

Miguel Jorge Fernandes Ramos

# Avaliação simulada do impacto de ações de gestão da procura

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Setembro/2013



UNIVERSIDADE DE COIMBRA





Universidade de Coimbra  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Especialização no Ramo de Energia

Tema:

Avaliação simulada do impacto de ações de gestão da procura

Autor:

Miguel Jorge Fernandes Ramos

Orientador:

Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

Presidente do júri:

Professor Doutor Gabriel Falcão Paiva Fernandes

Vogal:

Professor Doutor Marco Alexandre Cravo Gomes

Coimbra-Portugal  
Setembro de 2013



# Agradecimentos

Tenho que começar por agradecer às pessoas que tornaram isto possível, os meus pais, sem eles não tinha havido o tempo, a compreensão e o financiamento necessário para começar e acabar este curso. Claro que, não menos importante, as minhas irmãs, a Inês e a Beatriz, pelo escape que foram do curso, os passeios que demos juntos com a Cookie fizeram com que fosse tendo sempre paciência.

Não podia deixar de agradecer à Diana, pela amizade e o amor com que sempre tem estado ao meu lado, pela companhia que foi sendo para mim, companhia essa que fez com que nos últimos dias fosse possível pensar em alguma coisa que não fosse a Dissertação.

Ao Professor Álvaro Gomes, que trouxe algum rigor e método ao que faço, e porque me fez ver que apesar de estar a frequentar um curso de engenharia, a forma como escrevemos continua a ter uma extrema importância. Nem sempre as coisas correm como esperamos, mas o meu obrigado por ter estado até ao fim.

Ainda de grande importância, o pessoal do LGE, a todos os membros do LGE e também aos membros honorários, o meu obrigado por todas as horas dentro daquelas paredes, graças a vocês foi sempre mais fácil.

Num campo muito motivacional tenho a agradecer a quem foi na frente e eu vi em parte como exemplo, um exemplo importante para abraçar um curso universitário, os meus vizinhos, Tiago e Gonçalo. Tenho também que dar o meu obrigado ao Tropa, por tratar da minha sanidade mental quando vamos correr.

Não menos importante, os Escuteiros do 1067, onde tudo se vive e sente de uma forma especial. E claro, o meu obrigado ao “Arquiteto” da capa desta dissertação.

E no fim, obrigado DEEC por tudo o que me ensinaste, não sei onde este conhecimento me levará amanhã, mas é certo que me fez crescer enquanto pessoa!

*“Deixa uma marca tua em tudo o que fazes, e que as pessoas se lembrem de ti pelo bem que fizeste!”*

A todos,

*Miguel Ramos*



Este trabalho é enquadrado na Iniciativa Energia para a Sustentabilidade da Universidade de Coimbra e apoiado pelo projeto Energy and Mobility for Sustainable Regions - EMSURE (CENTRO-07-0224-FEDER-002004).



# Resumo

Na atualidade vivem-se diversas preocupações ao nível ambiental e económico, sentidas também no sector elétrico, muito devido aos custos da fatura energética do país e aos impactos ambientais associados à produção, transporte e utilização da energia.

Surge assim a necessidade de fazer uma utilização o mais racional possível da eletricidade passando, por exemplo, por alterações ao comportamento dos consumidores e o recurso a processos e tecnologias mais eficientes.

O *Demand-Side Management* (DSM) é um conjunto de medidas que visa a alteração da forma do Diagrama de Carga (DC) para que este satisfaça os objetivos das entidades interessadas nessas atividades, evitando, por exemplo situações de ponta muito elevadas. Nas medidas de DSM existe uma parte que se refere a controlo direto e indireto de carga, que são as medidas de *Demand-Response* (DR). Outro conjunto de medidas passa, por exemplo, por incentivos financeiros ao uso da energia elétrica fora das horas de ponta ou nas horas de maior custo de produção.

Na globalidade, estas medidas conseguem poupanças de energia e/ou um abaixamento da ponta do DC, podendo contribuir grandemente para facilitar a integração da produção distribuída. A incerteza associada à geração distribuída faz com que o DR seja uma ferramenta que facilite a resposta a rápidas variações no estado da geração distribuída.

O impacto de ações de Gestão de Procura (GP) consegue ser previsto seja através de projetos-piloto ou de ambientes de simulação criados para o efeito. Nesta dissertação será avaliado o impacto de algumas dessas medidas sobre um conjunto de cargas, os equipamentos de climatização. As ações de GP que vão ser estudadas serão: os Cortes de Alimentação (CA) e a Variação de Banda Morta (VBM) aplicados nos equipamentos de climatização.

Palavras-chave: Ar-condicionado; Cortes de Alimentação; Variação da Banda Morta; Modelo Físico Baseado; Demand-Response; Demand-Side Management.



# Abstract

Nowadays we are facing several concerns at environmental and economic levels, and that is also felt in the electric sector, much due to the cost of energy bills in the country and the environmental impacts associated to the production, transportation and use of energy.

Thus arises the need to make the most rational use of electricity possible implementing, for example, changes to customer behavior and recurring to more efficient processes and technologies.

The Demand-Side Management is a set of measures aimed at changing the consumption habits of the customer in order to change the shape of the DC so that it meets the objectives of stakeholders in these activities, avoiding, for example situations of high peak power in the DC. In DSM measures there is a part that refers to direct load control and indirect load control, which are measures of Demand-Response. There is another set of measures, for example, financial incentives to use energy off-peak hours or in higher cost of production.

Overall, these measures can get energy savings and/or lowering the tip of DC, further facilitating the integration of distributed production. The uncertainty associated with distributed generation makes the Demand-Response a tool that facilitate the accommodation of rapid variations in the state of the distributed generation.

The impact of Load Management actions can be provided either through pilot projects or simulation environments created for this purpose. This dissertation will assess the impact of some of these measures over a set of loads, in this case HVAC equipment. The actions of load management that will be studied are the Power Cuts and Change in Deadband applied to HVAC equipment.

Keywords: Air Conditioning, Power Cuts, Changes in Dead Band; Physical Model Based, Demand-Response, Demand-Side Management.



# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract .....	iv
Índice.....	vi
Índice de Figuras .....	x
Índice de Tabelas.....	xiv
Lista de Abreviaturas .....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1. Estrutura da dissertação.....	2
2. Contextualização .....	3
2.1. Demand-Side Management .....	3
2.2. Demande-Response .....	5
2.3. Medidas a aplicar em ar-condicionado.....	7
3. Modelo fisicamente baseado .....	9
3.1. Cálculo da carga térmica .....	9
3.1.1. Carga térmica latente.....	10
3.1.2. Carga sensível .....	11
3.2. Funcionamento do ar-condicionado .....	14
3.2.1. Ar-condicionado convencional .....	14
3.2.2. Ar-condicionado <i>inverter</i> .....	15
3.3. Variação da temperatura interior.....	17
4. <i>Software</i> .....	19
4.1. Simulações de Monte Carlo .....	21
5. Análise ao funcionamento .....	23
5.1. Diagrama individual.....	23

5.1.1. Funcionamento em regime permanente .....	24
5.1.2. Funcionamento no período de arranque .....	27
5.1.3. Funcionamento com cortes de alimentação .....	28
5.1.3.1. Corte singular .....	28
5.1.3.1.1. Conclusões .....	32
5.1.3.2. Cortes cíclicos .....	33
5.1.3.2.1. Conclusões .....	34
5.1.4. Funcionamento com variações de banda morta .....	34
5.1.4.1. Período transitório associado à variação de banda morta .....	35
5.2. Análise a grupos de cargas .....	37
5.2.1. Sujeitos a cortes de alimentação.....	37
5.2.2. Sujeitos a variações de banda morta .....	41
6. Caso de estudo.....	45
6.1. Aplicação de cortes de alimentação .....	46
6.2. Aplicação de variações da banda morta .....	48
6.3. Conclusões .....	50
7. Conclusão e desenvolvimentos futuros .....	51
Bibliografia.....	53
Anexo A .....	a
Anexo B.....	c
Anexo B.1.....	c
Anexo C.....	h
Anexo C.1.....	h
Anexo C.2.....	i
Anexo D .....	k
Anexo E.....	m
Anexo F.....	o
Anexo F.1 .....	o

Anexo F.2.....	p
Anexo G .....	q
Anexo G.1 .....	q
Anexo G.2 .....	v
Anexo G.3 .....	x



# Índice de Figuras

Figura 1: Alterações pretendidas sobre o DC através da aplicação de medidas de DSM [2].	3
Figura 2: Planeamento dos programas de DR [3].	5
Figura 3: Escalonização temporal dos programas a aplicar pelo DR [5].	6
Figura 4: Distribuição de consumos por setor [8].	7
Figura 5: Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes eletrodomésticos [8].	8
Figura 6: Parâmetros usados no cálculo da carga térmica do espaço [10].	10
Figura 7: Funcionamento do ACC relacionando a temperatura interna com a potência elétrica..	15
Figura 8: Funcionamento do ACI relacionando a temperatura interna com a potência elétrica..	16
Figura 9: Definição das potências conforme o desvio da temperatura interior para uma situação de arrefecimento [10] [9].	16
Figura 10: Definição das potências conforme o desvio da temperatura interior para uma situação de aquecimento [10] [9].	17
Figura 11: Configuração do "Grupo".	19
Figura 12: Configuração do conjunto de medidas de controlo de carga a aplicar a cada grupo..	19
Figura 13: Fluxo de dados do software desenvolvido em MATLAB.	21
Figura 14: Cenário de simulação usado para exemplificar o funcionamento. Contém os dados sobre a temperatura exterior e a carga térmica da divisão a climatizar.	23
Figura 15: Gráfico ilustrativo do funcionamento do ACC.	24
Figura 16: Gráfico Ilustrativo do funcionamento do ACI FP 100%.	25
Figura 17: Gráfico ilustrativo do funcionamento do ACI FP 125%.	25
Figura 18: Gráfico ilustrativo do funcionamento do ACI EM.	26
Figura 19: Comparação entre os diversos equipamentos em situação de arranque, nos primeiros vinte minutos de funcionamento com temperatura inicial de 22.5°C.	27
Figura 20: Funcionamento de um AC de cada modelo sem alterações provocadas por medidas de GP.	29
Figura 21: Efeito de um corte de alimentação num AC, resultados para cada equipamento.	29
Figura 22: Impacto sobre a potência do ACC um corte com uma determinada duração, análise realizada aos cortes de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos.	31
Figura 23: Impacto sobre a potência do ACI FP 100% um corte com uma determinada duração, análise realizada aos cortes de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos.	31
Figura 24: Impacto sobre a potência do ACI FP 125% um corte com uma determinada duração, análise realizada aos cortes de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos.	31
Figura 25: Efeito do fim do planeamento de VBM para o ACC.	36

Figura 26: Efeito do fim do planeamento de VBM para o ACI FP 100% .	37
Figura 27: Efeito do fim do planeamento de VBM para o ACI FP 125% .	37
Figura 28: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 12:00 até 12:04 com TOFF=5min).	38
Figura 29: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 13:30 até 13:39 com TOFF=10min).	38
Figura 30: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 15:00 até 15:14 com TOFF=15min).	38
Figura 31: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 12:00 até 12:04 com TOFF=5min).	39
Figura 32: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 13:30 até 13:39 com TOFF=10min).	39
Figura 33: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 15:00 até 15:14 com TOFF=15min).	39
Figura 34: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 12:00 até 12:04 com TOFF=5min).	39
Figura 35: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 13:30 até 13:39 com TOFF=10min).	40
Figura 36: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 15:00 até 15:14 com TOFF=15min).	40
Figura 37: Início da aplicação da VBM #1 e da VBM #2 para o ACI FP 100% .	41
Figura 38: Início da aplicação da VBM #1 e da VBM #2 para o ACI FP 125% .	42
Figura 39: Comportamento do ACC para uma situação de múltiplas cargas, aplicação do planeamento de VBM #1 e VBM #2.	42
Figura 40: Comportamento do ACI FP 100% para uma situação de múltiplas cargas, aplicação do planeamento de VBM #1 e VBM #2.	42
Figura 41: Comportamento do ACI FP 125% para uma situação de múltiplas cargas, aplicação do planeamento de VBM #1 e VBM #2.	43
Figura 42: DC sem considerar a potência dos AC's, DC dos equipamentos de climatização e DC total.	45
Figura 43: Comparação entre o DC total e o DC total afetado de um cenário de cortes (Cortes #4), para o Caso de Estudo #2.	48
Figura 44: Comparação entre o DC total e o DC total afetado de um cenário de VBM (VBM #2), para o Caso de Estudo #2.	50
Figura 45: Pseudo-código da parte principal do software.	a

Figura 46: Pseudo-código da função inverter().	b
Figura 47: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=5min e TOFF=10min.	k
Figura 48: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=5min e TOFF=15min.	k
Figura 49: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=5min e com TOFF=20min.	k
Figura 50: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=10min e TOFF=15min.	k
Figura 51: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=10min e com TOFF=20min.	l
Figura 52: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=10min e com TOFF=30min.	l
Figura 53: Plano de VBM #1 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante todo o dia.	m
Figura 54: Plano de VBM #2 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante todo o dia.	m
Figura 55: Plano de VBM #3 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante as horas de ponta, o abaixamento da BM foi progressivo para evitar picos de potência.	m
Figura 56: Plano de VBM #4 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante as horas de ponta, o abaixamento da BM foi progressivo para evitar picos de potência.	n
Figura 57: Plano de VBM #5 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante as horas de maior consumo.	n
Figura 58: Plano de VBM #6 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante as horas de maior consumo.	n
Figura 59: Planeamento dos CA a aplicar ao conjunto de cargas, foi feita uma implementação simultânea e outra desfasada de um minuto.	o
Figura 60: Planeamento dos CA a aplicar ao conjunto de cargas, foi feita uma implementação simultânea e outra desfasada de um minuto.	o
Figura 61: Planeamento dos CA a aplicar ao conjunto de cargas, foi feita uma implementação simultânea e outra desfasada de um minuto.	o
Figura 62: Planeamento das VBM para um grupo de cargas, VBM #1.	p
Figura 63: Planeamento das VBM para um grupo de cargas, VBM #2.	p
Figura 64: Planeamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #1.	v
Figura 65: Planeamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #2.	w
Figura 66: Planeamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #3.	w
Figura 67: Planeamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #4.	w
Figura 68: Planeamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #5.	w
Figura 69: Planeamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #6.	w
Figura 70: Planeamento de VBM #1 aplicado no caso de estudo de forma desfasada.	x
Figura 71: Planeamento de VBM #2 aplicado no caso de estudo de forma desfasada.	x

Figura 72:Planeamento de VBM #3 aplicado no caso de estudo de forma desfasada. .... x

# Índice de Tabelas

Tabela 1: Distinção entre os objetivos das alterações ao DC propostos pela DSM [2].	4
Tabela 2: Carga térmica latente para diversas situações devido à contribuição das pessoas, sendo que a tabela contém a carga térmica sensível (S) e latente (L) para diversas temperaturas de bulbo seco (TBS) [12].	11
Tabela 3: Dados da divisão a climatizar.	23
Tabela 4: Dados dos equipamentos a comparar.	24
Tabela 5: Comparação entre os diversos modos de funcionamento do AC.	26
Tabela 6: Análise ao comportamento no arranque do ACC, ACI FP 100% e ACI FP 125%.	27
Tabela 7: Energia consumida durante os sessenta minutos a seguir ao início do corte para as duas cargas iguais (uma com e outra sem CA).	29
Tabela 8: Escala temporal de análise da potência média no instante a seguir à aplicação de um corte de alimentação.	30
Tabela 9: Impacto de um corte com uma determinada potência sobre todos os tipos de equipamento.	30
Tabela 10: Tempo de reposição médio em minutos para todos os modelos de AC, considerando as diferentes potências.	32
Tabela 11: Variação da potência média conforme o equipamento e o cenário de corte aplicado.	33
Tabela 12: Temperatura média interior para todos os cenários, com todos os equipamentos e planos de cortes.	34
Tabela 13: Variação da energia consumida conforme o planeamento de VBM aplicado.	35
Tabela 14: Tempo Off provocado pela subida da BM do AC e amplitude da subida de BM.	36
Tabela 15: "Régua" temporal usada para o cálculo da potência média no instante a seguir ao fim da aplicação da VBM.	36
Tabela 16: Aplicação de cortes de alimentação de forma não simultânea e simultânea a um conjunto de cargas, evidenciando as reduções conseguidas na potência máxima.	40
Tabela 17: Indicadores do DC total para o caso de estudo.	45
Tabela 18: Conjuntos de cargas a simular no caso de estudo, onde se procurou analisar o impacto da presença de ACI FP 125% e do aumento de grupos de controlo.	46
Tabela 19: Resultados da aplicação dos planos de cortes aos diversos casos de estudo.	47
Tabela 20: Resultados da aplicação dos planos de VBM aos diversos casos de estudo.	49
Tabela 21: Dados sobre os equipamentos de climatização.	c
Tabela 22: Edifício #1.	c
Tabela 23: Edifício #2.	d

Tabela 24: Temperatura exterior usada nas simulações.....	e
Tabela 25: Fontes internas de carga térmica (pessoas e equipamentos).....	f
Tabela 26: Organização das simulações e respetivo ficheiro (grupo "n".xlsx).....	g
Tabela 27: Comparação entre os diversos equipamentos de AC.....	h
Tabela 28: Comparação entre o tempo necessário para os diversos equipamentos para que a temperatura interior atinja os 21,5°C.....	i
Tabela 29: Comparação entre os diversos equipamentos durante o período de arranque, para a energia consumida, potência média e máxima.....	j
Tabela 30: Edifício #1.....	q
Tabela 31: Edifício #2.....	r
Tabela 32: Temperatura exterior #1.....	s
Tabela 33: Carga térmica interna #1.....	t
Tabela 34: Planeamento das simulações para o Caso de Estudo #1.....	u
Tabela 35: Planeamento das simulações para o Caso de Estudo #2.....	u
Tabela 36: Planeamento das simulações para o Caso de Estudo #3.....	v

# Lista de Abreviaturas

Abreviatura	Descrição
AC	Ar-Condicionado
ACC	Ar-Condicionado Convencional (Tipo <i>On-Off</i> )
ACI	Ar-Condicionado <i>Inverter</i>
ACI EM	Ar-Condicionado <i>Inverter Eco Mode</i>
ACI FP	Ar-Condicionado <i>Inverter Full Power</i>
BM	Banda Morta
CA	Corte de Alimentação
CDC	Controlo Direto de Carga
COP	<i>Coefficient Of Performance</i>
DC	Diagrama de carga
DR	<i>Demand -Response</i>
DR	Demand-Response
DSM	<i>Demand Side Management</i>
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
FCR	Fator de Carga de Refrigeração
FGI	Fator de Ganho por Insolação
GP	Gestão de Procura
MFB	Modelo Fisicamente Baseado
PT	Posto de Transformação
SEE	Sistema de Energia Elétrica
SMC	Simulações de Monte Carlo
TOFF	Tempo <i>Off</i>
TON	Tempo <i>On</i>
VBM	Variação da Banda Morta
VTR	Variação da Temperatura de Referência



# 1. Introdução

Nas últimas décadas tem-se assistido a uma tendência para um crescente consumo de eletricidade. Durante muito tempo a filosofia foi de satisfazer toda a procura à custa do aumento de capacidade do sistema.

No entanto, facilmente se percebe que, ao tornar o diagrama de carga (DC) o mais plano possível (através da aplicação de diversas medidas) vai permitir vender energia disponível nos “vales” do DC e diminuir a ponta máxima. Isto permite, assim, adiar o investimento em mais capacidade de produção e de transporte de energia, que tipicamente é muito cara. Esta alteração ao DC pode ser feita através de diversas medidas com os seguintes objetivos para o DC: corte de pontas, conservação estratégica, enchimento de vales, crescimento estratégico, desvio de consumos ou diagrama flexível.

As alterações ao DC podem ser conseguidas através de medidas de *Demand-Side Management* (DSM). Desta forma, define-se o DSM como a monitorização e o planeamento de ações que visam alterar o padrão de consumos, com objetivos diversos em termos de alteração do DC [1], [2].

Dentro do DSM encontra-se o chamado *Demand Response* (DR), onde existem programas baseados em incentivos e programas baseados em preços [3]. Sendo que os programas baseados no preço, refletem no preço da energia o custo de produção da eletricidade de forma mais desagregada no tempo, incentivando desta forma o cliente a moldar os seus consumos. Enquanto os programas baseados em incentivos passam por metas contratuais que pode resultar num reforço positivo e/ou negativo ao comportamento do cliente.

Como estas medidas têm impactos variáveis, o seu estudo pode passar por projetos-piloto, recurso a resultados históricos ou criação de cenários de simulação. Sendo evidente que cada uma destas formas de averiguar impactos tem um determinado custo, assim, a utilização de *software* que permita a simulação acaba por ser uma forma de conhecer impactos com um custo mais reduzido.

É importante, ainda, reconhecer que a implementação de um *software* simulação é “distante” da realidade, mas não coloca em causa a integridade do Sistema de Energia Elétrico (SEE), pois qualquer erro ou resultado imprevisto não trás consequências. Por consequência, quando passamos para o plano real, por exemplo, projetos piloto, já serão conhecidos alguns resultados, diminuindo assim os riscos e antecipando algumas vantagens da implementação.

## 1.1. Estrutura da dissertação

Nesta dissertação começou-se no Capítulo 2 por estudar todo o contexto relativo às medidas aplicadas através de DSM para o controlo da forma do DC, tendo o estudo incidido num conjunto de equipamentos, os equipamentos de climatização. A escolha dos equipamentos de climatização teve por base o facto de nem todas as cargas poderem ser sujeitas a medidas de controlo de carga.

De seguida, no Capítulo 3, foi estudado um Modelo Fisicamente Baseado (MFB) previamente desenvolvido que reproduz o regime de funcionamento de uma carga de condicionamento ambiente, bem como o andamento da temperatura no espaço condicionado.

Já no Capítulo 4 foi descrita a forma como o *software* foi implementado em MATLAB, abordando questões como o seu pseudo-código e fluxo de dados.

No Capítulo 5 é demonstrado e analisado o comportamento da ferramenta, expondo ainda o funcionamento quando sujeito a Cortes de Alimentação (CA) e Variações de Banda Morta (VBM). Toda esta análise foi feita para uma carga e um grupo de cargas.

No Capítulo 6 é analisado um caso de estudo, a análise tem por objetivo definir possíveis medidas de gestão de procura que possam diminuir a ponta do diagrama de carga (DC), baseando a aplicação de medidas de gestão de procura nos resultados obtidos nos capítulos anteriores.

No Capítulo 7 vamos retirar algumas conclusões e fazer uma avaliação de trabalhos futuros.

## 2. Contextualização

Com exceção dos últimos anos, e provavelmente devido ao contexto socio-económico atual, a tendência durante muito tempo foi de crescimento do consumo de energia. Associado ao aumento do consumo de energia está associado um aumento do custo, o que tem levado à conceção e promoção de medidas que atrasem o crescimento dos consumos, permitindo assim adiar o investimento em produção e em capacidade de transporte da rede elétrica, tendo ainda em atenção que o aumento de produção tende a ser cada vez mais caro devido a caminhar lentamente para uma situação de sobre-exploração dos recursos disponíveis para produzir energia elétrica.

Uma forma de mitigar a necessidade do aumento da produção passa pela alteração ao DC. Para tal, existem diversas estratégias, tais como: o corte das pontas de potência, conservação estratégica, enchimento de vales, crescimento estratégico, desvio de consumos ou diagrama flexível, como foi sintetizado por Gellings [2].

