou reduzir a produção, embora a variação máxima em cada momento seja limitada pela elasticidade deste mesmo. A

elasticidade corresponde à variação máxima de produção permitida em cada instante de tempo, tanto para situações de aumento como de redução, pretendendo-se desta forma simular a inércia existente em grandes grupos geradores.

Os nós com um perfil de produção variável terão a sua produção controlada pelos nós inteligentes, SmartNodes. Os nós com perfil de produção fixa não terão a capacidade de receber pedidos dos nós inteligentes. De forma a ser possível observar o comportamento da rede em reacção a falhas na rede de energia eléctrica, estes nós deverão ter a possibilidade de simular falhas ao longo da simulação. Estas falhas pretendem ser representativas de necessidades de produção imprevistas na rede e abranger, simplificada, as falhas na actual rede de energia eléctrica.

Os nós de produção não possuem quaisquer nós filhos e encontram-se sempre associados a um SmartNode. No âmbito desta dissertação e por simplificação, será limitada a existência de apenas um nó de produção por cada nó inteligente.

3.2.2 Nó de carga - LoadNode

Ao longo do dia o ser humano interage com diversos equipamentos, dos quais a maioria é alimentada por energia eléctrica e onde uma boa parte se encontra ligada à rede de distribuição. Entre estes objectos encontram-se lâmpadas, torradeiras, microondas, fogões, televisões ou computadores, ou até a iluminação pública ou uma fábrica. A utilização de cada uma destas cargas segue alguns padrões comportamentais, pelo que se poderá dizer que existe um perfil de utilização associado a cada carga.

Em seguida descrevem-se alguns exemplos que ilustram o perfil de utilização de algumas cargas por parte dos consumidores:

- O típico utilizador usa a televisão à noite quando chega a casa do trabalho, possivelmente num período compreendido entre as 19h e as 23h. Também se poderá dizer que durante este período a televisão irá estar a funcionar ininterruptamente.
- O típico utilizador passa a maioria do tempo fora de casa, nomeadamente durante a semana em que é comum encontrar a generalidade das pessoas fora do seu ambiente doméstico entre as 8h e as 18h.
- Se olharmos para a iluminação de uma casa de banho, na habitação o típico utilizador recorrerá a esta sempre que necessitar de iluminar a divisão. Devido ao facto do utilizador estar ausente durante todo o dia, esta carga terá uma utilização mais frequente durante a manhã antes das 8h e ao final da tarde a partir das 18h. Ao contrário de uma televisão, cujo período de utilização corresponde a várias horas seguidas, a interacção com a iluminação costuma ser da ordem dos 5-10 minutos e com uma utilização bastante mais frequente.
- No seguimento do primeiro exemplo (TV) podem-se considerar semelhantes as interacções tidas com fogões, aquecimento eléctrico, computadores, entre outros. Estas cargas são caracterizadas por períodos de utilização e períodos entre utilização longos.

- No seguimento do segundo exemplo (iluminação) podem-se considerar semelhantes as interações com torradeiras, máquinas de café, secadores de cabelo, entre outros. Estas cargas são caracterizadas por períodos de utilização e períodos entre utilização curtos.
- Se em vez da iluminação doméstica pensarmos antes na iluminação em escritórios, esta tem tendência a estar ligada todo o dia ininterruptamente, precisamente durante os períodos em que o consumidor não se encontra em casa.

Através dos perfis mencionados em cima, abrem-se portas a todo um domínio de identificação e caracterização das cargas em nosso redor e à respectiva interação humana com as primeiras. As cargas são diferenciadas, antes de mais, pelo seu consumo máximo e em segundo lugar pelos períodos de utilização e reutilização destas mesmas. Além destes, cada carga pode ser identificada por duas métricas adicionais, configuradas em períodos ao longo do dia e da semana: a prioridade e a possibilidade da carga ser desligada.

A **prioridade** numa carga refere-se à importância desta para o utilizador e, consequentemente, à ordem pela qual será desligada em caso de necessidade, caso seja activado um plano de poupança de curto prazo (ver Políticas de Poupança mais adiante). O nó inteligente irá recolher as várias prioridades das cargas que tem à sua responsabilidade e começará por desligar as que são menos importantes.

Ainda no seguimento de uma necessidade de poupança, o nó inteligente apenas **poderá desligar as cargas** que tenham sido configuradas para esse efeito, ou seja, após consultar se aquele nó permite ser desligado naquele instante. Mesmo que tenha a prioridade mais baixa, uma carga só poderá ser desligada se assim o for permitido nos períodos que foram configurados.

Ambas as métricas anteriores são definidas através de períodos temporais, ou seja, serão configurados períodos do dia durante os quais um dado valor ou métrica é válido. Por exemplo, uma torradeira poderá ser configurada para ter uma prioridade mais alta entre as 7h e as 9h da manhã, e nos restantes intervalos de tempo poderá estar configurada com uma prioridade mais baixa. Ao fim de semana, a mesma torradeira poderá ter uma importância mais alta num período entre as 8h e as 12h, e entre as 16h e as 18h.

Este tipo de configuração oferece muita flexibilidade na definição das prioridades e possibilidade de diferentes configurações do desligar de uma carga ao longo da duração de um dia e ao longo de uma semana, em vez de estabelecer um valor como fixo e igual independentemente do contexto temporal.

De forma análoga aos nós de produção, os LoadNodes não possuem quaisquer nós filhos e encontram-se sempre associados a um nó inteligente. Cada nó inteligente poderá no entanto ter vários nós filhos do tipo LoadNode. Um nó inteligente não interage com uma carga para a ligar, apenas para a bloquear, pelo que existe um elemento que é responsável por interagir com as cargas e que será abordado mais adiante.

3.2.3 Períodos temporais

Como foi referido no LoadNode, durante a definição dos atributos e funcionalidades de cada nó, encontrou-se um problema: Estes atributos apenas eram válidos durante um período de tempo, após o qual deixariam de fazer sentido e teriam de ser considerados outros valores. Este problema encontra-se enquadrado com o cariz temporal da simulação que se pretende realizar e da utilização de cada elemento na vida real, pelo que se deverá igualmente enquadrar os nós com uma configuração temporal.

Por exemplo, seria incorrecto dizer que um típico utilizador usa a televisão a qualquer altura do dia e por períodos inferiores a 30 minutos, quando na realidade utiliza maioritariamente depois das 18h, durante a semana, e por períodos de várias horas. Continuando este raciocínio, seria incorrecto afirmar que as luzes em casa possuem uma prioridade constante ao longo do dia, quando na realidade são mais importantes quando escurece, ou seja, durante a madrugada e à noite, e em alturas em que o utilizador se encontra em casa. Se considerarmos um escritório, este raciocínio é diferente.

Em virtude destes e de muitos outros exemplos, encontrou-se então a necessidade de definir períodos temporais durante os quais fosse válido considerar o valor ou noção respectiva. Foram criados períodos no âmbito de:

- Definir a **prioridade** de uma carga, podendo ser ao longo do dia e da semana [ver LoadNode e Planos de poupança a curto prazo];
- Definir a **possibilidade de se desligar** ou não uma carga, podendo ser ao longo do dia e da semana, [ver LoadNode e Planos de poupança a curto prazo];
- Definir períodos de **não-aceitação de planos de longo prazo** (descritos mais adiante), podendo referir-se ao longo do dia e da semana [ver Planos de poupança a longo prazo];
- Definir períodos para **utilização de uma carga**, a podendo ser o longo do dia e da semana [ver LoadNode e LoadProfile];
- Definir períodos de tempo para o **consumo máximo de uma sub-rede não inteligente**, ao longo do dia e da semana [ver DumbNode].

Cada período temporal é configurado e associado a um nó, não se tendo encontrado uma necessidade para a existência de períodos gerais que se apliquem a um conjunto de nós.

3.2.4 Perfil de utilização das cargas - LoadProfile

Além dos períodos temporais associados a cada carga, foram identificados comportamentos diferentes de utilização das cargas, pelo que também se encontrou a necessidade de criar e associar perfis de utilização. Este elemento foi bastante simplificado, pelo que no âmbito desta dissertação será constituído pelo tempo total de utilização e pelo intervalo entre utilizações consecutivas. De forma a promover algum comportamento menos previsível, estes intervalos não são fixos, existindo uma segunda métrica de variação associado a estes.

Por exemplo, considere-se um perfil de uma Luz que foi configurada com um tempo de utilização de 5 minutos +/- 3 minutos e intervalos entre utilização de 60 minutos +/- 30 minutos. Quer isto dizer que a luz com este perfil de consumo irá ser utilizada entre 2 e 8 minutos e que será reutilizada entre 30 a 90 minutos.

Cada carga terá de estar associada a um e um só perfil. Cada perfil poderá ser usado por mais de uma carga, ou seja, por exemplo, todas as luzes de uma casa poderão estar associadas ao mesmo perfil de utilização. Um perfil de utilização define apenas a forma como uma dada carga será utilizada e não quando deverá ser utilizada. Os perfis das cargas são fundamentais para se poder definir com algum rigor o tipo de utilização expectável por parte dos consumidores finais.

3.2.5 Nó inteligente - SmartNode

Até agora os vários elementos que foram mapeados em nós representam apenas a componente não inteligente. A arquitectura proposta não estaria completa sem o mapeamento dos elementos inteligentes de uma rede ou edifício inteligente, pelo que foi criado o nó SmartNode.

Este elemento é de longe o mais complexo, mais central e mais abrangente de todos os que foram apresentados, pelo que importa contextualizar algumas das decisões, raciocínios e opções tomadas na sua construção. De início este nó pretendia apenas representar alguns dos elementos inteligentes em edifícios inteligentes, pelo que a SmartGrid seria uma outra componente na arquitectura. No entanto, o âmbito deste nó foi analisado, reestruturado e fortemente alargado, juntamente com a própria arquitectura e âmbito da dissertação, de forma a integrar também características da rede de energia eléctrica. De seguida ficam alguns dos objectivos que estiveram na origem da necessidade e da construção deste nó.

Objectivos

Tal como foi referido, este nó pretende representar um conjunto típico de componentes e de funcionalidades esperadas num Edifício Inteligente:

- Recolher dados do meio ambiente;
- Trocar informação com outros elementos inteligentes;
- Processar dados e informação;
- Tomar decisões com base nos dados e na configuração;
- Interagir com o utilizador;
- Interagir com a rede de distribuição de energia eléctrica;
- Integrar e gerir microprodução;
- Dar suporte à organização hierárquica do sistema;
- Incluir capacidade de processamento e de decisão, tanto local como global.

Adicionalmente o papel deste nó foi expandido de forma a contemplar também características da rede de produção, de transporte e de distribuição de energia eléctrica:

- Integrar elementos de produção de energia eléctrica;
- Integrar elementos de transporte de energia;
- Integrar elementos de distribuição de energia;
- Integrar sub-redes não inteligentes;
- Capacidade para processamento de informação;
- Capacidade para serem tomadas decisões a nível local e global;
- Capacidade para uma comunicação bidireccional;
- Dar suporte à organização hierárquica;
- Expandir a interacção com o consumidor final;

Analisando ambos os contextos verifica-se que existem vários pontos em comum, pelo que se optou pela construção de um só nó para cobrir as necessidades de ambos. De notar que embora existam semelhanças em alguns pontos, são várias as diferenças entre os dois contextos, pelo que se tomou a opção de abstrair e de tentar generalizar a aplicabilidade do nó inteligente, no sentido de integrar ambos os cenários. Desta forma, além dos pontos mencionados em cima foram ainda propostos os que se seguem:

- Deverá ter a capacidade para representar os dois contextos e de abstrair o elemento real que está a representar;
- Ainda pela sua arquitectura em árvore e pela abrangência de contextos, este nó deverá ter um comportamento recursivo e automatizado;
- O seu funcionamento deverá ser representativo do funcionamento tanto de um elemento de um Edifício Inteligente como da SmartGrid;
- No sentido de integrar todos os elementos acima mencionados, o SmartNode deverá ser construído como elemento central que interligue todos os restantes tipos de nós;
- Os principais fluxos de energia e de informação passarão pelo SmartNode;
- O SmartNode será responsável por recolher dados e tomar decisões com base na informação de que dispõe, pelo que deverá ser capaz de controlar e monitorizar os restantes tipos de nós, quando estes o permitirem;
- Todos os mecanismos de poupança deverão ser implementados e geridos pelo SmartNode;
- Estes nós são os únicos que terão nós filhos, reforçando assim o seu papel central na arquitectura.

Fluxos e Decisões

Os SmartNodes serão os elementos centrais na arquitectura proposta que implementarão, entre outros, os conceitos referentes à abordagem hierárquica, aos fluxos e mecanismos de decisão mencionados na secção 3.1. A imagem que se segue apresenta a organização estrutural, as relações entre nós inteligentes e nós não inteligentes, fluxos e mecanismos de decisão. A vermelho podemos observar as vias principais de comunicação entre o nó raiz da árvore (no topo) e os restantes nós. Estas vias representam os principais canais de circulação de energia e de comunicações, correspondendo aos

Fluxos mencionados anteriormente. Cada rectângulo azul representa o mecanismo de decisão, a visão e processamento locais feitos por cada SmartNode.

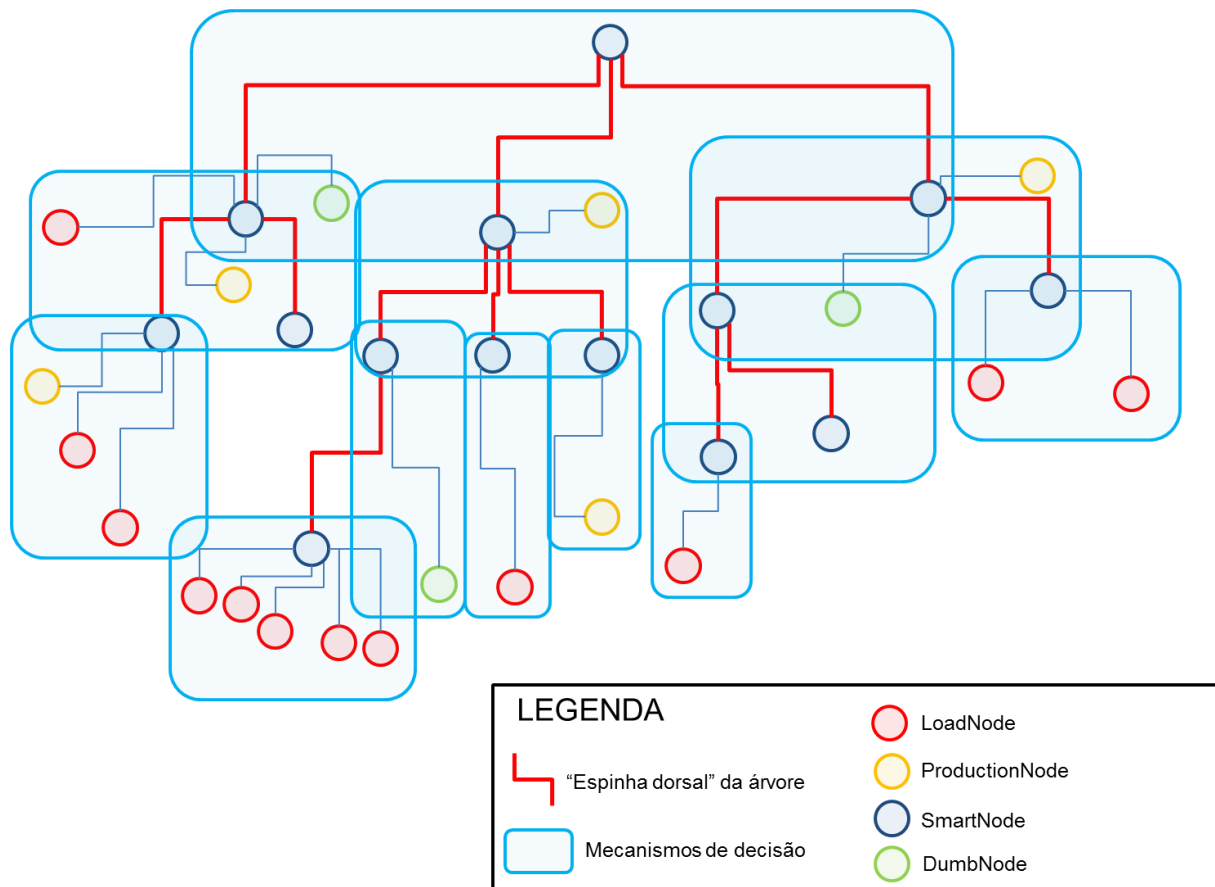


Figura 5 - Fluxos e mecanismos de decisão

Analisando a estrutura hierárquica, cada SmartNode possui como vizinhos os seus nós filhos que podem ser SmartNodes, LoadNodes, ProductionNodes e DumbNodes. Cada SmartNode possui como pai outro SmartNode, excepto se ele for a raiz do sistema. Cada nível da árvore é constituído assim por um SmartNode e os seus nós filhos. Em cada nível, cada nó inteligente apenas se vê a si próprio, aos seus nós filhos vizinhos e ao seu nó pai.

Voltando agora aos fluxos, a “espinha dorsal” da árvore é o local por onde circulam os principais fluxos de energia e de informação, sendo constituída unicamente por nós inteligentes. Nos extremos da árvore tipicamente encontram-se os elementos de consumo e de produção. Os nós inteligentes são responsáveis pelo controlo e monitorização da energia que circula, processamento e comunicação bidireccional de informação entre todos os nós na árvore.

Por exemplo, um nó inteligente pode representar uma caixa de distribuição de electricidade e os nós inteligentes subsequentes a este poderão corresponder a habitações. Dentro de cada uma destas habitações, os nós inteligentes subsequentes poderão se referir a pisos ou divisões dentro da habitação.

Inteligência distribuída

Relativamente aos mecanismos de decisão propostos, em cada nível da árvore cada SmartNode possui inteligência e capacidade suficientes para recolher e processar informação. Ou seja, cada SmartNode será responsável por controlar e monitorizar os seus nós filhos, controlo esse que é feito tendo em conta sempre as ordens do SmartNode pai. De notar que cada SmartNode delegará ordens exclusivamente aos seus nós filhos e nunca a nós noutros níveis da árvore ou remotamente afastados, ou seja, cada nó inteligente vê e interage apenas com os nós que são seus vizinhos directos.

A inteligência em cada SmartNode traduz-se no processamento de informação e delegação de ordens sempre ao nível local, influenciando directamente os seus nós vizinhos e indirectamente todos os nós em níveis subsequentes ao seu. Este facto traduz-se na existência de uma rede com uma inteligência distribuída, onde cada decisão é tomada de forma independente a nível local e considerando sempre o cenário a nível global, através das ordens do seu nó pai e da informação dos seus nós filhos. Cada nó inteligente contribui assim parcelarmente para a inteligência global da rede. Como aliás foi apontado por alguns autores, cada sub-rede inteligente nesta arquitectura é autónoma e pode ser interligada numa rede global inteligente. Uma decisão tomada a nível local irá influenciar indirectamente todo o comportamento da árvore em todos os níveis subjacentes a esse mesmo nó. Quer isto dizer que o mecanismo de decisão local é na realidade um mecanismo de decisão global indirecto, na medida em que cada nó inteligente controla e dá ordens aos nós consecutivos depois de si.

Os nós irão tomar as suas decisões com base no “melhor esforço possível” que conseguem realizar a nível local, pelo que a nível global a rede irá adaptar-se de forma muito dinâmica e transparente a quaisquer alterações nos fluxos. Este comportamento baseia-se sempre num modelo de melhor esforço (“Best effort”), semelhante ao que é utilizado na internet. Também aqui não se garante que o pedido será respondido, mas que será feito o melhor esforço possível para o satisfazer, pelo que cada sub-rede e componente estarão sempre a reflectir a sua própria realidade e sua capacidade de adaptação.

O somatório de todas as decisões, fluxos e sub-redes mapeiam-se então no conceito global de SmartGrid, uma entidade inteligente, global e distribuída. Os mesmos conceitos e ideias são mapeados directamente para o contexto dos Edifícios inteligentes, pelo que dentro de uma casa, o somatório de todas as decisões das várias componentes inteligentes, fluxos de informação e interacção com o consumidor mapeiam-se no conceito global de um Edifício Inteligente.

Políticas de Poupança

A existência do SmartNode não se justifica apenas pela necessidade de implementar inteligência ao nível dos edifícios e da rede de energia eléctrica. Todo o processo de construção e implementação deste nó assenta na necessidade de melhorar o controlo e monitorização do consumo pelo utilizador, que será realizado através da implementação de políticas de poupança.

As políticas de poupança traduzem-se em dois planos com amplitudes temporais diferentes, planos esses permitidos pela interligação entre SmartGrid e Edifício Inteligente. Estes planos farão uso do

histórico de utilização de cada nó, ou seja, do consumo registado por todos os nós filhos, e serão abordados em maior detalhe mais à frente.

3.2.6 Histórico dos nós

De forma a um nó inteligente poder consultar o comportamento de cada nó e estudar a possibilidade de propor um plano de poupança, surgiu a necessidade de registar o comportamento dos nós, ou seja, o seu consumo.

Assim sendo, cada nó irá registar o seu consumo em cada instante da simulação. Este registo poderá mais tarde ser consultado pelos nós inteligentes, de forma a aferir o consumo de um dado nó, durante um intervalo de tempo. Todos os nós, sem excepção, registarão o seu consumo num histórico.

No âmbito desta dissertação, o histórico é utilizado apenas pelos nós inteligentes e durante a aferição de métricas para despoletar planos de poupança. Este histórico foi criado apenas para recolher métricas relacionadas com a produção e consumo, algo que futuramente poderá ser expandido para recolher diferentes dados, nomeadamente dados relevantes para os planos de poupança.

No âmbito desta dissertação, o histórico é utilizado única e exclusivamente pelos nós inteligentes e durante a aferição de métricas para despoletar planos de poupança. Este histórico recolhe apenas métricas de consumo e tem um propósito bastante simples em termos de avaliação comportamental, pelo que aqui fica margem para uma expansão na recolha de diferentes dados e processamento dos mesmos.

3.2.7 DumbNode

Alguns autores defendem que a criação de uma rede inteligente de energia não será de um dia para o outro e que o mesmo passará por um processo incremental de interligação de pequenas redes inteligentes. Os mesmos autores defendem também que, durante este processo, deverá existir compatibilidade com redes não inteligentes, ou seja, com redes que não possuam ainda os mecanismos requeridos para poderem ser integradas na SmartGrid.

Por este motivo foi criado um nó simples cujo propósito é o de simular uma sub-rede não inteligente, com um tecto máximo para o consumo, um comportamento mais ou menos aleatório e não controlável. É bastante semelhante a um nó de produção com perfil de produção fixo [ver ProductionNodes], embora neste caso seja um “perfil de consumo fixo”. Um nó inteligente não consegue interagir com este nó, pelo que não existirão planos de poupança para este. A grande diferença e vantagem deste nó face a um LoadNode é a possibilidade de configurar períodos de consumo, ao invés de um LoadNode que tem um consumo sempre fixo.

Este nó deverá estar associado a um SmartNode e cada SmartNode apenas poderá ter um DumbNode. Um DumbNode não tem nós filhos associados.

3.3 Políticas de poupança

Após terem sido introduzidos os vários conceitos na origem da arquitectura proposta, poder-se-á agora introduzir a noção de política de poupança. Para além da integração entre a SmartGrid e os Edifícios Inteligentes, um dos objectivos nesta proposta prende-se com o controlo ou influência que se deseja encontrar entre a rede de distribuição de energia e o consumidor final. Como aliás foi abordado durante o capítulo 2, existe uma discrepância significativa entre valores de consumo máximos e mínimos de utilização da rede de energia eléctrica. Entre outros, este factor traduz-se num subaproveitamento da rede e na necessidade de promover políticas de redução de consumo em proximidade com o consumidor final. Os planos de poupança que se apresentam de seguida procuram ir de encontro a esta necessidade de tentar minorar a diferença entre os mínimos e máximos diários, através de uma intervenção directa ou indirecta no consumo de energia e uma maior aproximação ao consumidor. Através da minoração do consumo, as entidades responsáveis pela gestão e manutenção da rede de energia eléctrica poderão maximizar a utilização da actual infra-estrutura e rentabilizar os novos investimentos requeridos. De seguida apresenta-se uma figura que ilustra a interligação entre o contexto de redes inteligentes, edifícios inteligentes e o consumidor final, e ainda o seu respectivo enquadramento com a arquitectura proposta.

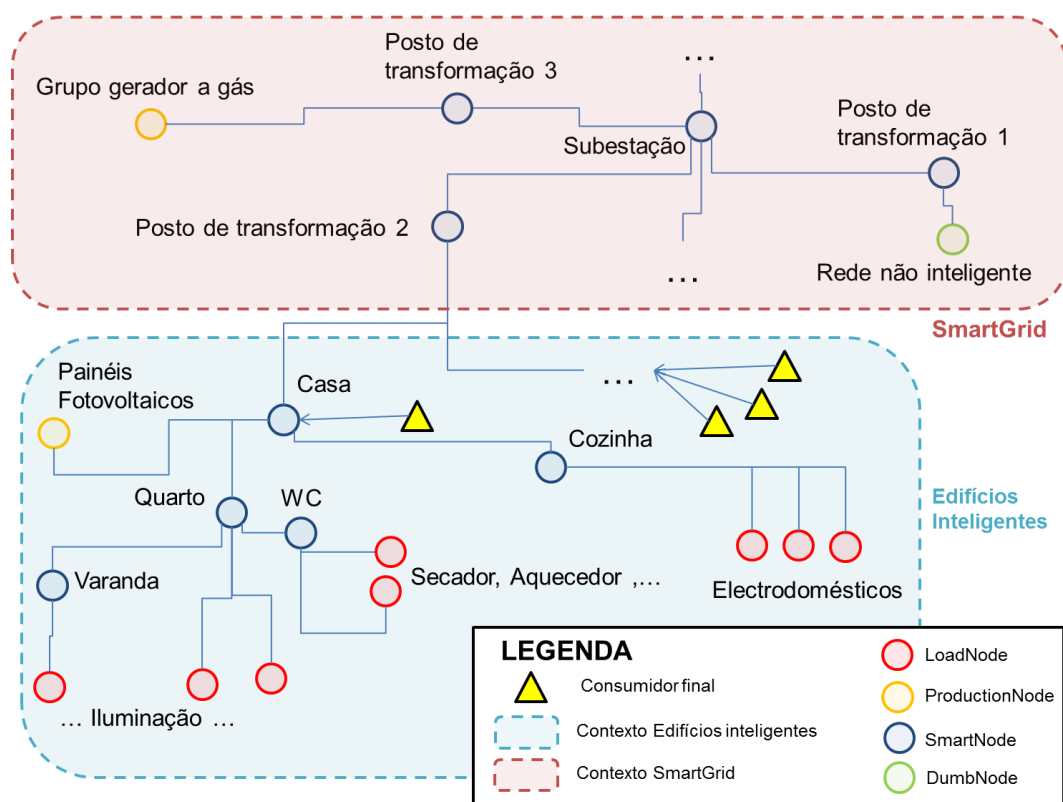


Figura 6 - Integração da SmartGrid com Edifícios Inteligentes

Apresenta-se então um último conceito, referente à proximidade, controlo e sensibilização do consumidor final, materializado em planos de poupança. Um plano de poupança é despoletado por um nó inteligente e aplica-se tanto a elementos de produção como a elementos de consumo. Nunca são aplicados, em simultâneo, dois planos de poupança num mesmo nó. Foram identificados dois cenários

com requisitos diferentes, pelo que se criaram na realidade dois tipos de planos de poupança. Embora cada plano se refira a um âmbito e aplicabilidade distintos, ambos são despoletados e utilizados de forma complementar e nunca concorrente. Com a aplicação destes planos pretende-se observar uma redução na diferença entre máximos e mínimos no consumo total, registados ao longo de um dia.