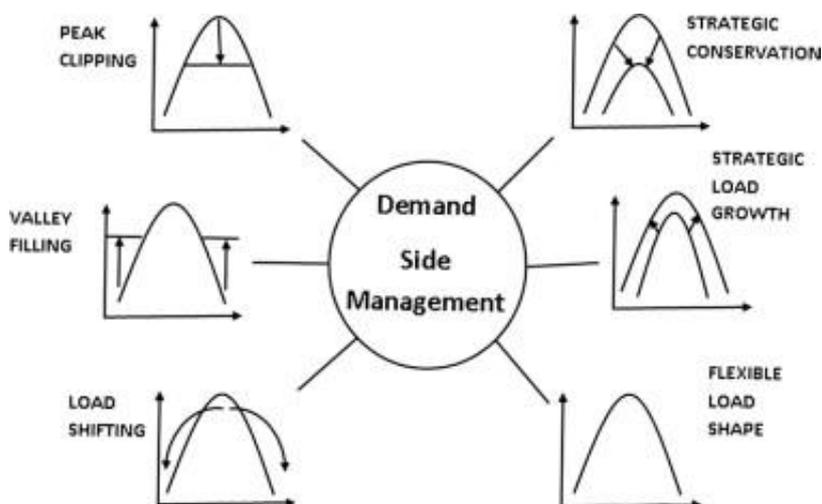


Figura 1: Alterações pretendidas sobre o DC através da aplicação de medidas de DSM [2].

### 2.1. Demand-Side Management

Com o DSM, pretende-se alterar a forma como o cliente utiliza a energia, para assim adequar a forma do DC aos objetivos visados. Esta questão surgiu quando o aumento da capacidade de produção se tornava muito dispendioso e devido ao maior impacto ambiental, assim como o recurso a mais fontes de energia que, eventualmente, teriam um elevado impacto visual ou ambiental. Por exemplo: podem-se mencionar grandes barragens de albufeira, as quais por vezes se tornam extremamente polémicas, a exemplo disso existe a Barragem da Aguieira onde para a sua construção foi necessário submergir duas aldeias. Podem ser ainda mencionadas situações de ponta onde a capacidade nacional já não foi capaz de satisfazer a procura, tendo a solução passado por comprar energia ao estrangeiro [7].

Para o produtor o DSM deve ser visto como uma ferramenta para “redesenhar” a curva do DC para satisfazer os seus objetivos e capacidades.

Tabela 1: Distinção entre os objetivos das alterações ao DC propostos pela DSM [2].

Objetivos das estratégias de DSM	Descrição
Desvio de consumos	A última forma clássica de controlo de carga, refere-se ao desvio dos consumos da hora de ponta para as horas de vazio, sendo ai mais fácil satisfazer a procura a um preço baixo. Pode ser conseguido através de incentivos nos preços da energia.
Corte de pontas	Usado na redução da ponta do sistema, recorre ao controlo direto de carga como ferramenta para alterar o DC.
Enchimento de vales	Refere-se ao estímulo para consumir nas horas de vazio. Pode ser feito recorrendo ao armazenamento de energia térmica (por exemplo nos edifícios, frigoríficos e arcas congeladoras).
Crescimento estratégico	Procura estimular novas utilizações para o mercado da eletricidade, preferencialmente em horas de vazio. Tipicamente este crescimento pretende-se que ocorra à custa de novas utilizações para a energia elétrica.
Diagrama flexível	Este conceito prende-se com a flexibilização do DC, assim permite um planeamento ótimo do dia seguinte. Faz o planeamento de acordo com critério de fiabilidade e permissão dos clientes em que lhes sejam controladas algumas cargas.
Conservação estratégica	Passa por incentivos à utilização mais eficiente da energia elétrica.

Algumas destas medidas são medidas de *Demand-Response* (DR), desta forma é fácil de perceber que o redesenhar da curva passa tanto por medidas para alterar o comportamento dos clientes como por monitorização e planeamento para uma utilização mais eficiente da energia produzida.

Com o DSM conseguimos além da alteração ao DC outros benefícios, tais como [4]:

- Redução das emissões, como resultado da redução da procura global;
- Abaixamento dos consumos devido a uma maior consciencialização (medidas mais rigorosas e variação do preço conforme o custo de produção);
- Melhor aproveitamento da capacidade instalada devido a ações de DSM como desvio de consumos e corte da ponta (controlo direto de carga);
- Melhor integração da geração distribuída e dos veículos elétricos;
- Diminuição das perdas como consequência de um consumo mais moderado;
- Preservação dos recursos, território e paisagem.

Um dos métodos que o DSM usa para controlar a forma do DC é o Controlo Direto de Carga (CDC), que consiste em desligar por breves instantes as cargas, assim alterando o seu normal funcionamento. Outro método é desviar o funcionamento das cargas para períodos em que a procura seja menor e/ou a energia seja mais barata.

Desta forma temos as seguintes cargas com algumas estratégias de controlo associadas:

- Sistemas de AC e termoacumuladores podem ser reparametrizados (alteração da temperatura de referencia e/ou banda morta) ou interrupção por um curto intervalo de tempo;
- Equipamentos de frio podem ser interrompidos por um curto intervalo de tempo ou ter a sua temperatura de referência alterada;
- As máquinas de lavar roupa, secar roupa e lavar loiça são cargas cujo ciclo de funcionamento pode ser adiantado ou atrasado conforme a necessidade de alterar os consumos.

As cargas seleccionadas para programas CDC devem ter a capacidade de ver o seu funcionamento alterado sem comprometer seriamente o conforto ou o estilo de vida do cliente, caso contrário este podia não encontrar nestes programas vantagens suficientes que compensassem a alteração do seu estilo de vida. Tal exige que as cargas tenham alguma capacidade de armazenamento de energia.

## 2.2. Demande-Response

Os programas baseados em DR funcionam com base em duas formas de planeamento que visam alterar a forma como o utilizador usa a energia.

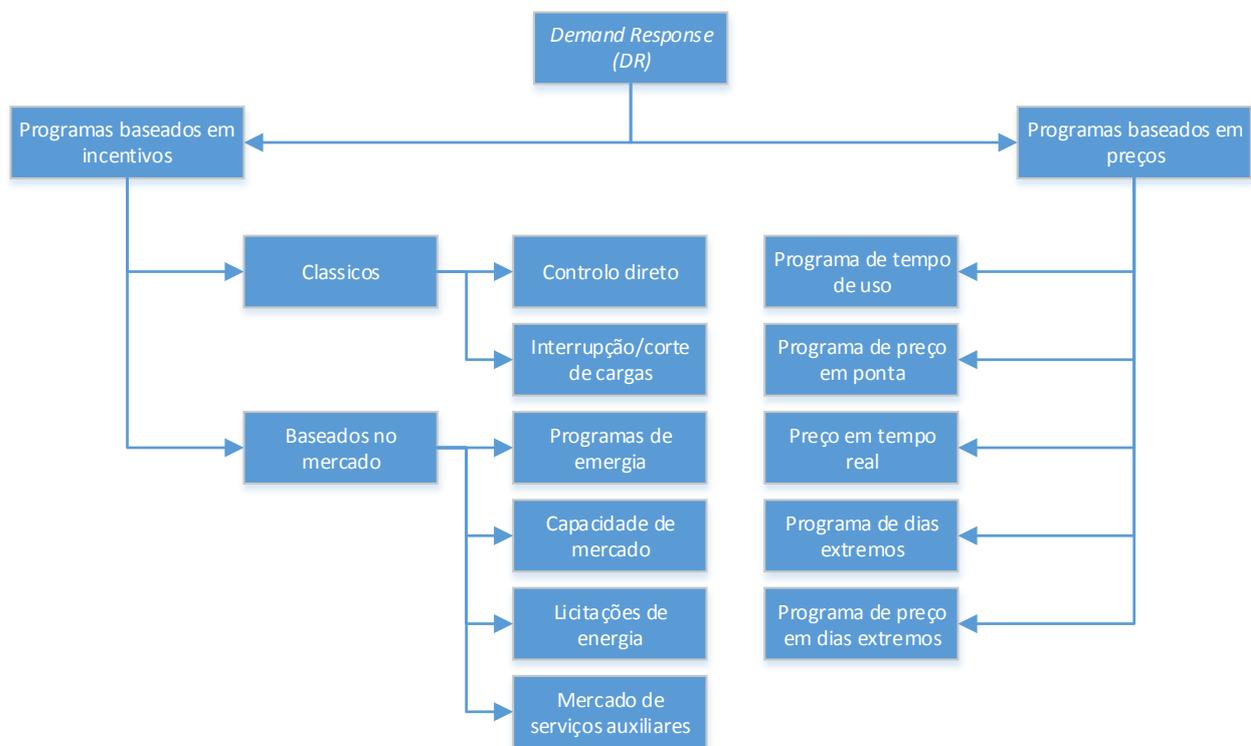


Figura 2: Planeamento dos programas de DR [3].

Em [3] Albadi e Saadany foram definidos os programas em que se podia dividir o DR, destacando-se, assim, os programas baseados em incentivos, onde o consumidor é beneficiado com descontos ou crédito por participar neste tipo de programa. Já nos programas baseados em preços, a eletricidade tem preços diferentes em diferentes intervalos de tempo ao longo do dia. O objetivo final deste tipo de programa é “planar” a curva do DC, para tal, a energia é mais barata nas horas de vazio e mais cara nas horas cheias.

O programa de preço em tempo real é conhecido, por muitos economistas, como o programa mais eficiente em alterar a forma do DC. Temos, apenas as tarifas bi-horárias e tri-horárias, que já passam pela aplicação de preços a variar conforme a procura e consequentemente conforme o custo de produção.

A escala temporal de aplicação destas medidas é bastante distinta. Assim ficam definidas, conforme o objetivo, o horizonte temporal algumas medidas a aplicar.

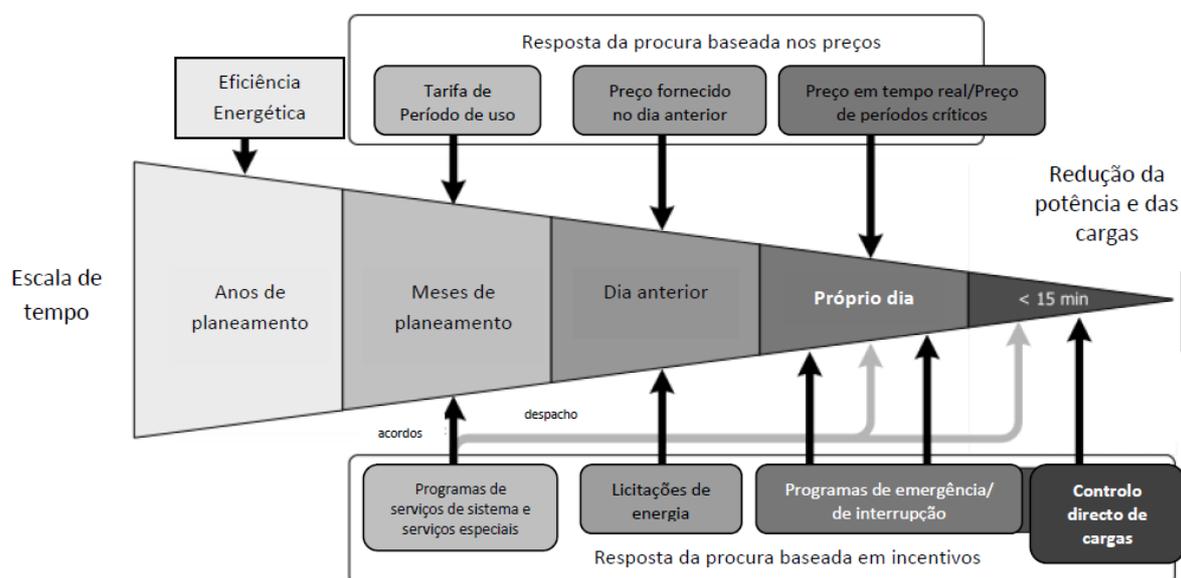


Figura 3: Escalonização temporal dos programas a aplicar pelo DR [5].

Os programas DR trazem alguns benefícios para todos os intervenientes do sistema elétricos, tais como:

- Diminuição dos custos de obtenção de energia para o consumidor;
- Diminuição dos custos de produção por kWh, pois pode-se realizar a produção com as centrais com os custos mais baixos;
- Diminuição dos picos do DC, levando a um adiamento na construção de infraestruturas de produção de energia;
- Aumento da fiabilidade da rede devido a um planeamento mais eficiente e a uma melhor integração das energias renováveis.

## 2.3. Medidas a aplicar em ar-condicionado

No seguimento deste trabalho, irão ser aplicadas medidas de controlo de carga a um conjunto de equipamentos domésticos, cuja potência é significativa, os equipamentos de AC. O uso deste tipo de equipamento em controlo de carga faz todo o sentido, uma vez que, a alteração da temperatura do termostato, ou um curto CA, não criará inconvenientes de maior para o utilizador, se as ações de controlo forem adequadamente desenhadas, assim como não põe em causa a continuidade do serviço.

Isto acontece devido à capacidade do edifício em armazenar energia térmica, assim, um curto CA não vai provocar um desvio muito elevado da temperatura interior. No caso da VBM a análise é diferente, pois o desvio de um grau centígrado não leva a que exista desconforto no cliente e conduz a poupanças.

O aspeto do conforto do cliente é essencial para que este permita a aplicação deste tipo de medidas. Podemos imaginar, por exemplo, um televisor: decerto que um cliente não ia aceitar um corte de alimentação num televisor, uma vez que interrompe o serviço, além de que a potência não é considerável.

É importante conhecer a amplitude destas medidas, assim, foram identificados os consumos por sector:

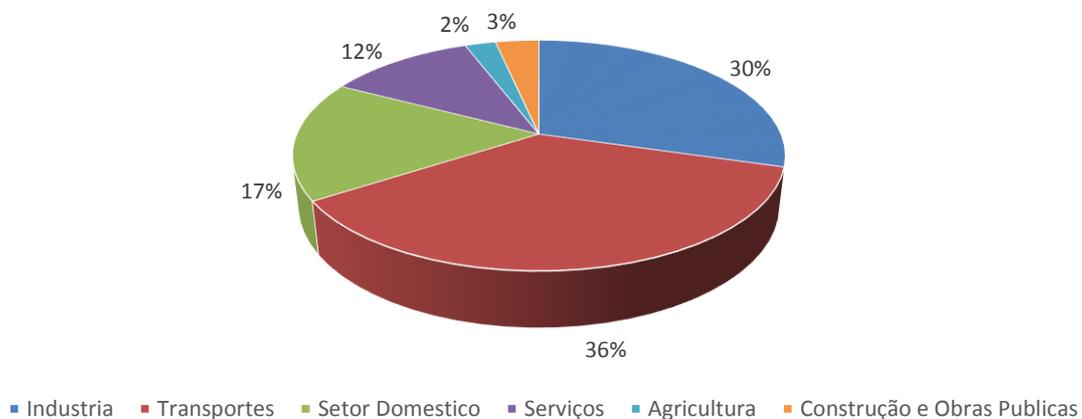


Figura 4: Distribuição de consumos por setor [8].

É ainda conhecida a repartição dos consumos dos diversos equipamentos a nível doméstico:

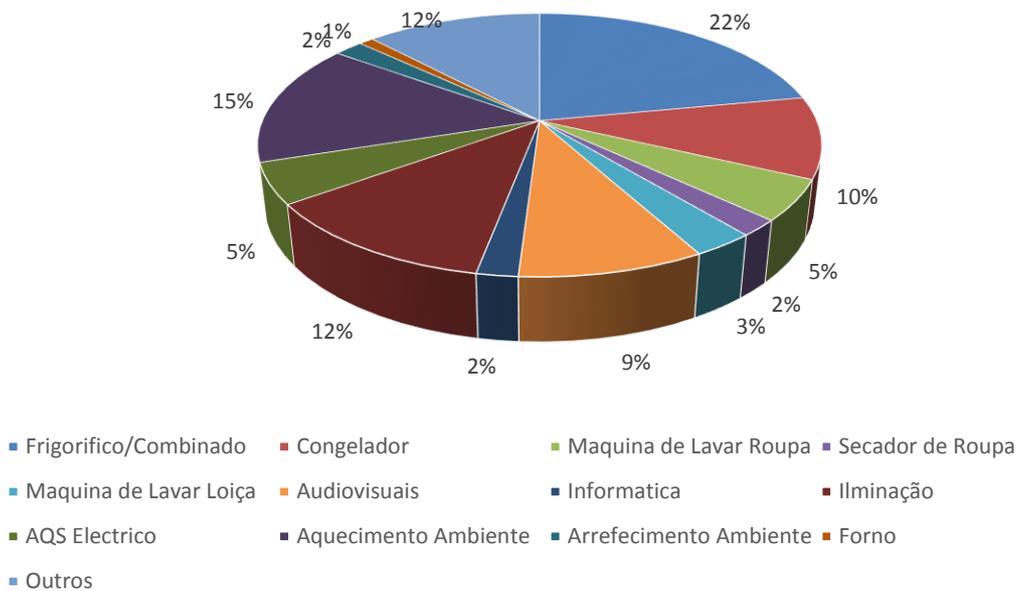


Figura 5: Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes eletrodomésticos [8].

Neste relatório ficou claro que 15% do consumo de eletricidade destina-se a aquecimento e 2% destina-se a arrefecimento. Todavia, tem-se assistido a uma crescente contribuição da carga de refrigeração para as pontas do diagrama de Verão, além de que as pontas de Inverno são muito devidas às cargas de aquecimento. Outras cargas capazes de serem controladas sem que isso comprometa a qualidade de serviço são frigoríficos e congeladores.

## 3. Modelo fisicamente baseado

Na dissertação aqui apresentada, pretende-se avaliar o impacto das medidas de GP, sendo que, para tal é usado um MFB. Este tipo de modelo reflete os fenômenos físicos, permitindo assim fazer simulações ao minuto, conhecendo desta forma o valor das variáveis em qualquer instante.

Esta forma de simular o comportamento dos AC pode ser usada para avaliar o funcionamento em regime transitório (situação de arranque e aplicação de medidas de GP) ou regime permanente.

Este tipo de modelo trata-se do mais adequado para simular o comportamento do AC quando este tem o seu comportamento alterado por medidas de GP, pode ser então usado para avaliar o impacto das medidas de controlo de carga sobre variáveis como a temperatura interna da divisão, potência do AC (elétrica ou térmica) ou o fator de simultaneidade (ou diversidade) de um grupo de cargas.

A implementação destes modelos pode ser um processo complicado e não trivial. No entanto, permite a simulação com resultados próximos da realidade, sendo uma boa ferramenta para avaliar impactos antes da implementação em projetos-piloto ou mesmo na prática.

Em contrapartida, implementar um modelo probabilístico tipicamente é uma tarefa mais simples, e computacionalmente mais leve.

A implementação de modelos probabilísticos tipicamente assenta em compilações de resultados históricos, tentando assim modelar comportamentos, o que permite de imediato conhecer uma grande falha, a implementação de novos cenários para os quais não há dados históricos. Além de que, tipicamente, nestes modelos não é possível modelar o efeito que o utilizador tem na potência do AC e sobre a temperatura interior.

Podem ser mencionados alguns modelos probabilísticos que tentaram modelizar o comportamento do Ar-condicionado Convencional (ACC) definindo métodos para o cálculo do Tempo *On* e *Off* (TON e TOFF, respetivamente) desse equipamento em funcionamento [8] [6].

Assim, usando os MFB pretende-se conhecer o impacto das medidas de GP aplicadas nas cargas, seja o impacto sobre a potência do AC do início de um corte ou do seu fim, assim como o impacto da subida da VBM ou da sua descida pois têm impactos diferentes.

### 3.1. Cálculo da carga térmica

Para uma correta avaliação do desempenho e comportamento do AC, foi utilizado um MFB previamente desenvolvido em [10] que reflete o maior número de características do espaço a estudar

por forma a ser o mais preciso possível. Nesse modelo foram introduzidas alterações no cálculo da carga térmica, acrescentando alguns aspetos que não foram considerados no modelo inicial.

Assim, para o estudo do espaço são considerados os seguintes aspetos:

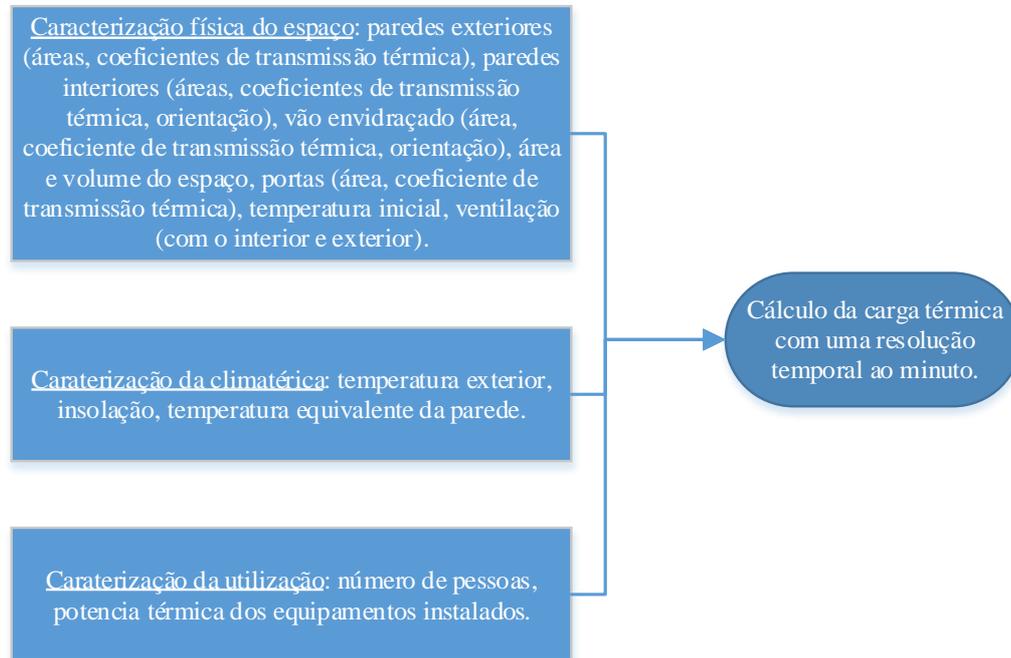


Figura 6: Parâmetros usados no cálculo da carga térmica do espaço [10].

Cada componente da carga térmica tem uma forma específica de se calcular, e depende de um conjunto particular de parâmetros. Sendo que, além da diferente forma de cálculo, ainda estão organizadas em duas categorias distintas, conforme a sua origem [11].

$$Q_T(t) = Q_L(t) + Q_S(t) \text{ [W]} \quad (1)$$

Onde,

$Q_T(t)$  – Carga térmica total [W]

$Q_L(t)$  – Carga térmica latente [W]

$Q_S(t)$  – Carga térmica sensível [W]

### 3.1.1. Carga térmica latente

A carga térmica latente está associada à humidade existente na divisão a climatizar, a qual pode ter duas origens: a humidade devida à respiração das pessoas (que depende de aspetos como a atividade desenvolvida no instante considerado, estatura e sexo) e as trocas de ar com o exterior. Assim temos para a carga térmica latente duas componentes [11]:

$$Q_L(t) = Q_{L\_Pessoas}(t) + Q_{L\_Ventilação}(t) \text{ [W]} \quad (2)$$

Sendo que a primeira componente, a carga térmica latente devida às pessoas se encontra tabelada consoante diversos fatores, como a tabela entra em conta também com a carga térmica sensível devido às pessoas, terá os dois valores para todas as situações.

Tabela 2: Carga térmica latente para diversas situações devido à contribuição das pessoas, sendo que a tabela contém a carga térmica sensível (S) e latente (L) para diversas temperaturas de bulbo seco (TBS) [12].

Local	Metabolismo Adulto	Metabolismo Médio (A)	TBS									
			28		27		26		24		21	
			S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
Teatro, Escola Primaria	98	88	44	44	49	39	53	35	58	30	65	23
Escola Secundaria	113	100	45	55	48	52	54	46	60	40	68	32
Escritórios, Hotéis, Universidades	120	113	45	68	50	63	54	59	61	52	71	42
Supermercados, Lojas	139											
Farmácia, Drogeria	139	126	45	81	50	76	55	71	64	62	73	53
Bancos	139											
Restaurante (B)	126	139	48	91	55	84	61	78	71	68	81	58
Fabrica, Trabalho Leve	202	189	48	141	55	134	62	127	74	115	92	97
Salão de Baile	227	214	55	159	62	152	69	145	82	132	101	113
Fabrica, Trabalho Moderadamente Pesado	252	252	68	184	76	176	83	169	96	156	116	136
Boliches, Fabricas, Ginásios (C)	378	365	113	252	117	248	122	243	132	233	152	213

Para a ventilação o cálculo da carga térmica já é feito com base numa expressão que toma em consideração as trocas de ar com o espaço fechado. Caso não existam trocas esta componente fica nula [11].

$$Q_{L\_Ventilação}(t) = \rho C_p R_{ph} V (T_{Exterior} - T_{Interior}) / 3600 \text{ [W]} \quad (3)$$

Onde,

$\rho$  – Massa específica do ar  $\left[1,22 \frac{Kg}{m^3}\right]$ ;

$C_p$  – Calor específico do ar  $\left[1005,6 \frac{J}{kg^{\circ}C}\right]$ ;

$R_{ph}$  – Número de renovações horárias do ar interior  $[h^{-1}]$ ;

$V$  – Volume do interior da fração autónoma.

### 3.1.2. Carga sensível

As contribuições para a carga sensível ocorrem devido à presença de pessoas, ventilação, libertação de calor devido às fontes internas, insolação, condução através de vãos envidraçados, assim como de componentes opacas [11].

$$Q_S(t) = Q_{S\_Pessoas}(t) + Q_{S\_Ventila\c{c}\tilde{a}o}(t) + Q_{S\_Fontes\_Internas}(t) + Q_{S\_Insola\c{c}\tilde{a}o\_Vidros}(t) + Q_{S\_Condu\c{c}\tilde{a}o\_Vidros}(t) + Q_{S\_Envolvente\_Opaca\_Exterior}(t) + Q_{S\_Envolvente\_Opaca\_Interior}(t) \text{ [W]} \quad (3)$$

Onde,

$Q_{S\_Pessoas}(t)$  – Carga sensível devido à presença de pessoas [W];

$Q_{S\_Ventila\c{c}\tilde{a}o}(t)$  – Carga sensível devido à ventilação [W];

$Q_{S\_Fontes\_Internas}(t)$  – Libertação de calor devido ao funcionamento de fontes internas [W];

$Q_{S\_Insola\c{c}\tilde{a}o\_Vidros}(t)$  – Carga sensível por insolação através dos vãos envidraçados [W];

$Q_{S\_Condu\c{c}\tilde{a}o\_Vidros}(t)$  – Carga sensível por condução através dos vidros e devido à diferença das temperaturas ambientais [W];

$Q_{S\_Envolventes\_Opacas\_Exterior}(t)$  – Ganho de calor através das envoltentes opacas em contato com o exterior [W];

$Q_{S\_Envolventes\_Opacas\_Interior}(t)$  – Ganho de calor através das envoltentes opacas em contato com o interior [W].

A cada componente da carga térmica sensível corresponde uma forma particular de cálculo, tornando a sua implementação mais complexa. Para o cálculo da carga térmica sensível devido às pessoas usamos a Tabela 2, que contém além dos valores da carga térmica latente devido às pessoas, os valores para a carga térmica sensível devido às pessoas.

De seguida vamos considerar o cálculo da carga térmica sensível devido à ventilação, a qual, neste modelo pode ter duas origens, trocas de ar com o interior e com o exterior [11]:

$$Q_{S\_ventila\c{c}\tilde{a}o}(t) = V'(t)\rho C_p [T_0(t) - T_i(t)] \text{ [W]} \quad (4)$$

Onde,

$V'$  – Caudal volúmico de ar  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ ;

$\rho$  – Massa específica  $\left[1,22 \frac{Kg}{m^3}\right]$ ;

$C_p$  – Calor específico do ar  $\left[1005,6 \frac{J}{kg^{\circ}C}\right]$ ;

$[T_0(t) - T_i(t)]$  – Diferença de temperaturas ambientais ( $^{\circ}C$ ).

A contribuição das fontes internas é conhecida e depende da forma como utilizamos o edifício, desta forma não necessita de ser calculada. No entanto, faz parte dos parâmetros de entrada do *software*, uma vez que reflete um padrão de utilização dos equipamentos presentes no espaço e cujo funcionamento provoca aquecimento.

Como é do conhecimento comum, a trajetória do sol em relação a um edifício não é igual. Se tomarmos como referencial as diferentes orientações (cardeais) que a janela pode tomar, isso vai influenciar os valores de insolação a que a janela está exposta. Além disso, a janela tem algumas propriedades refletivas que a envolvente opaca não tem. Nesse sentido, usamos o Fator de Ganho por Insolação (FGI), que reflete os ganhos por insolação, uma vez que estes não se calculam com base na diferença de temperaturas.

Ao contrário do que acontece com os vãos opacos, nas janelas o ganho por insolação não é direto. Primeiro os raios solares vão aquecer as paredes interiores e os objetos, só posteriormente é que começam a aquecer o ambiente. Assim, surge a necessidade de usarmos um valor que tipicamente vem tabelado, que reflete o atraso no aquecimento do ambiente, o Fator de Carga de Refrigeração (FCR). Um outro aspeto a considerar, neste caso construtivo, é o efeito que o sombreamento vai ter nos ganhos por insolação, por consequência consideramos um coeficiente de sombreamento ( $C_S$ ).

Desta forma, a carga térmica por insolação pelas janelas vai ser obtida a partir da seguinte expressão [11]:

$$Q_{S\_Insolação\_Vidros}(t) = A * FGI(t) * C_S * FCR(t) \text{ [W]} \quad (5)$$

Onde,

$FGI(t)$  – Ganho por insolação  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ ;

$C_S$  – Coeficiente de sombreamento;

$A$  – Área do vão envidraçado  $[m^2]$ ;

$FCR(t)$  – Fator de carga de refrigeração.

No caso dos vidros, além da carga térmica por insolação existe ainda a carga térmica por condução, a qual se calcula da seguinte forma [11]:

$$Q_{S\_Condução\_Vidros}(t) = A * U_{Vidro} * (T_0(t) - T_i(t)) \text{ [W]} \quad (6)$$

Onde,

$A$  – Área do vão envidraçado  $[m^2]$ ;

$(T_0(t) - T_i(t))$  – Diferença de temperaturas ambientais ( $^{\circ}C$ );

$U_{Vidro}$  – Coeficiente de transmissão térmica da janela  $\left[\frac{W}{m^2^{\circ}C}\right]$ .

A carga térmica na envolvente opaca representa todos os ganhos proporcionados pelas envolventes opacas em contacto com o exterior. Desta forma representa os ganhos devido às paredes em contacto com o exterior e telhados, tomando em consideração a sua área e o seu

coeficiente de transmissão térmica. Além das características da envolvente do edifício, considera-se ainda a diferença de temperatura. No entanto por forma a considerar a inercia térmica usa-se uma diferença de temperatura equivalente  $\Delta T_{eq}(t)$ . O seu cálculo baseia-se na seguinte expressão [11]:

$$Q_{Envolventes\_Opaca\_Exterior}(t) = A * U_{Parede} * \Delta T_{eq}(t) \text{ [W]} \quad (7)$$

Onde,

$A$  – Área da envolvente opaca [ $m^2$ ];

$U_{Parede}$  – Coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$ ;

$\Delta T_{eq}(t)$  – Temperatura equivalente da parede [ $^\circ C$ ].

Consideramos ainda os ganhos pela envolvente interior, os quais refletem os ganhos devido à diferença de temperatura a que as paredes e portas estão sujeitas [11]:

$$Q_{S\_Envolvente\_Opaca\_Interior}(t) = A * U_{Envolvente\_Opaca} * (T_0(t) - T_i(t)) \text{ [W]} \quad (6)$$

Onde,

$A$  – Área do vão opaco [ $m^2$ ];

$(T_0(t) - T_i(t))$  – Diferença de temperaturas ambientais ( $^\circ C$ );

$U_{Envolvente\_Opaca}$  – Coeficiente de transmissão térmica da área a considerar  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$ .

## 3.2. Funcionamento do ar-condicionado

Como foi mencionado inicialmente, o *software* consegue replicar o funcionamento do DC do AC reproduzindo as ações do termóstato de acordo com a evolução da temperatura interior. O funcionamento de diferentes tipos de AC pode ser replicado: AC Convencional ou On-Off (ACC), AC Inverter Full Power (ACI FP), o qual tem a particularidade de se assim estiver parametrizado funcionar a uma potência acima da potência nominal e temos ainda o AC Inverter ECO MODE (ACI EM).

### 3.2.1. Ar-condicionado convencional

O ACC tem um funcionamento mais simples que os outros tipos de equipamentos, caracteriza-se por ter uma velocidade fixa de funcionamento, conseqüentemente apenas funciona com uma potência térmica fixa.

O ACC tem o seu funcionamento parametrizado com dois valores, conhecidos como banda morta (BM), sendo que correspondem a duas temperaturas, uma superior e outra inferior. Podemos

considerar dois instantes de funcionamento, o arranque em que o AC só liga se a temperatura inicial for superior à BM inferior, e o funcionamento em regime permanente em que sempre que a temperatura interior se iguale ou torne superior à BM superior o AC entra em funcionamento até que a temperatura interior baixe até à BM inferior, momento em que torna a desligar.

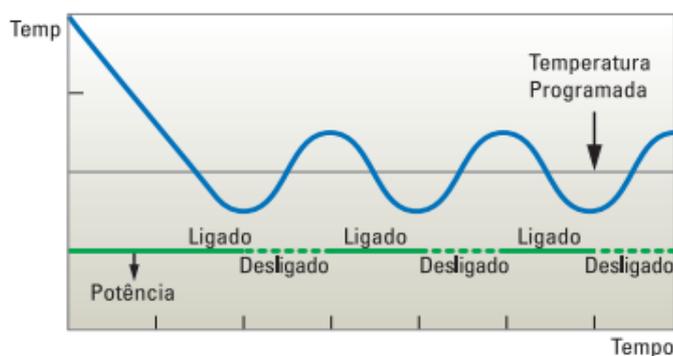


Figura 7: Funcionamento do ACC relacionando a temperatura interna com a potência elétrica.

É importante relembrar que, as medidas de GP a aplicar podem ser os cortes de alimentação ou as variações de banda morta, as quais são variações independentes da banda morta superior e inferior, permitindo, assim, alterar toda a BM ou aumentar a amplitude da BM.

### 3.2.2. Ar-condicionado *inverter*

A capacidade de o ACI funcionar com uma velocidade variável, permite que este adequa a sua potência de funcionamento às necessidades do momento.

Neste equipamento não se usa uma BM como no ACC, mas sim uma temperatura de referência a qual serve para definir a potência necessária para manter essa mesma temperatura interior. Em relação à forma como a potência é definida, temos que tomar em consideração que os equipamentos não funcionam a uma potência contínua, mas sim a uma potência distribuída em patamares (parametrizáveis).

O ACI pode ser parametrizado para funcionar de diversas formas, sendo que temos o ACI FP onde é definida uma potência máxima de funcionamento, a qual pode ser superior à potência nominal. Sendo que, essa potência apenas é usada na entrada em funcionamento quando a temperatura se desvia um determinado valor da temperatura de referência, ou durante o funcionamento em regime permanente, se a temperatura interior se começa a desviar acima de um determinado nível de temperatura (onde o desvio pode ter diversas origens, tais como um CA).

O ACI FP tem ainda uma zona de potência fixa abaixo da potência máxima, sendo que essa de potência fixa tem dois níveis de potência parametrizáveis (a parametrização típica é de 80% e 90% da potência máxima). Abaixo dos patamares de potência fixa temos a zona de potência variável que define a potência conforme a necessidade do momento, o ACI não funciona com uma

distribuição contínua de potência, pode ser parametrizado um patamar de potência que define os saltos de potência que vão ocorrer no funcionamento do equipamento.

Todo este funcionamento encontra-se ilustrado na Figura 9 para arrefecimento e na Figura 10 para aquecimento.

Quando o ACI é ligado, no caso de iniciar o seu funcionamento no modo de instabilidade, quando mudar de modo de funcionamento vai parar durante um tempo parametrizado, Tempo *Off* (TOFF), para mudar para o modo de estabilidade. O mesmo acontece quando a temperatura interior se desvia até um determinado patamar onde entra em funcionamento a potência máxima.

Além do modo de funcionamento ACI FP, temos ainda um ECO MODE que não é mais que a alteração do valor da temperatura de referência, subindo um grau centígrado permitindo alcançar assim algumas poupanças. Este modo de funcionamento mantém todo o funcionamento do ACI FP alterando apenas a temperatura de referência.

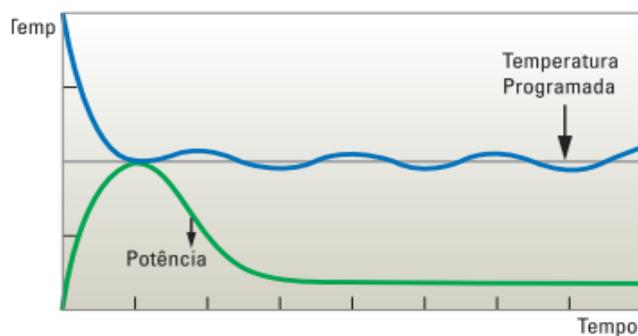


Figura 8: Funcionamento do ACI relacionando a temperatura interna com a potência elétrica.

Como funcionar a uma potência variável tem algumas necessidades ao nível do controlo da velocidade, alguns fabricantes optam por definir patamares de potência conforme o desvio de temperatura.

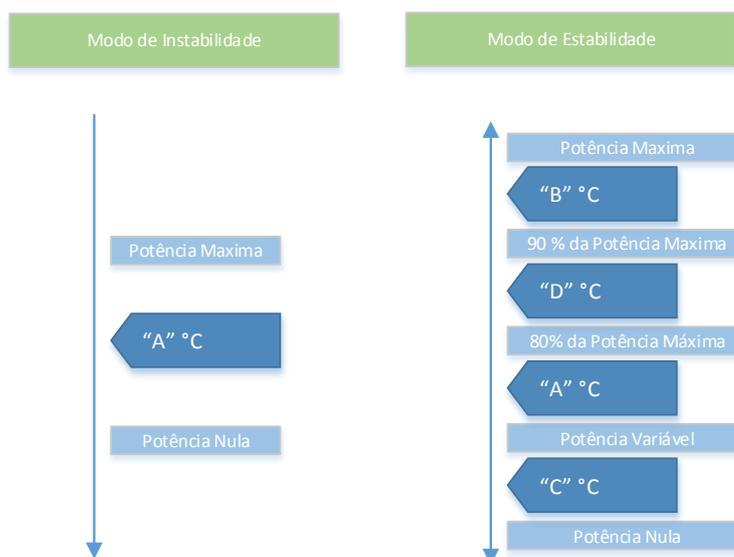


Figura 9: Definição das potências conforme o desvio da temperatura interior para uma situação de arrefecimento [10] [9].

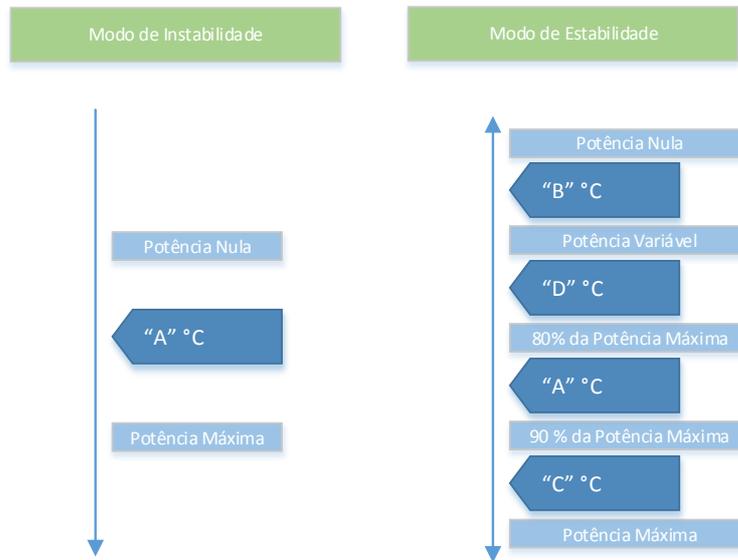


Figura 10: Definição das potências conforme o desvio da temperatura interior para uma situação de aquecimento [10] [9].

Desta forma, quando a temperatura se começa a desviar da temperatura de referência, o ACI passa a funcionar a 80% (da potência máxima), 90% (da potência máxima) ou à potência máxima conforme o desvio de temperatura, forçando a potência a fixar-se num dado patamar. Assim sendo, quando o desvio é grande conseguimos recuperações mais rápidas.

### 3.3. Variação da temperatura interior

A variação da temperatura interior depende da potência térmica desenvolvida pelo AC, da carga térmica e da temperatura inicial no instante do cálculo. A variação de temperatura rege-se pela seguinte expressão, que tem em conta o intervalo de análise. Para o caso em que o AC se encontra ligado [11]:

$$T(t + \Delta t) = T(t) - \frac{(P_{AC}(t) - Q_T(t)) * \Delta t}{mc_p} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (8)$$

Caso o AC se encontre desligado, a potência térmica desenvolvida por este passa a ser nula, passando a expressão a ser a seguinte [11]:

$$T(t + \Delta t) = T(t) + \frac{Q_T(t) * \Delta t}{mc_p} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (9)$$

Onde,

$P_{AC}(t)$  – Potência térmica desenvolvida pelo AC [W];

$Q_T(t)$  – Carga térmica do edifício [W];

$c_p$  – Calor específico do ar  $\left[ 1005,6 \frac{J}{kg^\circ C} \right]$ ;

$\Delta t$  – Período de análise [s];

$T(t)$  – Temperatura no início do período de análise [ $^{\circ}C$ ];

$T(t + \Delta t)$  – Temperatura no fim do período de análise [ $^{\circ}C$ ];

$m = \frac{\rho}{\text{Volume da Divisão}}$  – Com  $\rho$  como sendo a massa específica do ar  $\left[1,22 \frac{Kg}{m^3}\right]$ .

## 4. Software

O *software* foi pensado para avaliar CA e VBM com diferentes níveis de agregação, ao permitir reproduzir o consumo de apenas um AC ou de um conjunto de AC's. Esses grupos pretendem simular o que pode ser visto na realidade, onde as cargas pertencentes a cada grupo são agrupadas de acordo com critérios geográficos (proximidade), técnicos (cargas com características semelhantes) e de uso (utilização em condições semelhantes).

Esta metodologia permite diversos níveis de agregação, passando pela possibilidade de se obter o diagrama de carga individual correspondente ao funcionamento de uma carga, ou obter o diagrama de um grupo de cargas, podendo em qualquer uma das situações simular a aplicação de medidas de controlo de carga. Pode ser ainda adotada uma organização dos grupos por Posto de Transformação (PT), ou ligados numa subestação, permitindo assim conhecer o impacto das medidas de controlo a diversos níveis.

A primeira fase de funcionamento do *software* passa pela importação dos dados que constituem cada grupo de cargas, assim como os dados relativos ao controlo de carga, os mesmos são armazenados por grupos em estruturas de dados no MATLAB.

A informação base que caracteriza cada carga está contida em ficheiro de Excel correspondente a um grupo de cargas, cada folha de Excel contém os seguintes dados:

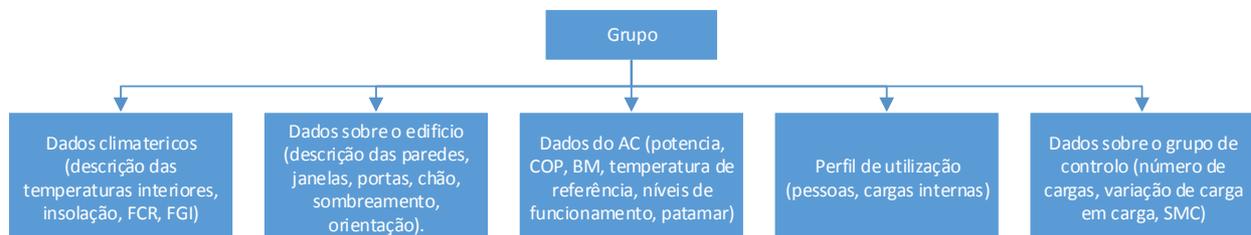


Figura 11: Configuração do "Grupo".

Além da configuração do grupo existe um ficheiro onde são discriminadas as medidas de controlo, medidas essas que podem ser cortes de alimentação (CA), variação da banda morta (VBM), ou variação da temperatura de referência (VTR) caso seja um ACC ou um ACI, estando todas essas medidas definidas ao minuto.

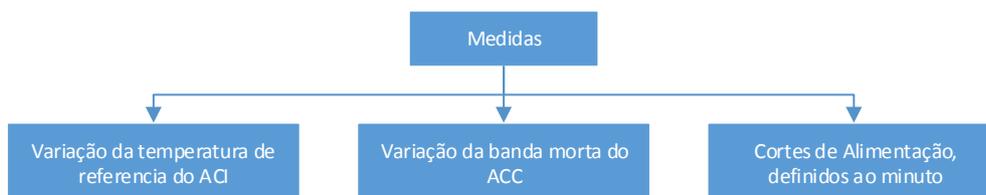


Figura 12: Configuração do conjunto de medidas de controlo de carga a aplicar a cada grupo.

Por uma questão de facilidade em inserir os dados relativos a cada grupo de cargas, para todos os dados que variam com o tempo foi usada uma resolução temporal de uma hora. Para

contornar o facto de os dados serem introduzidos com uma resolução temporal de uma hora e o *software* funcionar com resolução temporal de um minutos, usou-se uma interpolação linear para calcular os dados intermédios, conseguindo assim que dados como a temperatura exterior tivessem resolução temporal de um minuto.

Após serem calculados os novos dados relativos aos parâmetros de entrada do grupo, estes dados são guardados numa nova estrutura de dados que será posteriormente usada no cálculo da carga térmica.

A manipulação e posterior cálculo da carga térmica relativa à divisão em estudo é feita com base no MFB definido no Capítulo 3, criando uma estrutura de dados que contém a carga térmica para cada grupo com resolução temporal de um minuto.

De realçar que cada grupo é descrito através de uma folha de Excel, surge assim a primeira limitação, desenvolver resultados para um grupo de cargas através de um único conjunto de dados (um edifício, um equipamento AC, um dado conjunto de dados meteorológicos), assim foram implementadas as Simulações de Monte Carlo como forma de criar diversidade nos resultados, evitando assim que diversas cargas tenham um igual resultado.

A implementação de SMC garante a diversidade esperada de um conjunto de cargas e simplicidade de introdução de dados, pois introduzindo “aquilo” que seria uma carga conseguimos obter resultados relativos a diversas cargas diferentes.

Com essas estruturas de dados procede-se ao cálculo da carga térmica por espaço a climatizar, calculando a carga térmica para cada carga dentro do mesmo grupo. Quando as SMC estão ativas, vão ser introduzidas variações aleatórias em alguns parâmetros da simulação (definidos anteriormente) permitindo assim obter para cada carga do grupo uma carga térmica por cada Simulação de Monte Carlo.