Os DumbNodes não têm planos de poupança visto se tratarem de elementos não inteligentes e com os quais não é possível estabelecer qualquer tipo de comunicação ou controlo. Os SmartNodes também não serão alvo de quaisquer planos de poupança, pois pretende-se que estes representem a rede e as suas necessidades com a maior granularidade possível.

Nas secções seguintes serão aprofundados os princípios e ideias por detrás da construção dos planos de poupança, com uma análise crítica a cada plano do ponto de vista da SmartGrid, do Edifício Inteligente e do Consumidor final. Em seguida apresenta-se uma tabela que visa resumir os planos de poupança, quanto à sua aplicabilidade, características e diferentes perspectivas em cada contexto.

Tabela 1 - Resumo dos planos de poupança

Característica	Plano de Curto prazo	Plano de Longo Prazo
Duração típica	Entre 10 a 30 minutos	Superior a 120 minutos
Intervenção nas cargas	Activo Bloqueador	Passivo Não bloqueador
Incidência	LoadNodes e ProductionNodes	LoadNodes
Perspectiva SmartGrid	Maior estabilidade na produção Controlo directo sobre cargas	Influência sobre consumo final Maior proximidade com consumidor final
Perspectiva Edifício Inteligente	Coordenação com SmartGrid Implementa bloqueios	Coordenação com SmartGrid Responsável por informar consumidor
Perspectiva consumidor final	Benefícios na facturação eléctrica Ausência de controlo nas cargas	Benefícios na facturação eléctrica Mais informação da rede de distribuição

3.3.1 Planos de poupança a curto prazo

Em seguida ilustra-se o domínio de aplicação dos planos a curto prazo:

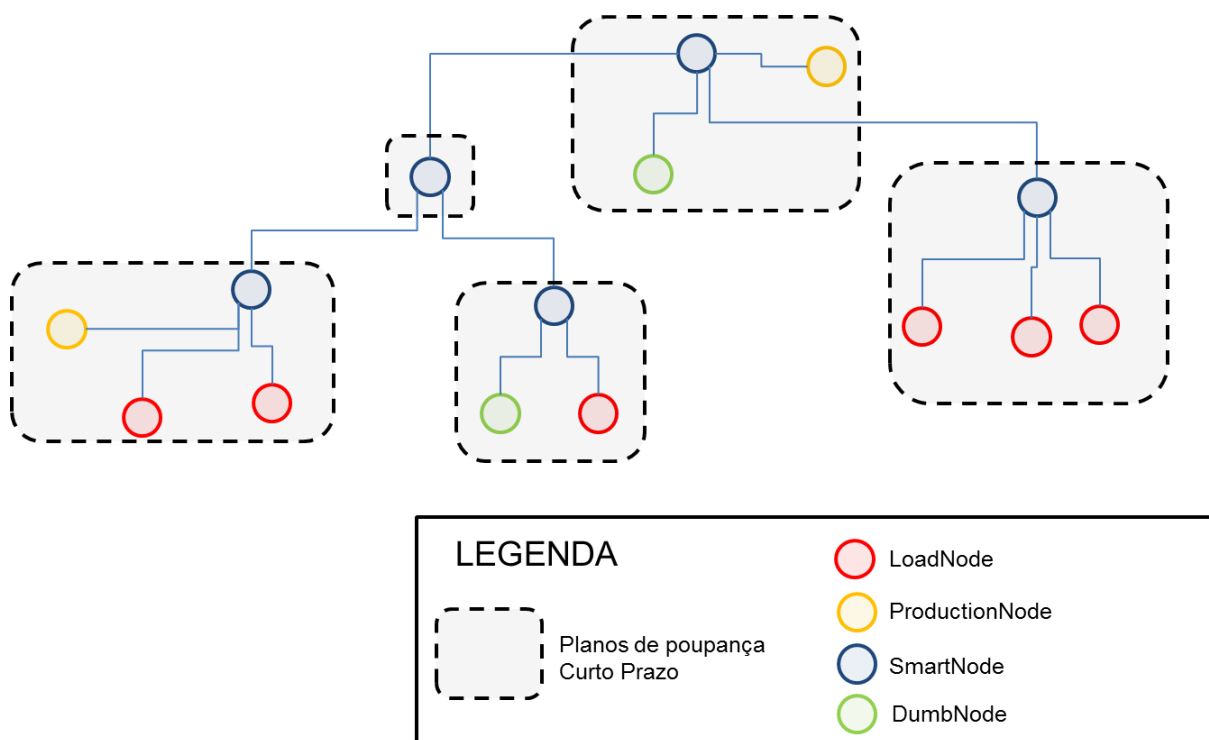


Figura 7 - Planos de poupança a curto prazo

Os planos a curto prazo são bastante simples e têm um cariz de reforço na gestão e controlo da rede, contrastando com a complexidade e duração dos planos a longo prazo. Estes planos enquadram-se com a ideia, proposta por alguns autores, de que poderia ser possível à própria rede de distribuição de energia controlar alguns elementos de consumo directamente. Quer isto dizer que um consumidor final poderia perfeitamente dispor de um conjunto de equipamentos inteligentes na sua casa, integrados com a rede de distribuição, aos quais seria permitido controlo remoto por parte da rede de distribuição.

Os planos de curto prazo são despoletados por SmartNodes com o intuito de intervirem directamente e providenciarem um controlo total e automatizado sobre as cargas finais. Estes planos inserem-se no contexto em que o utilizador, estando ou não presente, poderá permitir um controlo remoto directo sobre as suas cargas.

Estes planos a curto prazo foram criados com o intuito de tentar mitigar algumas das imprevisibilidades e volatilidades existentes nos fluxos de energia na rede e que merecem alguma atenção e intervenção imediata, nomeadamente um aumento momentâneo no consumo ou na produção. São definidos tanto para os elementos de produção, os ProductionNodes, como para os elementos de consumo, os LoadNodes, com o intuito de dar uma resposta rápida a uma dada variação ou necessidade. Não existem planos para os DumbNodes, visto estes representarem sub-redes não inteligentes e como tal não controláveis pelos nós inteligentes.

No caso dos LoadNodes, estes planos intervêm através do bloqueio de cargas, que estejam configuradas para permitir o bloqueio. Se um SmartNode tiver vários LoadNodes, detectar um aumento do consumo e houver a necessidade de restringir esse consumo, ele irá gradualmente consultar e

bloquear as cargas com menor prioridade e que permitam ser desligadas. Da mesma forma, logo que um SmartNode detecte que não há necessidade de limitar a utilização de cargas, este irá proceder ao processo inverso através do desbloqueamento das mesmas, igualmente de forma gradual.

No caso dos ProductionNodes, estes planos de “poupança” intervêm não ao limitar o consumo mas antes ao definir uma dada produção durante um intervalo de tempo. Ao se estabelecer uma produção fixa, durante um curto intervalo de tempo, contribui-se assim para a estabilidade na rede como um todo, evitando as situações de alternância entre pedidos consecutivos de aumento e redução na produção.

Importa ainda referir que estes tipos de planos a curto prazo são complementares aos planos de longo prazo e que apenas são despoletados se não forem detectados quaisquer planos a longo prazo naqueles nós.

Perspectiva SmartGrid

Do ponto de vista da SmartGrid, estes planos têm o intuito de trazer alguma estabilidade e de fornecer algum controlo sobre as cargas e consumos na rede, ainda que reduzido. Este controlo é diminuto, mas um primeiro passo na direcção de uma realidade em que a própria rede consegue controlar parcialmente o consumo.

Este pequeno passo, mas fundamental, possibilita que a rede possa controlar o consumo em situações de manutenção, situações em que a energia se encontra mais dispendiosa nos mercados, ou outras situações.

Para uma SmartGrid, o factor crítico encontra-se na configuração dos períodos que permitam aceitar este controlo sobre as cargas. Se os consumidores aceitarem que exista um controlo sobre as suas cargas durante períodos em que essas mesmas não são utilizadas ou que não representem períodos críticos para a rede, então estes planos a curto prazo poderão ter um impacto residual em melhorar o funcionamento diário da rede.

Perspectiva Edifício Inteligente

O controlo que é pretendido sobre as cargas não será realizado directamente a partir da rede de distribuição, pelo que deverão ser os equipamentos inteligentes existentes no Edifício a complementar esta tarefa.

Os vários nós inteligentes, existentes num edifício, serão responsáveis pela detecção e activação destes planos, em linha com as directivas da rede de distribuição de energia eléctrica. Desta forma, num ambiente doméstico será necessário que existam equipamentos com capacidade para comunicar com a rede de distribuição e receber ordens para realizar o bloqueio das cargas.

Esta ponte com a rede de distribuição é fundamental e é possivelmente o factor crítico, tanto nestes como nos planos a longo prazo, visto poderem ser alvo de invasão de privacidade.

Perspectiva Consumidor Final

Para o consumidor final, a aplicação de um plano de curto prazo traduz-se na ausência de controlo directo sobre as cargas, durante alguns períodos do dia. O factor fundamental com estes planos encontra-se na definição cuidada dos períodos de aceitação de controlo por parte da rede de distribuição. No evento desta configuração não reflectir a realidade do utilizador, existirão momentos do dia no qual este pretende utilizar um dado conjunto de cargas e às quais não tem acesso.

Naturalmente que este tipo de controlo deve ser contratualizado e autorizado pelo utilizador, autorização essa que é concedida através da definição de períodos em que é permitido à SmartGrid bloquear as cargas. Também de referir que se um utilizador permitir o controlo remoto e total de algumas cargas, em alguns períodos do dia, este deverá ser beneficiado em sede de facturação do consumo eléctrico ao final do mês. No entanto, no âmbito desta dissertação não se aprofundaram as repercussões financeiras desta proposta, pelo que não existem dados no sentido de a validar.

3.3.2 Planos de poupança a longo prazo

Em seguida ilustra-se o domínio de aplicação dos planos de longo prazo.

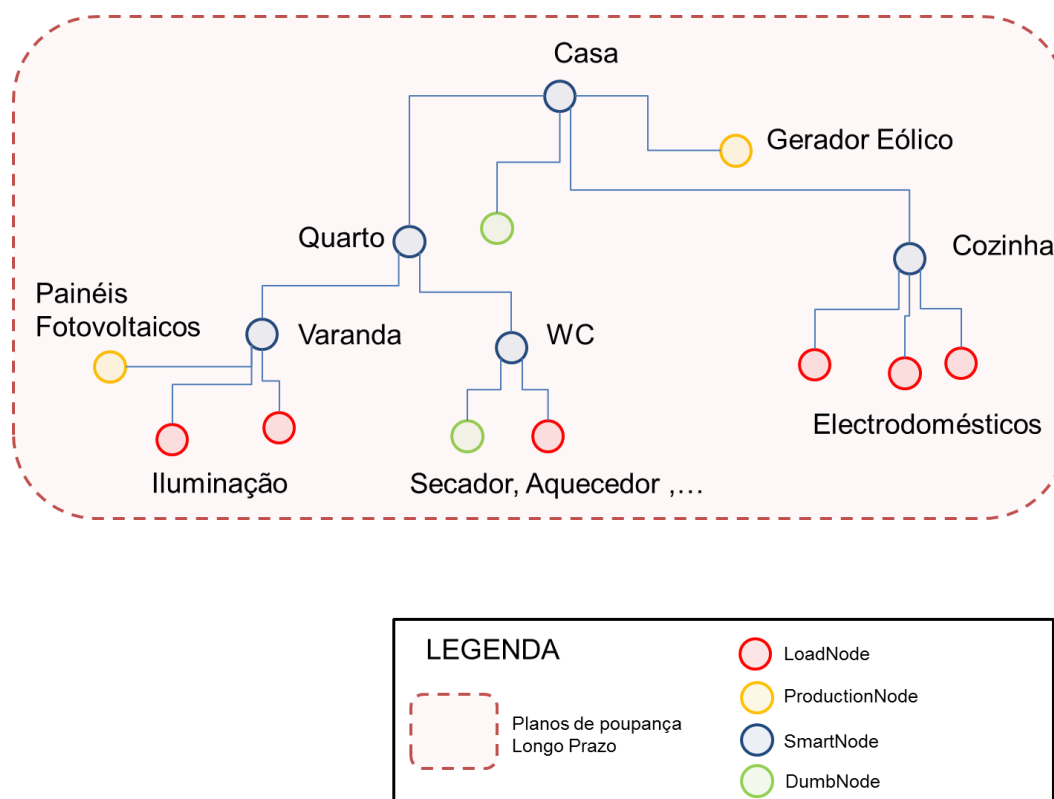


Figura 8 - Planos de poupança a longo prazo

Tal como os planos a curto prazo, os planos a longo prazo também são despoletados por SmartNodes e incidem apenas em LoadNodes. Os elementos de produção, os ProductionNodes, não possuem quaisquer planos de “poupança” a longo prazo. Sempre que há a necessidade de iniciar um plano

destes, quaisquer planos a curto prazo em LoadNodes e ProductionNodes filhos serão desactivados, ficando apenas o plano a longo prazo em vigor. Como pode ser observado na figura anterior, são planos que abrangem vários níveis hierárquicos em simultâneo, ou seja, abrangem vários nós vizinhos e respectivos nós filhos desses vizinhos. Um plano a longo prazo foi desenhado para incidir, geralmente, sobre um conjunto de nós que se encontrem a representar um ambiente doméstico ou um escritório por exemplo. Um plano a longo prazo não foi concebido para incidir apenas em parte de um edifício inteligente. De notar que um plano a curto prazo incide apenas nos nós filhos, ao passo que um plano a longo prazo irá incidir em todos os nós inteligentes filhos e consequentes a partir do nó de origem do plano, como se encontra representado na figura anterior.

Ao contrário dos planos a curto prazo, o objectivo deste plano não é o de controlar directamente as cargas finais, mas antes influenciar o comportamento do consumidor final. Levanta-se então a questão: como implementar este tipo de influência? A resposta encontrada nesta dissertação vai no sentido de serem estabelecidas metas de consumo. Repare-se que em planos de curto prazo, as cargas são efectivamente bloqueadas e o consumidor não tem a possibilidade de interagir com estas, ao passo que nestes planos de longo prazo não existe qualquer bloqueio das cargas.

Periodicamente, os nós inteligentes detectam se existe a necessidade de controlar ou reduzir o consumo. Em relação aos planos a longo prazo, um nó inteligente consulta o histórico de consumo e prevê qual será o consumo esperado nas próximas horas e compara-o com a necessidade de consumo necessária. Com base nesta informação, toma uma decisão sobre se pode aplicar um plano de poupança a longo prazo e assim estabelecer um limite ao consumo nas próximas horas. Os planos de poupança são aprofundados em maior detalhe no capítulo 4.3 sobre as políticas de poupança.

Todo este processo deverá ser automático e sem necessidade de ajuste manual por parte do utilizador, ou por outras palavras, o utilizador será apenas informado caso se encontre algum plano em vigor. O consumidor poderá configurar intervalos do dia em que não deseja ter estes planos activos, pelo que estes intervalos corresponderão aos períodos de não-aceitação de planos a longo prazo.

Perspectiva SmartGrid

Na perspectiva da SmartGrid será necessária a existência de uma monitorização no consumo dos utilizadores de forma a comprovar se o utilizador efectivamente cumpriu ou não a meta acordada. No âmbito desta dissertação propõe-se que seja realizada a monitorização dos consumos durante intervalos de N minutos. Em cada intervalo será medido o consumo médio, pelo que se o utilizador tiver ultrapassado o limite em algum desses intervalos deverá ser penalizado.

A rede de distribuição não tem controlo directo sobre as cargas, como acontece nos planos a curto prazo, todavia estes planos irão permitir à SmartGrid influenciar fortemente o comportamento do utilizador final. Esta influência será tanto maior ou menor consoante as alturas do dia em que surgem estes planos de poupança e consoante o benefício financeiro expectável para ambas as partes.

Perspectiva Edifício Inteligente

Para um edifício inteligente, o plano parte do nó que realiza a ponte com a rede de distribuição. Esse mesmo nó será responsável por detectar se existirá um consumo esperado num futuro próximo muito acima da actual capacidade, calculando algumas estimativas que por último levam ao estabelecimento de uma meta de consumo. Todos os nós inteligentes no edifício inteligente irão receber a informação de que aquele ambiente se encontra de momento sob plano de poupança e passarão a mesma informação ao utilizador sempre que este tentar ultrapassar o limite estabelecido.

Perspectiva Consumidor Final

Para o consumidor final, todo este processo é na realidade bastante transparente e passivo, sendo que a maioria do processamento acontece entre a rede e o edifício. No âmbito desta dissertação optou-se por implementar um plano de poupança a longo prazo não intrusivo, onde as componentes inteligentes no ambiente doméstico informarão o utilizador se existe algum plano em vigor e das metas de consumo. Não existirá qualquer tipo de tentativa de bloquear a utilização das cargas do consumidor. Caso o consumidor tente ultrapassar as metas estabelecidas, o Edifício Inteligente informá-lo-á disso mesmo.

Naturalmente que estas metas devem ser contratualizadas e autorizadas pelo utilizador, autorização essa que é concedida através da definição de períodos de aceitação e não-aceitação de planos a longo prazo. Também de referir que um utilizador ao permitir a existência destas metas, e se as cumprir, deverá ser beneficiado em sede de facturação eléctrica ao final do mês. De igual forma, para os casos de não cumprimento das metas acordadas, o consumidor deverá ser penalizado. No âmbito desta dissertação não se aprofundaram as repercussões financeiras desta proposta, pelo que não existem dados no sentido de a validar.

4 SmartFlow2

No sentido de implementar e poder validar as propostas anteriores, foi construído um simulador cuja arquitectura base se encontra relacionada directamente com os conceitos apresentados no capítulo anterior. Por esta razão não serão abordados todos os mecanismos e conceitos já descritos, sendo apenas focados os que são mais relevantes para o funcionamento do simulador e que merecem uma explicação mais detalhada.

Este simulador foi construído em C# e é designado por SmartFlow2. Ao longo do decorrer da dissertação, este simulador sofreu várias alterações, passou por algumas versões diferentes e no final foram tomadas opções com o intuito de focar a função do simulador. Por este motivo não existe uma interface gráfica que permita interacção em tempo real com o decorrer da simulação. De notar que ao longo deste capítulo serão abordadas apenas algumas das muitas funcionalidades e mecanismos complexos que se encontram na base deste simulador, de forma a não alongar em demasia a explicação sobre este.

Os principais objectivos por detrás deste simulador são:

- Criar uma base e implementar as ideias e conceitos dos capítulos 2 e 3, nomeadamente a integração de uma SmartGrid com Edifícios inteligentes e interacção com o consumidor final.
- Implementar todos os conceitos e ideias do capítulo 3, com especial foco aos planos de poupança;
- Testar e validar políticas de poupança diferentes, através da análise de dados de simulação;
- Flexibilizar e deixar margem para uma futura expansão das suas funcionalidades;

O simulador que foi construído deixou para segundo plano algumas funcionalidades consideradas acessórias, nomeadamente a existência de uma interface gráfica mais rica em funcionalidades, a possibilidade de interagir em tempo real com a simulação, a análise de dados e criação de gráficos dentro da aplicação. Por estes motivos, o simulador tem uma interface simples por linha de comandos e uma vez iniciada a simulação, não existe forma de interagir com a mesma e qualquer análise de dados terá de ser feita externamente, recorrendo por exemplo ao Microsoft Office Excel.

Este simulador usa três ficheiros que servem de suporte ao seu funcionamento: dois ficheiros de dados, gerados após a conclusão da simulação, e um ficheiro com as configurações da rede e do simulador, que é utilizado no final para guardarem as alterações que tenham sido feitas. Estas e outras componentes serão detalhadas nos subcapítulos seguintes.

4.1 Estrutura do simulador

O simulador foi programado utilizando uma linguagem orientada a objectos, optando-se pelo C# e pela poderosa suite de ferramentas Microsoft Visual Studio. Toda a programação, testes e validação foram

realizados utilizando o Microsoft Visual Studio. A análise dos ficheiros de dados e de configurações foi realizada utilizando o Notepad++ e o Microsoft Office Excel.

Cada um dos tipos de nós apresentados anteriormente no capítulo 3 são mapeados numa classe no simulador e os planos de poupança são mecanismos integrados em alguns dos nós referidos.

O simulador interage com ficheiros de dados e de configurações, o que é gerido por duas classes diferentes, uma para os dados e outra para as configurações.

Existe uma interface por linha de comandos, através da qual um utilizador consegue carregar uma rede já existente, criar uma rede nova, alterar redes e parâmetros de simulação e por fim proceder à execução da simulação e guardar as alterações à rede.

Em termos estruturais, o simulador é dividido por três secções principais. A primeira refere-se ao tratamento de dados, onde se encontram as classes responsáveis por carregar e guardar dados dos ficheiros csv e xml. A segunda parte contém todos os nós, o histórico dos nós, os períodos, os utilizadores e perfis de cargas. Por último existe uma terceira componente referente a funcionalidades importantes para o desenrolar da simulação, que se descreve em seguida:

- **Classe para o Tempo (Time):** este elemento é responsável por contabilizar o tempo ao longo da simulação e fornecer essa mesma informação a todos os nós que assim a requeiram;
- **Classe para a Simulação (Simulation):** este elemento é a peça central durante toda a simulação, procedendo à execução da simulação e cálculo do tempo restante para a conclusão da mesma;
- **Classe para a Interface (GUI):** este elemento é a peça central durante toda a interacção do utilizador com o simulador, responsável por fornecer a interface por linha de comandos.

4.1.1 Interacção com o simulador

O simulador apresenta uma interface por linha de comandos que permite ao utilizador aceder a todas as suas funcionalidades. Esta interface está estruturada da seguinte forma:

- **Gestão da rede:** conjunto de comandos que permite gerir toda a rede criada.
 - **Adicionar elementos (add):** permite a adição de novos nós, de novos utilizadores e de perfis de cargas;
 - **Remover elementos (del):** permite a remoção de qualquer um dos elementos adicionados no comando de adição;
 - **Saltar entre nós (jump):** este comando permite navegar através dos vários níveis hierárquicos da rede. Em cada salto, o utilizador fica com acesso ao nó para o qual saltou e contacto directo com os seus nós filhos;
 - **Clonar nós (clone):** este comando permite clonar por completo um nó, incluindo todos os seus parâmetros e nós filhos subsequentes;

- **Gestão de configurações:** conjunto de comandos que permite alterar as configurações do simulador e da simulação.
 - **Listar informação (*list*):** este comando permite listar informações sobre as configurações realizadas, como por exemplo as configurações gerais do simulador ou dos planos a longo prazo;
 - **Alterar configurações (*alt*):** este comando permite alterar todas as configurações listadas pelo comando anterior.
- **Gestão da simulação:** conjunto de comandos que permite iniciar uma simulação ou simplesmente guardar a rede e configurações.
 - **Simular (*sim*):** comando para dar início a uma simulação e que após esta sairá do simulador. Por omissão guarda sempre a rede e configurações criadas, embora mediante um argumento possa simplesmente simular a rede sem a guardar.
 - **Sair do simulador (*exit*):** comando para sair do simulador. Por omissão guarda sempre a rede e configurações criadas, embora mediante um argumento possa sair sem salvar dados;

Na figura seguinte apresenta-se um exemplo da interface, com os comandos disponíveis e a consola com alguma informação sobre o nó actual e o seu pai. Todos os comandos possuem um menu de ajuda com a descrição do seu funcionamento e parâmetros aceites:

```

COMMANDS :
-----
add          | Creates a node
del          | Deletes a node and its childs
jump        | Jumps to a node
clone       | Clones a given node
list        | Lists information regarding the settings
alt         | Alters settings
sim         | Saves the network and Starts the Simulation
exit        | Exits the program

type <COMMAND> ? for more information on each command
-----

=== type <list settings> for additional information
-----
CurrentNode.Father.name:      root
CurrentNode.Father.ID:       98d6f5
-----
CurrentNode.name:            root
CurrentNode.ID:              98d6f5
CurrentNode.LoadUsers:       0
-----
Current childs:
    SmartNode(Name,ID): 'smart1' , 'b3967a'
-----
type <?> for help
>

```

Figura 9 - Interface do simulador por linha de comandos

4.1.2 IDs

Ao longo do funcionamento do simulador são utilizadas referências aos nós (ou seja, apontadores) para navegar entre elementos da rede. No entanto, quando se termina a simulação é importante guardar a rede e todas estas relações, pelo que foram criados identificadores para assumirem o papel dos

apontadores durante a simulação. Cada nó guardado no network.xml (ver mais adiante) possui informação sobre o seu identificador e sobre o identificador do seu pai, permitindo assim ao simulador guardar a rede num formato de ficheiro e restaurá-la de forma igualmente transparente.

Assim sendo, cada nó é identificado por um conjunto de caracteres único, designado por ID. Este ID corresponde a um número hexadecimal que é obtido pela conversão de um número decimal, referido daqui em diante como *hashseed*. O *hashseed* é gerado durante a criação pela primeira vez de uma rede, correspondendo ao número 0 (zero) e é incrementado sempre que se requisita um novo ID. Embora cada nó possua um nome, este não é forçosamente único, permitindo assim, por exemplo, atribuir o mesmo nome “luz” a todas as luzes numa casa, daí se ter optado por flexibilizar a atribuição de nomes.

A utilização de uma base hexadecimal permite que seja utilizado um formato familiar para referenciar um maior número de nós recorrendo a menos caracteres, quando em comparação com uma base decimal. O *hashseed* é guardado juntamente com o ficheiro network.xml, pelo que durante o carregamento deste o simulador retoma o índice que se encontra referenciado no xml, de forma a evitar quaisquer colisões.

De seguida apresenta-se um exemplo dos identificadores e da sua utilização, através de um excerto do ficheiro network.xml:

```
</network>
<settings hashSeed="15460" networkname="rede1" simdays="8" comput_dataFreq="60" fail_duration="1440">
  <LoadUsers prob_jump="1" prob_chngdir="0,5" prob_interact="1" prob_onoff="1" />
  <ProductionNodes prod_variation="0,00499999988824129" />
  <SavingPlans type="ShortTerm" stLNminPeriodSaving="20" stLNtime4NewLoadSaving="5" stPNminPeriodProdu
  <SavingPlans type="LongTerm" ltSNParcelTime="15" ltSNsavingPlanDifferenceTrigger="0,100000001490116"

<smartflow2>
  <network>
    <node name="root" id="0" father="null" type="SmartNode" />
    <node name="Casa" id="1" father="0" type="SmartNode" />
    <node name="luz_hall_entrada" id="83" father="1" loadprofile="E" type="LoadNode" avg_consump="30">
    <node name="Aspirador" id="84" father="1" loadprofile="14" type="LoadNode" avg_consump="1000">
    <node name="WC" id="7E" father="1" type="SmartNode" />
    <node name="luz_wc_1" id="85" father="7E" loadprofile="E" type="LoadNode" avg_consump="30">
    <node name="luz_wc_2" id="86" father="7E" loadprofile="E" type="LoadNode" avg_consump="30">
```

Figura 10 - utilização de IDs no network.xml

Na figura anterior é possível observar, na segunda linha do xml, o hashseed com o valor 15460, significando que foram gerados 15460 IDs. De notar que os IDs são armazenados em formato hexadecimal, embora o hashseed seja sempre armazenado em formato decimal.

Ainda na figura anterior é possível observar o nó “root” com um id=0, que tem um nó filho “Casa” com o id=1. Este mesmo nó “Casa” tem, por exemplo, uma “luz_hall_entrada” com o id=83, cujo pai é o nó com o id=1, correspondente ao nó inteligente “Casa”. Além dos nós, os perfis das cargas também possuem um ID de forma a permitir a associação de um dado perfil a várias cargas em simultâneo (detalhado na secção 4.4). Este facto é observável nas cargas “luz_wc_1” e “luz_wc_2” e na sua referência ao “loadprofile=E” (de notar que o perfil da carga não foi incluído neste exemplo).

4.1.3 LoadUsers

No capítulo 3 introduziram-se os conceitos de carga e de perfil de carga, que neste simulador foram implementados nos elementos LoadNode e LoadProfile respectivamente. Além destes, o consumidor final foi mapeado num elemento designado por LoadUser, cujo papel é o de interagir com as cargas respeitando o perfil de utilização associado a cada uma.

O objectivo deste LoadUser é o de simular um consumidor que esteja em casa e como tal interaja com todas as cargas que se encontram no seu ambiente doméstico. Um ambiente doméstico neste simulador poderá corresponder a um conjunto de SmartNodes e LoadNodes, distribuídos por vários níveis hierárquicos.

Por este motivo, é expectável que um LoadUser possa interagir com todos os LoadNodes em qualquer SmartNode que se encontre dentro do ambiente doméstico. Com este intuito, durante a criação de um LoadUser este fica associado a um SmartNode e tem permissão para saltar entre todos os SmartNodes, subjacentes ao SmartNode inicial a que ficou associado, e interagir com todos os LoadNodes. Este comportamento permite simular um Edifício Inteligente, no qual um consumidor final pode entrar em qualquer piso ou divisão e interagir com os elementos ali presentes.

De notar que o SmartNode inicial a que um LoadUser fica associado corresponde ao limite de interacção. O LoadUser nunca saltará para níveis acima desse nó inicial, ou por outras palavras, um consumidor final é associado a uma casa e nunca lhe é permitido sair desta e ir interagir nas casas vizinhas.

Em suma, um LoadUser existe para ligar e desligar as cargas (LoadNodes), através do perfil de utilização respectivo de cada uma. Irá estar associado a um SmartNode que corresponde ao início de um Edifício Inteligente, associação essa que lhe permitirá navegar entre todos os nós inteligentes subjacentes ao primeiro.

4.2 Funcionamento do simulador

O simulador encontra-se estruturado em três fases principais de funcionamento, desde o momento que arranca até ao momento que termina a sua execução:

1. **Arranque do Simulador:** Por omissão, quando o simulador é executado ele tenta encontrar o ficheiro network.xml no ambiente de trabalho do utilizador.
 - a. Se não o conseguir encontrar, avisa o utilizador e criará um ficheiro network.xml, no ambiente de trabalho do utilizador, contendo algumas configurações predefinidas. Além das configurações por omissão, será adicionado automaticamente um nó com nome “root” e o ID hexadecimal 0 (zero), correspondente ao nó raiz da arquitectura em árvore. A construção da rede e simulação da mesma irão partir desse primeiro nó;

- b. Se o ficheiro for encontrado, o simulador procede ao carregamento da rede e das configurações nele contido.
2. **Interacção com utilizador:** Após a criação ou carregamento dos dados, é apresentada a interface ao utilizador. Nesta interface o utilizador poderá realizar as operações que foram referidas no ponto anterior deste capítulo.
3. **Execução da simulação:** Após terem sido realizadas todas as alterações e configurações desejadas, só restam duas opções ao utilizador:
 - a. **Simulação:** que irá dar início à simulação com a rede e configurações introduzidas. Assim que termine a simulação, serão gerados os ficheiros de dados e será guardada a rede e configurações no ficheiro XML. Todos os ficheiros gerados são guardados no ambiente de trabalho do utilizador;
 - b. **Sair do simulador:** termina o simulador, gravando, ou não, a rede no ambiente de trabalho do utilizador.

Uma **simulação** corresponde ao processamento de todas as decisões e mecanismos referentes a todos os nós numa dada rede, durante um intervalo definido de tempo. Durante a simulação, cada **instante** corresponde a um período temporal reduzido, da ordem dos segundos tipicamente, durante o qual todos os nós, mecanismos, fluxos e elementos de decisão são actualizados e accionados. A simulação é o conjunto de todos os instantes temporais que foram definidos. Por exemplo, um instante poderá corresponder a 60 segundos e a simulação poderá corresponder a 7 dias.

O funcionamento e estrutura dos ficheiros e dados gerados serão detalhados mais adiante.

4.2.1 Fluxos

Antes de se explicar como é processada a simulação, é importante mapear um conceito fundamental introduzido no capítulo 3: os fluxos (ver subsecção 3.1.2).

Os fluxos foram configurados nos nós inteligentes e são bastante simples e subtis, mas fundamentais durante o desenrolar de uma simulação. Neste âmbito, foram introduzidos dois tipos de fluxos que cada SmartNode terá em conta:

- **FluxoActual:** este é o fluxo calculado com base na diferença entre os consumos e a produção recolhidos de todos os seus nós vizinhos;
- **FluxoAlvo:** este é o objectivo pretendido para este nó. Este fluxo é transmitido pelo seu nó pai.

Todas as decisões são tomadas com base na diferença entre o FluxoActual e o FluxoAlvo. Por omissão, o nó no topo da árvore (“root”) tem um FluxoAlvo igual a zero, pelo que ele tentará controlar a rede de forma a equilibrar todos os fluxos positivos e negativos dos seus nós filhos. De notar que são utilizados fluxos e não métricas de consumo e produção separadas. Por este motivo, quando um SmartNode pede uma redução no fluxo, por exemplo, estará em simultâneo a permitir que haja consumo e que se

reduza a produção. Da mesma forma, quando um SmartNode pede um aumento do fluxo está a pedir em simultâneo que se aumente a produção e/ou se baixe o consumo.

Em termos processuais, um nó inteligente recebe o FluxoAlvo do seu pai, calcula o seu FluxoActual e, com base na diferença, toma decisões no sentido de aumentar a produção e reduzir consumo ou vice-versa. Com base nesta diferença, um SmartNode irá delegar aos seus nós filhos SmartNode que aumentem ou reduzam o seu FluxoAlvo em M%, de forma a distribuir o esforço por todos os nós. Um maior valor de 'M' traduz-se em variações mais acentuadas no FluxoAlvo ao longo da simulação, e consequentemente num comportamento mais agressivo por parte dos SmartNodes.

Considere-se o seguinte exemplo, onde são explicitados os vários passos durante o processamento dos fluxos em SmartNodes:

- Existe um SmartNode 'A' que possui vários nós filhos, incluindo um de produção, vários de consumo e dois SmartNodes, correspondendo aos nós 'B' e 'C';
- O pai de 'A' é o SmartNode designado por 'P';
- 'P' envia a 'A' o FluxoAlvo de +100, ou seja, está a pedir a 'A' um excedente (produção);
- 'A' recolhe os valores do seu fluxo, ficando a conhecer que 'B' está a registar um FluxoActual de -10, que 'C' está a registar um FluxoActual de +80 e que todos os seus restantes nós filhos, nós de consumo e de produção, totalizam um fluxo de -10;
- Com isto 'A' fica a saber que tem um fluxo total de +60, inferior aos +100 pedidos pelo nó pai 'P';
- Após conhecer isto, 'A' irá interagir com o nó de produção de acordo, com o seu plano a curto prazo (ver secção 4.3). Se já existir, então não poderá fazer nada pois a meta já foi estabelecida anteriormente. Se não existir, estabelecerá um com o objectivo de aumentar a produção em N% da diferença em falta, ou seja, em N% de +40 (o valor de 'N' é parametrizável na simulação e refere-se a nós de produção);
- 'A' irá também proceder ao bloqueamento de LoadNodes filhos, se estes assim o permitirem e não se encontrar nenhum plano a longo prazo em vigor (ver secção 4.3);
- Após estes dois passos, 'A' irá averiguar se a diferença foi conseguida. Se não tiver sido atingida, irá alterar o FluxoAlvo dos SmartNodes filhos ao multiplicar o seu FluxoActual por M%. Esta alteração, em função do FluxoActual e não do FluxoAlvo, permite adaptações mais suaves e em linha com a realidade daquele nó (que poderá estar bastante longe do seu FluxoAlvo);
- Neste cenário, o valor de 'M' será alterado consoante seja necessário aumentar ou reduzir o fluxo e consoante o nó esteja a registar um FluxoActual positivo ou negativo. Neste exemplo, 'M' teria um valor superior a 100% para 'B' e um valor inferior a 100% para 'C', no sentido de aumentar o fluxo positivo de 'B' e reduzir o fluxo negativo de 'C'. De notar que o FluxoAlvo de cada SmartNode filho é multiplicado por M, pelo que valores inferiores a 100% correspondem a diminuir o FluxoAlvo, e vice-versa.

O exemplo acima descreve os passos gerais de como são processados os fluxos durante a função de actualização de um SmartNode. De notar que o processo explicitado anteriormente não corresponde por inteiro à função de actualização de um SmartNode, pretendendo apenas referir alguns passos

relacionados com os fluxos. A função de actualização será analisada completamente na subsecção 4.2.3.

Os fluxos são actualizados em cada instante da simulação e registados no histórico dos nós, que posteriormente será utilizado para despoletar planos de poupança e registar os fluxos nos ficheiros CSV que contém os resultados da simulação.

4.2.2 Simulação

A fase mais complexa e mais importante no funcionamento do simulador é a de Simulação, em especial no que toca ao funcionamento do SmartNode.

Antes de continuar, importa relembrar alguns conceitos importantes do SmartNode (ver subsecção 3.2.5):

- O SmartNode é o nó central para o fluxo de energia e de informação, e será implementado com uma natureza recursiva, ou seja, a função de actualização do seu estado é chamada recursivamente;
- Só os SmartNodes é que possuem nós filhos. Todos os restantes nós não possuem quaisquer filhos, pelo que representarão os extremos da árvore;
- Os únicos nós inteligentes na rede são os SmartNodes, sendo responsáveis pela execução dos planos de poupança;

Os nós contêm uma função que é responsável por actualizar o seu comportamento e variáveis, designada por **Update** e que é chamada uma vez em cada instante temporal da simulação. Esta função é chamada em todos os nós pelo seu nó pai SmartNode.

Consoante o tipo de nó, esta função de actualização é diferente e atinge níveis de complexidade bastante diversos:

- **ProductionNode.Update:** actualiza a produção com base no seu perfil fixo ou variável de produção;
- **LoadNode.Update:** actualiza o estado da carga, podendo ligar, desligar ou bloquear a mesma;
- **DumbNode.Update:** actualiza o consumo com base no seu perfil fixo de consumo;
- **LoadUser.Update:** actualiza o nó em que o utilizador se encontra e interage com as cargas.

A função de actualização de um SmartNode é bastante complexa e importante, pelo que será aprofundada em seguida.

4.2.3 SmartNode.Update

A função de actualização de um SmartNode possui 4 fases internas, nas quais as primeiras três correspondem ao processamento de informação e organização de um plano, plano esse que vai sendo refinado e melhorado ao longo das fases, até chegar à última fase onde é executado:

- **1ª fase – Actualizar estado:** nesta fase é feita uma recolha de informação, onde todos os nós filhos são actualizados, incluindo os SmartNodes. Ainda nesta fase é feito o cálculo do fluxo actual e compara-se com o fluxo alvo que se pretende atingir;
- **2ª fase - O que fazer agora?:** esta fase corresponde a acções no imediato que possam resolver diferenças residuais entre FluxoAlvo e FluxoActual. Nesta fase entram em acção os planos a curto prazo, pelo que serão actualizados os que se encontram de momento a decorrer e irão ser despoletados novos planos se assim for necessário. Quaisquer planos a longo prazo também serão actualizados durante esta fase;
- **3ª fase - O que mais é necessário fazer?:** durante esta fase são analisados hábitos de consumo e de produção dos nós de forma a poder realizar algumas previsões a médio/longo prazo. Esta fase corresponde à elaboração de planos a longo prazo;
- **4ª fase – Execução da decisão:** aqui são executadas quaisquer decisões calculadas anteriormente. Durante esta fase actualiza-se a produção do ProductionNode, bloqueiam-se e desbloqueiam-se LoadNodes e estabelecem-se novos FluxoAlvos para os SmartNodes filhos.

De notar que durante a 1ª fase da actualização de um SmartNode, este irá actualizar todos os nós filhos, inclusive os SmartNode filhos. Este facto traduz-se numa actualização que na realidade se propaga até aos nós mais afastados e que gradualmente sobe nível a nível até atingir o nó no topo. Em cada nível hierárquico, todos os nós actualizam a sua informação (fluxos e dados), que é posteriormente passada ao nível de cima e assim progressivamente até ao topo da árvore. A recursividade aqui descrita garante que todos os nós subjacentes se encontram actualizados antes de um dado nó inteligente tomar qualquer decisão.

4.2.4 Mapeamento de conceitos no Simulador

Pode-se agora realizar um mapeamento entre os conceitos propostos no capítulo 3 e a sua implementação no simulador, o que se apresenta na seguinte tabela:

Tabela 2 – Mapeamento dos conceitos no Simulador

Conceito	Mapeamento no simulador
Abordagem hierárquica	Implementada através de uma árvore com um nó no topo gerado automaticamente e pela existência de níveis hierárquicos e nós vizinhos

Fluxos	Utilizados pelos nós inteligentes, são canais de informação e de energia bidireccionais, responsáveis por orientar qualquer decisão tomada pelos SmartNodes
Mecanismos de decisão locais	Através da existência de planos de poupança a curto prazo e de recolha de informação dos nós vizinhos
Mecanismos de decisão globais	Através da existência de planos de poupança a longo prazo e de uma decisão indirecta em todos os nós subsequentes devido aos fluxos
Escalabilidade/Flexibilidade	Transversal em todos os conceitos implementados.
Nós e elementos	Todos os nós e elementos acessórios propostos no capítulo 3 foram implementados.
Políticas de poupança	Os dois tipos de planos foram implementados e são geridos pelos nós inteligentes

4.3 Políticas de poupança

Os planos de poupança são despoletados e geridos pelos nós inteligentes e ambos fazem parte da função de actualização do SmartNode (ver subsecção 4.2.3).

No caso dos planos a curto prazo, estes são iniciados sempre que existir uma necessidade imediata de ajustar o fluxo na rede. Os planos a longo prazo são iniciados sempre que existir a necessidade a médio/longo prazo de se controlar o consumo, ou seja, aumentar o fluxo.

Ambos os planos já foram detalhados a nível conceptual no capítulo 3. Em seguida são apresentados fluxogramas e exemplos correspondentes a cada plano.

4.3.1 Planos de poupança a curto prazo

Segue-se uma figura com o fluxograma correspondente ao processamento dos planos a curto prazo (ver subsecção 3.3.1):

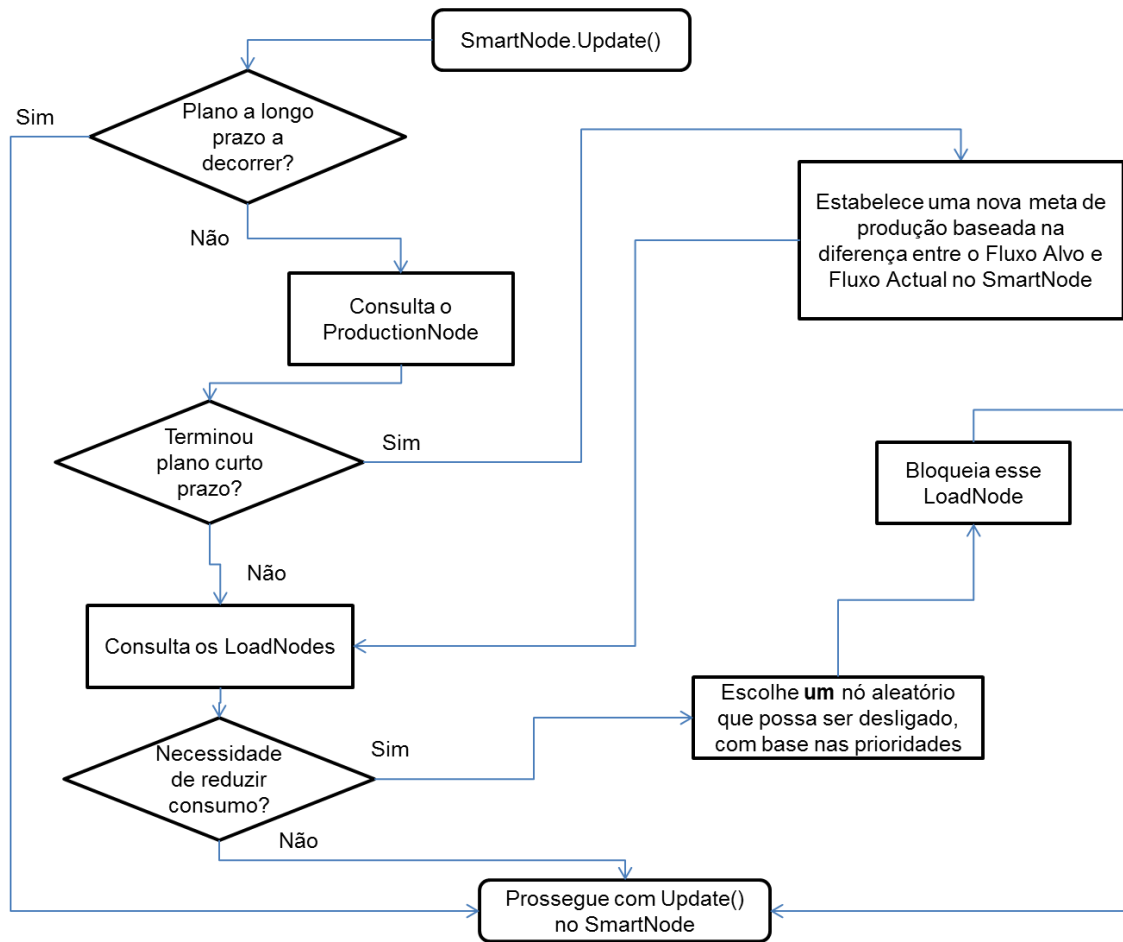


Figura 11 – Fluxograma para despoletar planos a curto prazo

Considere-se o seguinte exemplo, com base no fluxograma anterior:

- Um SmartNode 'A' tem três LoadNodes e um ProductionNode;
- Não existe nenhum plano de poupança a longo prazo em 'A';
- O seu ProductionNode não tem nenhum plano a curto prazo;
- Dos três LoadNodes, um encontra-se com um plano a curto prazo, ou seja, encontra-se bloqueado;
- Num dado instante da simulação, 'A' recebe um FluxoAlvo (do seu nó pai) igual a +10;
- 'A' calcula o seu FluxoActual e obtém -5;
- 'A' detecta que existe a necessidade de reduzir o consumo/aumentar a produção e detecta que não há nenhum plano a longo prazo a decorrer;
- 'A' consulta o seu ProductionNode e detecta que não tem nenhum plano. 'A' estabelece uma nova meta de produção para esse ProductionNode, em linha com a diferença entre FluxoAlvo e FluxoActual, ou seja, estabelecendo uma nova meta de produção com o valor acrescido de $+10 - (-5) = +15$. Tomou-se a decisão de se estabelecer uma meta de produção com toda a diferença no fluxo pois após alguns testes concluiu-se rapidamente que será mais provável conseguir pedir a um ProductionNode que aumente a produção para cobrir a diferença entre fluxos do que tentar bloquear as cargas;

- Se a elasticidade do ProductionNode chegar para cobrir a diferença entre fluxos, 'A' conseguiu aplicar uma acção que resolveu o problema da diferença de fluxos. De outra forma, 'A' toma a opção de consultar os seus LoadNodes. De notar que um SmartNode só pode bloquear um LoadNode em cada instante da simulação;
- 'A' consulta os LoadNodes não bloqueados, que neste exemplo correspondem a dois. Consulta igualmente as prioridades de cada nó e se podem ser bloqueados naquele momento;
- Vamos assumir que neste cenário, os LoadNodes têm prioridades diferentes e que ambos podem ser bloqueados. 'A' irá escolher aleatoriamente um nó desses mesmos dois, com base na prioridade de cada um e através de uma média ponderada;
- 'A' escolhe um LoadNode e bloqueia-o, estabelecendo assim o plano a curto prazo;
- Assim termina este instante de simulação.
- Cada plano a curto prazo tem uma duração temporal definida, pelo que em instantes consequentes da simulação, cada plano estabelecido irá expirar e o respectivo nó será desbloqueado.

4.3.2 Planos de poupança a longo prazo

Segue-se o fluxograma correspondente ao processamento de planos a longo prazo (ver subsecção 3.3.2). Os parâmetros **FluxoAlvo** e **FluxoActual** já foram abordados anteriormente e os parâmetros **trigger1**, **trigger2** e **FluxoFuturo** são explicados adiante:

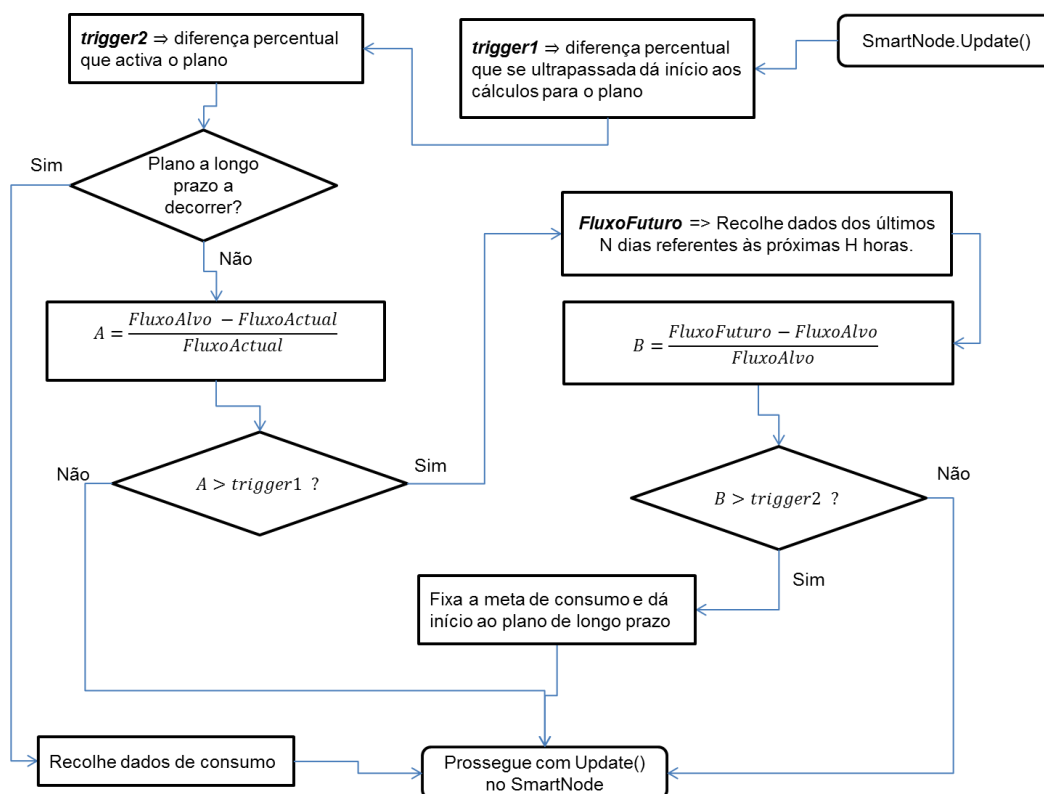


Figura 12 - Fluxograma para despoletar planos a longo prazo

Os planos a longo prazo possuem alguns passos e variáveis adicionais para serem accionados.

Existe um primeiro parâmetro, designado genericamente por *trigger1*, que corresponde a um valor percentual. Este *trigger1* corresponde à diferença percentual entre o FluxoAlvo e o FluxoActual que dá início ao fluxograma.

O *trigger2* corresponde à diferença entre FluxoFuturo e FuturoAlvo, que se refere na verdade a um valor de segurança de forma a impedir planos de poupança demasiado arrojados. Por outras palavras, se a diferença entre o FluxoAlvo actual e o FluxoFuturo for demasiado significativa, então não fará sentido implementar um plano de poupança demasiado restritivo se o consumidor depois não tiver capacidade para o cumprir. Este *trigger2* pretende assim representar este limiar de segurança.

Considere-se o seguinte exemplo, com base no fluxograma anterior:

- Um SmartNode 'S' começa por confirmar que não há nenhum plano a longo prazo a decorrer.
 - Se já existir um plano a longo prazo, regista os dados de fluxo e continua com a actualização do SmartNode;
 - Se registar que a diferença entre o FluxoAlvo e o FluxoActual é superior ao *trigger1*, então significa que irá continuar os cálculos para lançar um plano a longo prazo;
- Suponha-se que está configurada uma recolha de dados referentes às 4 horas futuras dos últimos 7 dias e que o instante da simulação é o dia 12, pelas 15:19:00.
- 'S' irá recolher os dados de fluxo do dia anterior referentes às próximas últimas 4 horas, ou seja, os dados de fluxo do dia 11 registados entre as 15:19:00 e as 19:19:00. Calcula a sua média.
- Repete o mesmo processo, sempre para os instantes entre as 15:19:00 e as 19:19:00, mas para os dias 10, 9, 8, 7, 6, 5 somando assim os 7 dias configurados para recolha de dados.
- Calcula agora a média desses mesmos valores médios obtidos, ficando com o valor futuro esperado de fluxo para as próximas 4 horas. Este valor corresponde ao FluxoFuturo.
 - Exemplo:
 - i. Dia 11, entre as 15:19:00 e as 19:19:00: valor_fluxo_médio = 81;
 - ii. Dia 10, entre as 15:19:00 e as 19:19:00: valor_fluxo_médio = 100;
 - iii. Dia 9, entre as 15:19:00 e as 19:19:00: valor_fluxo_médio = 93;
 - iv. Dia 8, entre as 15:19:00 e as 19:19:00: valor_fluxo_médio = 68;
 - v. Dia 7, entre as 15:19:00 e as 19:19:00: valor_fluxo_médio = 114;
 - vi. Dia 6, entre as 15:19:00 e as 19:19:00: valor_fluxo_médio = 97;
 - vii. Dia 5, entre as 15:19:00 e as 19:19:00: valor_fluxo_médio = 79;
 - viii. **FluxoFuturo** = $(81+100+93+68+114+97+79)/7 = 90,3$
- Se a diferença entre o FluxoFuturo e o FluxoAlvo for superior ao valor do *trigger2*, então 'S' prosseguirá o seu funcionamento.
- Se não for, 'S' irá dar início a um plano a longo prazo, avisando todos os seus nós filhos SmartNode de que se encontra um plano em vigor. Isto irá fixar uma meta para o fluxo, anular quaisquer planos a curto prazo que se encontrassem a decorrer, tanto nos seus nós vizinhos como nos nós vizinhos dos seus nós filhos. A meta fixada no fluxo é igual ao FluxoAlvo no instante em que se dá início ao plano.

Simplificando o exemplo anterior e por outras palavras: se um dado SmartNode receber um FluxoAlvo superior ao seu FluxoActual, então precisará de aumentar a produção ou reduzir o consumo. Se esta diferença for significativa, poderá ser necessário um plano a longo prazo para “corrigir” o comportamento do nó. Ora se o seu FluxoFuturo expectável não estiver demasiado longo do seu FluxoAlvo, ou seja o comportamento (entenda-se produção e consumo) esperado deste nó nas próximas N horas não estará demasiado longe do actual FluxoAlvo, então poderá avançar-se com um plano de poupança e estabelecer uma meta. A meta estabelecida é sempre em função do FluxoAlvo, e não do FluxoActual ou do FluxoFuturo, pois é este que reflecte as reais necessidades da rede e em função deste que se pretende corrigir o fluxo.