Como os grupos são homogéneos em relação ao modelo do AC, após ser conhecida a carga térmica por espaço vai-se avaliar a evolução da temperatura e da potência com base no modelo e a parametrização do AC do grupo em simulação, tendo em conta as medidas de GP aplicadas ao grupo. Cada modelo de equipamento tem um método de funcionamento para definir a potência térmica especificada anteriormente.

Na implementação em código foi definida uma função responsável por definir a potência térmica (e elétrica necessária) em cada instante, daí existir pseudo-código relativo a essa parte do *software*.

A função do ACI foi programada com recurso aos dados obtidos no manual de operação para equipamentos da Panasonic [9], do qual se definiu o método de seleção da potência elétrica do AC representado nas Figuras 9 e 10.

Novamente vão ser tidas em conta as Simulações de Monte Carlo, sendo o cálculo da temperatura repetido para todas as cargas térmicas calculadas, fazendo no fim desse cálculo a média da variação da temperatura por carga, sendo esse o valor que se guarda.

Conforme a potência térmica definida em função da temperatura atual, vai ser calculada a temperatura no minuto seguinte, sendo que o cálculo é igual para ambos os equipamentos, dependendo da potência térmica definida pelo funcionamento de cada um.

Quando temos todos os dados relativos à divisão faz-se a devida agregação, calculando a potência total por grupo de cargas, e a sua temperatura interior média.

Existe ainda a opção de agregar as potências conforme o ponto de ligação, definido nos dados do grupo de controlo. Após todos os dados estarem com o devido nível de agregação, faz-se a exportação dos vetores para ficheiros de Excel por ser dentro das opções do MATLAB aquela que permite trabalhar os dados com mais facilidade.

Encontra-se no Anexo A, nas Figuras 45 e 46, o pseudo-código de todo o *software*, por forma a ajudar na compreensão sobre a forma como foi implementado.

Existe uma vital importância sobre o fluxo de dados do *software* desenvolvido. Só assim podemos ter real noção do potencial e das utilizações possíveis a dar ao programa de simulação.

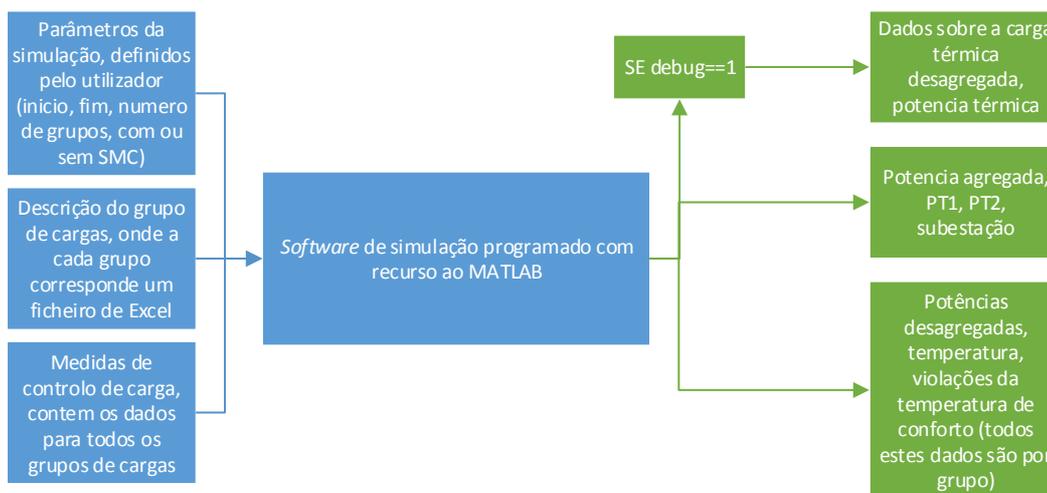


Figura 13: Fluxo de dados do software desenvolvido em MATLAB.

## 4.1. Simulações de Monte Carlo

A ferramenta usada para simular diversas cargas similares por grupo foi as SMC, as quais aplicam nos cálculos de cada carga (de um determinado grupo) variações aleatórias segundo uma determinada distribuição normal. A variação pretendida é definida nos dados de cada grupo, ou seja no Excel relativo a cada grupo.

Neste caso as SMC aplicam variações nos seguintes parâmetros:

- Dados climatéricos, dados do edifício e padrão de utilização;

- Potência elétrica, COP/EER e parametrização do equipamento;

No ficheiro com os dados de cada grupo conseguimos especificar igualmente a percentagem de diversidade a aplicar de carga para carga.

# 5. Análise ao funcionamento

## 5.1. Diagrama individual

Neste sub-capítulo vamos demonstrar o funcionamento do modelo desenvolvido em MATLAB para simular o funcionamento do AC. O *software* de simulação tem implementado o funcionamento dos diversos modelos de AC, os quais foram previamente identificados, vamos analisar o seu comportamento de forma individual e no final efetuar uma análise comparativa.

Toda a análise foi realizada para o funcionamento em arrefecimento, uma vez que quando se procura arrefecer uma divisão recorremos ao AC, no entanto, se o objetivo for aquecer, já vai haver um misto de equipamentos, não sendo o uso quase exclusivo do AC.

Assim, a situação de simulação tem os seguintes dados:

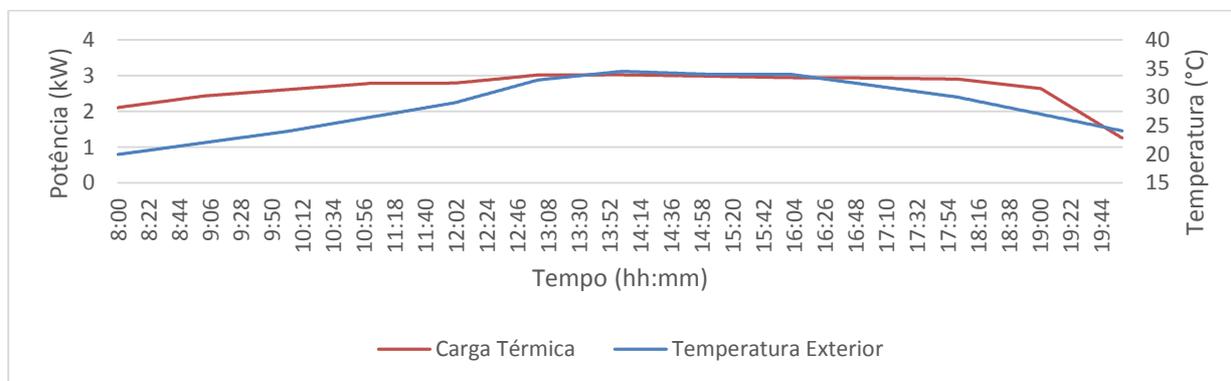


Figura 14: Cenário de simulação usado para exemplificar o funcionamento. Contém os dados sobre a temperatura exterior e a carga térmica da divisão a climatizar.

Onde o edifício tem os seguintes dados:

Tabela 3: Dados da divisão a climatizar.

Parede Exterior	Área Total (m <sup>2</sup> )	38,4
	Coefficiente De Transmissão Térmica (W/ (°C m <sup>2</sup> ))	2
Parede Interior	Área Total (m <sup>2</sup> )	38,4
	Coefficiente De Transmissão Térmica (W/ (°C m <sup>2</sup> ))	2,8
Volume Total da Divisão a Climatizar (m <sup>3</sup> )		153,6
Área Da Chão e Teto (m <sup>2</sup> )		64
Temperatura Interior Inicial (°C)		22,5

Como estamos a usar um espaço igual a todos os equipamentos podemos comparar o seu desempenho e eficiência, verificando aspetos como a temperatura média interior, potência média e energia consumida para climatizar o espaço.

Os dados dos equipamentos foram os seguintes de forma a poderem ser comparados:

Tabela 4: Dados dos equipamentos a comparar.

	Potência AC (kW)	Potência AC Máxima (kW)	COP	BM Superior (°C)	BM Inferior (°C)	Temperatura de Referência (°C)
ACC	1,64	1,64	3,43	21,5	20,5	ND
ACI FP 100%	1,64	1,64		ND	ND	21
ACI FP 125%	1,64	2,05		ND	ND	21

Em todas as simulações vamos usar as mesmas cargas e os mesmos dados, com o objetivo de obter formas de comparação e ferramentas para a análise da evolução dos consumos e das temperaturas interiores de cada carga.

Tendo sempre a consciência que seria muito complicado averiguar todas as situações possíveis, tentou-se obter diversos cenários onde se conseguisse reunir diferentes cargas térmicas. Esta abordagem permite conhecer as cargas térmicas possíveis para divisões a climatizar, adequadas aos AC em estudo obtendo assim resultados com uma elevada diversidade onde o resultado final da análise pudesse ter uma aplicação o mais basta possível.

### 5.1.1. Funcionamento em regime permanente

Neste sub-capítulo vai ser demonstrado o funcionamento dos diversos equipamentos em regime normal de funcionamento, ou seja, sem medidas de gestão de carga.

Como foi mencionado anteriormente, o ACC apenas funciona com uma potência fixa, sendo a sua ativação despoletada pela temperatura interior no momento em que esta atinja a BM superior, entrando assim o ACC em funcionamento até que a temperatura interior regresse à BM inferior, desligando-se nesse instante.

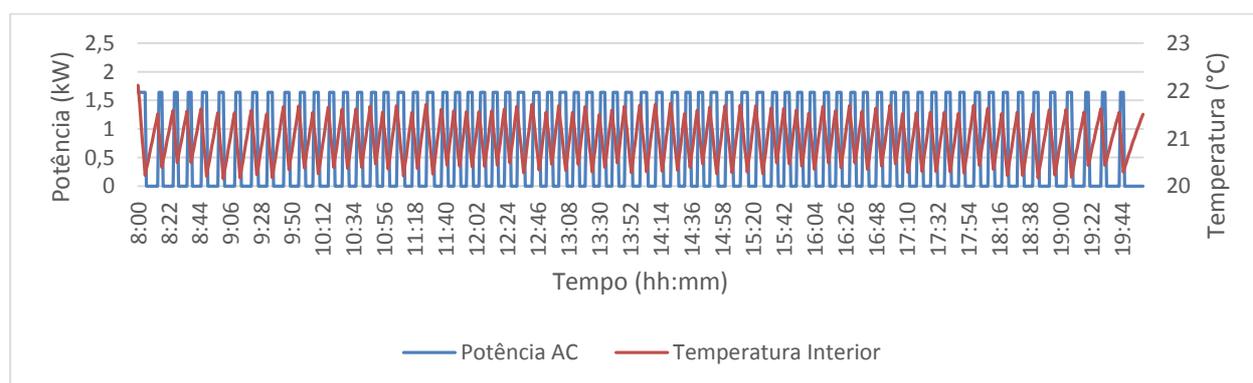


Figura 15: Gráfico ilustrativo do funcionamento do ACC.

O ACI FP 100% tem um método de funcionamento que o leva a adequar a potência da unidade de AC às necessidades, normalmente mantendo a potência abaixo da potência nominal pelo que o desvio da temperatura interior em relação à temperatura de referência se vai manter controlado e baixo.

Em relação ao ACI, este tem vários modos de funcionamento, assim sendo vão ser simulados todos e analisados os seus respetivos resultados.

Para o funcionamento do ACI FP 100%, a potência máxima vai ser igual à nominal, ou seja, igual à potência máxima do ACC.

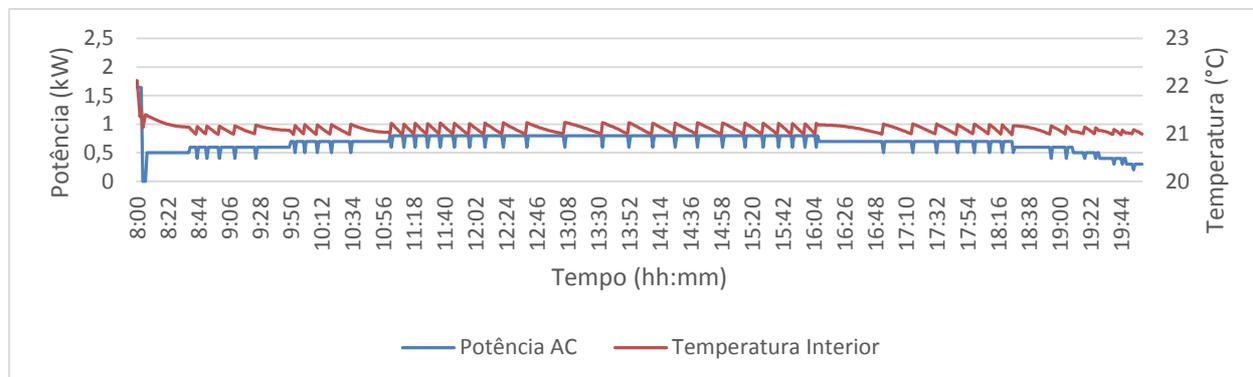


Figura 16: Gráfico Ilustrativo do funcionamento do ACI FP 100%.

No modo de funcionamento ACI FP 125% a potência máxima pode ser 25% superior à potência nominal do AC, no entanto, o funcionamento é em tudo idêntico ao ACI FP 100%, inclusivamente as parametrizações de temperatura. De realçar que na Figura 17 como o equipamento tem uma potência máxima superior vai fazer uso desse aumento de potência quando o desvio de temperatura é elevado, como não foram aplicadas medidas de gestão de procura esse desvio só ocorre em situação de arranque.

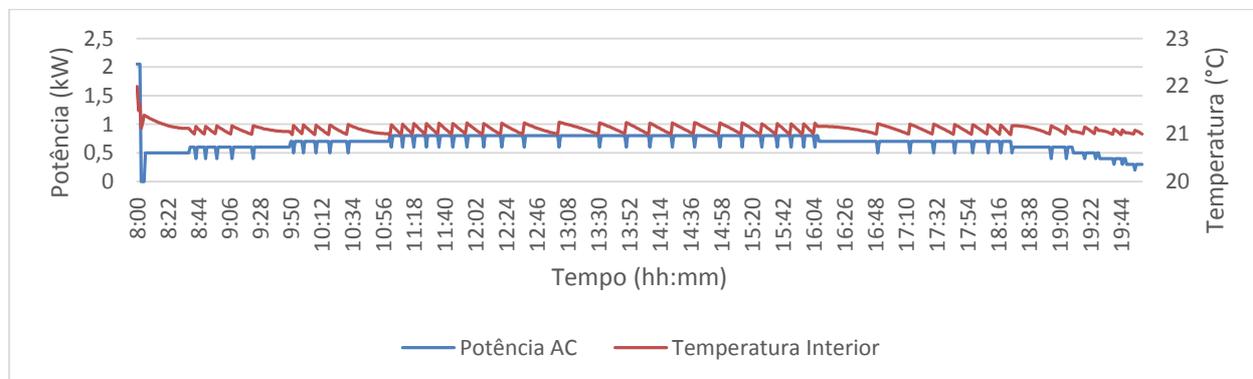


Figura 17: Gráfico ilustrativo do funcionamento do ACI FP 125%.

O ACI EM caracteriza-se por subir um grau centígrado na temperatura de referência permitindo assim alcançar poupanças, sendo que vai existir o prejuízo do aumento da temperatura interior em um grau centígrado.

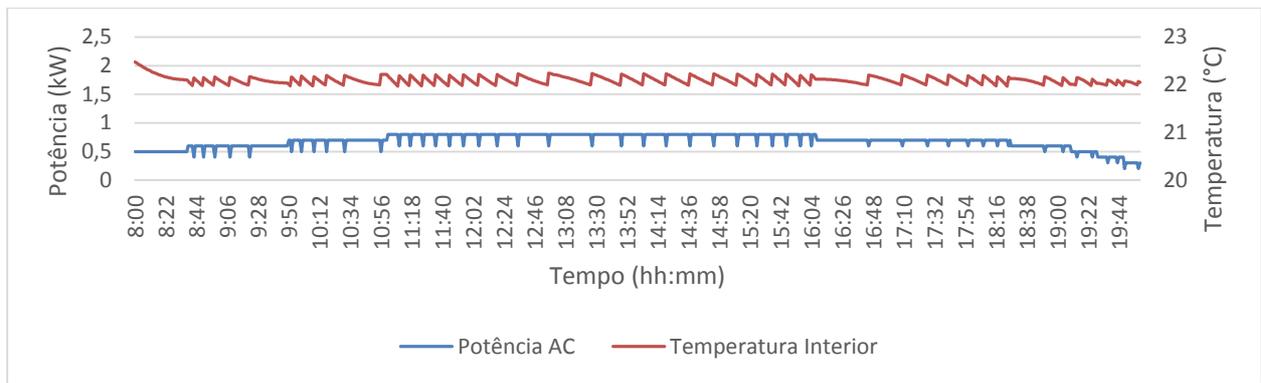


Figura 18: Gráfico ilustrativo do funcionamento do ACI EM.

De realçar que as Figuras 15, 16, 17 e 18 foram obtidas sem SMC de forma a não mascarar o funcionamento do AC, no entanto, todos os cálculos foram efetuados com SMC, quinze SMC em cada carga simulada.

Compilando e analisando os resultados para o funcionamento em regime normal de todos os equipamentos para uma igual carga térmica vamos obter os seguintes resultados:

Tabela 5: Comparação entre os diversos modos de funcionamento do AC.

ACC	Temperatura Interior Média (°C)	20,978	
	Potência Média (kW)	0,651	
	Energia Total Consumida (kWh)	7,817	100%
ACI FP 100%	Temperatura Interior Média (°C)	21,107	
	Potência Média (kW)	0,654	
	Energia Total Consumida (kWh)	7,844	100,35%
ACI FP 125%	Temperatura Interior Média (°C)	21,102	
	Potência Média (kW)	0,654	
	Energia Total Consumida (kWh)	7,844	100,34%

Na análise a uma situação aleatória para expor o comportamento do AC, foram conseguidos os resultados da Tabela 5. Onde se demonstra que equipamentos com iguais características técnicas (potência elétrica, COP e parametrização) oferecem desempenhos bastante similares.

Existindo sempre a consciência de que apesar do consumo de energia e a potência média serem parecidos, os três equipamentos vão ter comportamentos distintos e assim ter potências máximas bastante diferentes.

No Anexo C.1 encontra-se a comparação entre um maior número de simulações diferentes, com SMC ativas, de forma ao resultado demonstrar alguma fiabilidade.

Podemos então concluir que em equipamentos idênticos o consumo de energia vai ser aproximadamente igual, registando diferenças apenas quando comparado com o ACI EM (que funciona com uma temperatura de referência diferente). As diferenças existentes entre os diversos

modelos são mínimas, atingindo no máximo 0,12%, fruto da diferente forma de funcionamento ou de uma diferença mínima na temperatura média interior. Outra justificação encontrada para a diferença é o funcionamento por patamares.

### 5.1.2. Funcionamento no período de arranque

Durante o período de arranque a temperatura no espaço climatizado pode não corresponder à temperatura de referência, dessa forma tem uma especial importância verificar e comparar o funcionamento dos diversos equipamentos, assim como o tempo que estes demoram a levar a temperatura interior inicial até à temperatura desejada.

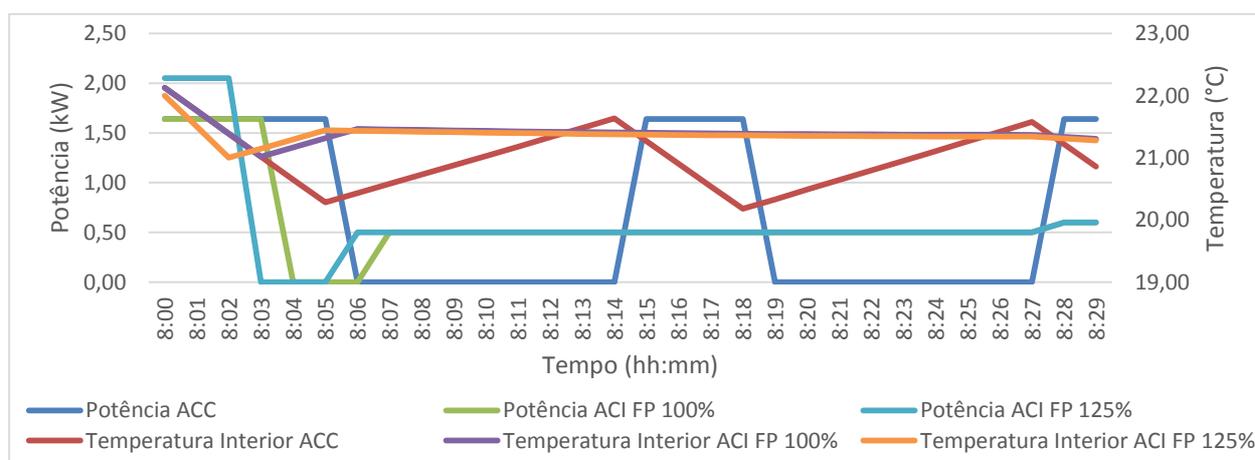


Figura 19: Comparação entre os diversos equipamentos em situação de arranque, nos primeiros vinte minutos de funcionamento com temperatura inicial de 22,5°C.

Pela análise gráfica dá para perceber que o espaço climatizado que atinge a temperatura de 21,5°C mais depressa é o que está sob o efeito do ACI FP 125%, uma vez que funciona com uma potência máxima superior e isso tem vantagens ao nível do tempo necessário para arrefecer a divisão.

Tabela 6: Análise ao comportamento no arranque do ACC, ACI FP 100% e ACI FP 125%.

	ACC	ACI FP 100%	ACI FP 125%
Potência Máxima (kW)	1,640	1,640	2,050
Energia Consumida (kWh)	0,328	0,304	0,306
Tempo (s)	3,000	3,000	2,000

Demonstra-se assim que em arranque quando o ACI funciona a uma potência igual ao ACC o desempenho será similar em termos de tempo necessário para arrefecer a divisão, assim como em relação à potência máxima.

Existe, no entanto, uma diferença relativamente à energia consumida, devido à forma como funciona o ACC, que apenas desliga quando atinge a banda morta inferior. Mantendo-se desligado até voltar a atingir a banda morta superior, isso leva a que no período de análise do arranque (trinta

minutos) a temperatura média seja inferior à do ACI. Esse facto leva a que o consumo nesse período de tempo seja ligeiramente superior, 7,22%. Evidentemente que alargando o período temporal de análise esse efeito vai desvanecer, uma vez que a média da temperatura interior do espaço climatizado pelo ACC vai começar a tender ao longo do tempo para a temperatura de referência.

O ACI quando opera a uma potência superior ao ACC consegue melhores resultados em termos de tempo necessário para repor a temperatura de referência conseguindo resultados aproximadamente 28% mais rápidos. A percentagem obtida deve-se à potência térmica superior que o ACI FP 125% consegue fornecer. Já em relação à potência máxima necessária o ACI FP 125% funciona a uma potência máxima superior.

Encontram-se no Anexo C.2 a análise para um maior conjunto de cargas, tanto ao nível de temperatura como de potência e energia.

### 5.1.3. Funcionamento com cortes de alimentação

Em relação aos cortes existem diversas análises a realizar, seja a análise a apenas um corte para conhecer o seu efeito sobre a potência, temperatura e tempo de recuperação, assim como a análise à aplicação a diversos cortes seguidos, num planeamento cíclico, onde analisamos o impacto sobre a potência, temperatura interior e energia.

A aplicação de CA pode ser benéfica quando corretamente planeada e aplicada, conduzindo a ligeiras poupanças e impactos mínimos na temperatura interior. Pode ser no entanto definido um planeamento dos CA que tenham consequências nocivas para o sistema elétrico, sendo exemplo disso a existência de picos de potência nos instantes a seguir a um corte.