Neste simulador, os consumidores (LoadUsers) foram configurados para que, durante um plano de poupança a longo prazo, tenham um comportamento responsável e não activem novas cargas que ultrapassem o limite estabelecido. As cargas que já se encontram ligadas continuaram ligadas até que o utilizador as deseje desligar. Uma vez desligadas, só serão ligadas de novo se não ultrapassarem nenhum limite. Este “bom comportamento” corresponde a uma variável que é configurável através da linha de comandos e que permite ajustar a condescendência com este limite.

Por este motivo e embora no plano exista uma meta, um plano terá sempre um início com o FluxoActual que é inferior à meta estabelecida. Ao longo do plano será expectável ver o FluxoActual ir na direcção da meta estabelecida, dificilmente ultrapassando-a. Quer isto dizer que muito embora exista um “limite de poupança”, este foi configurado por omissão para ser uma meta e não tanto um limite. Este facto vai no sentido de existirem planos de poupança a longo prazo não intrusivos e não bloqueadores, promovendo um impacto mínimo ao nível da rotina do consumidor final.

4.4 Ficheiros de dados e de configuração

A função do simulador é complementada com o suporte de ficheiros que permitem guardar os dados da simulação, para posterior interpretação, e ainda guardar as redes e configurações para reutilização no simulador. Neste sentido foram criados três ficheiros diferentes, o primeiro para guardar a rede e as configurações da mesma, e o segundo e terceiro ficheiros são utilizados para armazenar dados gerados pela simulação.

4.4.1 network.xml

Durante o arranque do simulador, este consulta o ambiente de trabalho do utilizador para tentar encontrar um ficheiro XML com o nome de “network.xml”. Se o ficheiro não for encontrado, o utilizador será avisado de que irá ser gerado um novo. Se o ficheiro existir, o simulador irá carregar todas as configurações e a rede que nele se encontram. O formato XML foi escolhido pela sua ampla utilização, pelo elevado número de ferramentas que possibilitam a edição e visualização daquele formato, nomeadamente os *browsers* actuais, e pela sua organização de elementos de forma hierárquica. O

ficheiro XML contém a descrição das configurações e a rede a simular, de que se destaca quantos nós, como se encontram interligados e as definições de políticas de poupança. Este ficheiro encontra-se organizado em duas partes:

- **<network>**: esta secção contém única e exclusivamente os dados referentes aos nós que compõem a rede a ser simulada, os parâmetros desses nós e respectivos períodos;
- **<settings>**: esta secção contém todos os parâmetros necessários à simulação, informação sobre perfis de cargas e sobre utilizadores. Entre os parâmetros da simulação encontra-se o nome, o tempo de simulação, parâmetros de configuração de nós, entre vários outros.

De seguida apresenta-se um exemplo de um ficheiro *network.xml*. Na primeira secção podemos observar as configurações da rede (<network>) e na segunda secção encontram-se as definições e parâmetros gerais da simulação (<settings>):

```
<smartflow2>
  <network>
    <node name="root" id="0" father="null" type="SmartNode" />
    <node name="Casa" id="1" father="0" type="SmartNode" />
    <node name="Luz hall entrada" id="83" father="1" loadprofile="E" type="LoadNode" avg_consump="30">
    <node name="Aspirador" id="84" father="1" loadprofile="14" type="LoadNode" avg_consump="1000">
    <node name="WC" id="7E" father="1" type="SmartNode" />
    <node name="luz_wc_1" id="85" father="7E" loadprofile="E" type="LoadNode" avg_consump="30">
      <period type="TurnOff" begins="0" ends="23" day="1" turnoff="False" />
      <period type="TurnOff" begins="0" ends="23" day="2" turnoff="False" />
      <period type="TurnOff" begins="0" ends="23" day="3" turnoff="False" />
      <period type="TurnOff" begins="0" ends="23" day="4" turnoff="False" />
      <period type="TurnOff" begins="0" ends="23" day="5" turnoff="False" />
      <period type="TurnOff" begins="0" ends="23" day="6" turnoff="False" />
      <period type="TurnOff" begins="0" ends="23" day="7" turnoff="False" />
      <period type="Priority" begins="0" ends="23" day="1" priority="1" />
      <period type="Priority" begins="0" ends="23" day="2" priority="1" />
      <period type="Priority" begins="0" ends="23" day="3" priority="1" />
      <period type="Priority" begins="0" ends="23" day="4" priority="1" />
      <period type="Priority" begins="0" ends="23" day="5" priority="1" />
      <period type="Priority" begins="0" ends="23" day="6" priority="1" />
      <period type="Priority" begins="0" ends="23" day="7" priority="1" />
    </node>
  </network>

  <smartflow2>
    <network>
      <settings hashSeed="15460" networkname="rede1" simdays="8" comput_dataFreq="60" fail_duration="1440">
        <LoadUsers prob_jump="1" prob_chngdir="0,5" prob_interact="1" prob_onoff="1" />
        <ProductionNodes prod_variation="0,00499999988624129" />
        <SavingPlans type="ShortTerm" stLNminPeriodSaving="20" stLNtime4NewLoadSaving="5" stPNminPeriodProdu
        <SavingPlans type="LongTerm" ltSNParcelTime="15" ltSNSavingPlanDifferenceTrigger="0,100000001490116"
        <element type="LoadUser" rootnode="1" badLoadUserProb="0">
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="1" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="2" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="3" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="4" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="5" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="6" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="7" />
        </element>
        <element type="LoadUser" rootnode="1" badLoadUserProb="0">
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="1" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="2" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="3" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="4" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="5" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="6" />
          <period type="NoSPLT" begins="0" ends="23" day="7" />
        </element>
      </settings>
    </network>
  </smartflow2>
```

Figura 13 - Exemplo parcial de network.xml

Relativamente à rede (<network>), podemos observar o ID do nó e ID do seu nó pai, os seus períodos associados e alguns parâmetros específicos a cada nó. Já na segunda parte, referente às

configurações (<settings>), podemos observar o nome da rede, o tempo de simulação, alguns parâmetros de configuração gerais a cada nó, os utilizadores e perfis das cargas, com respectivos períodos associados.

Ainda na figura anterior é possível observar como funcionam os IDs (ver subsecção 4.1.2) e a forma de relacionar os nós no ficheiro XML. A título de exemplo, o nó com o id=1 corresponde a um SmartNode com o nome “Casa”, que tem como nós filhos um LoadNode “Aspirador”, um LoadNode “Luz_hall_entrada” e um SmartNode “WC”. Existem dois LoadUsers que se encontram associados a esta mesma “Casa”, através do “rootnode=1” na secção de <settings>.

4.4.2 data.csv

Após conclusão da simulação, é fundamental recolher e analisar os dados, pelo que existe um ficheiro no qual são registados os valores da simulação: o ficheiro **data.csv**. Por defeito este ficheiro contém apenas dados referentes aos fluxos de cada nó em cada instante de tempo. Os dados contidos neste ficheiro têm origem no histórico dos nós.

Cada linha refere-se a um instante do tempo e cada coluna refere-se a um dado fluxo de um dado nó. Se tiver sido realizada uma simulação com 10 nós durante 1 dia, o ficheiro CSV conterá 24 (horas) x 60 (minutos) = 1440 linhas, onde cada linha terá 10 (+ 3) colunas. Cada valor (ou seja cada coluna) está separado por um espaço.

Cada linha é formatada da seguinte forma (as três colunas adicionais referidas anteriormente correspondem às primeiras que se seguem):

- **Dia de Simulação:** se considerarmos uma simulação com 10 dias, este valor variará entre 0 e 9;
- **Dia da Semana:** este valor variará entre 1 e 7, onde 1 é correspondente ao Domingo e 7 ao Sábado;
- **Instante da simulação:** refere-se à hora da simulação e é apresentado no formato “**h:m:s**”, como por exemplo, **17:38:04** correspondendo à hora 17, minuto 38 e segundo 04 de um dado dia da simulação. O instante da Simulação varia entre 00:00:00 e as 23:59:59;
- **Valor do fluxo:** aqui será registado o valor do fluxo correspondente a cada nó. Um nó está identificado na primeira linha com o formato <nome_id> (ver subsecção 4.1.2).

Adoptou-se o formato CSV pela sua ampla utilização e facilidade em ser aberto por um número elevado de ferramentas comuns. Este ficheiro pode ser aberto directamente, pelo Excel, a partir do qual é relativamente fácil e transparente formatar os dados e organizá-los por colunas, e por fim se gerar um gráfico com o fluxo de um dado nó, através da selecção de todos os valores de uma dada coluna. No final do ficheiro data.csv vem a data em que aquela simulação foi feita e quanto tempo levou o simulador a concluir a simulação.

De seguida mostra-se um exemplo de um ficheiro data.csv, aberto e formatado no Excel. A primeira coluna refere-se ao dia de simulação, a segunda refere-se ao dia da semana, a terceira refere-se ao instante do dia e as restantes colunas referem-se aos nós e respectivo fluxo:

SimDay	DayOfWeek	h:m:s	smart1_1	root_0
0	1	0:0:0>>	0	50
0	1	0:1:0>>	0	49,75000001
0	1	0:2:0>>	0	49,50125001
0	1	0:3:0>>	0	49,25374377
0	1	0:4:0>>	0	49,00747505
0	1	0:5:0>>	0	48,76243768
0	1	0:6:0>>	0	48,5186255
0	1	0:7:0>>	0	48,27603238
0	1	0:8:0>>	0	48,03465222
0	1	0:9:0>>	0	47,79447897
0	1	0:10:0>>	0	47,55550658
0	1	0:11:0>>	0	47,31772905
0	1	0:12:0>>	0	47,08114041
0	1	0:13:0>>	0	46,84573471
0	1	0:14:0>>	0	46,61150604
0	1	0:15:0>>	0	46,37844852
0	1	0:16:0>>	0	46,14655628
0	1	0:17:0>>	0	45,91582351

Figura 14 - Exemplo parcial de um ficheiro data.csv

4.4.3 splt.csv

Foi criado um segundo ficheiro para recolher informação sobre os nós, nomeadamente os planos de poupança a longo prazo. O nome “splt” é uma sigla que significa “**S**aving **P**lan – **L**ong **T**erm” e por omissão, optou-se por não registar os planos de curto prazo. Os dados contidos neste ficheiro têm origem no histórico dos nós.

Quando existe um plano de poupança a longo prazo, o SmartNode visado irá monitorizar os seus fluxos, registando a média dos valores medidos em intervalos de N minutos, escrevendo essa informação no ficheiro splt.csv. Em contraste com o data.csv, o ficheiro splt.csv tem a vantagem de reunir apenas os fluxos referentes a nós abrangidos por planos de poupança a longo prazo.

Cada entrada neste ficheiro é composta por duas linhas. A primeira contém o nome e ID do SmartNode onde foi iniciado o plano e a segunda contém os valores de fluxo registados.

A segunda linha é formatada da seguinte forma:

- **Dia de simulação:** se considerarmos uma simulação com 10 dias, este valor variará entre 0 e 9;
- **Instante da simulação:** refere-se ao instante horário do dia na simulação e é apresentado no formato “**h:m:s**”, como por exemplo, 17:38:04 correspondendo à hora 17, minuto 38 e segundo 04 de um dado dia da simulação. O instante da Simulação varia entre 00:00:00 e as 23:59:59;

- **Valores do fluxo:** correspondentes à média do consumo+produção durante um intervalo de N minutos. O primeiro e último valor correspondem ao fluxo inicial e fluxo alvo durante o plano de poupança.

No final do ficheiro splt.csv encontra-se a data em que aquela simulação foi feita e quanto tempo levou a gerar aqueles dados.

De seguida mostra-se um exemplo de um ficheiro splt.csv:

```
smart1_1
SimDay:24 17:48:0>> -3,09 -2,28 -2,44 -2,41

smart1_1
SimDay:30 4:15:0>> -11,67 -10,94 -10,88 -10,43

SimulationDate: 16/2/2014 10:20:56
SimulationDuration: 00:00:07
```

Figura 15 - Exemplo parcial de ficheiro splt.csv

4.5 Demonstração

Com o intuito de validar e demonstrar o funcionamento do simulador, apresenta-se um cenário simples que pretende ilustrar o consumo num ambiente doméstico. Este cenário consiste numa casa com 4 divisões e sem elementos de produção.

Para efeitos de demonstração desactivaram-se todos os planos de poupança, pelo que o consumo apresentado corresponde única e exclusivamente à utilização realizada pelos utilizadores (LoadUsers). Com este cenário espera-se encontrar um consumo referente à utilização familiar de um dia normal de um consumidor típico no seu ambiente doméstico. Com este cenário pretende-se igualmente mostrar o potencial na correcta configuração dos perfis de utilização das cargas e também os comportamentos humanos variáveis implementados nos LoadUsers.

4.5.1 Ambiente doméstico – “casa tipo I”

O cenário consiste apenas numa casa, com SmartNodes e LoadNodes, não existindo quaisquer elementos de produção e DumbNodes. A designação de “tipo I” será utilizada mais à frente no capítulo 5. Segue-se uma figura com a arquitectura implementada:

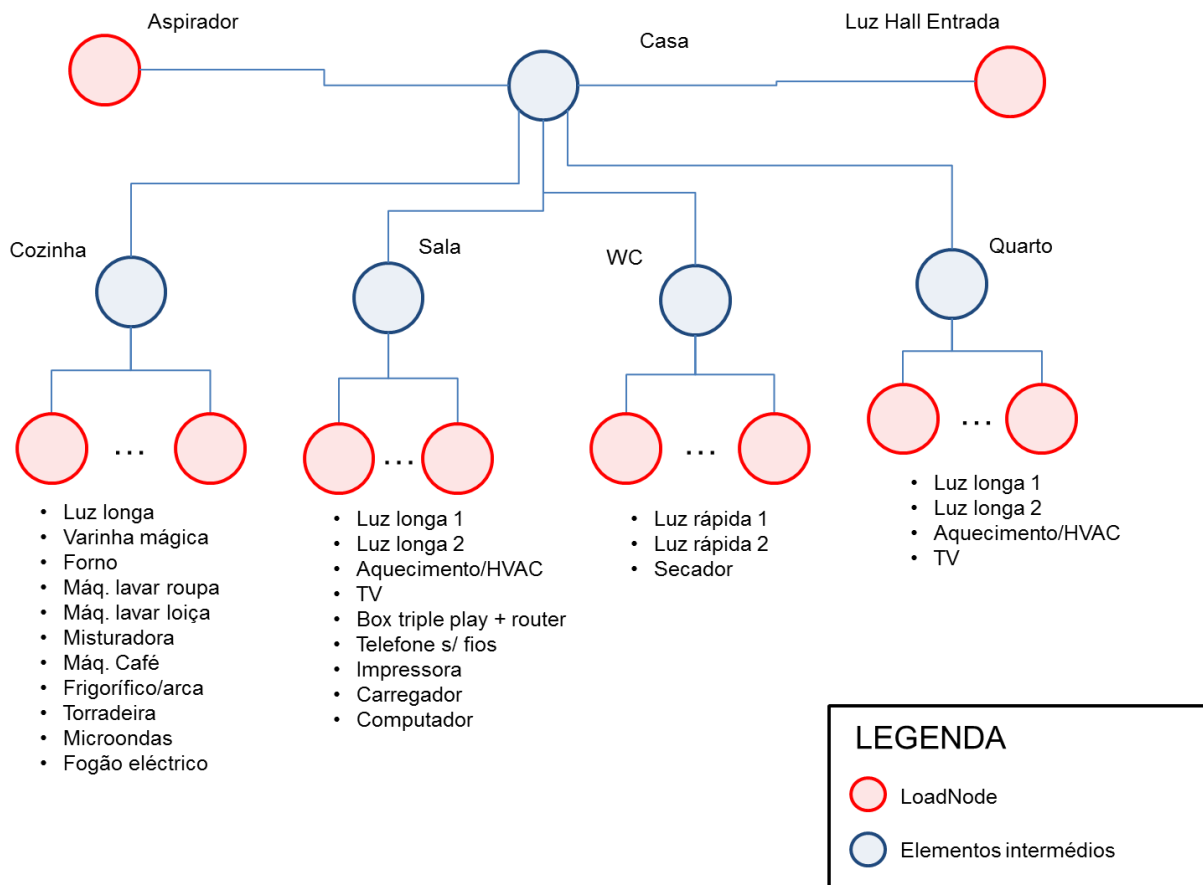


Figura 16 – arquitectura do cenário: ambiente doméstico

Como podemos observar, este cenário possui 5 nós inteligentes, que pretendem no seu conjunto representar um ambiente doméstico. O nó raiz da árvore está representado na figura com a designação “Casa”. Cada uma das divisões possui uma quantidade relevante de cargas, de modo a reflectir um típico ambiente doméstico de um potencial consumidor. No total existem 29 cargas ou LoadNodes, das quais 8 correspondem a cópias de outras.

Para este cenário foram identificadas e configuradas 21 cargas que se podem encontrar tipicamente num ambiente doméstico. A escolha das cargas e a sua distribuição pela casa pretendem reflectir um ambiente doméstico que é comum a vários utilizadores, pelo que existem muitas cargas acessórias que poderiam ter sido incluídas, mas que para efeitos de demonstração deste ambiente doméstico não o foram.

Foi criada uma tabela que serviu de base para a configuração dos vários perfis das cargas [ver Anexo A]. Esta tabela levou em consideração que um consumidor comum terá um trabalho fixo durante os dias de semana e que por esse motivo sairá de casa por volta das 8h-9h e regressará por volta das 18h-19h. Por este motivo, os perfis das cargas foram ajustados para que a sua utilização seja mais predominante durante o início e final de dia, nomeadamente antes das 8h e depois das 19h.

Ao fim de semana considera-se que o consumidor passará mais tempo em casa, do que durante a semana, pelo que os perfis foram ajustados para incluírem essa mesma liberdade. Aqui espera-se um consumo mais homogéneo ao longo do dia, com predominância durante as horas de refeição.

No Anexo A os valores de “desvio” correspondem ao intervalo máximo permitido face à utilização e reutilização de uma carga. Por outras palavras, e tomando como exemplo o perfil da “misturadora”, esta terá um consumo entre 20 a 40 minutos e será reutilizada a cada 5 a 9 dias. Os perfis foram construídos com base na utilização expectável e comum para cada um destes equipamentos, não tendo por base nenhum estudo ou referência de outro autor. Por este motivo, existe margem para que possam ser melhorados e aprofundados, embora esta análise esteja fora do âmbito desta dissertação. A construção de um perfil de utilização, tão próximo da realidade do consumidor quanto possível, permite um melhor enquadramento da simulação com os verdadeiros hábitos de consumo, reflectindo-se numa simulação com dados mais próximos da realidade.

Os valores de consumo apresentados na tabela referem-se a médias e têm por base uma recolha dos consumos dos equipamentos em casa e uma pesquisa sumária de electrodomésticos em revendedores. A título de exemplo, uma máquina de café possui um valor de consumo máximo muito acima dos 600W, embora esta se desligue logo após ter aquecido a água. Por este motivo, considera-se que em média esta terá um consumo a rondar os 600W durante a sua utilização. Já uma torradeira considera-se que tem sempre o mesmo consumo e, por esse motivo, possui um consumo de 1200 W [ver Anexo A], visto que enquanto está ligada encontra-se sempre a produzir calor. Alguns dos valores recolhidos referem-se a informação encontrada na dissertação de Diogo Salta [43], cujo trabalho inclui a certa altura uma análise sobre os consumos em algumas cargas durante o seu funcionamento, tais como máquinas de lavar roupa e loiça.

4.5.2 Dados

Realizou-se uma simulação com 10 dias e recolheram-se dados de consumo referentes apenas a alguns dias para demonstração. As cargas foram configuradas com perfis tomando em consideração que um consumidor sairá de casa por volta das 8h/9h e regressará pelas 18h/19h.

Em seguida apresentam-se dois gráficos correspondentes ao consumo na casa, o primeiro referente a três dias da semana e o segundo referente a dois dias do fim-de-semana. Tanto a simulação como a configuração da tabela no Anexo A foram realizados para um ambiente doméstico com uma família entre 2 a 4 elementos.

De notar que o eixo do consumo apresenta valores negativos pois refere-se ao fluxo no nó raiz. A coluna mais à direita reflecte a hora do consumo, onde a linha a vermelho separa o final de um dia para o início do outro. Na próxima subsecção serão discutidos os resultados e conclusões a tirar da simulação do consumo neste ambiente doméstico.

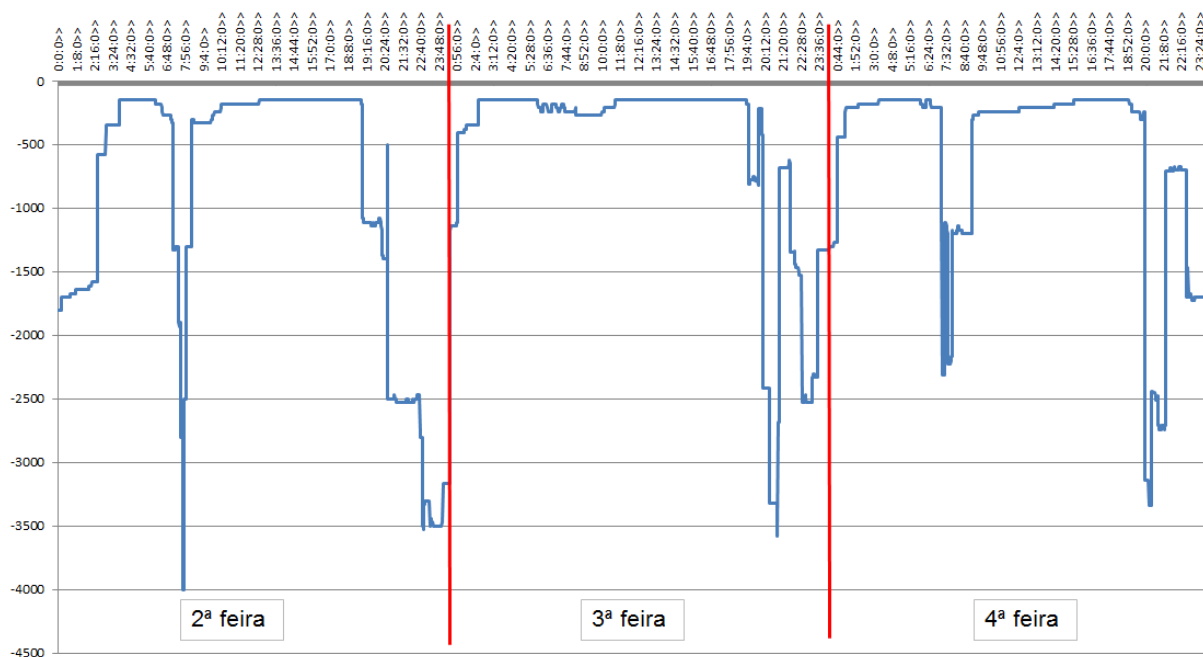


Figura 17 - Consumo no ambiente doméstico durante a semana

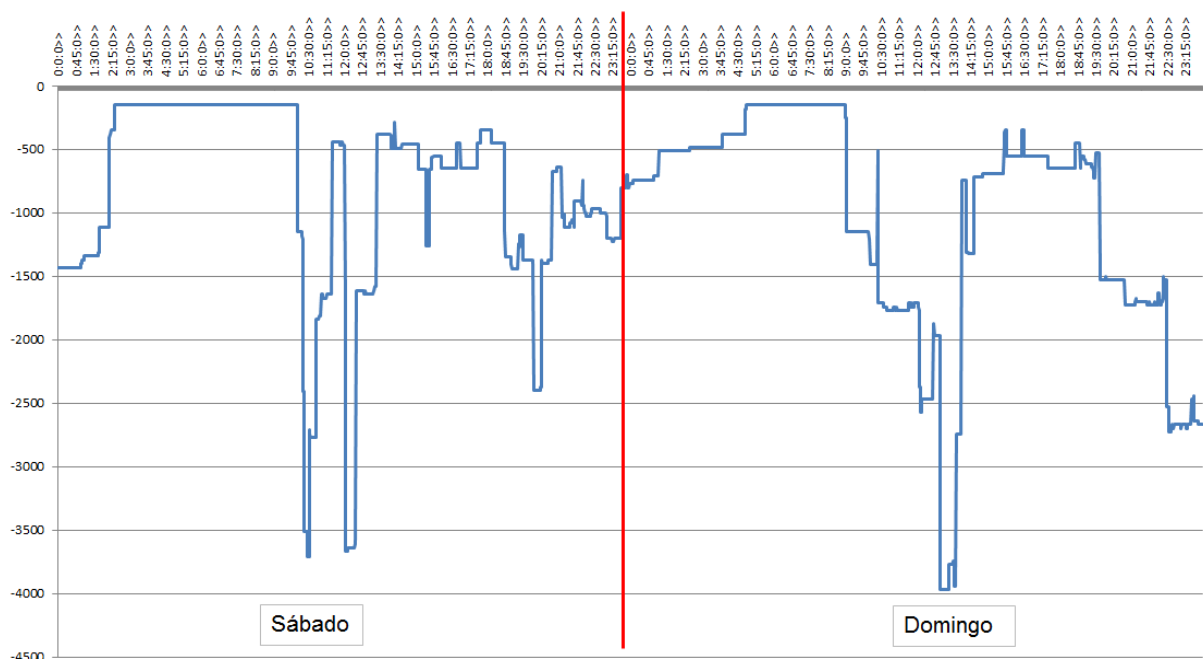


Figura 18 - Consumo no ambiente doméstico durante o fim-de-semana

4.5.3 Discussão dos resultados

Em primeiro lugar, em ambos os gráficos é possível constatar que existe sempre um consumo mínimo, independentemente da hora do dia. Este refere-se à existência de equipamentos em standby e do consumo do frigorífico e deverá ser da ordem dos 150 W. Todas as referências a consumidor durante este capítulo traduzem-se na realidade num grupo de pessoas que interage com um conjunto de cargas

no ambiente doméstico. Por simplificação o “consumidor” refere-se na realidade a uma entidade que representa uma família com 2 a 4 pessoas.

Dias da semana

No gráfico correspondente aos três dias de semana, observa-se um aumento no consumo entre as 6h30 e as 8h30, correspondente à hora em que os utilizadores naquele ambiente doméstico se levantam e preparam o pequeno-almoço. Este consumo não é sempre constante, podendo-se inclusivamente observar que na 3ª feira, e durante o período referido, não se detecta um aumento considerável no consumo.

Este comportamento é normal e é causado pela variabilidade nos comportamentos humanos que foi implementada no simulador de forma a reflectir melhor o comportamento real de um consumidor. Em termos práticos, isto traduz-se que naquela manhã apenas se utilizaram algumas luzes na casa, registando aquela ligeiro aumento no consumo, sem que fossem utilizados electrodomésticos de alto consumo, tais como a máquina de café ou a torradeira.

Durante o dia e entre as 9h e as 18h, normalmente regista-se um consumo residual no ambiente doméstico. A partir das 18h volta-se a registar um aumento no consumo provocado pelo regresso a casa do consumidor e principalmente enquanto se prepara o jantar. Depois de jantar existe sempre um consumo alto referente à utilização de equipamentos como a televisão, computador, o aquecimento da casa, entre outros e até à hora em que o consumidor se deita.

Ao longo do dia chegam a ser registados valores de consumo tão altos como 4kW e 5kW, pelo que se enquadra com a realidade das casas portuguesas [15]. Os comportamentos e valores de consumo estão enquadrados com o perfil que seria de esperar encontrar num ambiente doméstico comum.

Fim-de-semana

No gráfico correspondente aos dois dias do fim-de-semana, observam-se bastantes diferenças nos hábitos de consumo. Em primeiro lugar toma-se nota de que existem mais picos de consumo do que durante a semana e que estes ocorrem em períodos horários diferentes, com especial reforço durante as horas de refeição. Em segundo lugar existe uma distribuição do consumo ao longo do dia, em vez de se focar apenas durante períodos específicos tanto de manhã como à noite, traduzido pela presença do consumidor em casa ao longo do dia. De forma análoga aos dias de semana, também ao fim de semana se verificam os picos de maior consumo devido à confecção de refeições.