#### 5.1.3.1. Corte singular

Neste conjunto de simulações foram definidos cortes em todas as cargas e analisadas as potências médias nos intervalos de tempo imediatamente a seguir ao corte, por forma a conhecer o impacto do corte na reentrada em serviço. Essa análise foi feita conforme os intervalos de tempo da tabela seguinte, e a análise foi estendida apenas até aos trinta minutos pois o efeito já se começava a demonstrar mitigado.

Antes de começar a fazer algum tipo de análise, convém conhecer o efeito de um corte no funcionamento de uma carga:

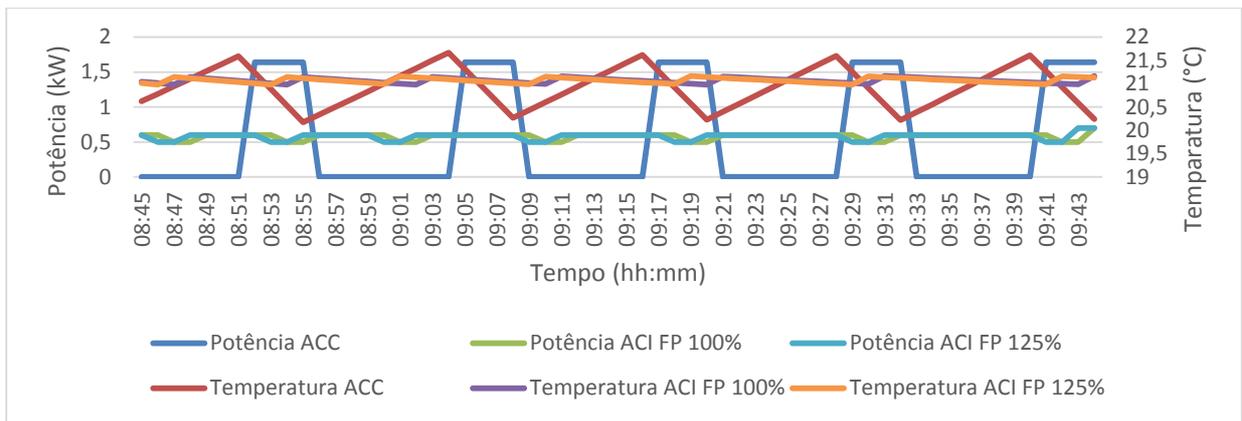


Figura 20: Funcionamento de um AC de cada modelo sem alterações provocadas por medidas de GP.

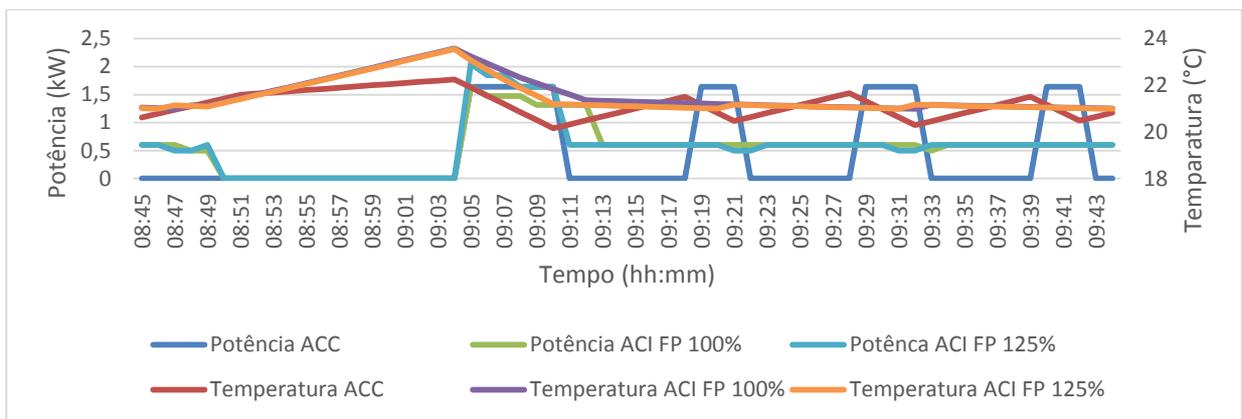


Figura 21: Efeito de um corte de alimentação num AC, resultados para cada equipamento.

Podemos obter alguns dados sobre o efeito de um corte:

Tabela 7: Energia consumida durante os sessenta minutos a seguir ao início do corte para as duas cargas iguais (uma com e outra sem CA).

		Sem Cortes	Com Cortes
Energia (kWh)	ACC	0,5466667	0,437
	ACI FP 100%	0,5333333	0,517
	ACI FP 125%	0,5333333	0,521
Potência Máxima (kW)	ACC	1,64	1,640
	ACI FP 100%	0,7	1,640
	ACI FP 125%	0,7	2,050

Assim, um corte não consegue obter ganhos ao nível da energia consumida se não for implementado um novo corte depois, pois a seguir ao corte vai ocorrer a reposição da energia não consumida durante o CA por forma a repor a temperatura interior. Essa reposição de energia pode ser total ou parcial conforme as necessidades do espaço, pois a carga térmica não é constante, ou caso ocorra um novo corte a seguir ao primeiro que não permita a total reposição de energia.

Desta forma, a energia consumida vai ser aproximadamente a mesma, havendo no máximo pequenas variações.

No caso do ACC, o CA pode ocorrer num período de não funcionamento do mesmo, ou em parte desse mesmo período, levando a que não afete muito o seu funcionamento, acabando esse aspeto por se refletir ao longo de toda a análise.

Ainda assim, é evidente que o comportamento da potência é bastante alterado face ao funcionamento normal. Após a introdução de um CA no funcionamento do AC vai ocorrer um pico de potência que cresce em amplitude e duração com o aumento da duração do corte.

Para fazer a análise a esse aumento de potência, definiu-se uma “régua” temporal para analisar essa mesma subida de potência:

Tabela 8: Escala temporal de análise da potência média no instante a seguir à aplicação de um corte de alimentação.

	00:00	00:01	00:02	00:03	00:04	00:05	00:06	00:07	00:08	00:09	00:10	00:11	00:12	00:13	00:14	00:15	00:16	00:17	00:18	00:19	00:20	00:21	00:22	00:23	00:24	00:25	00:26	00:27	00:28	00:29
Corte	Intervalo #1				Intervalo #2								Intervalo #3																	

Assim o impacto sobre a potência para todos os equipamentos assim como todos os cenários de cortes foi o seguinte:

Tabela 9: Impacto de um corte com uma determinada potência sobre todos os tipos de equipamento.

		ACC #1	ACI FP 100% #1	ACI FP 125% #1	ACC #2	ACI FP 100% #2	ACI FP 125% #2
Potência Média (kW) Intervalo #1	TOFF=0	0,75	0,72	0,73	0,68	0,72	0,72
	TOFF=5	1,40	1,16	1,22	1,16	0,99	1,13
	TOFF=10	1,58	1,38	1,67	1,26	1,11	1,36
	TOFF=15	1,63	1,52	1,86	1,29	1,22	1,49
Potência Média (kW) Intervalo #2	TOFF=0	0,75	0,73	0,73	0,73	0,71	0,71
	TOFF=5	0,91	0,91	0,92	0,91	0,87	0,89
	TOFF=10	1,07	1,12	1,16	0,95	1,01	1,10
	TOFF=15	1,18	1,31	1,39	1,11	1,12	1,26
Potência Média (kW) Intervalo #3	TOFF=0	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70
	TOFF=5	0,80	0,83	0,83	0,80	0,80	0,81
	TOFF=10	0,89	0,95	0,95	0,83	0,89	0,92
	TOFF=15	0,94	1,07	1,07	0,93	0,99	1,04

Desta tabela conseguiu-se reunir informação suficiente para quantificar o impacto de um corte sobre a potência média do AC nos intervalos de análise expostos na Tabela 9, permitindo assim a construção dos seguintes gráficos:

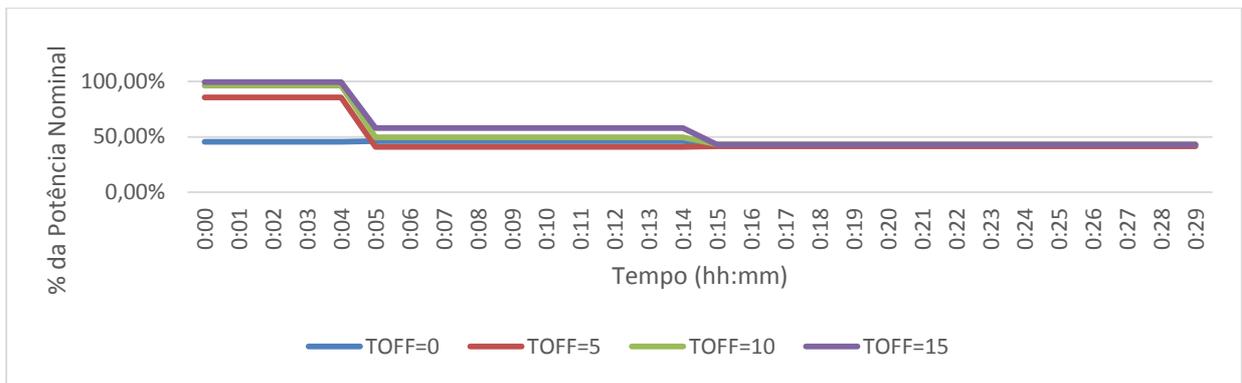


Figura 22: Impacto sobre a potência do ACC um corte com uma determinada duração, análise realizada aos cortes de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos.

Uma análise idêntica pode ser realizada para os outros tipos de equipamentos, expondo desta forma o impacto sobre a potência média ao longo do tempo.

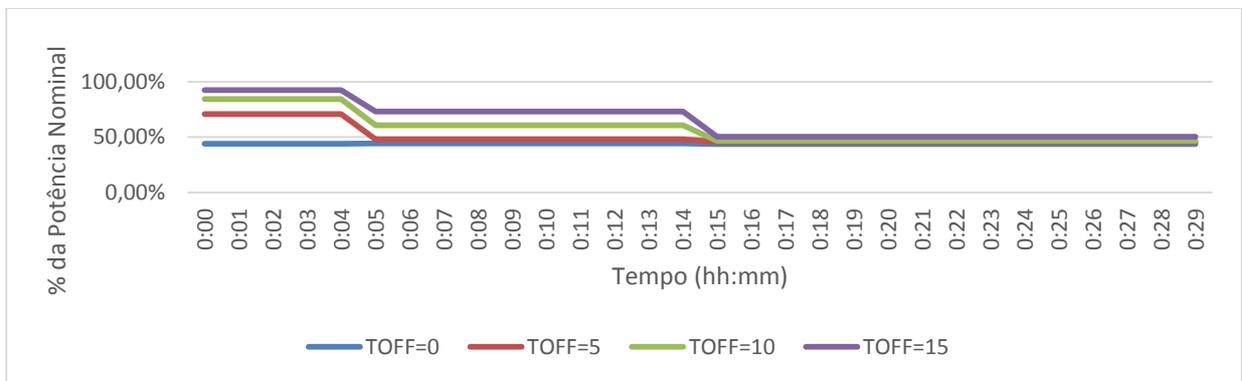


Figura 23: Impacto sobre a potência do ACI FP 100% um corte com uma determinada duração, análise realizada aos cortes de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos.

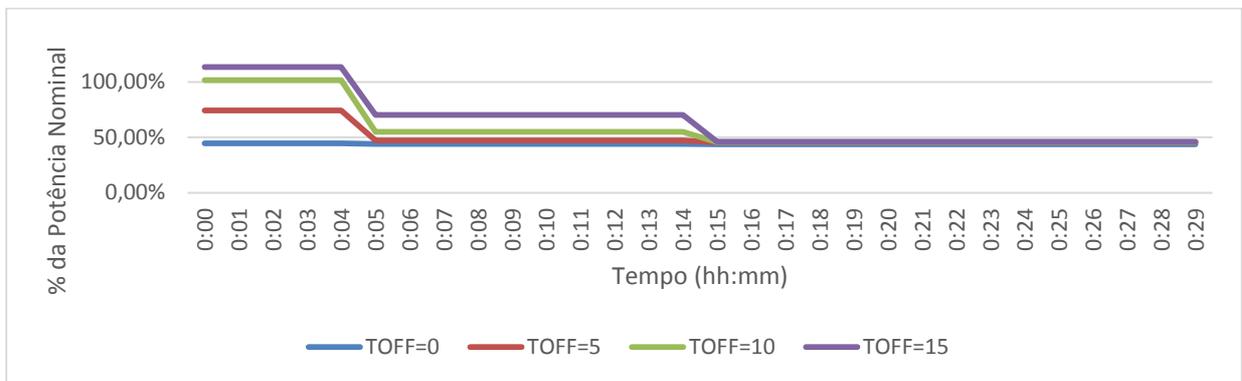


Figura 24: Impacto sobre a potência do ACI FP 125% um corte com uma determinada duração, análise realizada aos cortes de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos.

Todas as simulações foram feitas para duas potências de AC distintas, os resultados nos gráficos acima correspondem ao AC com maior potência e portanto melhor capacidade para reagir a um CA. A análise aos resultados demonstrou que o AC com uma menor potência conduz (em comparação com o modelo de maior potência) a uma potência média menor logo a seguir ao CA, mas uma atenuação mais longa dos efeitos do corte.

No caso de CA com duração de quinze minutos, podemos verificar através da Figura 24 que o ACI funciona durante um curto intervalo de tempo acima da potência nominal.

Os tempos de reposição da temperatura de referência também são bastante distintos para as duas potências, onde se reflete que uma menor potência conduz a um maior tempo de recuperação.

Tabela 10: Tempo de reposição médio em minutos para todos os modelos de AC, considerando as diferentes potências.

	TOFF=5		TOFF=10		TOFF=15	
	1,64kW	1,29kW	1,64kW	1,29kW	1,64kW	1,29kW
ACC	0,792	1,569	2,500	3,194	4,486	8,083
ACI FP 100%	3,028	10,583	9,333	23,583	14,514	31,347
ACI FP 125%	1,569	3,014	5,500	9,472	8,722	14,083

Assim, uma outra análise a realizar é a de conhecer o impacto sobre a temperatura, uma vez que ajustando o TON e o TOFF adequadamente conseguimos evitar que com cortes cíclicos a temperatura interior ande na zona de desconforto. Além de que se a temperatura for subindo de ciclo em ciclo vai levar à ocorrência de picos de potência.

Através da Tabela 10 consegue-se conhecer os TON necessários para que em aplicações de CA cíclicos a temperatura não seja muito afetada e por consequência, a potência também não.

Através da análise à Tabela 10 podem-se identificar equipamentos cujas potências não têm uma capacidade de responder a cortes de forma eficiente, demorando muito mais tempo a repor a temperatura de potência. Como são conhecidas as cargas térmicas, pode ser obtida a relação abaixo da qual não devemos operar.

$$\frac{\text{Potência Térmica}}{\text{Carga Térmica}} < 1,65 \quad (9)$$

### 5.1.3.1.1. Conclusões

Podemos assim concluir que nos primeiros cinco minutos a seguir ao corte encontra-se o maior aumento de potência, onde com o aumento da duração do corte pode chegar aos 70% no caso do ACI FP 125%, caso contrário o aumento máximo verificado foi de aproximadamente 55%, para o ACI FP 100% e o ACC.

A análise não levou à identificação de um comportamento idêntico entre os diversos equipamentos, invalidando assim que fossem identificados aumentos de potência comuns a todos.

A utilização de um AC com menor potência permitiu observar que caso a potência disponível seja menor, a recuperação vai ser mais lenta, não acrescentando esta informação nada de novo. O efeito de um corte neste equipamento prolonga-se durante mais tempo, provocando assim um aumento de potência mais longo, apesar de ser ligeiramente mais baixo.

Este efeito vai levar ainda a que a temperatura média interior seja ligeiramente superior que nos equipamentos de menor potência. Assim é importante avaliar a capacidade de resposta a CA por parte do AC antes de fazer a aplicação de um plano de cortes.

### 5.1.3.2. Cortes cíclicos

O comportamento das cargas foi analisado para tempos de TOFF e TON distintos, onde a implementação cíclica destes cenários pode levar a que a restituição da energia não consumida (durante TOFF) seja total ou parcial. Como foi visto nas Figuras 20 e 21 e na Tabela 7, quando o equipamento consegue repor a temperatura de referência o consumo de energia vai ter apenas ligeiras diferenças. No entanto, em implementações cíclicas, pode ocorrer um ligeiro desvio da temperatura média interior, durante a aplicação dos CA, o que pode levar a que a energia consumida seja menor.

Existem algumas filosofias diferentes na aplicação dos cortes, pois os mesmos podem ser aplicados ao longo de todo o dia, ou como medida de corte da ponta do DC. O objetivo de cortar apenas parte do dia, tem a ver com minimizar a ponta sendo o menos intrusivo possível para o consumidor.

De seguida apresentamos os resultados obtidos para a potência média (durante o período onde foram implementados os CA) em comparação com a situação base. Apesar de a potência média não ser o indicador adequado para analisar todos os equipamentos, pretende-se apenas ter um reflexo das consequências da aplicação dos planos de CA nas cargas.

*Tabela 11: Variação da potência média conforme o equipamento e o cenário de corte aplicado.*

	AC #1 - 1,64kW						AC #2 - 1,29 kW					
	ACC		ACI FP 100%		ACI FP 125%		ACC		ACI FP 100%		ACI FP 125%	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Cortes #0	8,776	100,000	8,761	100,000	8,762	100,000	8,562	100,000	8,554	100,000	8,554	100,000
Cortes #1	7,895	94,670	8,738	99,756	8,746	99,831	7,826	96,386	8,471	99,157	8,533	99,779
Cortes #2	8,348	100,283	8,745	99,830	8,748	99,850	8,007	98,446	8,535	99,802	8,539	99,842
Cortes #3	8,186	98,197	8,741	99,785	8,739	99,748	8,335	102,344	8,528	99,712	8,535	99,798
Cortes #4	7,779	93,550	8,689	99,207	8,691	99,214	7,357	90,575	8,032	94,699	8,480	99,157
Cortes #5	7,681	92,474	8,749	99,878	8,747	99,840	7,788	95,914	8,482	99,285	8,539	99,848
Cortes #6	8,148	97,599	8,737	99,737	8,745	99,827	7,855	96,737	8,530	99,743	8,532	99,757

Toda esta informação não tem relevo se não for considerada igualmente o lado do consumidor, uma vez que um dos maiores obstáculos à aplicação deste tipo de medidas pode ser o consumidor, devido à potencial degradação da qualidade de serviço.

Assim é importante em cada cenário (para cada equipamento e para cada modelo de AC) conhecer o impacto na temperatura média. Sendo este aspeto importante para justificar as diferenças nos consumos.

Tabela 12: Temperatura média interior para todos os cenários, com todos os equipamentos e planos de cortes.

	AC #1 - 1,64kW						AC #2 - 1,29kW					
	ACC		ACI FP 100%		ACI FP 125%		ACC		ACI FP 100%		ACI FP 125%	
	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%
Cortes #0	20,99	100,00	21,08	100,00	21,08	100,00	21,01	100,00	21,10	100,00	21,08	100,00
Cortes #1	21,12	100,62	21,78	103,29	21,56	102,28	21,10	100,44	23,07	109,33	21,80	103,42
Cortes #2	21,06	100,36	21,57	102,31	21,47	101,84	21,07	100,29	22,11	104,75	21,56	102,28
Cortes #3	21,09	100,48	21,49	101,94	21,41	101,54	21,07	100,32	21,85	103,54	21,48	101,88
Cortes #4	21,27	101,34	22,28	105,67	21,85	103,66	21,34	101,59	24,96	118,26	22,31	105,82
Cortes #5	21,25	101,27	21,94	104,06	21,74	103,11	21,21	100,96	23,24	110,11	21,94	104,07
Cortes #6	21,16	100,82	21,72	103,01	21,58	102,37	21,23	101,08	22,23	105,32	21,71	103,00

Pode-se concluir que foram conseguidas algumas reduções ao nível da energia consumida, mas essa redução surgiu com um aumento da temperatura interior.

### 5.1.3.2.1. Conclusões

Quando sujeito a CA o AC tem mais ganhos de energia devido a não ocorrer a total restituição da energia não consumida durante o período de CA. Os ganhos de energia conseguidos com os CA devem-se á degradação da qualidade de serviço devido ao aumento de temperatura.

Essa degradação da qualidade de serviço está exposta na Tabela 12, onde se quantifica o aumento da temperatura interior média durante o período de aplicação dos CA.

Através da relação do *Duty Cycle* pode-se observar que o aumento da temperatura interior se relaciona com as durações de TON e TOFF, aumentando a temperatura interior com o aumento do *Duty Cycle*.

O desempenho para os diversos equipamentos não é igual, sendo que o ACC é mais poupado ao nível de consumo de energia.

### 5.1.4. Funcionamento com variações de banda morta

É importante referir que a VBM pode ser feita de duas formas, aplicando a mesma variação na BM superior e inferior, ou variando a amplitude da mesma, assim deixa bastantes opções no momento de variar a BM.

Outro aspeto a considerar é um enchimento dos vales (consequentemente, um consumo fora das horas de ponta) uma vez que estamos a lidar com edifícios com capacidade de conservação térmica, podemos antes de entrar nas horas de ponta aplicar um abaixamento da BM. Esta forma

de atuação pode conduzir a um aumento de consumo, com a contrapartida de o consumo ser feito quando a energia é mais barata, assim pode conduzir a poupanças.

Portanto serão testadas as três opções, variação no dia inteiro, aumento da BM nas horas de ponta e diminuição da BM antes das horas de ponta e posterior aumento nas horas de ponta (com uma subida gradual, para não provocar subidas repentinas na potência).

Todo o planejamento é feito no Anexo E, exemplificando com imagens. Conforme o planejamento de VBM aplicado obtemos os seguintes resultados para a potência média:

*Tabela 13: Variação da energia consumida conforme o planejamento de VBM aplicado.*

	AC #1 - 1,64kW						AC #2 - 1,29 kW					
	ACC		ACI FP 100%		ACI FP 125%		ACC		ACI FP 100%		ACI FP 125%	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
VBM #0	8,091	100,000	8,094	100,000	8,093	100,000	7,885	100,000	7,904	100,000	7,903	100,000
VBM #1	7,312	90,532	7,233	89,532	7,232	89,528	7,106	90,272	7,063	89,567	7,057	89,504
VBM #2	6,526	80,938	6,373	79,081	6,373	79,077	6,346	80,861	6,219	79,090	6,217	79,079
VBM #3	7,737	95,857	7,680	95,092	7,679	95,091	7,519	95,621	7,507	95,243	7,501	95,193
VBM #4	7,086	87,921	6,972	86,478	6,973	86,503	6,879	87,735	6,813	86,636	6,811	86,626
VBM #5	7,423	91,889	7,381	91,320	7,379	91,310	7,190	91,344	7,207	91,338	7,202	91,291
VBM #6	6,708	83,150	6,668	82,647	6,667	82,638	6,536	83,215	6,507	82,651	6,505	82,644

Deste conjunto de resultados ficou claro que para qualquer equipamento a variação de um grau centígrado na temperatura de referência conduz a poupanças de energia com aproximadamente 10,16% (cenário aplicado ao dia completo).

A aplicação da variação de um grau centígrado na temperatura de referência nas horas de ponta, que coincidem com as horas de maior calor, conduz a uma variação de 5,56% na energia consumida.

Na situação em que foi feito um abaixamento da BM antes das horas de ponta, apesar de ter como consequência um consumo de energia que não iria ocorrer de outra forma, prolonga o TOFF que surge com a aplicação do aumento da VBM.

### 5.1.4.1. Período transitório associado à variação de banda morta

No instante em que se dá a VBM há dois fatores a analisar, o momento em que a BM sobe e o momento em que a mesma desce. Isto porque a alteração ao regime de funcionamento vai penalizar descidas de BM (quando a funcionar em arrefecimento), e beneficiar as subidas de BM.