Os comportamentos aqui registados concordam com o que seria de esperar de um consumidor que passe o fim-de-semana em casa e que por esse motivo consuma mais, através da utilização, por exemplo, de um aspirador, máquina de lavar roupa, uma maior utilização da televisão e do computador.

Conclusões

Com esta simulação de pequena dimensão pretende-se demonstrar o potencial, a flexibilidade e parametrização que são permitidos ao nível deste simulador. Através dos gráficos anteriores foi-nos possível ficar com um pequeno exemplo das possibilidades oferecidas pela plataforma e da sua capacidade em simular um ambiente doméstico.

Tomando especial atenção à especificação dos perfis para a utilização das cargas, facilmente se consegue estabelecer uma casa “tipo” que sirva de base a uma simulação de grande dimensão.

No capítulo 5, o objectivo será tomar partido desta casa “tipo” e construir outros perfis semelhantes, como por exemplo um perfil para um ambiente empresarial. O estabelecimento destes ambientes base irá permitir que estes sejam copiados em vários ambientes domésticos e empresariais, agregados de forma a formar bairros e cidades. Por outras palavras, tomando esta casa “tipo” como base é possível clonar a mesma em várias centenas de casas e formar um pequeno bairro ou cidade.

No próximo capítulo serão realizadas simulações com redes de grande dimensão que incluirão todos os tipos de nós, especialmente os nós de produção que agora não foram incluídos. Nestas mesmas redes de simulação, os planos de poupança estarão activos e será feita uma comparação em detalhe sobre o comportamento e consumo da rede com e sem estes mesmos planos.

5 Simulação e Discussão de Resultados

Na secção 4.5 foi realizada uma simulação para demonstrar o funcionamento do simulador, tendo por base um ambiente doméstico, as respectivas cargas, consumos e perfis de utilização associados. Esta demonstração teve o intuito de estabelecer uma base de confiança no comportamento do simulador e de apresentar um exemplo de definição de um ambiente doméstico típico.

Para ilustrar todas as potencialidades do simulador, pretende-se criar uma rede com uma dimensão significativa e que permita ilustrar a diferença entre a utilização ou não de planos de poupança. A simulação a ser construída deverá também considerar outros ambientes para além do doméstico.

Assim sendo neste capítulo pretende-se:

- Identificar e caracterizar diversos ambientes que servirão de base às simulações
- Identificar e configurar a rede a simular
- Realizar a simulação com e sem planos de poupança
- Analisar os resultados obtidos

5.1 Ambientes de simulação

No final do capítulo 4, realizou-se a caracterização de um ambiente doméstico, através da definição de um conjunto comum de cargas e respectiva utilização típica esperada. De imediato se pode detectar que um ambiente doméstico apenas reflecte o consumo parcial da rede como um todo, importando identificar e caracterizar outros ambientes.

No âmbito desta dissertação identificaram-se três ambientes adicionais:

- **Ambiente empresarial**
 - Exemplo: um escritório com vários computadores, iluminação, HVAC, impressoras, entre outros.
- **Ambiente fabril**
 - Exemplo: uma fábrica de metalúrgica.
- **Ambiente público**
 - Exemplo: sistema de iluminação pública, semáforos.

No âmbito desta dissertação e desta simulação, estes três ambientes, em conjunto com o ambiente doméstico, serão mais representativos do consumo e respectivo perfil na rede de energia eléctrica.

5.1.1 Ambiente empresarial

O ambiente empresarial foi definido para representar um escritório com cerca de 20 pessoas [definido em maior detalhe no Anexo B], reflectindo um espaço utilizado entre as 9h e as 18h aproximadamente, e em que é feito um uso intensivo de computadores. Os perfis de utilização e consumos aqui apresentados têm por base opiniões de alguns autores e uma consulta sumária de equipamentos tipicamente encontrados nestes ambientes [44] [45] [46] [47].

De notar que alguns dos consumos apresentados têm por base uma média expectável do seu consumo e não o consumo total. A título de exemplo, a impressora que foi criada assume que se encontrará ligada durante todos os dias da semana e que em média terá um consumo a rondar os 100W. Para chegar a este valor, e utilizando como referência uma impressora Xerox [47], calculou-se o consumo com base numa utilização média de 25% do tempo total durante o qual está ligada. Durante a sua utilização o consumo é da ordem dos 250W e durante os tempos de inactividade o seu consumo é de 50W. Ao longo de um dia a impressora terá então um consumo expectável de $25\% \times 250W + 75\% \times 50W = 100W$.

Foi criada uma carga “Standby” que se refere aos equipamentos que são deixados em standby numa empresa, como por exemplo computadores e monitores, daí o cálculo ser feito com base nos 20 computadores e monitores para este ambiente. Também será de notar que não são incluídos cálculos relacionados com computadores que fiquem ligados 24/7, pelo que qualquer aproximação incorrecta na carga de Standby também estará a reflectir um ou dois computadores que fiquem ligados 24/7. Esta carga pretende apenas ser representativa de que existirá sempre um consumo de base, ainda que o espaço não se encontre a ser utilizado por colaboradores. Este consumo também é apresentado no ambiente doméstico através de alguns equipamentos que estão sempre ligados, tais como o frigorífico, a box e router do pacote *tripleplay*.

5.1.2 Ambiente fabril

O ambiente fabril será representado por um DumbNode com um consumo ligeiramente variável, que possui três turnos de trabalho e está desligado ao fim de semana. O primeiro turno é entre as 0h e as 8h, o segundo entre as 8h e as 16h e o terceiro entre as 16h e as 0h. Os consumos e uma descrição mais detalhada desta fábrica encontram-se na secção 5.2.

5.1.3 Ambiente público

Quanto ao ambiente público propõe-se a representação do sistema de iluminação público e o sistema de semáforos usando DumbNodes. Ambos serão representativos de uma pequena freguesia, encontrando-se activos todos os dias e com um consumo fixo. O sistema de iluminação apenas estará activo entre as 0h-7h e as 19h-00h [48], ao passo que o sistema de semáforos estará ligado sempre.

Relativamente ao sistema de iluminação público, este terá em conta o dimensionamento numa notícia referente a uma freguesia a norte no país [49] que dava conta de cerca de 10.000 candeeiros. Quanto ao sistema de semáforos, um artigo no Correio da Manhã dava conta de cerca de 10.000 semáforos em funcionamento no concelho de Lisboa, cada um com um consumo estimado de 100W e uma utilização 24/7 [50].

5.2 Cenário para simulação: Freguesia ABC

Na freguesia “ABC” residem e trabalham 2000 habitantes, encontrando-se distribuídos por pequenos bairros com casas e empresas. Cada bairro é constituído por um conjunto diferenciado de habitações, empresas e um gerador eólico local, das quais algumas habitações possuem uma instalação de painéis fotovoltaicos. Alguns destes ambientes domésticos representarão o típico consumidor que se encontra a trabalhar entre as 9h e as 19h, enquanto uma fracção menor representará a camada da população não activa e que poderá estar em casa durante esse mesmo período.

Cada bairro pretende ser representativo de uma Microgrid e cada casa ou empresa são representativos de um Edifício Inteligente. Além dos painéis fotovoltaicos de cada consumidor e dos geradores eólicos locais em cada bairro, a freguesia “ABC” é servida por uma unidade geradora de grande potência a gás, com capacidade para sozinha cobrir cerca de 95% do consumo máximo da freguesia.

A freguesia “ABC” possui um sistema de semáforos e de iluminação públicos que são contemplados nos gastos energéticos desta, e ainda uma fábrica metalúrgica.

De seguida sumariza-se a especificação de cada componente para o cenário da freguesia “ABC” [de acordo com o Anexo F]:

- **População:** 2000 habitantes;
- **Número de habitações:** 500 (4 pessoas / habitação);
- **Número de empresas:** 100 (20 pessoas / empresa);
- **Consumo máximo por habitação:** 4500 W;
- Habitações e empresas organizadas por **25 bairros**, cada um constituído por:
 - **12** casas do **tipo I** [de acordo com o Anexo A e definido na secção [4.5], sem painéis fotovoltaicos;
 - **6** casas do **tipo I**, com painéis fotovoltaicos [cuja produção se encontra no Anexo C] com uma produção máxima de 4 kW;
 - **2** casas do **tipo II** [cuja descrição se encontra no Anexo D], sem painéis fotovoltaicos;
 - **4** empresas, sem painéis fotovoltaicos;
 - **1** gerador eólico [cuja descrição se encontra no Anexo E], com uma produção máxima de 50 kW.
- **Iluminação pública**, 200 candeeiros (1 candeeiro por cada 10 habitantes), com um consumo unitário de 250 W [49] [50] [cujo consumo se encontra no Anexo H];

- **Semáforos:** 40 semáforos (1 semáforo por cada 50 habitantes), com um consumo unitário de 100 W [cujo consumo se encontra no Anexo I];
- **Fábrica metalúrgica,** com três turnos de trabalho e um consumo máximo de 400 kW [cuja descrição se encontra no Anexo G]:
 - 1º turno: entre as 0h e as 8h;
 - 2º turno: entre as 8h e as 16h;
 - 3º turno: entre as 16h e as 24h.
 - Não trabalha durante os fins-de-semana.

De acordo com os cálculos para este cenário [referidos em maior detalhe no Anexo F], espera-se um consumo máximo da ordem dos 3,154 MW para a freguesia ABC. Para cada bairro é esperado um consumo máximo da ordem dos 112,5 kW, onde cada um possui um gerador eólico para compensar cerca de metade deste valor [tal como descrito no Anexo E]. Do universo de casas e empresas, 6 em cada 20 casas terão painéis fotovoltaicos, que contribuirão para compensar a procura energética.

Para além destes painéis e do gerador eólico, será ainda adicionada uma unidade de produção de energia com uma capacidade instalada de 3 MW. Esta unidade será controlada pelos nós inteligentes (ao contrário dos painéis fotovoltaicos e geradores eólicos) e pretende reflectir o comportamento de uma central de produção de energia a combustíveis fósseis ou uma barragem, por exemplo. De notar que se pretende ilustrar o comportamento de uma unidade com uma produção controlada, pelo que os 3 MW não são representativos de nenhuma barragem ou central de ciclo combinada reconhecida. Esta unidade, em linha com os geradores eólicos e painéis fotovoltaicos, deverá ser mais do que suficiente para cobrir as necessidades energéticas adicionais dos consumidores, não cobertas pelas fontes de energia renovável.

5.3 Simulação e Resultados

5.3.1 Planos de poupança

Na simulação da freguesia ABC serão testados e comparados os resultados entre duas simulações, a primeira sem planos de poupança e a segunda com planos de poupança

Quanto aos planos de poupança a longo prazo, será utilizado um cenário um pouco exagerado no qual um plano possa ser activado a qualquer momento, tanto em casas como empresas, ou seja, sem que exista qualquer limitação horária quanto à activação de um plano. De igual forma, todos os LoadUsers utilizados neste cenário obedecerão aos planos de poupança e não ultrapassarão os limites estabelecidos, ou seja, a probabilidade de terem um comportamento errado é nula. O objectivo deste cenário é permitir a visualização do impacto máximo no padrão de consumo conseguido com a introdução destas mesmas políticas de poupança, ao serem utilizadas sem quaisquer limites, em qualquer altura e qualquer contexto.

O contexto macroeconómico e outros factores externos trouxeram para os dias de hoje uma forte sensibilização junto dos consumidores relativamente aos custos com o consumo de energia. Realisticamente, um consumidor nos dias de hoje apenas consome quando efectivamente tem de o fazer. Um consumidor no seu meio doméstico não liga electrodomésticos ou luzes apenas por ligar, tal como um utilizador no seu meio profissional não pode a meio do dia perder o acesso às luzes ou ao aquecimento a meio de uma reunião importante. Estes e outros exemplos são a razão pela qual os planos de poupança a curto prazo não serão utilizados neste cenário da freguesia ABC, visto terem um impacto demasiado restritivo e pouco realista no contexto do consumidor.

5.3.2 Simulação

Com o intuito de se estabelecer uma base no comportamento da SmartGrid e dos Edifícios inteligentes, realizou-se uma primeira simulação sem qualquer tipo de plano de poupança activo e posteriormente realizou-se então a simulação com os planos de poupança activos:

- **Simulação sem Planos:** A simulação da freguesia ABC foi realizada primeiro com todos os nós e numa segunda fase sem qualquer tipo de elementos de produção, com o intuito de identificar o comportamento dos consumidores e o padrão de consumo obtido.
- **Simulação com Planos:** Em segundo lugar realizou-se uma simulação da freguesia ABC com planos de poupança activos, primeiro com todos os nós de produção e numa segunda fase sem quaisquer elementos de produção, focando assim o impacto nos hábitos de consumo.

Em ambas as simulações serão apresentados resultados para dois bairros distintos (designados por “bairro1” e “bairro2”) e para o nó “root”. A observação dos hábitos de consumo em cada bairro permite identificar cada um destes como uma entidade independente, que embora possuam um padrão de consumo e de produção bem definidos, durante a simulação apresentam um comportamento diferente do seu vizinho. A observação do nó “root” permite obter o gráfico do fluxo total (produção+consumo) na simulação realizada, ou seja, refere-se ao fluxo total de energia na freguesia ABC.

Os gráficos referentes à simulação com elementos de produção não são conclusivos e são aliás bastante mais complexos de analisar, em termos de hábitos de consumo e eventos. Por estes motivos, de seguida serão apenas apresentados os gráficos do “bairro1”, “bairro2” e nó “root” referentes às simulações sem quaisquer elementos de produção. Todos os gráficos obtidos durante esta simulação encontram-se nos Anexos J, K, L e M. Todos os gráficos que se apresentam em seguida referem-se ao valor de consumo apenas (fluxo negativo), visto não existirem quaisquer elementos de produção.

5.3.3 Freguesia ABC sem planos de poupança e sem nós de produção

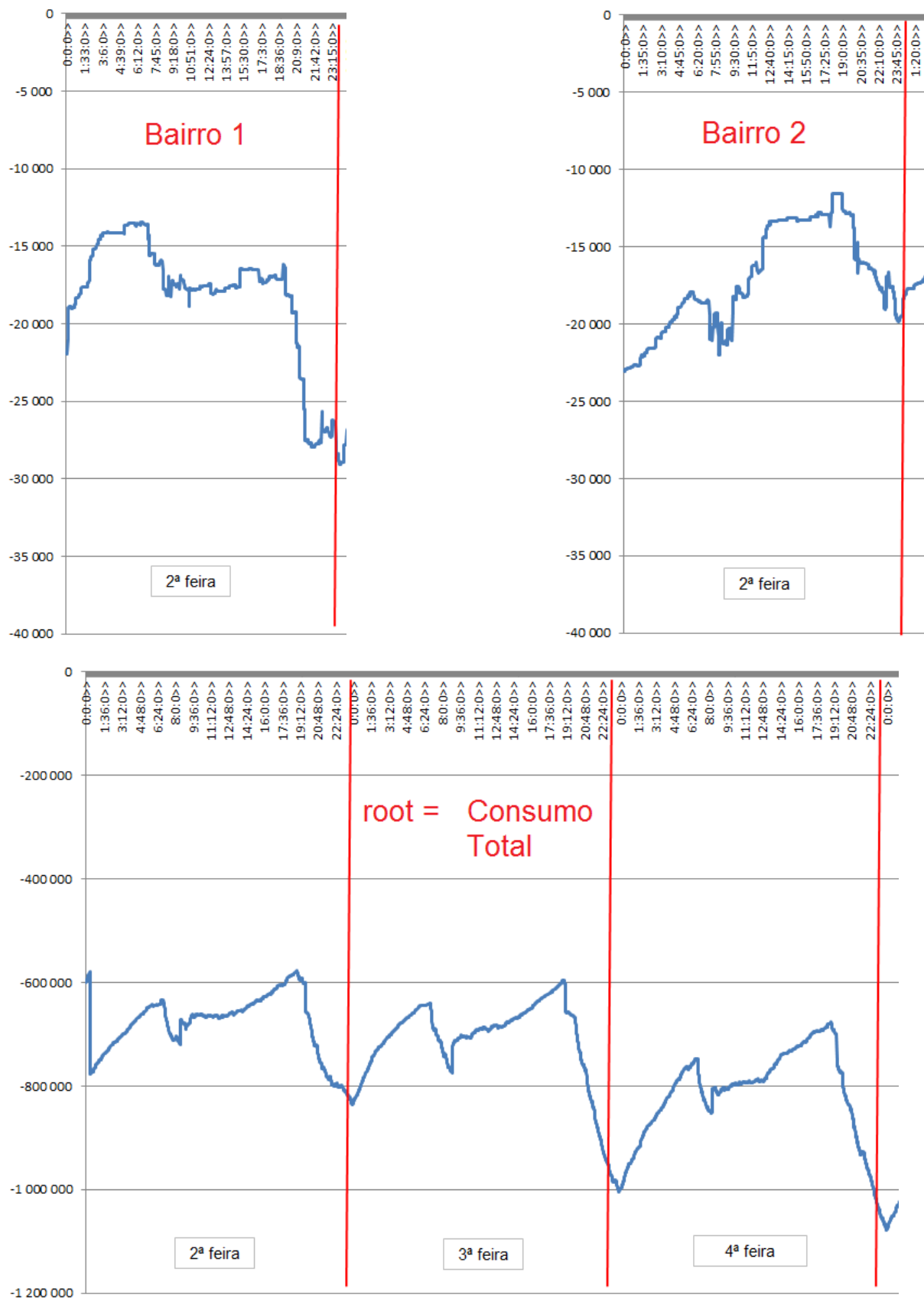


Figura 19 – bairro1, bairro2 e root: Simulação sem planos de poupança & sem produção

5.3.4 Freguesia ABC com planos de poupança e sem nós de produção

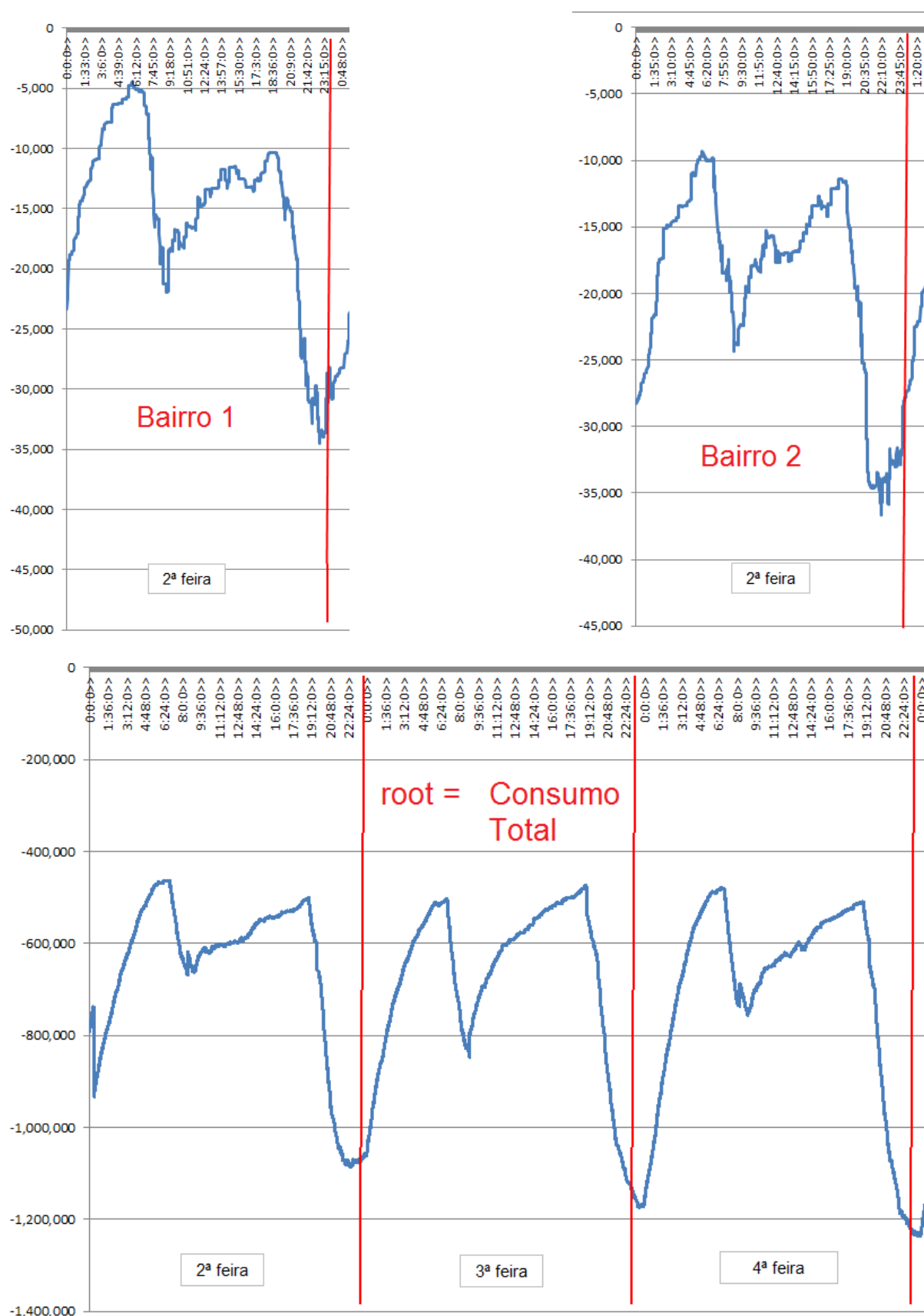


Figura 20 - bairro1, bairro2 e root: Simulação com planos de poupança & sem produção

5.4 Discussão de resultados

Nos Anexos J, K, L e M encontram-se todos os resultados que foram obtidos durante a simulação da freguesia ABC, com e sem planos de poupança, com e sem nós de produção. Para efeitos de discussão de resultados apenas serão considerados os que foram apresentados na secção anterior.

5.4.1 Bairro1, Bairro2 e root sem planos de poupança

Os gráficos referentes à simulação sem planos de poupança mapeiam largamente os hábitos de consumo das casas e das empresas que servem de base aos bairros e à freguesia.

Tomando como exemplo o Bairro1 e Bairro2, estes apresentam um aumento no consumo a partir das 7h até às 9h, correspondente ao período em que os consumidores estão em casa a fazer o pequeno-almoço. De seguida este consumo mantém-se estável, reduzindo ligeiramente, devido ao facto dos consumidores estarem a abandonar a sua habitação e a entrar ao trabalho. De notar que num bairro existe um rácio de 20 casas para 4 empresas, todas com um consumo máximo da ordem dos 4-5 kW, pelo que é normal poder existir uma redução do consumo durante o período laboral. Por volta das 19h-20h as pessoas abandonam o seu local de trabalho e estão de regresso a casa, registando-se um aumento significativo do consumo (fluxo negativo) devido à hora de jantar. Em comparação, o comportamento no Bairro2 é um pouco diferente devido ao factor humano que foi introduzido durante a concepção do simulador. No entanto, é possível identificar semelhanças quando se analisa a variação de valores, com aumentos quando as pessoas se levantam de manhã, uma estabilização durante o período de trabalho, com novo aumento próximo da hora de jantar, seguida de redução quando esse período termina e as pessoas vão dormir.

Quanto ao gráfico do consumo total na freguesia ABC ("root"), observa-se um claro padrão de consumo ao longo dos três dias apresentados. Regista-se um aumento do consumo à hora do pequeno-almoço, após o qual diminui rapidamente com a saída dos consumidores para o seu dia de trabalho. Ao longo do dia este consumo é inferior ao registado durante o pico do pequeno-almoço devido ao rácio de empresas/casas. À noite, quando os consumidores regressam do seu trabalho, existe um aumento bastante considerável no consumo e que se mantém até depois da meia-noite. A razão por detrás deste consumo até exageradamente tarde poderá ter origem na configuração dos perfis que foram criados para as cargas. A título de exemplo, no perfil de uma casa existem vários electrodomésticos que podem ser ligados entre as 20h e as 23h, e que serão posteriormente utilizados durante períodos compreendidos entre uma a quatro horas. Por esta razão, o consumo total da freguesia regista uma utilização bastante tardia de algumas cargas e consequentemente um consumo bastante significativo a essas horas. De notar que neste período entram em jogo cargas com um consumo bastante significativo, tais como fornos, microondas e máquinas de lavar loiça e roupa.

Os registos abruptos no consumo (fluxos negativos) devem-se, na segunda-feira pela meia-noite, ao arranque do primeiro turno na fábrica e, na terça-feira pelas 19h, ao arranque do sistema de iluminação.

5.4.2 Bairro1, Bairro2 e root com planos de poupança

Os planos de poupança visam introduzir algum controlo no consumo por parte dos utilizadores, através da restrição passiva na utilização de cargas durante períodos em que a rede procura reduzir o consumo [como demonstrado nos exemplos do Anexo N]. De notar que os planos de poupança servem apenas para os períodos em que se regista uma necessidade de reduzir o consumo, pelo que estes estarão a ser activados quando no gráfico se está a aumentar o consumo.

Na figura seguinte sobrepuseram-se os gráficos do consumo total da freguesia ABC, encontrando-se a vermelho sem planos de poupança e a azul com planos de poupança:

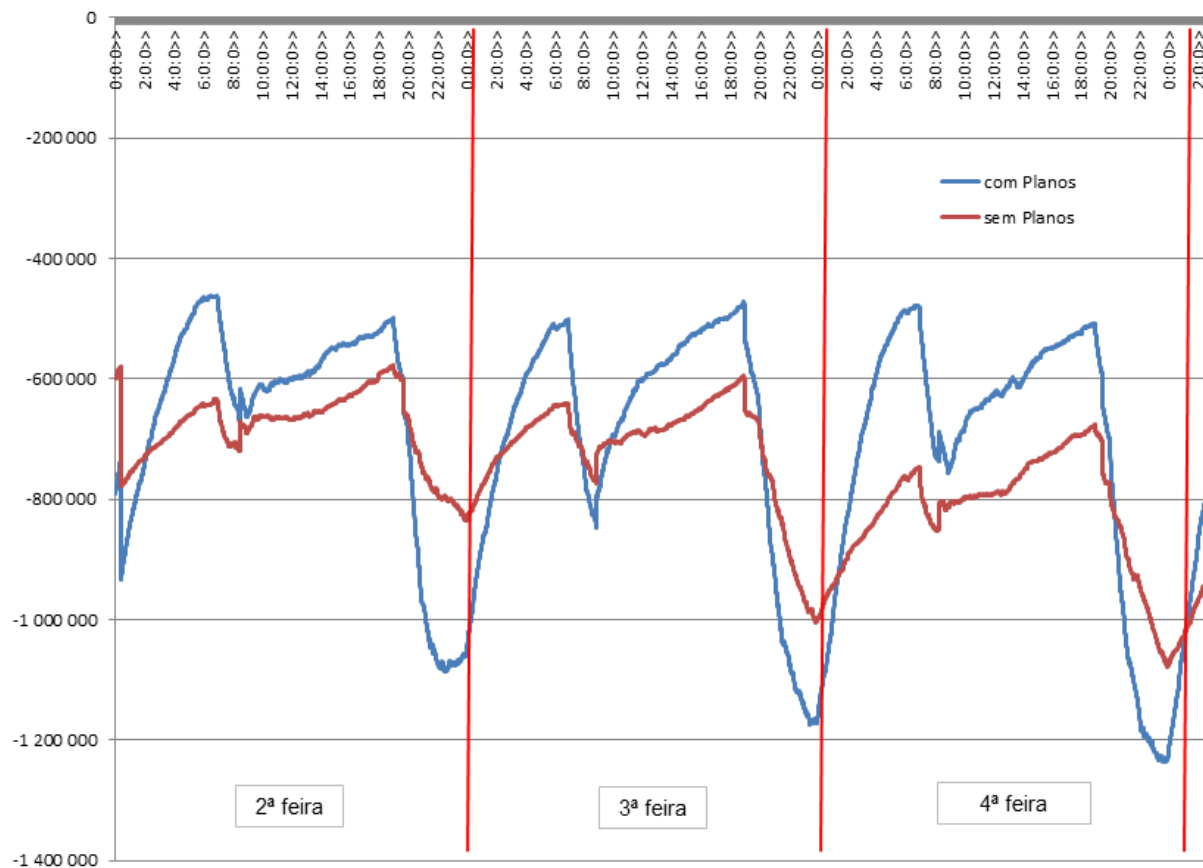


Figura 21 – Consumo total da freguesia ABC com e sem planos de poupança

Como se observa, a adição de planos de poupança na freguesia ABC alterou bastante o padrão de consumo, uniformizando o seu comportamento e tornando-o bastante mais previsível, em comparação com o mesmo gráfico sem quaisquer planos. Para além desta alteração, a adição dos planos acentuou bastante a diferença entre os máximos e mínimos de consumo ao longo do dia e da semana, muito embora se mantenha um padrão de consumo semelhante ao inicial.