Tabela 14: Tempo Off provocado pela subida da BM do AC e amplitude da subida de BM.

	TOFF	$\Delta$ Temperatura
VBM #1	7,72	1
VBM #2	11,74	2
VBM #3	6,59	1
VBM #4	12,98	2
VBM #5	12,89	2
VBM #6	18,79	3

Assim, quanto maior é a amplitude da subida da BM maior será o TOFF. Esta relação não será linear porque a carga térmica vai variar com a variação da temperatura e conseqüente provocar a não linearidade. No entanto, podemos estimar o efeito de cada grau de subida da BM conscientes da não linearidade, onde se estima que cada grau que sobe provoca sete minutos e cinquenta e dois segundos de TOFF no AC.

Quando a situação é de descida da BM o efeito é contrário, provocando um pico de potência no instante em que a BM desce. Esse efeito é indesejável e tem uma conseqüência óbvias, que é usar uma medida para eliminar uma ponta de potência e com a aplicação da medida criamos uma ponta noutra instante.

Uma forma usada para mitigar esse efeito nas simulações foi o de fazer uma variação progressiva, em vez de repentina, podendo comparar-se o planeamento VBM #3 e VBM #4 com os planeamentos VBM #5 e VBM #6. Sendo que VBM #3 e VBM #4 tem atenuação na variação da BM.

Desta forma convém quantificar o aumento de potência conforme a amplitude da descida da BM. Para tal foi definida uma “régua” temporal que permite analisar este efeito.

Tabela 15: "Régua" temporal usada para o cálculo da potência média no instante a seguir ao fim da aplicação da VBM.

	00:00	00:01	00:02	00:03	00:04	00:05	00:06	00:07	00:08	00:09	00:10	00:11	00:12	00:13	00:14	00:15	00:16	00:17	00:18	00:19	00:20	00:21	00:22	00:23	00:24	00:25	00:26	00:27	00:28	00:29
Fim da VBM	Intervalo #1				Intervalo #2								Intervalo #3																	

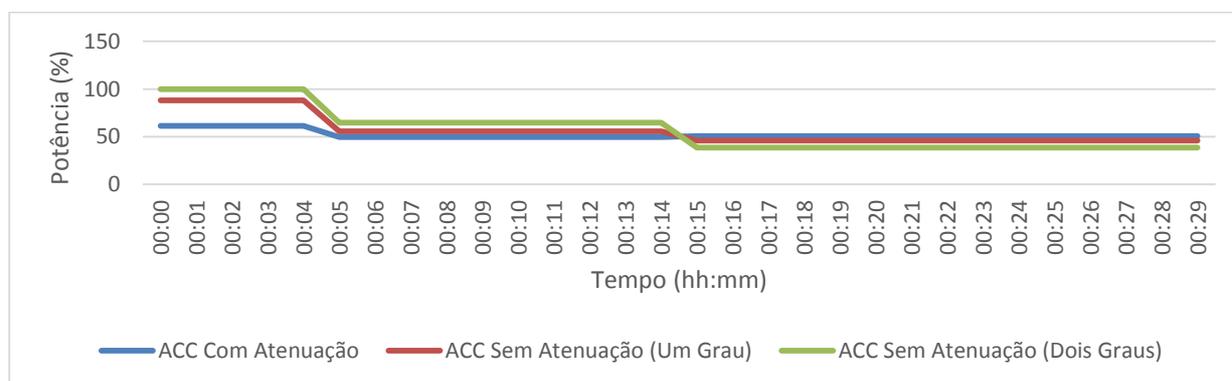


Figura 25: Efeito do fim do planeamento de VBM para o ACC.

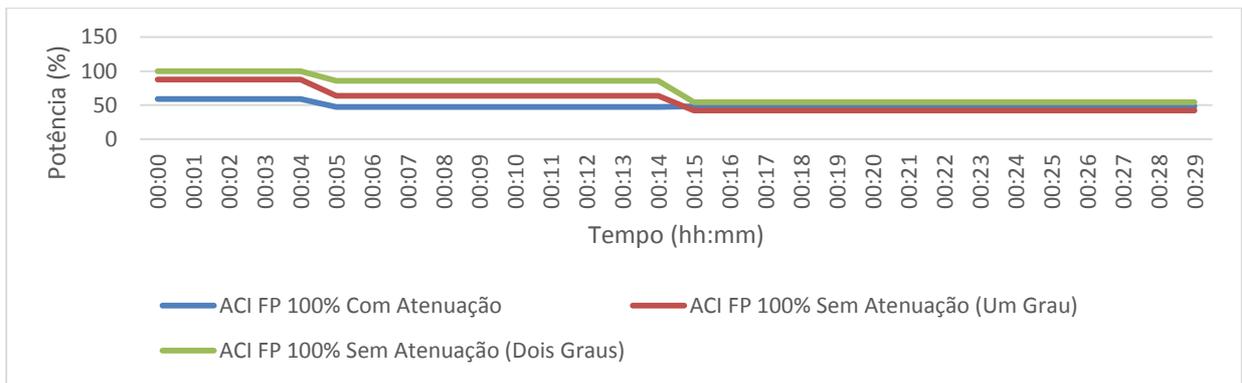


Figura 26: Efeito do fim do planeamento de VBM para o ACI FP 100%.

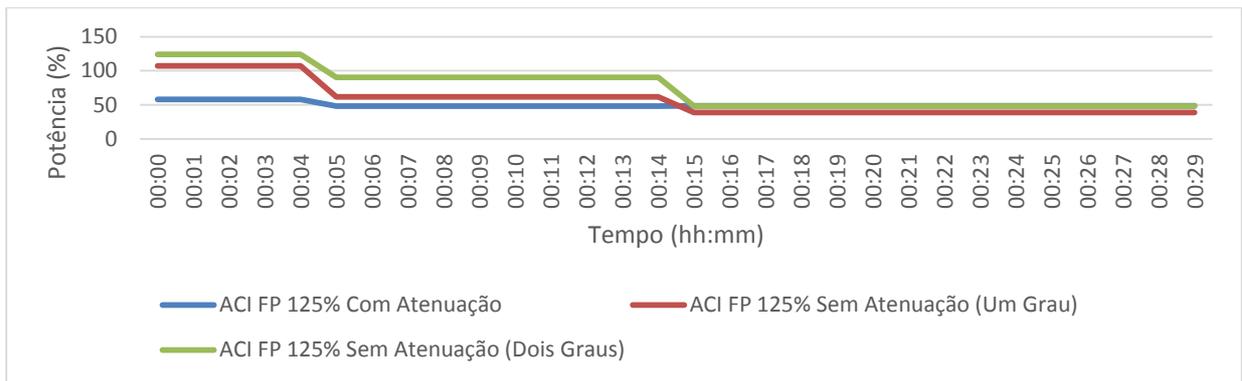


Figura 27: Efeito do fim do planeamento de VBM para o ACI FP 125%.

Como se pode observar a mudança do regime de funcionamento implica um aumento de potência. Por vezes em VBM de dois graus centígrados o aumento chega a ser de quase 40% face ao regime de funcionamento normal. Para o caso do ACI FP 125% como o mesmo pode ir a uma potência superior, o aumento chega a ser de quase 60%.

Uma forma de reduzir este efeito é o de fazer a VBM de forma progressiva, revelando-se uma forma eficiente para tal.

## 5.2. Análise a grupos de cargas

### 5.2.1. Sujeitos a cortes de alimentação

Neste capítulo demonstrou-se o efeito de um corte a um conjunto de grupos, onde cada grupo manteve as características dos grupos iniciais, e portanto, as características descritas no Anexo B.1, apenas passamos o número de cargas de cada grupo para quinze para as potências serem mais expressivas e termos mais diversidade, a simulação foi implementada com quinze SMC em cada grupo.

Foi definido o planeamento de cortes a serem aplicados num conjunto de cargas, o objetivo da aplicação destes CA foi de verificar o efeito num conjunto maior de cargas. Foram efetuadas

duas implementações de cortes, corte em simultâneo a todos os grupos, e cortes desfasados no tempo.

O planeamento dos cortes encontra-se no Anexo F.1, sendo que só reflete os cortes para um grupo, na implementação desfasada de CA, o desfasamento atribuído foi de um minuto.

Para cada equipamento foram criados três gráficos, um relativo a cada corte, onde no gráfico estava a situação original e as outras simulações afetadas dos cortes.

Pretendeu-se demonstrar as possíveis implementações para CA, passando por um CA simultâneo a todos os grupos, e um CA de igual duração aplicado de forma desfasada nos diversos grupos, para que a reentrada em serviço não ocorresse ao mesmo tempo.

Para o ACC foram obtidos os seguintes resultados:

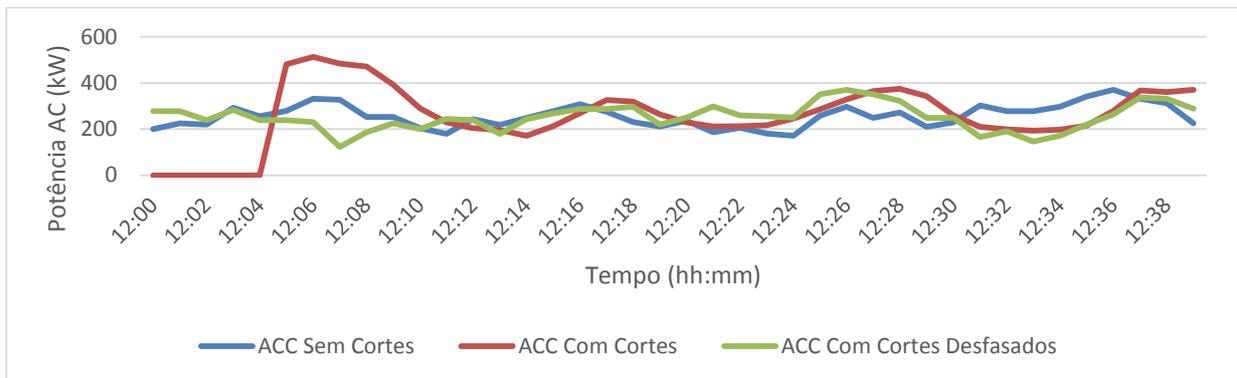


Figura 28: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 12:00 até 12:04 com TOFF=5min).

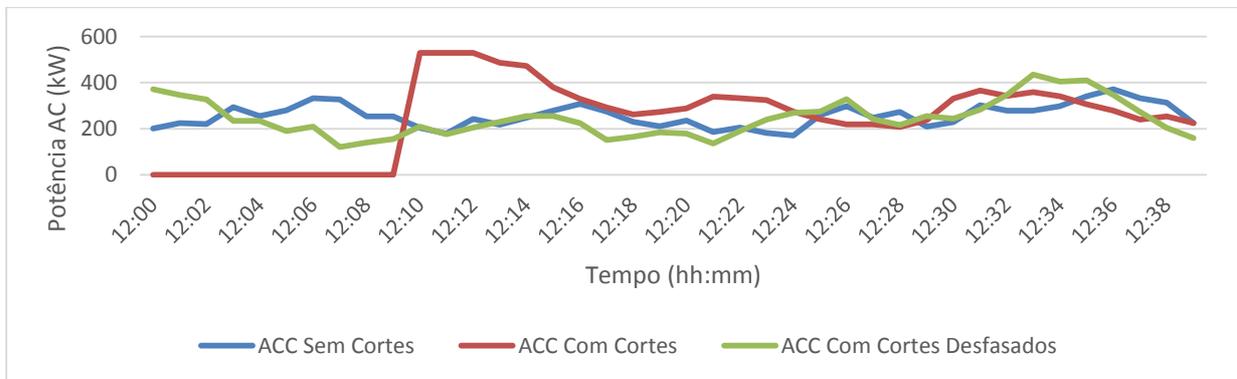


Figura 29: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 13:30 até 13:39 com TOFF=10min).

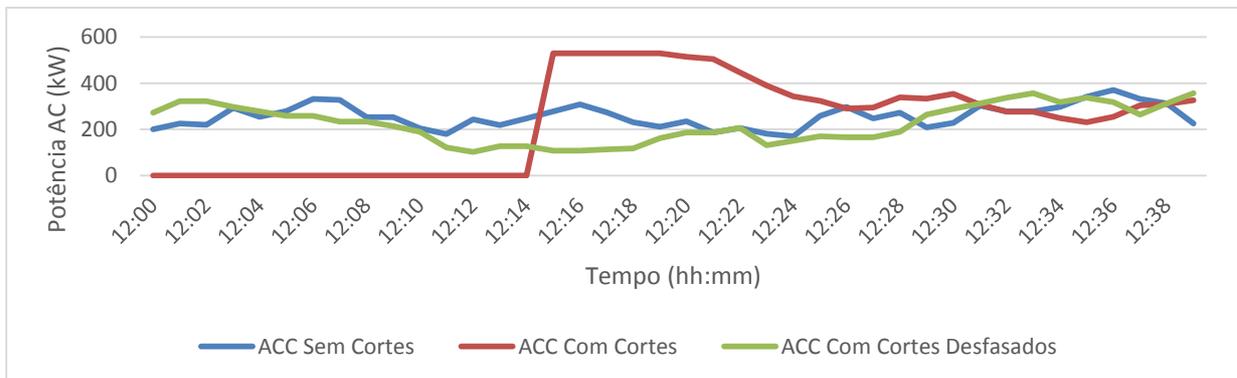


Figura 30: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 15:00 até 15:14 com TOFF=15min).

Para o ACI FP 100% os resultados foram os seguintes:

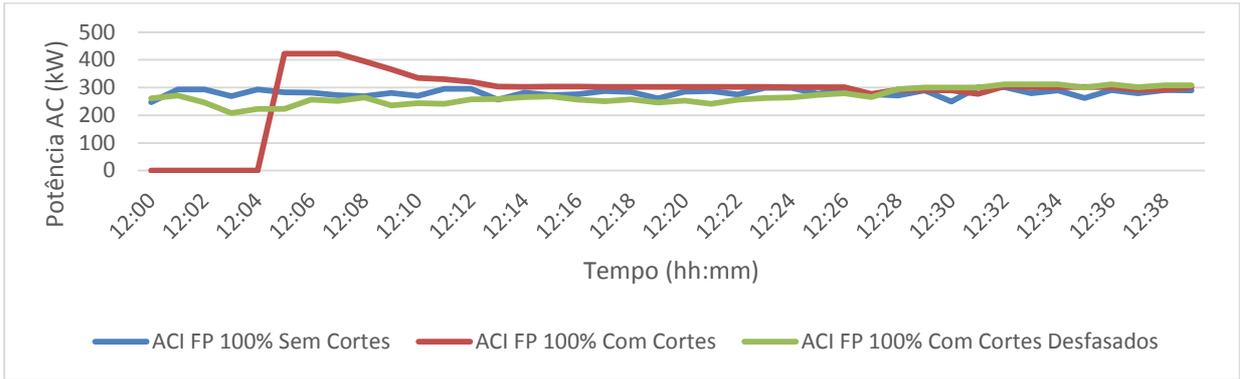


Figura 31: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 12:00 até 12:04 com TOFF=5min).

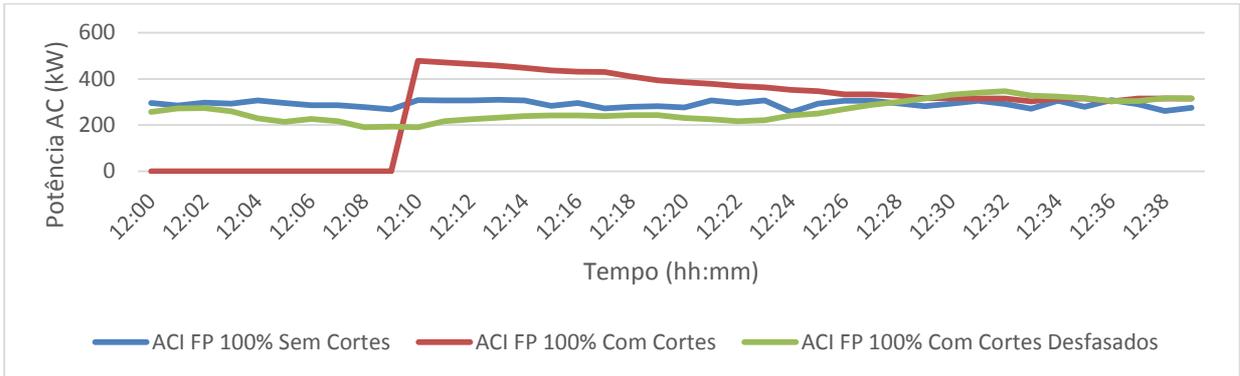


Figura 32: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 13:30 até 13:39 com TOFF=10min).

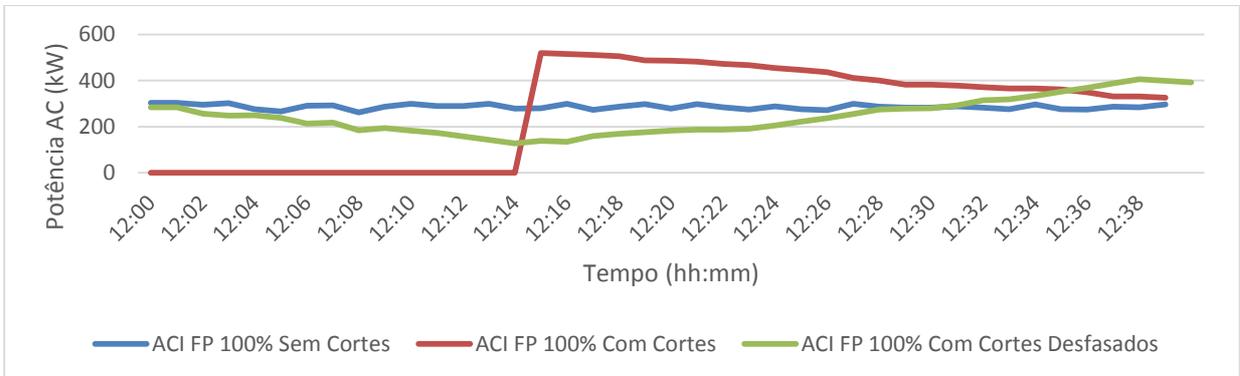


Figura 33: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 15:00 até 15:14 com TOFF=15min).

Para o ACI FP 125% os resultados obtidos foram os seguintes:

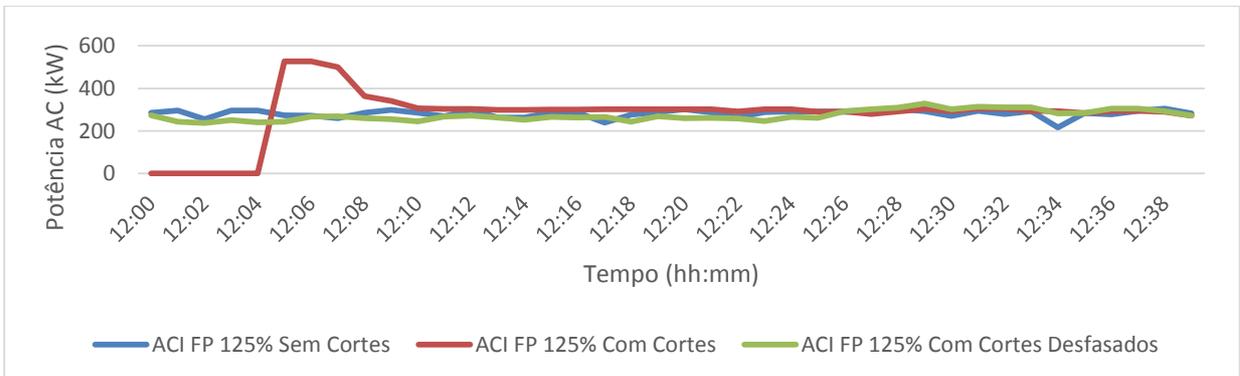


Figura 34: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 12:00 até 12:04 com TOFF=5min).

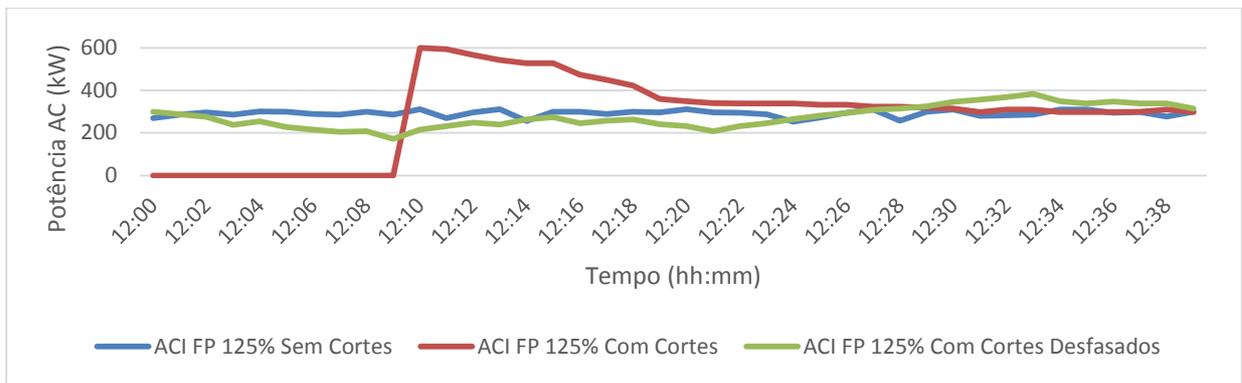


Figura 35: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 13:30 até 13:39 com TOFF=10min).

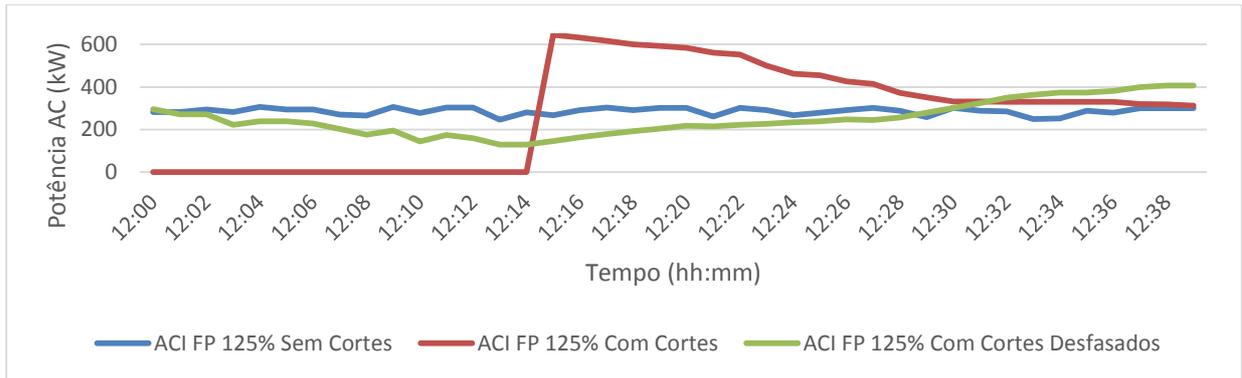


Figura 36: Gráfico para a simulação sem corte e com corte (corte aplicado das 15:00 até 15:14 com TOFF=15min).

Fica desta forma demonstrado o impacto que um corte em diversas cargas pode trazer para o DC, assim como uma forma de minimizar esse mesmo problema.

Para um CA simultâneo a todas as cargas o aumento de potência é previsível ao ponto de se poder usar os resultados obtidos no Capítulo 5. Onde ficou demonstrado que a seguir a um corte pode ocorrer um aumento de potência nos cinco minutos seguinte que pode chegar até 55% para o ACC e o ACI FP 100% e até 70% para o ACI FP 125%.