A diferença acentuada, entre os valores máximos e mínimos ao longo do dia, deve-se a dois factores, sendo o primeiro responsável pela redução no consumo e o segundo responsável pelo aumento repentino no consumo até ao seu máximo.

O primeiro factor, relacionado com a redução no consumo, deve-se ao limite imposto por um plano de poupança, que irá aliciar o comportamento do consumidor para que não ligue quaisquer cargas durante esse mesmo plano, que ultrapasse o limite. Por outras palavras, durante este período o consumidor não irá ligar tantas cargas como as previstas, registando-se assim uma redução no consumo, face ao registado anteriormente.

Em relação ao segundo factor, o aumento repentino registado no gráfico deve-se ao facto de durante esse período ser esperado um consumo bastante acentuado, pelo que quaisquer planos de poupança não serão activados. Ou seja, cada plano de poupança está vinculado de acordo com um conjunto de parâmetros, um dos quais estabelece que se a diferença entre o consumo actual e o consumo previsto no futuro for demasiado grande, então o plano de poupança não é activado. Este parâmetro de segurança traduz que, nos períodos em que se encontra previsto um aumento bastante considerável no consumo (como por exemplo ao pequeno-almoço ou ao jantar), os planos de poupança não são despoletados e o consumidor tem a liberdade para utilizar as cargas como deseje. Este parâmetro tem a função de controlar a utilização dos planos de poupança a longo prazo, com o intuito de não terem um impacto demasiado restritivo no utilizador.

Enquadrado com o factor anterior, os picos de consumo registados são bastante superiores aos que se encontram na simulação sem quaisquer planos de poupança. Esta realidade é provocada pela restrição imposta pelos planos de poupança, que limitam a utilização de cargas por parte do consumidor. Assim que essa restrição é levantada, o consumidor dispõe da liberdade para utilizar as cargas que ainda não tinha utilizado até ao momento, acabando por ligar várias cargas em simultâneo e conduzir ao pico de consumo bastante acentuado que é registado, superior ao da mesma simulação sem quaisquer planos. Este efeito é menos positivo e deverá ser corrigido futuramente, por exemplo, ao repartir o consumo ao longo do tempo e reduzir os picos de consumo registados.

5.4.3 Conclusões

A introdução de planos de poupança a longo prazo permitiu alterar o comportamento padrão do consumo, tornando-o mais previsível e mais estável ao longo da semana. No entanto, e pelas razões discutidas anteriormente, a introdução destes planos acentuou largamente a diferença entre os consumos máximos e mínimos, ao reduzir o valor mínimo do consumo e aumentar o valor máximo de consumo.

As propostas defendidas por alguns autores, analisadas em maior detalhe nos primeiros capítulos, vão no sentido de se tentar reduzir a diferença entre os máximos e mínimos no consumo, com o objectivo de melhorar a eficiência nos investimentos a realizar na infra-estrutura da rede de energia eléctrica. Um dos objectivos esperados para a SmartGrid seria, entre outros, a capacidade de gestão inteligente dos picos de consumo. A aplicação dos planos de poupança a esta simulação acabou por provocar o efeito contrário, levando a padrões de consumo mais acentuados e mudanças bruscas no valor do consumo.

Em suma, os planos a longo prazo trouxeram a vantagem de terem estabilizado o padrão de consumo, tornando-o bastante mais previsível para a rede de distribuição de energia eléctrica. No entanto é de

notar que este padrão previsível deve-se em larga medida ao cenário exagerado de planos de longo prazo que foi utilizado, pelo que num cenário realista a estabilização do padrão de consumo seria muito inferior.

Por outro lado, os planos a longo prazo acentuaram bastante a diferença entre os picos de consumo máximo e mínimo e ainda as transições entre de um valores máximos e mínimos. Esta acentuação é uma clara desvantagem, pois irá obrigar a rede de distribuição a realizar ajustes muito consideráveis na produção de energia eléctrica ao longo do dia, de forma a cobrir as variações entre os valores mais altos e mais baixos de procura de energia, num curto intervalo de tempo.

Relativamente aos dias de fim-de-semana, regista-se um comportamento muito semelhante, inclusivamente ainda mais abrupto. Durante o fim-de-semana os consumidores foram configurados para se encontrarem em casa, pelo que irão realizar consumos significativos à hora de almoço e à hora de jantar, devido à confecção de refeições. Ora o cenário abrupto entre um máximo e um mínimo ainda é mais visível ao fim-de-semana, com diferenças ainda acentuadas entre mínimos e máximos. As justificações concedidas para o cenário durante a semana são igualmente válidas para a simulação durante o fim-de-semana, registando-se variações acentuadas à hora de almoço e de jantar. Nas conclusões, os resultados serão analisados e serão propostos possíveis melhoramentos para ultrapassar os problemas identificados.

6 Conclusões

A rede de energia eléctrica enfrenta hoje pressões e desafios significativos para que sejam encontradas formas de melhorar a eficiência da gestão energética dos recursos utilizados. Embora existam indicações no sentido de implementar inteligência e renovar a rede actual, os passos dados por algumas entidades são tímidos e pouco representativos de uma direcção, demonstrando que este tema ainda não tem uma aceitação ampla quanto ao rumo a ser tomado.

Por outro lado, o ambiente do consumidor final também enfrenta desafios no sentido de evoluir e adquirir algumas características que o aproximem de um ambiente inteligente. Dos autores e contextos analisados, não se encontrou uma reflexão crítica sobre uma possível integração destas duas áreas ou da necessidade em encontrar soluções conjuntamente. As propostas dos autores vão no sentido de solucionar um conjunto de problemas para um dado contexto, sem se considerar a hipótese de interligação com contextos vizinhos. Este facto foi considerado uma desvantagem, pelo que nesta dissertação se optou por seguir uma abordagem que começou primeiro por explorar ambas as áreas em separado e depois apresentou uma solução conjunta para os desafios e problemas, considerando a integração entre uma possível SmartGrid e um possível Edifício Inteligente.

No decurso desta dissertação, foi seguida uma abordagem cujo foco era a interacção entre SmartGrids e consumidores. Para este efeito, foi construída uma arquitectura hierárquica, escalável e adequada que permitiu abstrair os detalhes e simular desde ambientes simples a ambientes complexos. Este modelo de informação foi integrado com sucesso no contexto da gestão energética em SmartGrids e Edifícios Inteligentes, permitiu interligar estas duas áreas de forma transparente e possibilita que sejam descritas redes, cargas, ambientes diversificados, preferências e restrições do consumidor.

Para implementar e testar esta arquitectura foi desenvolvida uma ferramenta de simulação, para a qual foram criados e testados dois cenários de simulação: primeiro um ambiente mais simples, representativo de um ambiente doméstico; e em segundo lugar uma simulação de escala e complexidade superiores, que se propôs a simular o comportamento de uma pequena freguesia. A ferramenta de simulação permite guardar os dados referentes ao cenário construído (cargas, pontos de rede, casas, utilizadores), as preferências do consumidor, as configurações de simulação, parâmetros das políticas de poupança, entre outros utilizando o formato XML. Após a execução de uma simulação, a ferramenta gera ficheiros com dados no formato CSV referentes à simulação, que podem ser facilmente transformados em gráficos numa uma folha de cálculo.

As políticas de poupança apresentadas realizam a ponte entre uma futura rede inteligente e uma futura casa inteligente, diferenciando-se em duas propostas para dois contextos diferentes. Estas políticas foram implementadas com base na opinião de vários autores e com o intuito de reduzir a diferença entre o máximo e mínimo registado ao longo de um dia, algo que ficou aquém do esperado como observado nos resultados obtidos.

Um dos objectivos iniciais era permitir à rede a possibilidade de controlar e bloquear as cargas remotamente, algo que foi concretizado com sucesso através da implementação de planos de poupança a curto prazo. Por outro lado, é fundamental ter-se em consideração que o consumidor se encontra em controlo e que estes mecanismos de redução do consumo não se sobrepõem a este, pelo que os planos a curto prazo têm uma aplicabilidade demasiado restritiva e invasiva no espaço do consumidor e não foram considerados em sede de simulação. Embora exista a necessidade de restringir o consumo durante horas de pico, em boa verdade um consumidor, nos dias de hoje, tem um cuidado redobrado com todos os gastos que realiza. Não é realista dizer que um ambiente doméstico ou empresarial está preparado para receber um plano deste género, que permita bloquear por completo o acesso a um dado elemento de consumo. Futuramente, poderão ser exploradas situações em que ao invés de se bloquear por completo uma carga, se realize uma redução no seu consumo, como por exemplo os casos da iluminação e climatização.

Conclui-se que a ideia referente a um maior controlo, por parte da rede de energia, sobre as cargas e que é defendido por alguns autores, poderá não ter a aplicação prática nos ambientes domésticos e empresariais que se esperava. No entanto, poderão existir ambientes de outra natureza, ou até mesmo outras considerações e cargas nos ambientes simulados, onde possa fazer sentido conceder este tipo de controlo à rede, ainda que não tenham sido abordados no decorrer desta dissertação. A título de exemplo, poderá fazer sentido configurar este tipo de controlo para um sistema de iluminação de um concelho, permitindo à rede fazer o bloqueio selectivo de alguns candeeiros durante a noite.

Por outro lado, um dos objectivos para esta dissertação era implementar mecanismos que desencorajassem o consumo do utilizador durante alturas de necessidade de redução do consumo energético e ainda reforçar o acesso a informação por parte deste. Ambos os objectivos foram concretizados com sucesso através da implementação de planos de poupança a longo prazo, que se enquadram com uma perspectiva mais próxima do consumidor, ou seja, da gestão energética do ambiente doméstico inteligente. Ao contrário dos planos a curto prazo, estes têm aplicabilidade em ambientes domésticos e empresariais, possibilitando um controlo menos intrusivo, e menos bloqueador que os planos a curto prazo. De acordo com a simulação realizada no capítulo 5, estes planos apresentaram um comportamento contrário ao que se pretendia com esta dissertação, que era reduzir a diferença entre os máximos e mínimos ao longo de um dia. De notar que a utilização destes planos não obriga o consumidor final a reduzir de imediato o consumo, embora este seja incentivado a não ultrapassar o limite estabelecido no início deste.

A redução do mínimo do consumo, quando comparado com uma simulação sem planos de poupança, deve-se à limitação que é imposta por estes. Durante os períodos em que se encontram activos e que não se espera qualquer consumo, existe um esforço por parte dos consumidores para reduzir o consumo actual, pelo que se irá registar uma redução no consumo mínimo. Relativamente ao aumento do pico no consumo máximo, este aumento deve-se ao facto de um consumidor possuir uma rotina diária, mais ou menos constante, na utilização de equipamentos na sua casa e no seu trabalho. Limitar a utilização de cargas durante um período de tempo não é suficiente e não irá impedir que estas cargas

não sejam utilizadas posteriormente, como aliás aconteceu e levou a um aumento do pico máximo de consumo.

O que se concluiu com a simulação no capítulo 5 é que existem períodos durante o dia durante os quais, independentemente de existir um plano ou não em vigor, o consumidor tem necessidade de utilizar obrigatoriamente um conjunto de equipamentos, nomeadamente à noite ou em horários de confecção de alimentos (tal como por exemplo o microondas, o forno/fogão, a televisão, o computador). Os planos de poupança a longo prazo introduziram uma limitação no consumo, ou seja na utilização de equipamentos, que se traduziu num efeito de sincronização de utilização e do consumo, ou seja, uma vez levantada a restrição no consumo todos os consumidores abrangidos puderam de imediato utilizar as suas cargas. Além das cargas que seriam normalmente utilizadas no período em que a restrição foi levantada, regista-se ainda que aquelas que não tinham sido utilizadas, fruto da restrição, têm agora a possibilidade de ser utilizadas. A soma de ambos leva a um aumento no pico de consumo, face à mesma simulação sem quaisquer planos de poupança.

Este comportamento, contrariamente ao que se pretendia com este trabalho, deve-se à componente humana implementada no simulador e ao facto de uma restrição temporária no consumo apenas adiar a utilização de um dado conjunto de equipamentos. Se não se tivessem considerado em simultâneo as áreas de SmartGrids e Edifícios Inteligentes, não teria sido possível detectar este comportamento típico social e humano. Concluiu-se assim que este tipo de planos a longo prazo, não invasivos e não bloqueadores de cargas, deverão ser melhorados antes de uma implementação prática, visto que no formato apresentado apenas agravariam as diferenças entre máximos e mínimos e poderiam não trazer nenhum benefício para a rede de distribuição de energia. Em trabalho futuro poderão ser abordados outro tipo de processos que permitam ter um controlo mais granular sobre a utilização de planos de poupança, procurando evitar este tipo de fenómenos de sincronização no consumo.

Este trabalho permitiu aproximar duas áreas que até então não tinham sido consideradas em simultâneo. A arquitectura e conceitos utilizados mostraram ser representativos das características tanto de uma rede inteligente como de casas e edifícios inteligentes e delinear um caminho para a aproximação destes dois contextos. Os desafios e soluções encontradas em conjunto permitiram validar os mecanismos de controlo de consumo aqui desenvolvidos e implementados. Ambos os mecanismos de controlo de consumo implementados não possuem uma aplicabilidade prática imediata, pelo que importa reforçar a investigação e procurar soluções alternativas para um problema mútuo.

6.1 Trabalho Futuro

A simulação da freguesia ABC refere-se apenas a uma fracção dos perfis de consumo que contribuem para o Diagrama de Consumo Total disponibilizado diariamente pela REN. Importa identificar e adicionar novos perfis e componentes de consumo, de forma a complementar e aproximar a recta obtida, com este simulador, da recta do consumo registado pela REN. Por exemplo, em trabalho futuro poderão ser considerados ambientes diferentes, tais como hospitais e centros comerciais, e melhorar o perfil de consumo de uma fábrica, tornando-o mais próximo do que se verifica na realidade.

Ao nível dos ambientes considerados para a simulação da freguesia ABC, estes foram criados com cargas e perfis de utilização que poderão estar desalinhados com a realidade. Em trabalho futuro será importante reflectir e identificar ambientes e perfis de utilização diferentes que aproximem o consumo final da realidade. Uma aproximação mais cuidada permitirá analisar em maior detalhe o impacto dos mecanismos de controlo de consumo e ajustar estes mesmos de acordo com as necessidades do consumidor. Por exemplo, o ambiente empresarial foi simplificado para ilustrar um típico escritório com cerca de 20 pessoas, que não reflectirá outros ambientes profissionais, como por exemplo a restauração, retalho, mecânicos ou cabeleireiros. Estes perfis e ambientes deverão ser revisitados e reforçados com aqueles que não tenham sido considerados neste no decorrer deste trabalho.

As políticas de poupança que foram implementadas e testadas mostraram não ter uma aplicabilidade prática imediata, sendo no entanto poderosos mecanismos de controlo de consumo. Por esta razão deverão ser investigados novos mecanismos, que permitam em simultâneo manter a integridade do ambiente doméstico do consumidor final e enquadrar a necessidade da rede de energia eléctrica em gerir horas de máximos de consumo. Em trabalho futuro, em vez de procurar bloquear ou restringir a utilização de certas cargas, poderão ser investigados processos que permitam um agendamento coordenado da utilização de cargas. Isto permitiria à rede coordenar a utilização de cargas com um consumo significativo, traduzindo-se num controlo ordenado do consumo em horas de pico. A título de exemplo, poderia ser possível à rede coordenar a utilização de máquinas de lavar roupa ou loiça ao longo da noite, de forma a reduzir o consumo máximo.

Por último e ao nível do simulador, a arquitectura criada possui um conjunto reduzido de nós que poderão não se adaptar a todas as necessidades e realidades pretendidas. Poderá ser necessário pensar numa maior diferenciação dos nós e numa revisão dos perfis utilizados, para que estes se adaptem melhor a realidades diferentes tanto de consumo como de produção.

O simulador e arquitectura seguidos mostraram ser adequados para abordar os problemas e desafios identificados, podendo ser facilmente modificado ou expandido para futuramente introduzir os mecanismos de agendamento coordenado mencionados e outros que venham a ser desenvolvidos.

7 Referências

- [1] EUROPEAN TASK FORCE FOR THE IMPLEMENTATION OF SMART GRIDS INTO THE EUROPEAN INTERNAL MARKET. (n.d.). MISSION AND WORK PROGRAMME. Retrieved November 19, 2013, from http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/mission_and_workprogramme.pdf
- [2] Engenharia e História. (n.d.). *Percursos Cruzados*. Retrieved November 29, 2013, from http://in3.dem.ist.utl.pt/msc_04history/aula_2_b.pdf
- [3] Decreto nº 12599. (n.d.). *27 de Outubro de 1926*. Retrieved December 12, 2013, from <http://www.dre.pt/pdf1s%5C1926%5C12%5C28900%5C23632363.pdf>
- [4] História da Marca. (n.d.). História da Marca. Retrieved March 3, 2013, from <http://www.edp.pt/pt/aedp/sobreaedp/marcaEDP/Pages/HistoriaMarca.aspx>
- [5] Centro de Informação. (n.d.). Ordem dos Engenheiros. Retrieved May 30, 2013, from <http://www.ordemengenheiros.pt/pt/centro-de-informacao/dossiers/historias-da-engenharia/em-prol-da-electrificacao-do-pais-i/>
- [6] Lei nº 2002. (n.d.). *26 de Dezembro de 1944*. Retrieved November 10, 2013, from <http://www.dre.pt/pdf1s/1944/12/28500/13111314.pdf>
- [7] A nossa empresa. (n.d.). A nossa empresa. Retrieved May 30, 2013, from <http://www.edp.pt/pt/aedp/sobreaedp/Pages/aEDP.aspx>
- [8] Lei nº 205-G/75. (n.d.). *16 de Abril de 1975*. Retrieved November 18, 2013, from <http://dre.pt/pdf1sdip/1975/04/08902/00100012.pdf>
- [9] Carregamento Automático de Dados em Software de Protecções CAPE e Estudos de Coordenação de Sistemas de Protecção em Redes Emalhadas. (n.d.). Carregamento Automático de Dados em Software de Protecções CAPE e Estudos de Coordenação de Sistemas de Protecção em Redes Emalhadas. Retrieved June 6, 2013, from <http://paginas.fe.up.pt/~ee00189/index1.html>
- [10] FAQ. (n.d.). FAQ. Retrieved June 8, 2013, from http://www.ren.pt/quem_somos/faq/
- [11] Estatística Diária. (n.d.). Estatística Diária. Retrieved July 19, 2013, from <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaDiariaDiagrama.aspx>
- [12] Produção de Electricidade. (n.d.). Produção de Electricidade. Retrieved June 22, 2014, from <http://www.edp.pt/pt/aedp/unidadesdenegocio/producao-de-electricidade/Pages/ProducaoElectricidade.aspx>
- [13] O que fazemos. (n.d.). Sector eléctrico. Retrieved June 20, 2013, from https://www.ren.pt/o_que_fazemos/eletricidade/o_setor_eletrico/

- [14] Estatística Mensal. (n.d.). Estatística Mensal. Retrieved May 11, 2014, from <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaMensal.aspx>
- [15] Indicadores do Desenvolvimento Mundial-Explorador de Dados Públicos do Google. (n.d.). Indicadores do Desenvolvimento Mundial-Explorador de Dados Públicos do Google. Retrieved September 17, 2013, from https://www.google.pt/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&ctype=l&strail=false&bcs=d&nselm=h&met_y=eg_use_elec_kh_pc&scale_y=lin&ind_y=false&rdim=region&idim=country:PRT:ESP:ITA&ifdim=region&hl=pt&dl=pt&ind=false&icfg&iconSize=0.5
- [16] Energy.gov. (n.d.). Smart Grid. Retrieved November 3, 2013, from <http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid>
- [17] Hart, D. G. (2008, July). Using AMI to realize the Smart Grid. In *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE* (pp. 1-2). IEEE.
- [18] Brown, R. E. (2008, July). Impact of Smart Grid on distribution system design. In *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE* (pp. 1-4). IEEE.
- [19] Farhangi, H. (2010). The path of the smart grid. *Power and Energy Magazine, IEEE*, 8(1), 18-28.
- [20] EDP BOX. (n.d.). *EDP BOX*. Retrieved August 29, 2013, from http://www.inovcity.pt/pt/Manual/M_EDP_BOX_Sagemcom.pdf
- [21] Lasseter, R. H. (2011). Smart distribution: Coupled microgrids. *Proceedings of the IEEE*, 99(6), 1074-1082.
- [22] edpON. (n.d.). *edpON*. Retrieved December 20, 2013, from http://www.edp.pt/en/media/audiovideo/Pages/edpON.aspx?w=&fp=/pt/media/video/Videos/inovcity_en.flv&n=InovCity
- [23] Évora InovCity - Smart Energy Living. (n.d.). *Évora InovCity - Smart Energy Living*. Retrieved November 29, 2013, from <http://www.inovcity.pt/pt/Pages/homepage.aspx>
- [24] InovCity Évora. (n.d.). *Évora InovCity*. Retrieved November 29, 2013, from <http://www.inovcity.pt/pt/Pages/inovcity.aspx>
- [25] media center. (n.d.). *Évora InovCity -*. Retrieved November 29, 2013, from <http://www.inovcity.pt/pt/Pages/media-center.aspx>
- [26] EDP lança conceito InovCity em Évora. (n.d.). *EDP lança conceito InovCity em Évora*. Retrieved November 29, 2013, from <http://www.edp.pt/pt/media/noticias/2010/Pages/EDPlancaconceitoinovCityemEvora.aspx>

- [27] eu na InovCity. (n.d.). *Évora InovCity* -. Retrieved October 29, 2013, from <http://www.inovcity.pt/pt/Pages/eu-na-inovcity.aspx>
- [28] gridspice - A VIRTUAL PLATFORM FOR MODELING, ANALYSIS, AND OPTIMIZATION OF THE SMART GRID - Google Project Hosting. (n.d.). *gridspice - A VIRTUAL PLATFORM FOR MODELING, ANALYSIS, AND OPTIMIZATION OF THE SMART GRID - Google Project Hosting*. Retrieved March 29, 2013, from <https://code.google.com/p/gridspice/>
- [29] Main Page. (n.d.). *electricdss RSS*. Retrieved March 29, 2013, from http://sourceforge.net/apps/mediawiki/electricdss/index.php?title=Main_Page
- [30] Power Systems Analysis Software. (n.d.). *Open Electrical RSS*. Retrieved March 29, 2013, from http://www.openelectrical.org/wiki/index.php?title=Power_Systems_Analysis_Software
- [31] Simuladores. (n.d.). *simulador de potência*. Retrieved April 4, 2013, from http://www.erse.pt/pt/electricidade/simuladores/simuladordepotenciaacontratar/Documents/ER_SEkw.html
- [32] apisolar. (n.d.). *apisolar*. Retrieved May 25, 2013, from http://www.apisolar.pt/images/stories/ER_Jun12.pdf
- [33] IEEE & Smart Grid. (n.d.). *About IEEE Smart Grid*. Retrieved October 10, 2013, from <http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid>
- [34] Preuveneers, D., Van den Bergh, J., Wagelaar, D., Georges, A., Rigole, P., Clerckx, T., ... & De Bosschere, K. (2004). Towards an extensible context ontology for ambient intelligence. In *Ambient intelligence* (pp. 148-159). Springer Berlin Heidelberg.
- [35] Ramos, C., Augusto, J. C., & Shapiro, D. (2008). Ambient intelligence—The next step for artificial intelligence. *Intelligent Systems, IEEE*, 23(2), 15-18.
- [36] Energy production system Management – Renewable energy power supply integration with Building Automation System, 2009, João Figueiredo e João Martins
- [37] Cai, Y. P., Huang, G. H., Yang, Z. F., & Tan, Q. (2009). Identification of optimal strategies for energy management systems planning under multiple uncertainties. *Applied Energy*, 86(4), 480-495.
- [38] SmartGrid. (n.d.). *City*. Retrieved December 12, 2013, from <http://www.smartgridsmartcity.com.au/About-Smart-Grid-Smart-City.aspx>
- [39] Smart Grids. (n.d.). *Smart Grid Simulation, Modeling and Engineering*. Retrieved December 15, 2013, from <http://www.maplesoft.com/solutions/engineering/IndustrySolutions/smartgrid.aspx>
- [40] Generg. (n.d.). *Generg*. Retrieved January 10, 2014, from <http://www.generg.pt/>
- [41] Home - Enel Green Power - Iberia. (n.d.). *Home - Enel Green Power - Iberia*. Retrieved January 10, 2014, from <http://www.enelgreenpower.com/pt-PT/iberia/>

- [42] Microprodução. (n.d.). *Microprodução*. Retrieved September 11, 2013, from <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/produtor/microgeracao/Pages/microgeracao.aspx>
- [43] Salta, D. M. H. C. S (2011), Desagregação de consumos de electricidade residenciais com recurso a apenas um sensor, IST
- [44] "Dell U2311H 23" • W Monitor." Spec sheet. N.p., n.d. Web. 18 Jan. 2014.
<http://www.aldea.si/media/uploads/datoteke/PDF%20SPEC/Monitorji/U2311H.pdf>
- [45] "Geek Tech." TechHive. N.p., n.d. Web. 18 Jan. 2014.
http://www.techhive.com/article/169941/Why_You_Should_Use_Sleep_Mode.html
- [46] "Think Green Live Clean." Think Green Live Clean RSS. N.p., n.d. Web. 18 Jan. 2014.
<http://www.thinkgreenliveclean.com/2010/11/power-down-or-sleep-mode>
- [47] "Xerox ColorQube 8570." Spec sheet. N.p., n.d. Web. 18 Jan. 2014.
<http://www.office.xerox.com/latest/857DS-02E.PDF>
- [48] "Município de Oliveira determinado em diminuir fatura energética." Correio da Beira Serra. N.p., n.d. Web. 7 Feb. 2014. <http://correiodabeiraserra.com/municipio-de-oliveira-determinada-em-diminuir-fatura-energetica/>
- [49] "CANDEEIRO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA 50W GT-ST0006 GT - GT-ST0006 by: GT -." CANDEEIRO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA 50W GT-ST0006 GT - GT-ST0006 by: GT -. N.p., n.d. Web. 11 Feb. 2014. <http://www.mkti.pt/candeeiro-ilumina%C3%A7ao-p%C3%ABlica-gtst0006-p-7183.html?osCsid=9k28h3tgh2nuq5jnge6tp1v6m6>
- [50] "Correio da Manhã: As notícias de Portugal e do Mundo." Correio da Manhã: As notícias de Portugal e do Mundo. N.p., n.d. Web. 21 Feb. 2014.
<http://www.cmjornal.xl.pt/noticia.aspx?channelid=00000010-0000-0000-0000-000000000010&contentid=E3E5EDE0-F502-4B4F-B040-37EE17DE9C2B>
- [51] "Edifícios Inteligentes." Conceitos e Serviços. Renato Nunes, n.d. Web. 23 Oct. 2013.
http://domobus.net/ei_docs/edif_int.pdf

ANEXOS

Anexo A – Ambiente doméstico - Casa tipo I

Cargas e perfis de utilização para a casa tipo I, representativo da população activa e ausente do seu meio doméstico entre as 9h e as 19h.