Os resultados deixam de ser previsíveis quando o corte é feito de forma não simultânea porque no mesmo instante teremos cargas com CA ativo, cargas a repor a temperatura interior, e cargas que ainda não foram afetadas pelo CA.

Onde foram registadas reduções na potência máxima face à implementação simultânea:

Tabela 16: Aplicação de cortes de alimentação de forma não simultânea e simultânea a um conjunto de cargas, evidenciando as reduções conseguidas na potência máxima.

	Potencia Máxima (kW)								
	ACC			ACI FP 100%			ACI FP 125%		
	Base	Corte Simultâneo	Corte Não Simultâneo	Base	Corte Simultâneo	Corte Não Simultâneo	Base	Corte Simultâneo	Corte Não Simultâneo
TOFF=5	370,95	512,78	370,95	301,44	421,92	311,88	304,50	527,40	329,25
TOFF=10	370,95	529,28	434,25	309,90	479,06	347,12	312,00	598,82	382,84
TOFF=15	370,95	529,28	356,85	303,42	326,42	405,36	306,00	313,05	407,21

A potência máxima não é o único indicador disponível para análise, sendo que podemos observar pelos gráficos que a potência do DC tipicamente, é mais baixa com corte do que sem corte, à exceção do efeito de restituição que provoca um pico de potência.

Assim a forma indicada de usar os CA passa por beneficiar da diversidade de cargas e aplicar os cortes alternadamente entre grupos de controlo, evitando assim a subida simultânea da potência de todas as cargas. De notar que em média conseguimos uma variação de -31%, -28% e 7%, para as durações de corte de cinco, dez e quinze minutos, respetivamente. Para durações mais longas, os resultados não foram tão favoráveis na medida em que vai existir uma sobreposição do tempo de recuperação dos diversos grupos, pois o desfasamento dos CA não foi o suficiente para mitigar esse efeito. De notar ainda que em CA de maior duração a potência nos instantes a seguir ao corte pode subir até à potência máxima, fruto de uma maior variação de temperatura.

### 5.2.2. Sujeitos a variações de banda morta

A aplicação de VBM a um largo conjunto de cargas tem como consequência um abaixamento no início do aumento da BM, e um pico de potência no momento em que anulamos a VBM.

Desta forma, a aplicação indicada para a VBM pode passar por subir todos ao mesmo tempo que não trará consequências nefastas para o DC, pois no momento em que subimos a VBM a potência dos AC's baixa, podendo chegar a ter valores nulos. No entanto, quando descemos a VBM vai ocorrer um pico de potência, para evitar esse fenómeno podemos baixar a VBM de forma gradual ou alternada.

Outro aspeto a considerar é o abaixamento antes do pico de potência previsível. Nas simulações realizadas neste subcapítulo fizemos esse abaixamento em simultâneo antes da ponta para contrastar com o abaixamento gradual no fim da aplicação da VBM. Apesar de ser em intervalos de tempo diferentes, pode-se observar o efeito esperado de ocorrer uma ponta no abaixamento simultâneo e essa mesma ponta não ocorrer no abaixamento simultâneo e gradual.

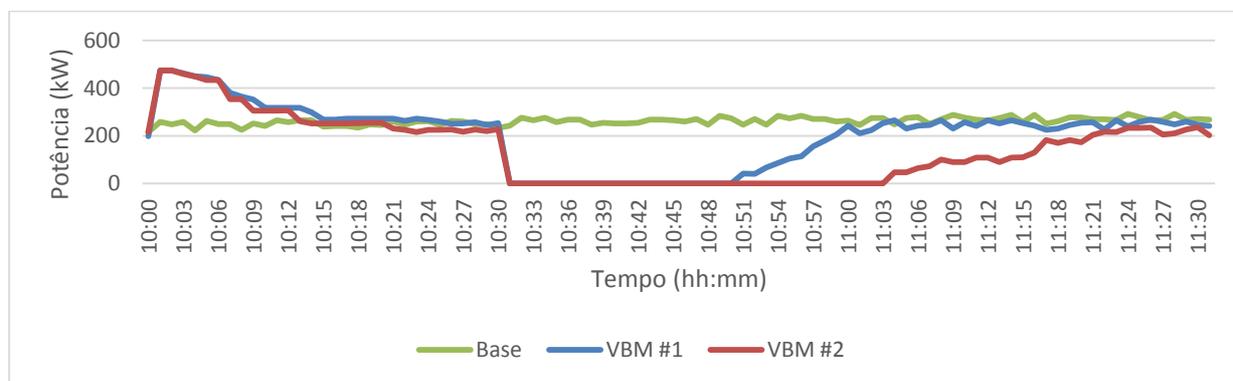


Figura 37: Início da aplicação da VBM #1 e da VBM #2 para o ACI FP 100%.

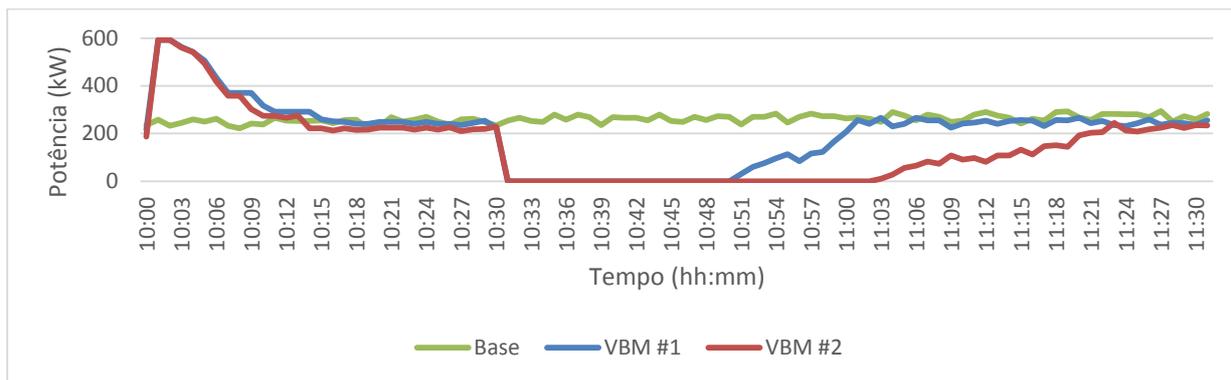


Figura 38: Início da aplicação da VBM #1 e da VBM #2 para o ACI FP 125%.

Nas simulações a grupos de cargas demonstrámos ainda o abaixamento simultâneo de todos os grupos, onde se demonstrou a existência de um pico de potência durante alguns minutos, esse pico pode-se reduzir se baixarmos meio grau de cada vez. Essa situação foi representada na análise a cargas singulares, no Capítulo 5.1.4.1.

Para a simulação com um grupo de cargas o efeito da VBM por equipamento foi o seguinte:

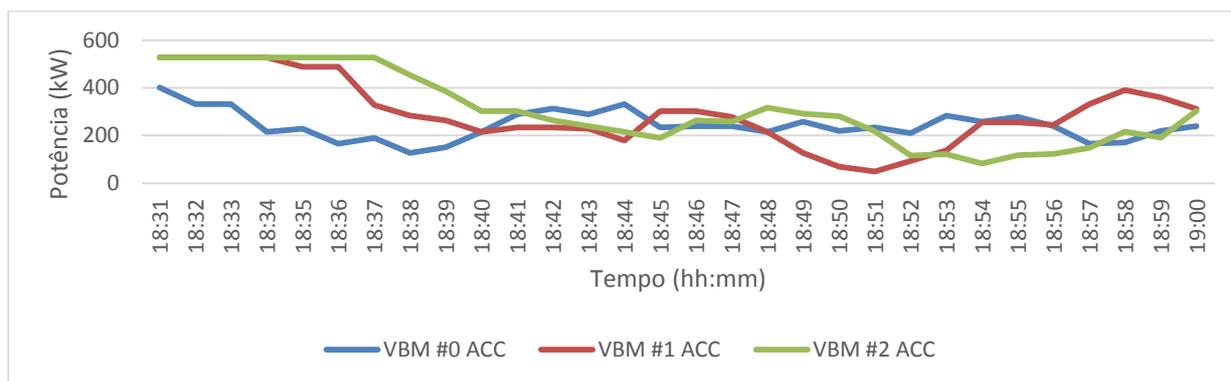


Figura 39: Comportamento do ACC para uma situação de múltiplas cargas, aplicação do planeamento de VBM #1 e VBM #2.

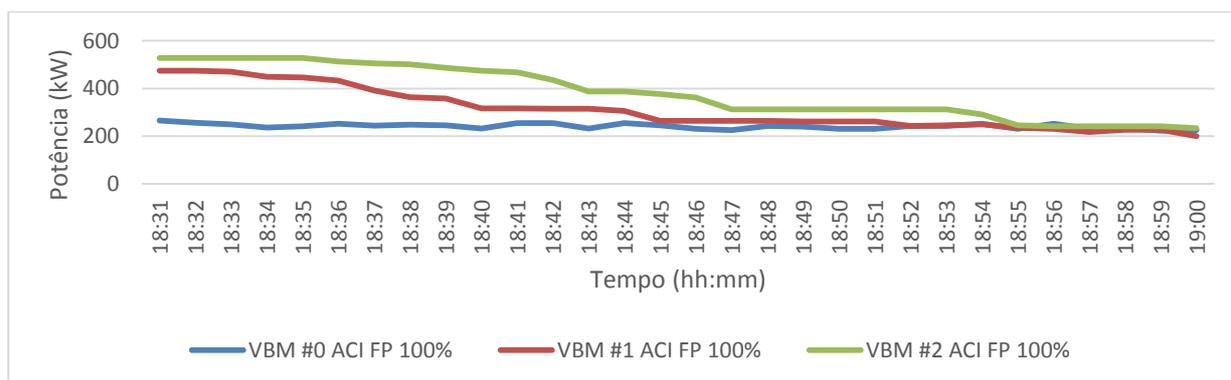


Figura 40: Comportamento do ACI FP 100% para uma situação de múltiplas cargas, aplicação do planeamento de VBM #1 e VBM #2.

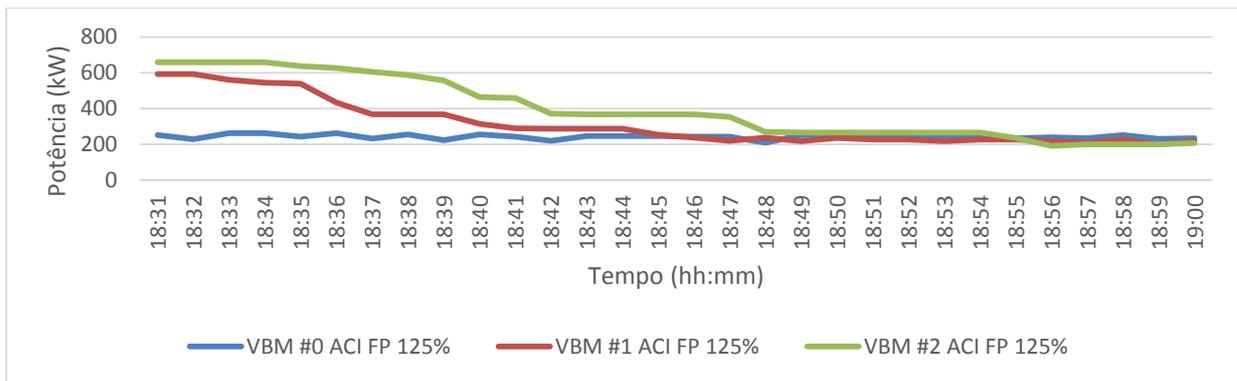


Figura 41: Comportamento do ACI FP 125% para uma situação de múltiplas cargas, aplicação do planeamento de VBM #1 e VBM #2.

Podemos assim concluir que a aplicação de BM que faça subir a potência não deve ser feita de forma brusca ou não gradual. Pode ter como consequência mais grave, um aumento tal que leve o sistema a ir abaixo. Na Figura 37 e 38 o aumento foi tal que todas as unidades de AC ligaram à potência máxima.

Em contrapartida, nas Figuras 39, 40 e 41, onde o abaixamento foi gradual o que só levou a que o conjunto de AC's funcionasse à potência máxima para a VBM #2, onde os degraus eram de dois graus centígrados.

Estas potências podem ser justificadas com a forma como o ACI funciona, de acordo com as Figuras 9 e 10, desvios acima de um determinado nível provocam a entrada em funcionamento do ACI com uma potência fixa. Como esse valor está parametrizado em 1,5°C, a variação provocada pela VBM ia sempre conduzir a um grande aumento da temperatura.

No caso do ACC basta que a temperatura suba acima da BM superior que este entra em funcionamento com uma potência fixa e igual à nominal.



## 6. Caso de estudo

A aplicação de medidas de GP tem por objetivo alterar o DC, desta forma, com recurso a um DC exemplo. Conhecendo a taxa de penetração dos equipamentos de climatização, fez-se uma estimativa dos equipamentos que supostamente estariam ligados a esta subestação,

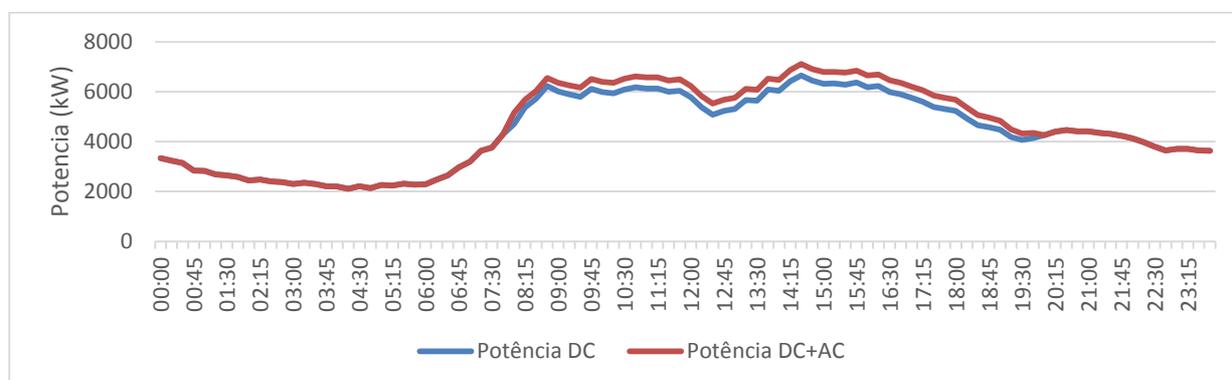


Figura 42: DC sem considerar a potência dos AC's, DC dos equipamentos de climatização e DC total.

o qual tem alguns dados pertinentes para a análise que se pretende:

Tabela 17: Indicadores do DC total para o caso de estudo.

Máximo (kW)	7115,179
Energia Consumida (kWh)	110599,5

Desta forma para o DC estudado consideramos de acordo com a potência, quinhentos equipamentos AC, com potências a variar entre 1,6kW e 1,3kW. Como neste momento não se encontram definidos grupos de controlo, estudaram-se três situações.

Os três casos de estudo foram pensados para avaliar alguns impactos distintos, com o “Caso de Estudo #1” e o “Caso de Estudo #2” procurou-se avaliar o impacto da presença de equipamentos do tipo ACI FP 125%, dessa forma no “Caso de Estudo #1” não foram incluídos equipamentos deste modelo.

Com o “Caso de Estudo #2” e “Caso de Estudo #3” tentou-se avaliar o aumento do número de grupos de controlo. Para tal, a quantidade de unidades de AC é a mesma, mas no “Caso de Estudo #3” o número de grupos é superior.

No Anexo G.1 encontra-se o planeamento das simulações ao nível dos edifícios usados, dados climáticos e da distribuição dos grupos. Nesse mesmo anexo nas Tabelas 32, 33e 34 está o planeamento das simulações.

Foram definidas três cenários de simulação:

Tabela 18: Conjuntos de cargas a simular no caso de estudo, onde se procurou analisar o impacto da presença de ACI FP 125% e do aumento de grupos de controlo.

	Caso de Estudo #1	Caso de Estudo #2	Caso de Estudo #3
ACC	240	200	200
ACI FP 100%	260	200	200
ACI FP 125%	0	100	100
Total AC	500	500	500
Total Grupos	12	12	24
Potência Máxima (kW)	725	761,25	761,25

Após estarem definidos os grupos de controlo começou-se a definir o planeamento de medidas de GP, as quais se dividem pela aplicação de CA e VBM. Como a alteração ao estado de funcionamento do AC provoca uma alteração no seu comportamento, podendo provocar um aumento de potência, assim, para minimizar o impacto das medidas estas foram aplicadas de forma desfasada.

Como o interesse da aplicação das medidas para o produtor é o corte da ponta de potência do DC, o primeiro passo foi o de identificar as pontas a serem sujeitas a medidas de GP. De acordo com a análise ao DC as pontas ocorreram em dois períodos temporais distintos.

Podiam ser consideradas para corte as pontas definidas pelos tarifários como “Hora de Ponta”, no entanto, como o objetivo passa por cortar as pontas do DC a opção seguida foi de identificar as pontas de potência. Assim, as pontas identificadas foram das 9:00 até às 12:00 e a segunda foi 13:15 às 17:15, correspondendo aos períodos onde a potência do DC atingia valores acima de 6000kW.

## 6.1. Aplicação de cortes de alimentação

A redução da ponta através de CA tem um menor impacto sobre a temperatura interior devido a serem cortes de curta duração, levando a apenas ligeiras subidas de temperatura.

Espera-se que a aplicação de cortes resulte numa redução da potência máxima e da energia consumida, de acordo com o plano de cortes aplicado.

Assim foram novamente simulados todos os planos de cortes partindo com a consciência de que há cenários de cortes que oferecem melhores resultados. O seu planeamento encontra-se no Anexo G.1, de notar que a sua implementação foi desfasada de grupo em grupo de dois minutos.

Um aspeto a ter em conta é que existe uma subida de potência a seguir ao corte, desta forma, a aplicação dos cortes foi desfasada entre os grupos, nunca iniciando um corte no mesmo instante em grupos diferentes. O objetivo desta medida passa por desfasar os picos de potência

que surgem a seguir a um corte, sendo que isto não evita a sobreposição de cortes em diferentes grupos, mas minimiza esse efeito.

As variações conseguidas no DC vão ser as seguintes:

*Tabela 19: Resultados da aplicação dos planos de cortes aos diversos casos de estudo.*

		Potência Máxima (kW)	Energia Consumida (kWh)	$\Delta$ Potência Máxima (kW)	$\Delta$ Energia Consumida (kWh)
Caso de Estudo #1	Base	7113,8396	110583,82	0,000	0,000
	Cortes #1	7062,2701	110337,85	-52,909	-261,681
	Cortes #2	7111,2761	110403,36	-3,903	-196,168
	Cortes #3	7037,2734	110427,52	-77,906	-172,011
	Cortes #4	6957,4678	110247,33	-157,711	-352,200
	Cortes #5	7187,3816	110296,47	72,203	-303,060
	Cortes #6	7015,7261	110357,77	-99,453	-241,762
Caso de Estudo #2	Base	7115,179	110599,53	0,000	0,000
	Cortes #1	7068,052	110374,64	-47,127	-224,887
	Cortes #2	7111,735	110434,09	-3,444	-165,441
	Cortes #3	7037,633	110444,21	-77,546	-155,316
	Cortes #4	6968,083	110298,58	-147,096	-300,944
	Cortes #5	7195,858	110343,22	80,679	-256,306
	Cortes #6	7020,046	110406,38	-95,133	-193,149
Caso de Estudo #3	Base	7136,059	110809,95	0,000	0,000
	Cortes #1	7084,346	110592,82	-30,833	-6,704
	Cortes #2	7106,713	110663,2	-8,466	63,670
	Cortes #3	7104,089	110675,88	-11,090	76,354
	Cortes #4	7074,290	110521,37	-40,889	-78,154
	Cortes #5	7074,682	110546,53	-40,497	-52,996
	Cortes #6	7108,112	110617,54	-7,067	18,009

Nem todos os planos têm a capacidade de originar abaixamentos da potência máxima, ou da energia consumida, o programa mais eficiente a conseguir a redução da ponta de potência foi o plano que tem TON=10min e TOFF=15min.

Em todos os casos de estudo o plano de cortes mais eficiente a reduzir a potência máxima foi o mesmo, desta forma é exposto um gráfico com o resultado para se conhecerem as alterações a todo o DC:

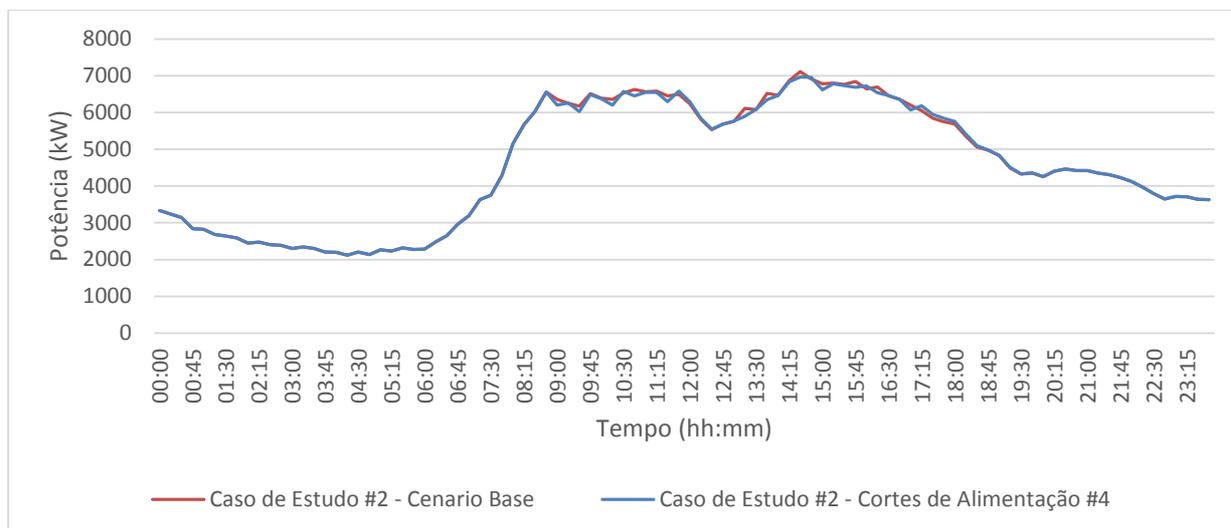


Figura 43: Comparação entre o DC total e o DC total afetado de um cenário de cortes (Cortes #4), para o Caso de Estudo #2.

Outro resultado que surge em função das simulações realizadas, é o efeito do uso de equipamentos ACI FP 125% no DC. Analisando os resultados do “Caso de Estudo #1” e do “Caso de Estudo #2”, é possível confirmar que o uso de equipamentos com a potência máxima superior à potência nominal não é benéfico para cortar a ponta. Para cortes de maior duração (TOFF=10min), o uso de ACI FP 125% não conseguiu reduções tão elevadas quanto a situação idêntica sem os ACI FP 125%. No entanto, em cortes de menor duração o impacto não é significativo. Sendo que estes equipamentos permitem uma mais rápida recuperação da temperatura e mais conforto para o cliente.

Realizando o mesmo conjunto de simulações mas para um conjunto de grupos maior, comparando o “Caso de Estudo #2” e “Caso de Estudo #3” podemos verificar que não se tornou benéfica a introdução de mais grupos. O abaixamento de potência não foi tão significativo, tal pode-se dever a que a introdução de mais grupos de controlo pode ter introduzido mais sobreposição na aplicação das medidas.

Ainda assim, a filosofia de implementação dos CA manteve-se, continuando a fazer a sua implementação desfasada no tempo.