Divisão	Cargas	LoadNode		LoadProfile (minutos)			LoadUsagePeriod	
		Consumo (W)		Utilização	Desvio	Reutilização	semana	fim de semana
Os valores encontram-se em minutos								
a azul: os valores correspondem a uma estimativa do consumo, visto as cargas não estarem sempre a consumir enquanto estão ligadas								
a vermelho: cargas sempre ligadas								
Cozinha	Forno	1200	90	30	7200	1440	nunca	12h-14h 19h-21h
	Microondas	900	20	10	120	0	7h-8h 19h-20h	9h-10h 19h-20h
	Torradeira	1200	7	3	120	0	7h-8h	9h-10h
	Frigorífico/arca	100	1000000	0	0	0	0h-23h	0h-23h
	Máq. Café	600	10	5	120	0	7h-8h	14h-15h
	Misturadora	200	30	10	10080	2880	nunca	10h-18h
	Máq. Lavar Loiça	1000	60	30	1440	0	22h-23h	22h-23h
	Máq. Lavar roupa	300	60	30	4320	1440	22h-23h	12h-13h
	Fogão	2000	40	20	120	0	20h-21h	12h-13h 20h-21h
	Varinha mágica	400	10	5	10080	1440	19h-23h	13h-21h
Gerais	Luz rápida (ex: WC)	30	15	5	40	20	6h-8h 19h-23h	10h-12h 19h-23h
	Luz longa (ex: Sala)	30	120	30	60	30	6h-8h 19h-23h	10h-23h
	Aquecimento/Arrefecimento	700	120	30	4320	1440	21h-23h	18h-23h
	TV	200	180	60	180	60	20h-23h	10h-23h
	PC	100	90	30	120	0	22h-23h	9h-23h
	Carregadores div.	10	90	30	1440	0	19h-23h	10-23h
	Aspirador	1000	40	20	10080	1440	nunca	10h-19h
	Secador	1000	10	5	2880	1440	7h-8h	19h-20h
WC		1000000	0	0	0	0h-23h	0h-23h	
Sala	Box TriplePlay + Router	40	1000000	0	0	0	0h-23h	0h-23h
	Telefone sem fios	10	1000000	0	0	0	0h-23h	0h-23h
	Impressora	600	3	0	7200	2880	19h-23h	10h-23h

Anexo B – Ambiente empresarial

Cargas e perfis de utilização num ambiente empresarial, representativo do típico trabalho de escritório realizado entre as 9h e as 19h.

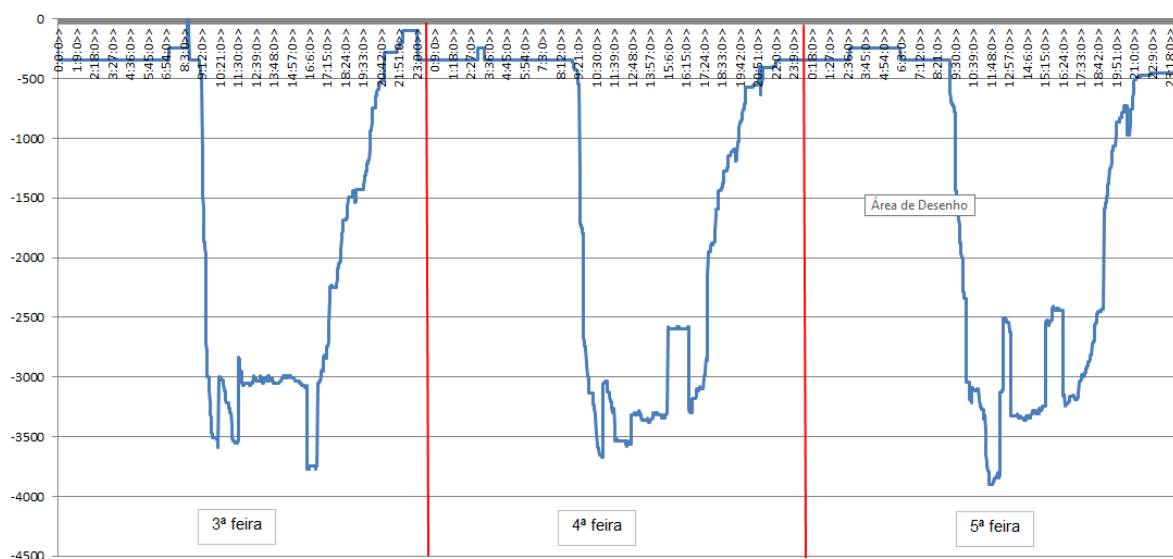
Divisão		LoadNode	LoadProfile (minutos)				LoadUsagePeriod	
Cargas		Consumo (W)	Utilização	Delta1	Reutilização	Delta2	semana	fim de semana
a vermelho: cargas sempre ligadas								
Sala de trabalho 20 pessoas	20x Monitor externo	40	480	60	1440	0	9h-19h	nunca
	20x PC	100	480	60	1440	0	9h-19h	nunca
	1x HVAC	700	60	30	180	60	9h-19h	nunca
	20x Candeeiro de mesa	20	90	30	180	60	9h-19h	nunca
	20x Luz tecto	15	480	60	180	0	9h-19h	nunca
	1x Máquina de Café	600	60	30	1440	0	9h-19h	nunca
	1x Impressora	100	480	60	180	0	0h-23h	nunca
	1x Standby	240*	720	0	0	0	0h-8h 20h-23h	0h-23h

Standby: este elemento pretende ser representativo de todas as cargas que são deixadas em standby quando abandonamos o local de trabalho

* 20 PCs x 5W(standby) + 20 Monitores x 2W(standby) + 1 PC(sempre ligado) = 100 + 40 + 1 PC = 140 + 1PC = 240 W

a azul: os valores correspondem a uma estimativa do consumo, visto as cargas não estarem sempre a consumir enquanto estão ligadas

De seguida apresentam-se os consumos obtidos com os perfis de utilização da tabela anterior que foram usados.

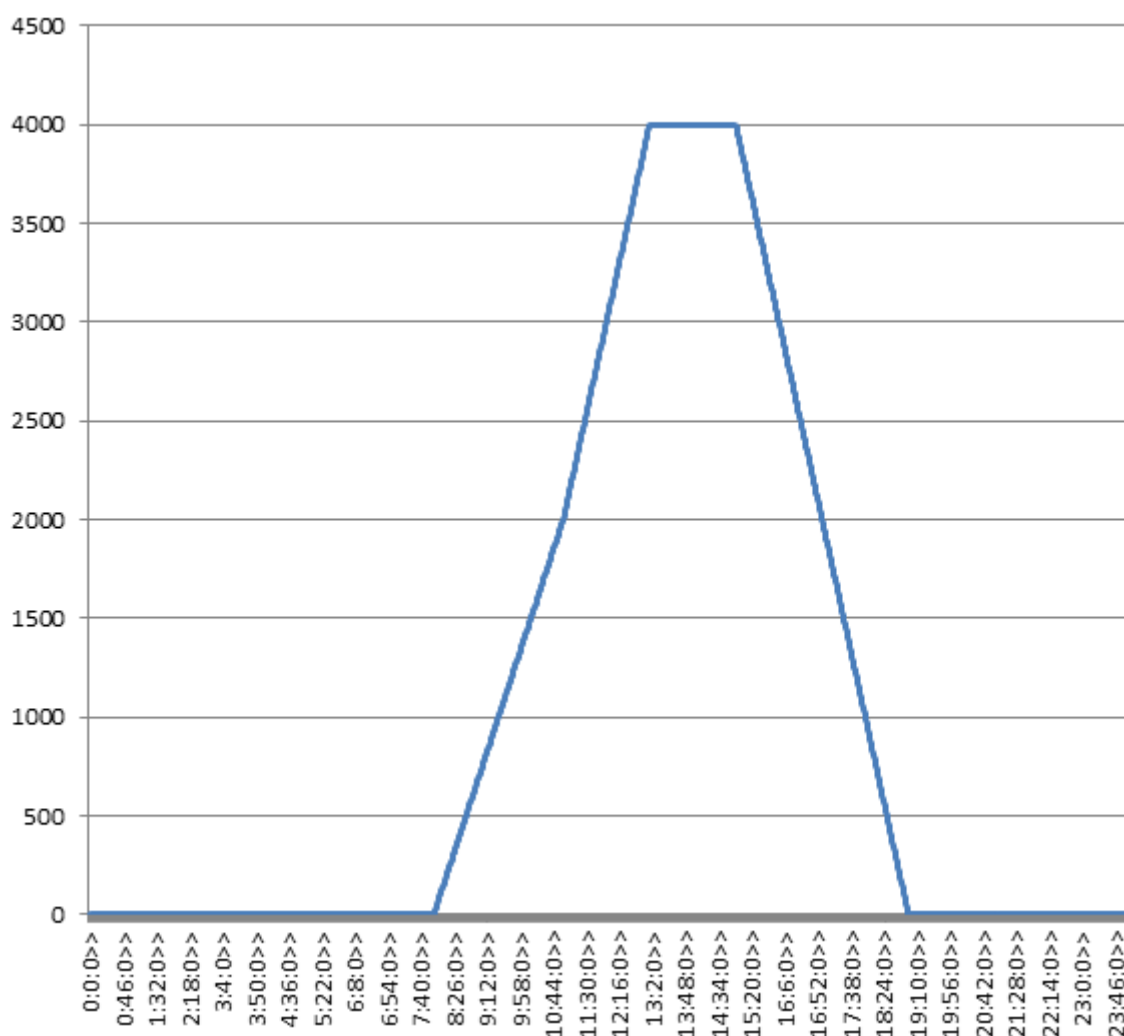


Anexo C – Ambiente doméstico - Painéis fotovoltaicos

No âmbito desta dissertação, os painéis fotovoltaicos em ambientes doméstico serão caracterizados por um ProductionNode com um perfil de produção fixo, com uma produção máxima de 4 kW. Este nó é caracterizado por intervalos temporais para os quais a produção irá tender:

- Entre as 19h e as 8h, estima-se uma produção igual a zero (não há sol);
- Entre as 8h e as 11h estima-se uma produção de 2 kW;
- Entre as 11h e as 13h estima-se uma produção que atinja os 4 kW;
- Entre as 13h e as 15h a produção a produção manterá os 4 kW;
- Entre as 15h e as 17h a produção irá lentamente diminuir até aos 2 kW;
- Entre as 17h e as 19h a produção descera até aos zero.

Em seguida apresenta-se a figura com o perfil de produção do painel fotovoltaico proposto.



Anexo D – Ambiente doméstico – Casa tipo II

A casa tipo II é igual à casa tipo I, embora com um perfil de utilização durante a semana que é igual ao que foi configurado para o fim-de-semana. Este ambiente é representativo da população não activa, como por exemplo desempregados e reformados, ou da dos consumidores que trabalham num período nocturno em vez do diurno.

Divisão

Cargas

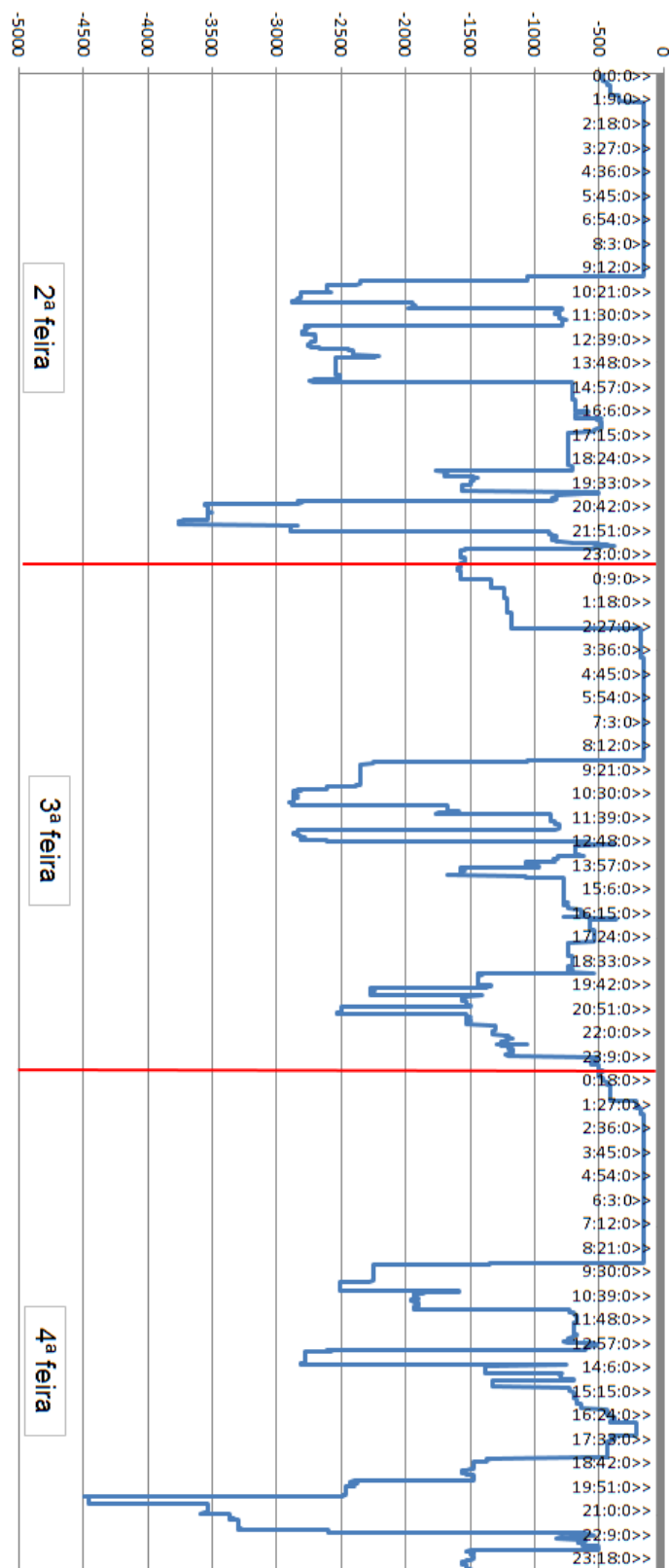
Os valores encontram-se em minutos

a azul: os valores correspondem a uma estimativa do consumo, visto as cargas não estarem sempre a consumir enquanto estão ligadas

a vermelho: cargas sempre ligadas

Divisão	Cargas	LoadNode	LoadProfile (minutos)			LoadUsagePeriod		
		Consumo (W)	Utilização	Desvio	Reutilização	semana	fim de semana	
Cozinha	Forno	1200	90	30	7200	1440	12h-14h 19h-21h	12h-14h 19h-21h
	Microondas	900	20	10	120	0	9h-10h 19h-20h	9h-10h 19h-20h
	Torradeira	1200	7	3	120	0	9h-10h	9h-10h
	Frigorífico/arca	100	1000000	0	0	0	0h-23h	0h-23h
	Máq. Café	600	10	5	120	0	14h-15h	14h-15h
	Misturadora	200	30	10	10080	2880	10h-18h	10h-18h
	Máq. Lavar Loiça	1000	60	30	1440	0	22h-23h	22h-23h
	Máq. Lavar roupa	300	60	30	4320	1440	12h-13h	12h-13h
	Fogão	2000	40	20	120	0	12h-13h 20h-21h	12h-13h 20h-21h
	Varinha mágica	400	10	5	10080	1440	13h-21h	13h-21h
Gerais	Luz rápida (ex: WC)	30	15	5	40	20	10h-12h 19h-23h	10h-12h 19h-23h
	Luz longa (ex: Sala)	30	120	30	60	30	10h-23h	10h-23h
	Aquecimento/Arrefecimento	700	120	30	4320	1440	18h-23h	18h-23h
	TV	200	180	60	180	60	10h-23h	10h-23h
	PC	100	90	30	120	0	9h-23h	9h-23h
	Carregadores div.	10	90	30	1440	0	10-23h	10-23h
WC	Aspirador	1000	40	20	10080	1440	10h-19h	10h-19h
	Secador	1000	10	5	2880	1440	19h-20h	19h-20h
Sala	Box TriplePlay + Router	40	1000000	0	0	0	0h-23h	0h-23h
	Telefone sem fios	10	1000000	0	0	0	0h-23h	0h-23h
	Impressora	600	3	0	7200	2880	10h-23h	10h-23h

Em seguida apresenta-se o gráfico do consumo esperado para esta casa tipo II. De notar que este consumo é muito semelhante à casa tipo I durante o fim-de-semana.

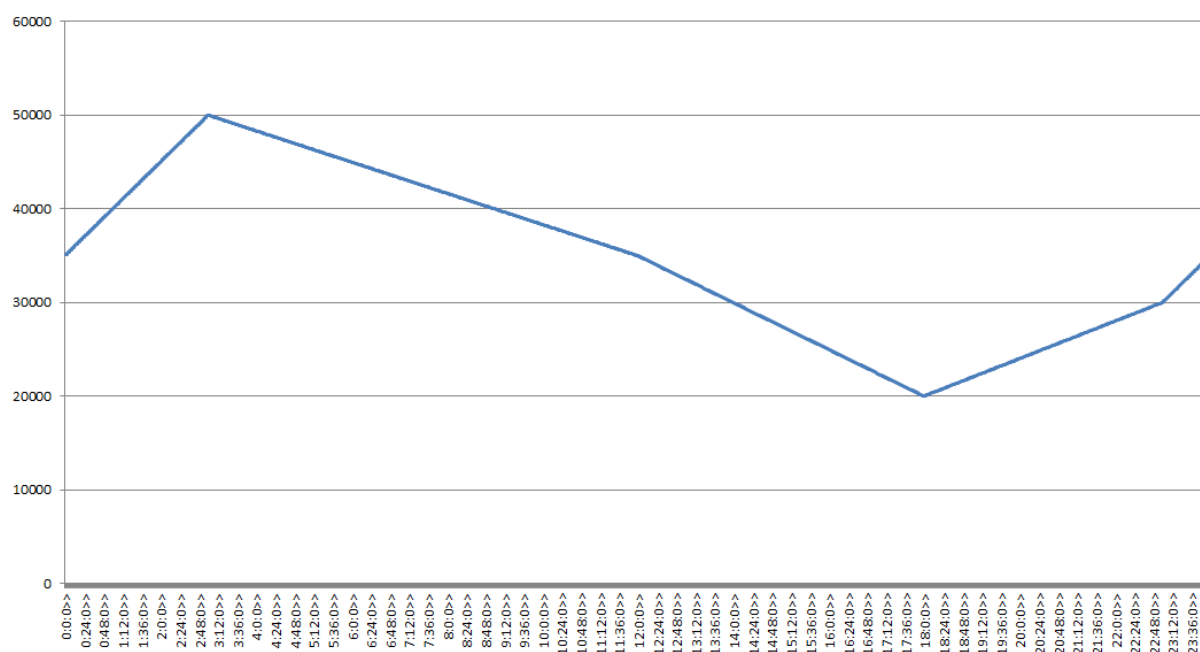


Anexo E – Bairro - Gerador eólico

No âmbito desta dissertação, os geradores eólicos instalados em bairros serão caracterizados por um ProductionNode, com um perfil de produção fixo e uma produção máxima de 50 kW. Por análise de gráficos de produção de energia eólica, não é possível concluir ou caracterizar este mesmo elemento. Por esta razão, será utilizada uma aproximação com o intuito de ilustrar a variabilidade desta produção:

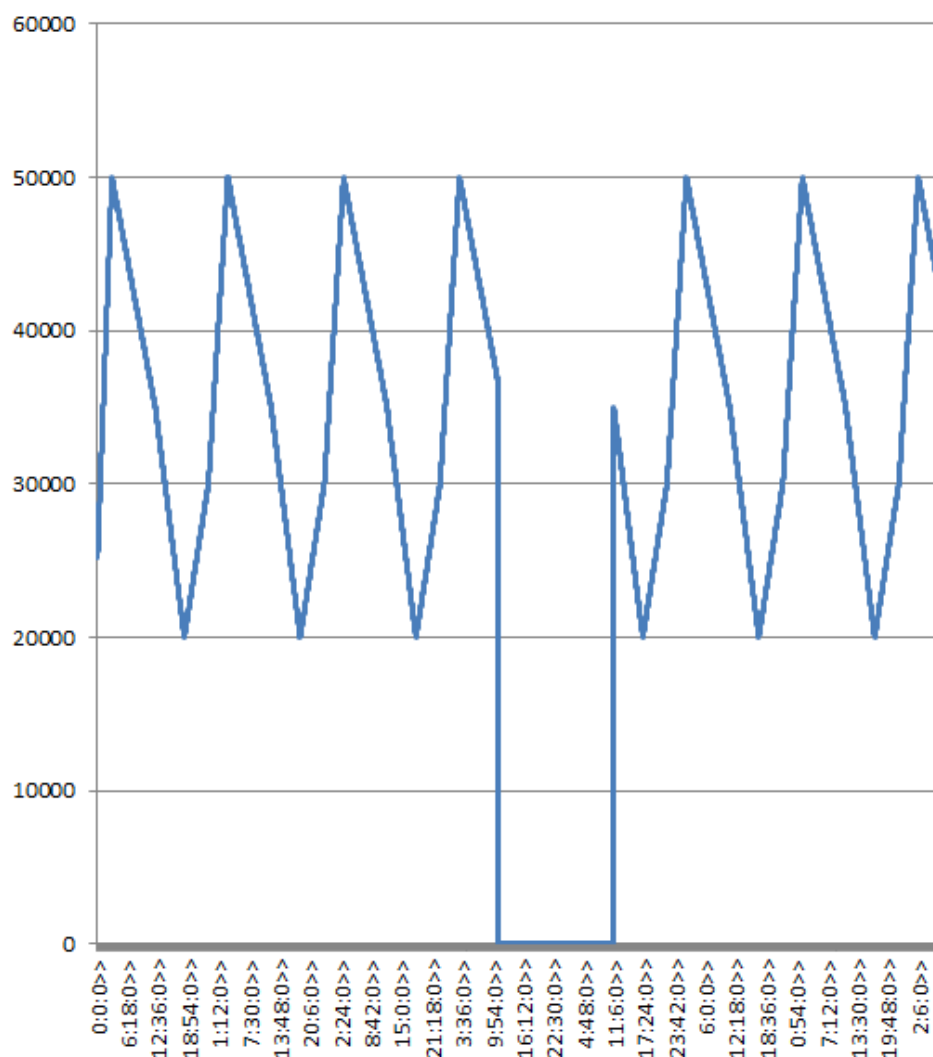
- Entre as 23h e as 3h, estima-se que a produção aumente dos 30 kW até ao máximo de 50 kW;
- Entre as 3h e as 12h estima-se que a produção seja reduzida até aos 35 kW;
- Entre as 12h e as 18h estima-se que a produção continue a reduzir até aos 20 kW;
- Entre as 18h e as 23h estima-se que a produção aumente até aos 30 kW

Em seguida apresenta-se uma figura com o perfil de produção do gerador eólico durante 24 horas.



De forma a introduzir alguma imprevisibilidade, cada gerador eólico estará configurado para simular um período de ausência de produção de energia por cada 15 dias de simulação, representativo de falhas no gerador ou períodos de manutenção. Este período tem a duração de 24 horas, sendo que o dia e hora para a ocorrência deste evento é da inteira responsabilidade do simulador.

Na figura seguinte pode-se observar o comportamento de um gerador eólico durante um período de falha de 24 horas, Embora seja abrupto, optou-se por simular uma normalização da situação imediata.



Anexo F – Freguesia ABC – cálculos

Em seguida apresentam-se os cálculos para a construção da freguesia ABC:

População	4 Pessoas / habitação		20 pessoas / empresa		Total parcial (W)
	Consumo máximo por habitação/empresa (W)	Número de habitações	Número de empresas		
2 000	4 500	500	100		2 700 000
Iluminação pública	1 Candeeiro / 10 habitantes				
	Total de candeeiros	Consumo unitário			Total parcial (W)
	200	250			50 000
Semáforos	1 semáforo / 50 habitantes				
	Total de semáforos	Consumo unitário			Total parcial (W)
	40	100			4 000
Fábrica					Total parcial (W)
	Consumo máximo				
	400 000				400 000
Bairros	20 casas / bairro				
	Total de bairros				Total parcial (W)
	25				112 500
			Total (W)		
			3 154 000		

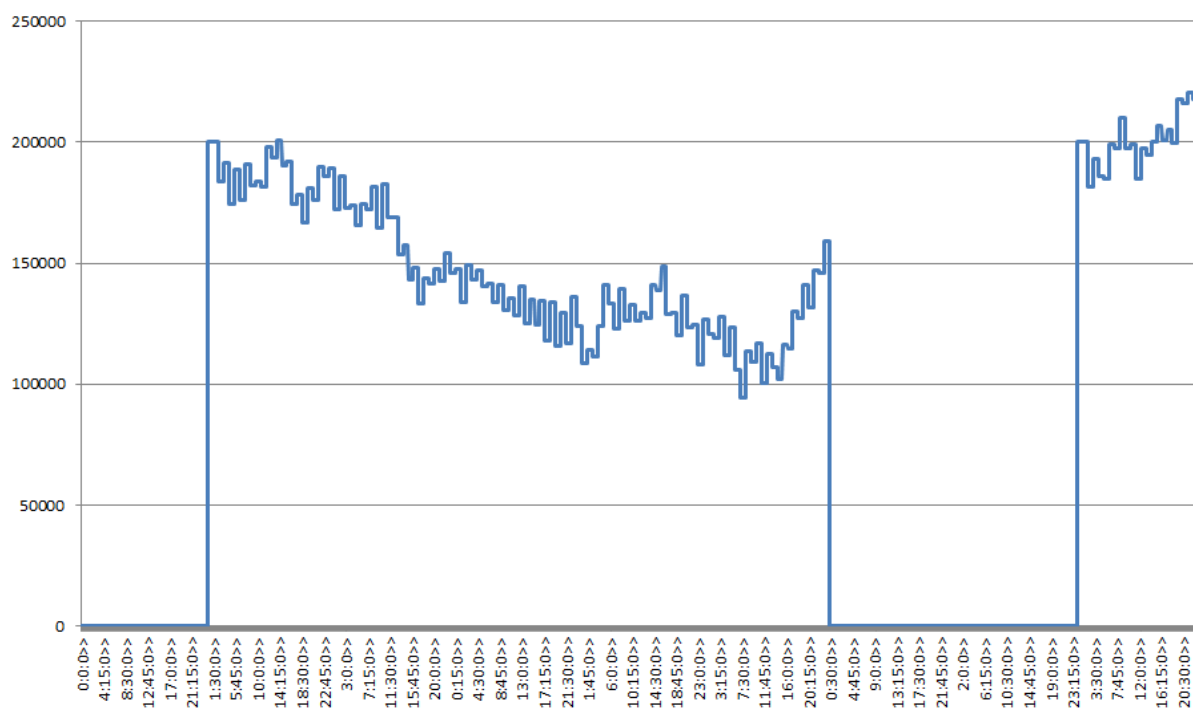
Estima-se que esta freguesia consuma no máximo cerca de 3 MW, onde cada bairro terá um consumo máximo esperado de 112,5 kW. Por este mesmo motivo o gerador eólico introduzido tem uma capacidade correspondente a cerca de metade deste valor (50 kW) [ver Anexo E].

Anexo G – fábrica metalúrgica

Em seguida apresenta-se o consumo realizado por uma fábrica metalúrgica durante 8 dias, representado por um DumbNode. Os intervalos em que o consumo é zero correspondem ao fim de semana.

A fábrica tem três turnos, apenas durante dias da semana, com consumos diferentes:

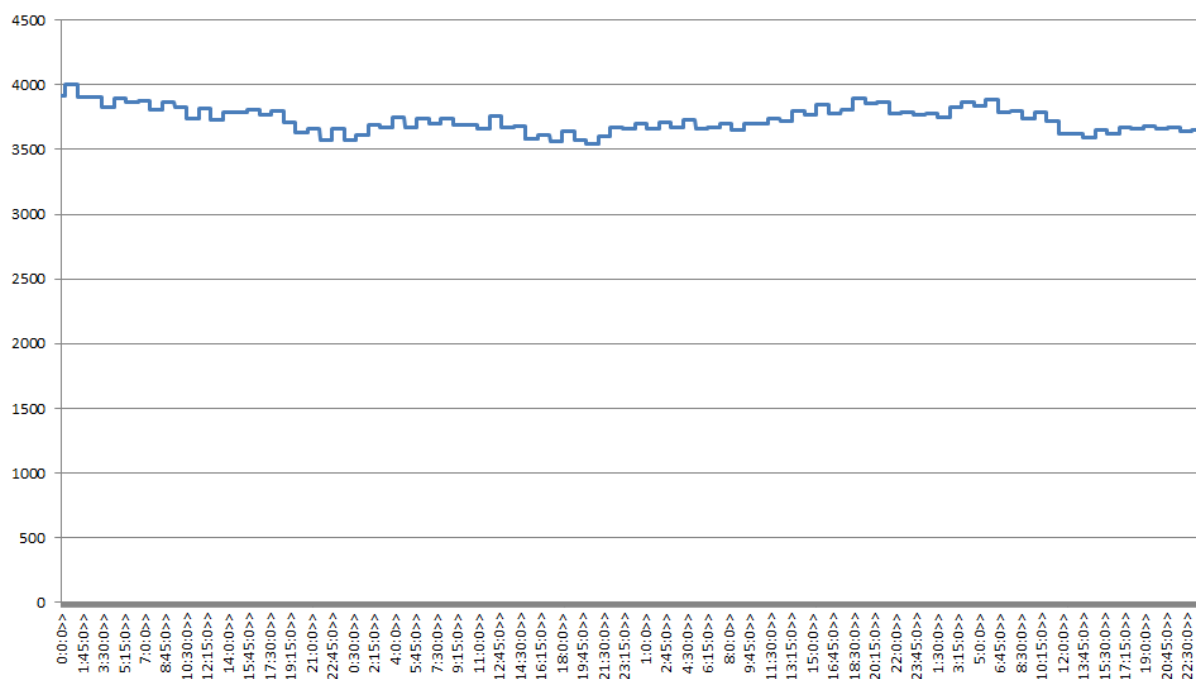
- Entre as 0h e as 8h o consumo máximo é de 200 kW
- Entre as 8h e as 16h o consumo máximo é de 400 kW
- Entre as 16h e as 24h o consumo máximo é de 300 kW



Anexo H – Semáforos

Em seguida apresenta-se o consumo realizado pelos semáforos da freguesia ABC, durante 8 dias, representado por um DumbNode. Foi introduzida uma ligeira variabilidade no consumo dos semáforos de forma a reflectir melhor o verdadeiro comportamento destes.

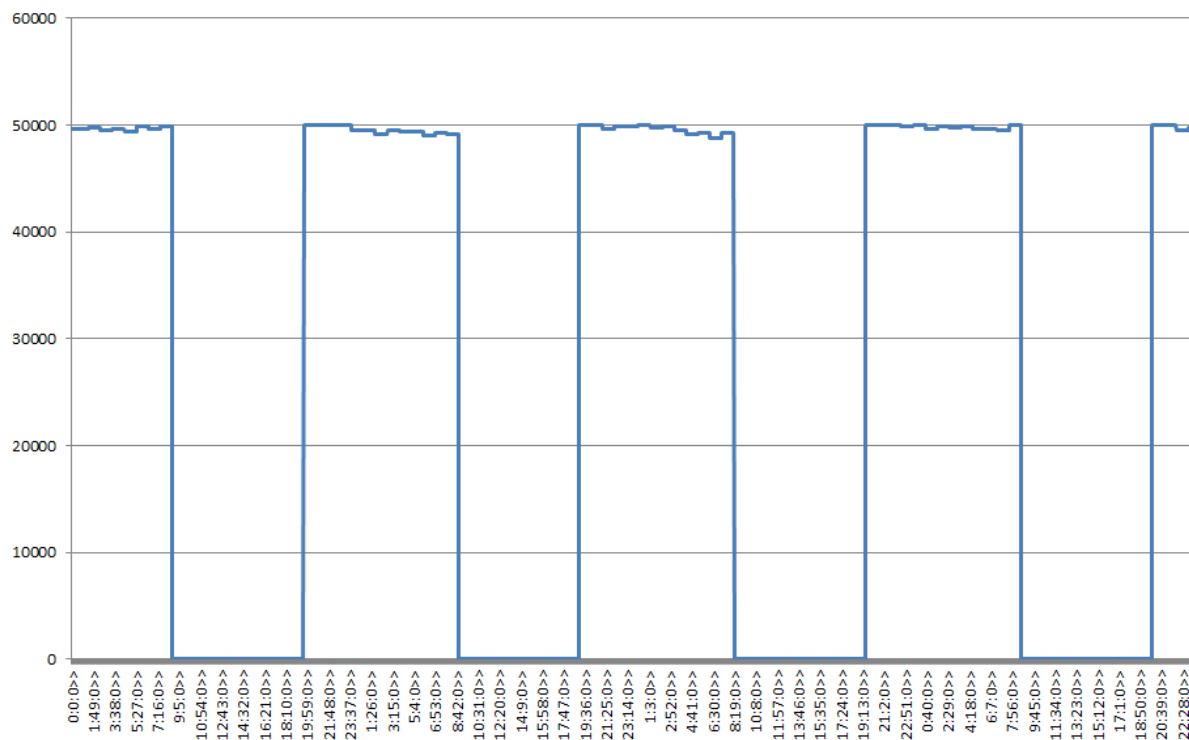
O consumo médio do sistema de semáforos é de 4 kW durante todos os dias e a qualquer momento do dia.



Anexo I – Sistema de iluminação

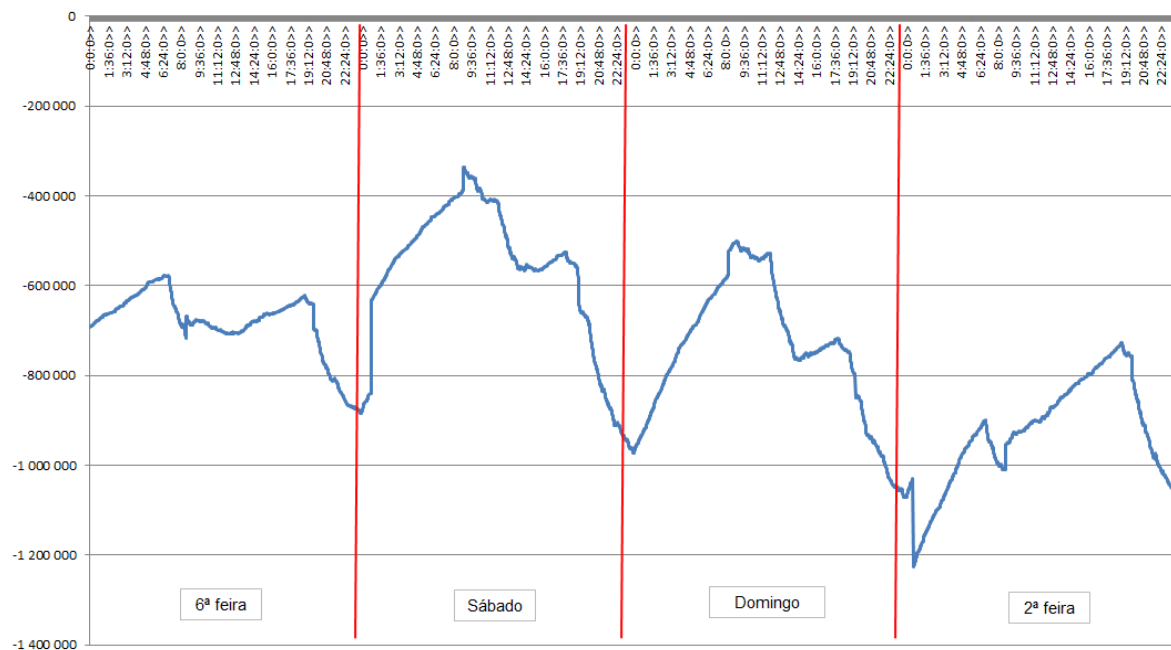
Em seguida apresenta-se o consumo realizado pelo sistema de iluminação da freguesia ABC durante 4 dias, representado por um DumbNode. Os intervalos em que o consumo é zero correspondem aos períodos de sol e durante os quais as luzes se encontram desligadas.

O consumo médio é de 50 kW durante as 19h e as 7h, todos os dias. Foi introduzida alguma variabilidade no consumo de forma a reflectir pequenas variações ao longo do consumo.

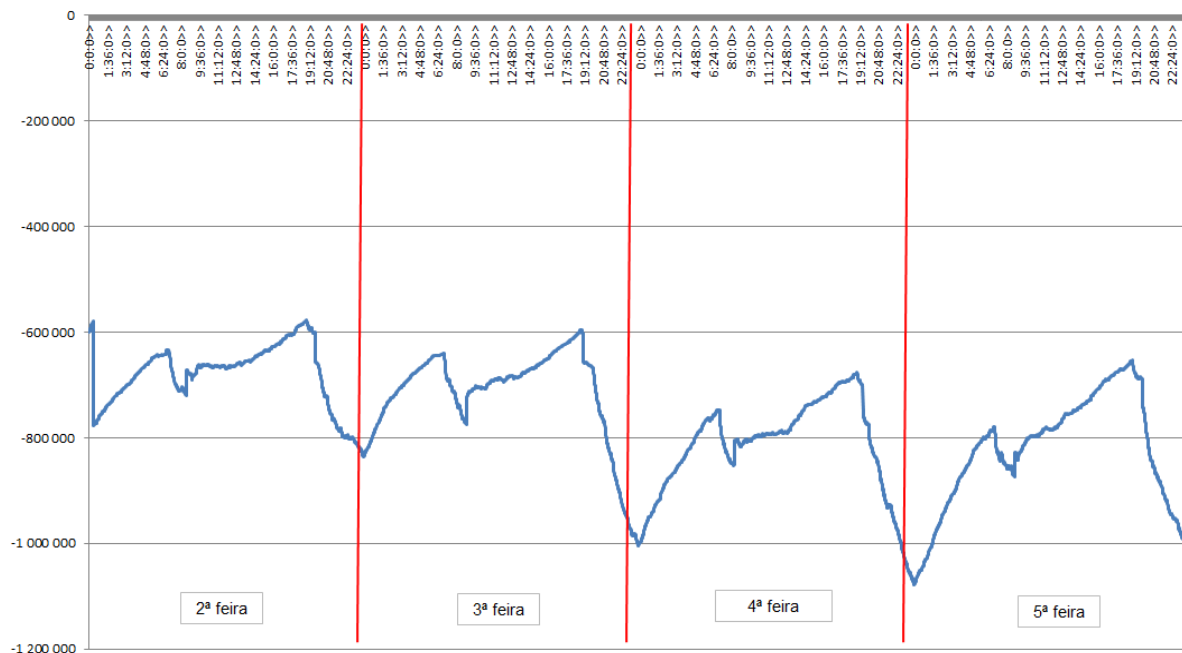


Anexo J – Freguesia ABC sem planos de poupança e sem nós de produção

Fim-de-semana - root:

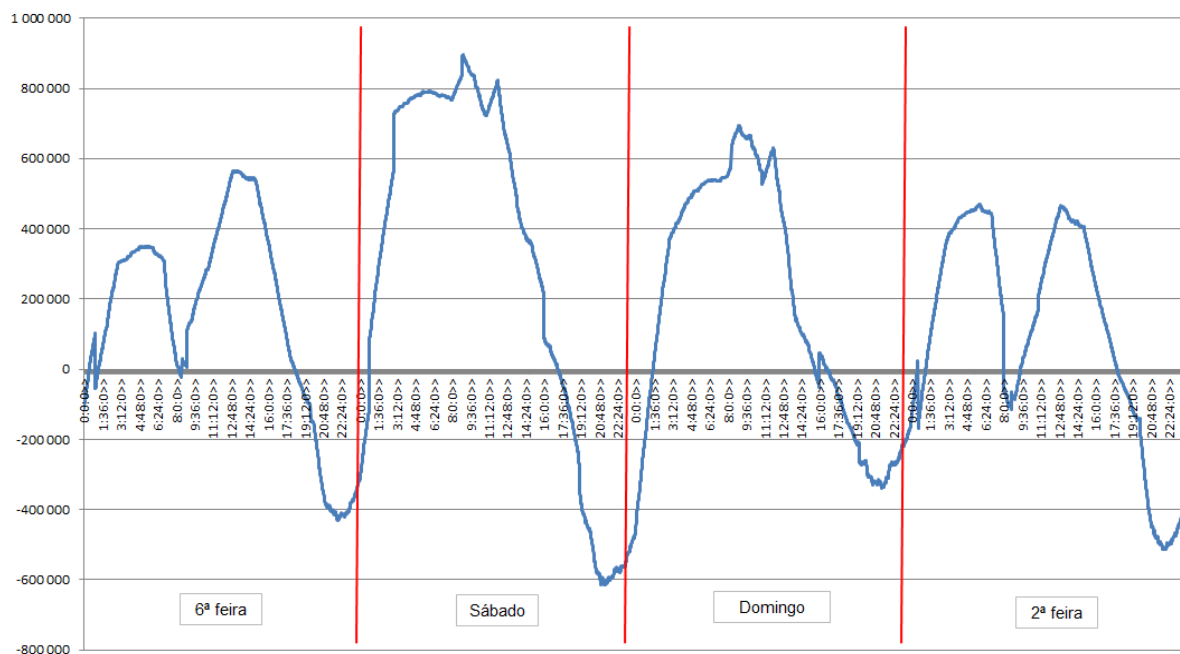


Semana - root:

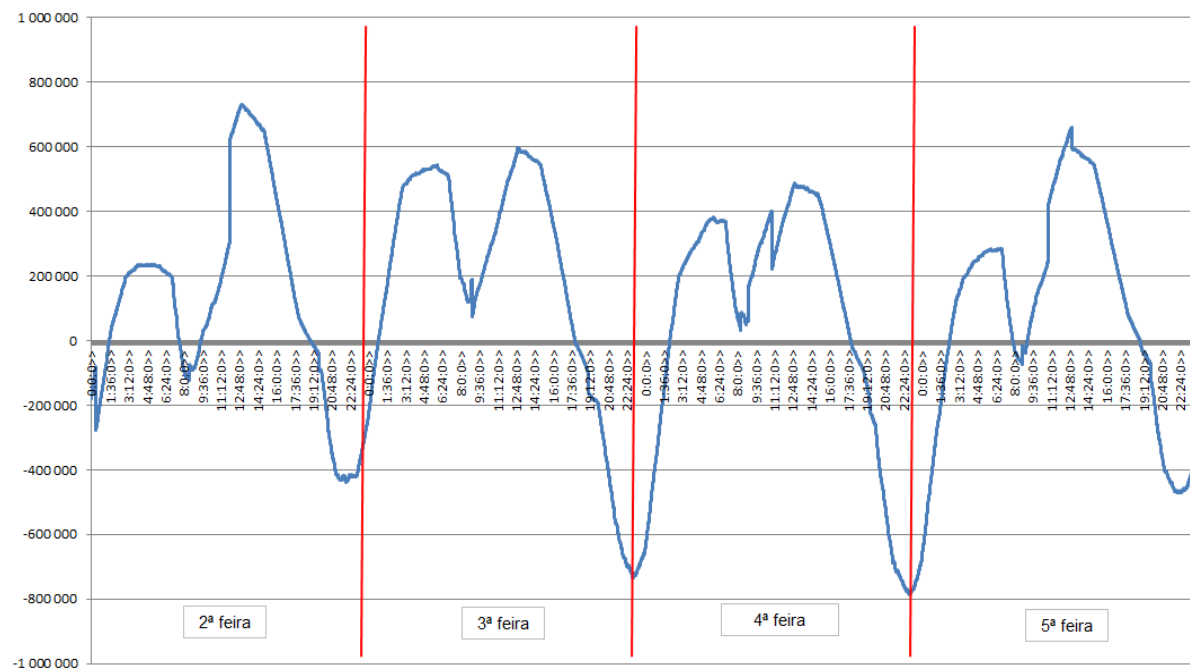


Anexo K - Freguesia ABC sem planos de poupança e com nós de produção

Fim-de-semana – root:

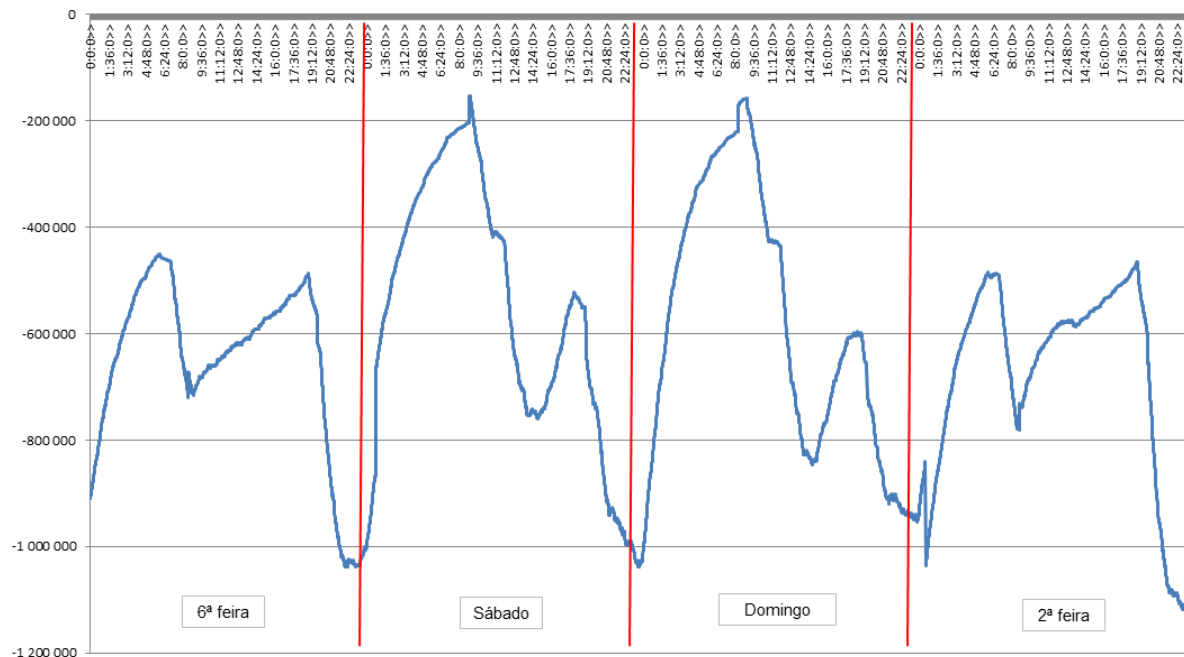


Semana – root:

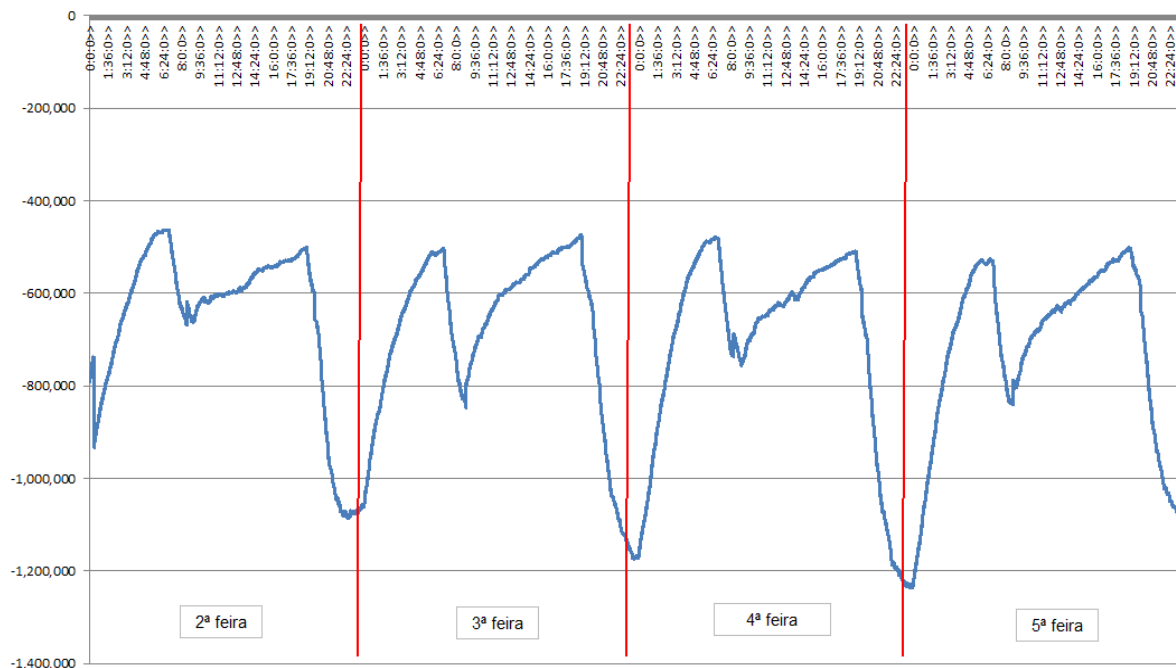


Anexo L - Freguesia ABC com planos de poupança e sem nós de produção

Fim-de-semana – root:

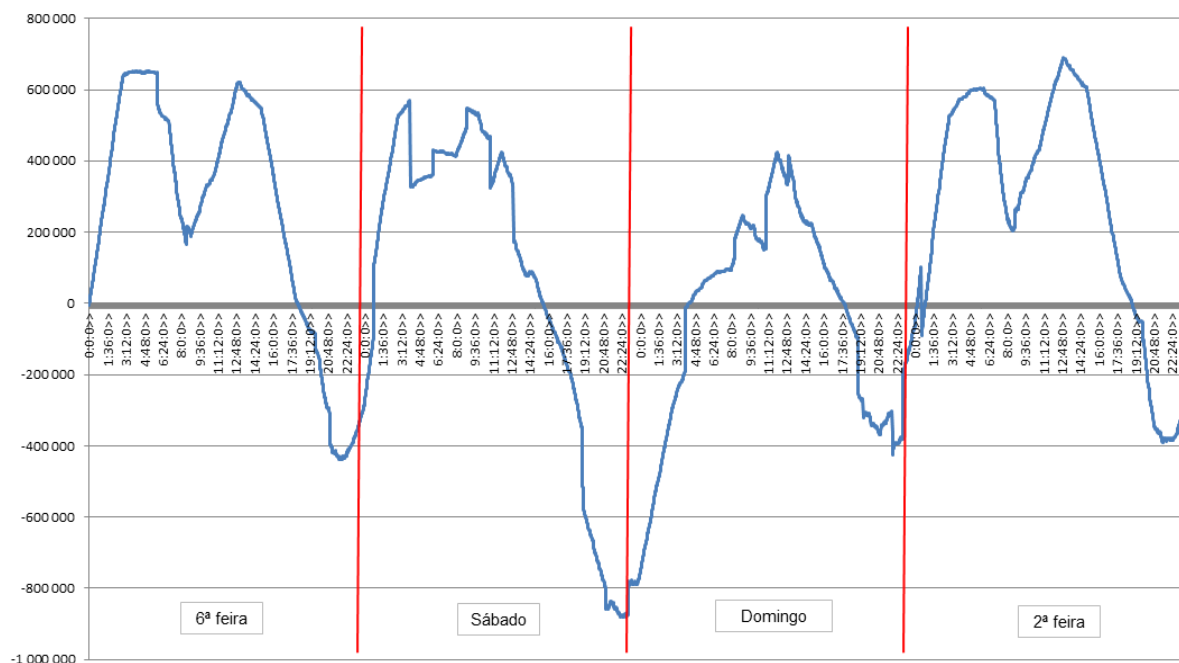


Semana – root:

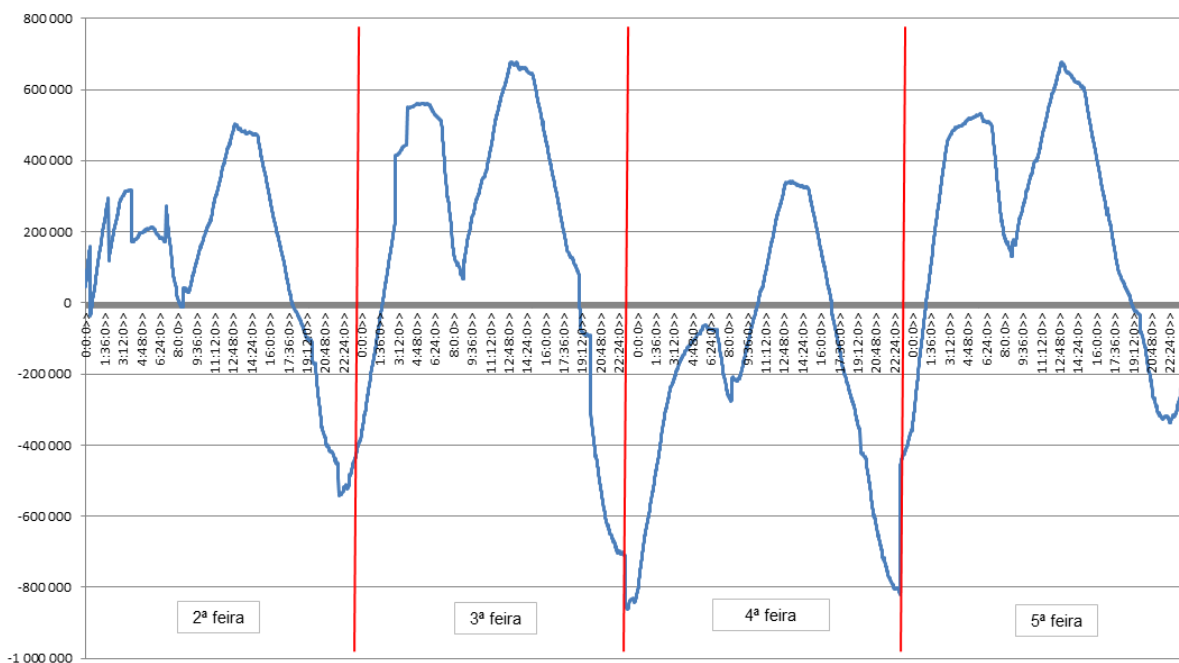


Anexo M - Freguesia ABC com planos de poupança e com nós de produção

Fim-de-semana – root:



Semana – root:



Anexo N – Comportamentos dos consumidores durante os planos de poupança a longo prazo

Em seguida ficam dois exemplos referentes ao comportamento que os consumidores têm durante o período de um plano de poupança. De notar que o primeiro e último valor do gráfico referem-se, respectivamente, ao valor inicial do consumo e ao objectivo a atingir. Os restantes pontos no gráfico referem-se ao valor médio do consumo registado, durante aquela parcela.

No primeiro exemplo é possível se observar que embora tenha existido uma redução no consumo, a meio do plano existe um aumento no consumo sem que este ultrapasse o limite estabelecido. O consumidor é livre de utilizar cargas desde que não ultrapasse o limite estabelecido durante o plano.