## 6.2. Aplicação de variações da banda morta

A aplicação de VBM num conjunto de cargas permite obter um abaixamento da potência máxima atingida no DC, assim como uma redução na energia consumida. Como a aplicação da VBM não correspondeu a um dia completo, mas sim às horas em situação de ponta. Refizeram-se as simulações para conhecer o impacto das medidas aplicadas.

O planeamento das VBM para o “Caso de Estudo” está no Anexo G.2, de notar que só tem a VBM para um grupo, os outros grupos têm as mesmas medidas desfasadas em dois minutos.

As alterações ao DC vão ser as seguintes:

Tabela 20: Resultados da aplicação dos planos de VBM aos diversos casos de estudo.

		Potência Máxima (kW)	Energia Consumida (kWh)	$\Delta$ Potência Máxima (kW)	$\Delta$ Energia Consumida (kWh)
Caso de Estudo #1	Base	7113,840	110583,816	0,000	0,000
	VBM #1	7109,439	110113,860	-5,740	-485,668
	VBM #2	7063,286	109721,063	-51,893	-878,465
Caso de Estudo #2	Base	7115,179	110599,528	0,000	0,000
	VBM #1	7100,573	110109,359	-14,606	-490,169
	VBM #2	7064,973	109715,401	-50,206	-884,127
	VBM #3	7062,36858	110153,647	-52,810	-445,881
Caso de Estudo #3	Base	7136,059	110809,954	0,000	0,000
	VBM #1	7108,539	110107,368	-6,640	-492,160
	VBM #2	7057,883	109702,862	-57,296	-896,666

Nos planos de VBM não faz sentido referir nenhum aspeto sobre a temperatura nas medidas em que esta foi influenciada de forma controlada pelas medidas. Assim o impacto sobre a temperatura interior é sempre o esperado.

Um pormenor óbvio é o facto de que quanto maior for o desvio de temperatura provocado pelas medidas, maiores serão os impactos sobre a potência máxima e a energia consumida. Assim, a escolha do plano a aplicar deve ter em conta além das reduções que se procuram, a temperatura interior a que o cliente vai ficar sujeito.

Quando a temperatura de referência deixa de estar afetada pelo plano de VBM, dá-se uma subida de potência, para evitar essa subida de potência a transição foi gradual, essa implementação foi baseada nos resultados obtidos no Capítulo 5.2.

Em relação às reduções obtidas, quando o ACI FP 125% está presente nas cargas dos grupos, sujeitos a VBM, a redução da potência máxima é superior do que aquela que se obteria sem o ACI FP 125%. Já o aumento do número de grupos quase não teve impacto sobre os resultados, como se pode confirmar comparando o “Caso de Estudo #2” e o “Caso de Estudo #3”, variando sensivelmente 7kW.

No “Caso de Estudo #2” ainda foi aplicado um plano de VBM adicional. Nesse plano foi feito um abaixamento antes da ponta do DC, onde o objetivo foi de verificar arrefecendo um grau centígrado antes do período de ponta tornava possível a potência dos equipamentos de AC ser menor durante o período de ponta. Essa simulação não ofereceu os melhores resultados ao nível da energia consumida, no entanto, conseguiu com um menor aumento da BM reduzir a potência com resultados próximos do plano VBM #2, onde a BM foi aumentada em dois graus centígrados.

De notar que tal só foi possível porque o pico de potência do DC se encontrava logo no início do período de ponta, de forma que nesse instante a potência dos equipamentos de AC ainda era baixa.

As alterações conseguidas no DC foram as seguintes para o “Caso de Estudo #2”:

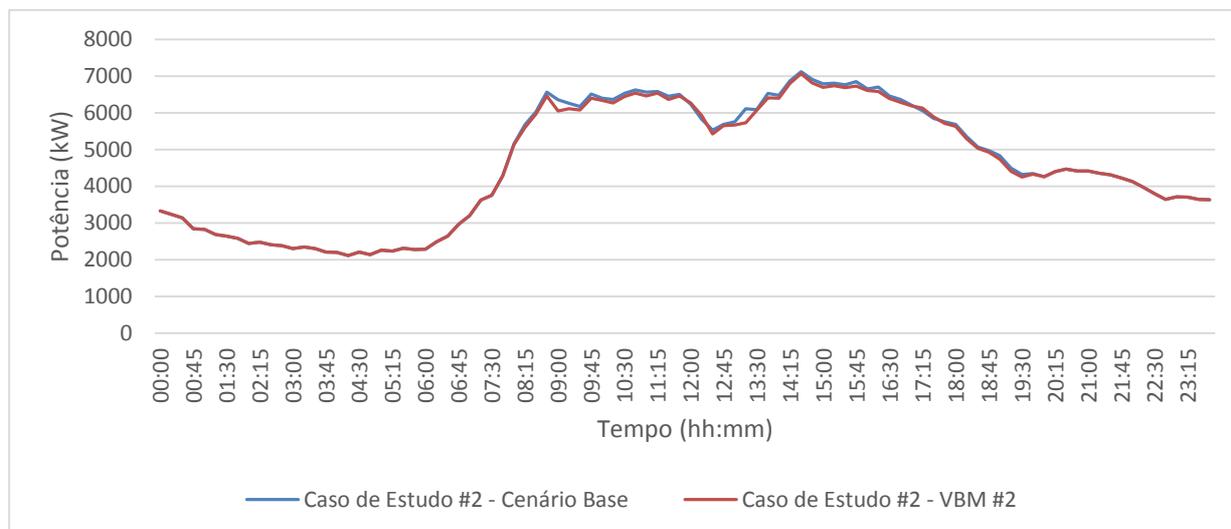


Figura 44: Comparação entre o DC total e o DC total afetado de um cenário de VBM (VBM #2), para o Caso de Estudo #2.

### 6.3. Conclusões

É importante ter em consideração os impactos esperados na temperatura interior, pois a alteração ao funcionamento de qualquer equipamento vai implicar alterações na temperatura interior, com a noção de que as variações da temperatura interior resultantes da aplicação de VBM são conhecidas.

Após as simulações realizadas, podemos concluir que os CA são mais eficientes a reduzir a ponta de potência e afetam menos a temperatura interior. Já em relação aos planos e VBM as reduções não foram tão acentuadas na potência máxima, mas foram mais eficientes a reduzir a energia consumida.

Podemos assim concluir através das Tabelas 17 e 18 que os planos de CA conseguem reduzir a potência máxima em mais 63% que os planos de VBM, no entanto, os planos de VBM conseguem maiores reduções de potência, chegando a 61,7%, comparando os dois melhores resultados de cada plano.

Outros resultados obtidos demonstraram que é benéfico para o DC influenciar o funcionamento do menor número de AC's possível, pois associado a cada medida tipicamente vem um pico de potência.

No nosso caso de estudo o aumento do número de grupos não conduziu ao resultado esperado porque sobrepôs o período de restituição dos diversos grupos, acabando por não evidenciar eventuais vantagens da existência de um maior número de grupos.

## 7. Conclusão e desenvolvimentos futuros

Antes de mais, urge alterar o comportamento dos clientes, por diversos motivos, sejam eles económicos ou ambientais. A realidade é que o nosso país não tem sido autossuficiente ao nível energético, importando uma grande quantidade de energia. Para conseguir essa mudança existem diversas medidas que podem ser adotadas no lado do cliente, sejam medidas baseadas em preços ou em incentivos. Tendo sempre a consciência que o pico de potência nunca vai ser completamente eliminado, pois está fortemente relacionado com motivos sazonais e profissionais.

Ao longo deste trabalho estimou-se que a implementação de medidas de controlo de carga previstas no DSM consegue reduções ao nível da ponta do DC, seja através de CA ou de VBM, sendo que cada medida tem um impacto distinto a diversos níveis, tais como: a temperatura interior, a energia consumida ou a potência.

A aplicação de ações de controlo sobre equipamentos de climatização vai influenciar a temperatura interior, no entanto, ligeiras variações não são sentidas pelo cliente [8]. Assim sendo, este é um fator decisivo na aceitação da implementação destas medidas, daí a importância de conhecer os impactos ao nível da temperatura.

Através das diversas simulações realizadas pôde-se concluir que só existem poupanças ao nível da energia consumida quando ocorre uma degradação da qualidade de serviço, sendo esse fato mais evidente nos planos de VBM.

No lado do produtor o interesse era de cortar a ponta mais elevada de potência do DC. Com este objetivo satisfeito, demonstra-se a eficiência destas medidas em cortar a ponta de potência. Apesar de que nem todos os planos de controlo de carga foram eficientes a desempenhar essa função.

Uma outra questão na aplicação das medidas prende-se com o fato de estarmos a alterar o funcionamento normal do DC, quando o AC passa a estar exposto à medida de GP, ou aquando do regresso ao seu funcionamento normal, vão ocorrer alterações muito bruscas no DC. O conhecimento destes períodos transitórios é de vital importância para a estabilidade do SEE, dessa forma, ao longo da dissertação procuraram-se conhecer os impactos ao nível da potência nesses mesmos períodos, desta forma existe uma caracterização da potência no instante a seguir ao CA e no instante inicial e final de uma VBM.

Através destes dados podemos concluir que qualquer corte provoca uma subida de potência aquando da reentrada em serviço, e uma VBM vai provocar um abaixamento da potência no momento em que é aplicada e uma subida no momento em que cessa.

Para conhecer melhor esse efeito foram realizadas simulações com diversos cenários de GP, onde a implementação das medidas foi feita de forma simultânea e não simultânea. Daqui

pode concluir-se que a implementação de qualquer medida não deve ser simultânea por forma a no mesmo instante alterar o funcionamento ao menor número de AC's possível.

É importante ter noção que o comportamento dos AC's está muito ligado às diferenças de temperatura. Desta forma, pode ser estimada a potência necessária por um determinado grupo de AC's conforme a temperatura exterior prevista para um determinado dia. Sendo conhecida a potência prevista para um determinado dia assim como os dados climatéricos para esse mesmo dia, pode-se usar então essa informação para definir as medidas de GP a aplicar aos grupos de controlo.

Ao longo desta dissertação, todas as medidas de GP foram definidas manualmente, quando o que interessa é a sua definição de forma dinâmica e otimizada. Assim, como trabalhos futuros pode-se deixar de fazer a definição prévia das medidas a aplicar e passar a fazer esse passo de forma dinâmica. Para tal existem duas opções: uso de algoritmos de otimização (por exemplo, Algoritmo Genético), ou recurso a algoritmos de aprendizagem (tais como as Redes Neurais).

Definindo de forma dinâmica as medidas a aplicar vamos conseguir maiores otimizações, fazendo a implementação conforme diversos objetivos distintos, ou mesmo, otimizar mais do que um aspeto, permitindo assim conseguir reduções no lado da produção e no lado da procura.

Como estas medidas de GP vão afetar diversos aspetos, a implementação com um algoritmo de otimização pode inclusivamente ter a capacidade de otimizar mais que uma função objetivo, podendo assim, por exemplo, otimizar a potência e a temperatura interior.

# Bibliografia

- [1] M. A. Zehir and M. Bagriyanik, “*Demand Side Management by Controlling Refrigerators and its Effects on Consumers*”, *Energy Conversion and Management*, vol. 64, pp. 238–244, Dec. 2012.
- [2] C. W. Gellings, “*The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities*”, no. 10, pp. 1468–1470, 1985.
- [3] M. H. Albadi, “*Demand Response in Electricity Markets : An Overview*”, pp. 1–5, 2007.
- [4] G. Wright, “*Environmental Implications of Increasing Demand Management in the National Electricity Market Discussion Paper*”, no. November, pp. 89–97, 2012.
- [5] S. Ihara and F. C. Schweppe, “*Physically Based Modeling of Cold Load Pickup*” *Power*, vol. PAS-100, no. 9, pp. 4142–4150, 1981.
- [6] M. H. Nehrir, V. Gerez, P. S. Dolan, and W. J. Jameson, “*Development And Validation Of A Physically-Based Computer Model For Predicting Winter Electric Heating Loads*”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 266 – 272, 1995.
- [7] REN - Rede Eletrica Nacional, S.A., “*Caracterização da Rede Nacional de Transporte para Efeito de Acesso à Rede*”, 2013.
- [8] ADENE, “*Guia Da Eficiência Energética*”, 2011.
- [9] Panasonic, *Service Manual - Air Conditioner*. 2011.
- [10] J. Martinho, “*Modelos de Cargas de Condicionamento Ambiente para Avaliação do Potencial de Demand Response*”, Coimbra: DEE – FCTUC 2011. Tese de Mestrado.
- [11] A. Gomes, “*Identificação e apoio à seleção de estratégias de controlo direto de cargas Uma abordagem multiobjectivo evolucionária*”, Coimbra: DEE - FCTUC, 2004. Tese de Doutoramento.
- [12] A. Gomes, “*Simulação de Cargas Eléctricas no Contexto do Condicionamento da Procura de Energia Eléctrica*”. Coimbra: DEE - FCTUC, 1995. Tese de Mestrado.

- [14] Risk Management. [Online]:  
<http://risk.nuvvo.com/lesson/5864-simulacao-de-monte-carlo>
- [15] EDP SU, Energias de Portugal Serviço Universal. [Online]:  
<http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/horarios/Pages/HorariosBTN.aspx>
- [16] ISR – Universidade de Coimbra; Projeto REMODECE. [Online]:  
[http://remodece.isr.uc.pt/workshops/portugal/REMODECE%20\\_Apresentacao\\_ISR-UC\\_29Set2008.pdf](http://remodece.isr.uc.pt/workshops/portugal/REMODECE%20_Apresentacao_ISR-UC_29Set2008.pdf)
- [17] ECO EDP, Eco Energias de Portugal [Online]:  
<http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/equipamentos-eficientes/climatizacao/ar-condicionado-bomba-de-calor>
- [18] REN, Rede Elétrica Nacional [Online]: [https://www.ren.pt/o\\_que\\_fazemos/eletricidade/](https://www.ren.pt/o_que_fazemos/eletricidade/)

# Anexo A

Neste anexo encontra-se o pseudo-código relativamente ao *software* desenvolvido, incluindo as funções definidas. Começando pelo tronco principal do *software*:

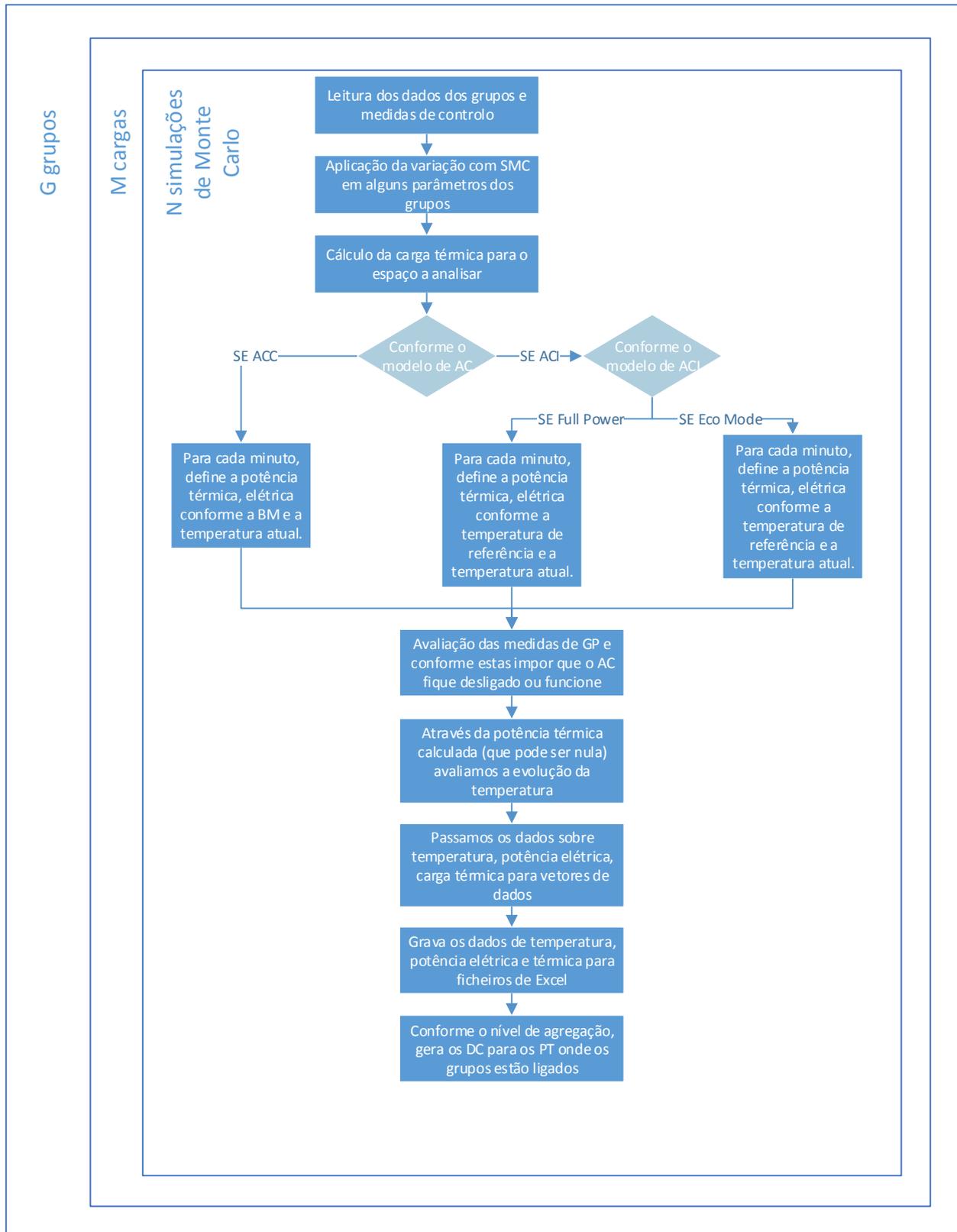


Figura 45: Pseudo-código da parte principal do software.

No software existia outra função que definia a potência do ACI, era a função *inverter()*:

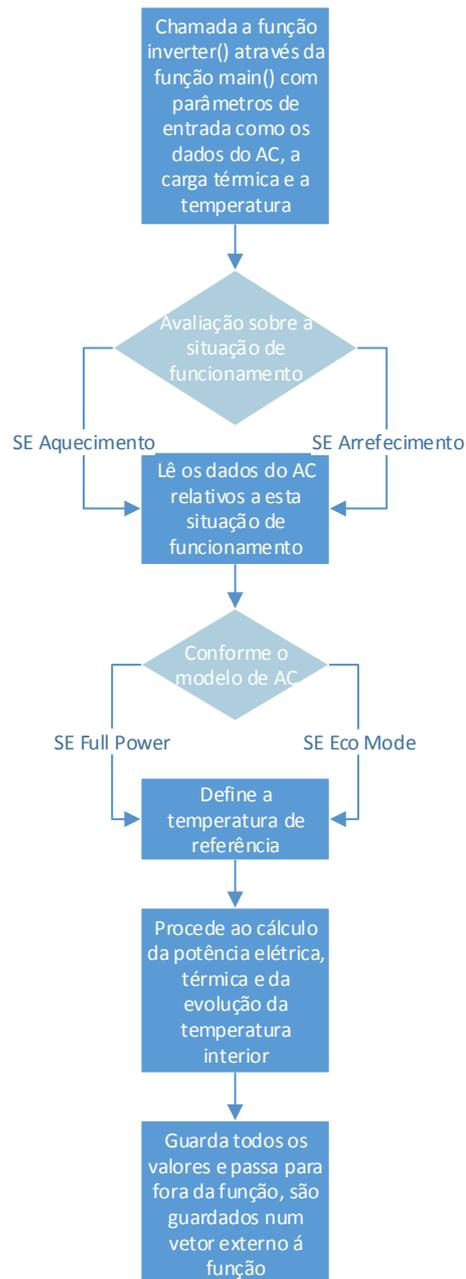


Figura 46: Pseudo-código da função *inverter()*.

Na função *inverter()* não existe código para fazer as SMC nem relativo às varias cargas ou grupos uma vez que essa mesma questão se encontra assegurada no tronco principal do software.

# Anexo B

Neste anexo encontram-se os dados relativamente às simulações do sub-capítulo 5.3.1, contém o planeamento das mesmas, resultados sem cenários de CA e VBM aplicados e resultados com menos relevo ou ambíguos face aos expostos na dissertação.

## Anexo B.1

Equipamentos usados:

Tabela 21: Dados sobre os equipamentos de climatização.

		Potência Nominal	COP	EER
#1	LG C18AWR	1640	3,43	3,22
#2	LG C12AWR	1290	3,63	3,22

Edifícios usados nas simulações:

Tabela 22: Edifício #1.

	Coefficiente U Paredes	Área paredes	Tcwalls	Coefficiente U Janelas	Área Janelas	Sombreamento
Norte	2,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,75
Nordeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Este	2,00	14,40	0,00	5,30	4,00	0,75
Sudoeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Sul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Sudeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Oeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Nordeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Teto	2,00	36,00				
Chão	2,00	36,00				
Portas	3,00	1,50				
Paredes internas	2,80	28,80				
Temperatura média interior (°C)	25,00					
Latitude	40,00					
Humidade interior (%)	59,00					
Ventilação (Sim-1; Não-0)	1,00					
Volume condicionado (m <sup>3</sup> )	86,40					
Número de Trocas (ar/hora)	2,00					
Pressão saturação (kPa)	2,62					
Temperatura Ambiente no Início da Simulação	22,5					
Infiltrações Com o Interior (ar/hora)	0,5					

Tabela 23: Edifício #2.

	Coefficiente U Paredes	Área paredes	Tcwalls	Coefficiente U Janelas	Área Janelas	Sombreamento
Norte	2,00	19,20	0,00	0,00	0,00	0,75
Nordeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Este	2,00	19,20	0,00	5,30	4,00	0,75
Sudoeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Sul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Sudeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Oeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Nordeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Teto	2,00	64,00				
Chão	2,00	64,00				
Portas	3,00	1,50				
Paredes internas	2,80	38,40				
Temperatura média interior (°C)	25,00					
Latitude	40,00					
Humidade interior (%)	59,00					
Ventilação (Sim-1; Não-0)	1,00					
Volume condicionado (m <sup>3</sup> )	153,60					
Número de Trocas (ar/hora)	2,00					
Pressão saturação (kPa)	2,62					
Temperatura Ambiente no Início da Simulação	22,5					
Infiltrações Com o Interior (ar/hora)	0,5					

## Temperatura exterior:

*Tabela 24: Temperatura exterior usada nas simulações.*

Hora	Temperatura Exterior #1	Temperatura Exterior #2	Temperatura Exterior #3
00:00:00	22,00	20,00	23,50
01:00:00	21,00	20,00	22,50
02:00:00	20,00	19,00	21,50
03:00:00	19,00	18,00	20,50
04:00:00	18,00	16,00	19,50
05:00:00	17,00	16,00	19,00
06:00:00	17,50	17,00	19,00
07:00:00	19,00	18,00	20,50
08:00:00	21,00	20,00	22,50
09:00:00	23,00	22,00	24,50
10:00:00	25,00	24,00	26,50
11:00:00	29,00	26,50	30,50
12:00:00	34,00	29,00	35,50
13:00:00	36,00	33,00	38,00
14:00:00	38,00	34,50	40,00
15:00:00	37,00	34,00	39,00
16:00:00	36,00	34,00	38,00
17:00:00	32,00	32,00	36,00
18:00:00	30,00	30,00	31,00
19:00:00	27,00	27,00	29,00
20:00:00	24,00	24,00	25,00
21:00:00	22,00	22,00	22,00
22:00:00	21,00	21,00	21,50
23:00:00	22,00	20,00	22,00

## Carga térmica interna usada nas simulações:

Tabela 25: Fontes internas de carga térmica (pessoas e equipamentos).

Hora	Carga Térmica Interna #1		Carga Térmica Interna #2	
	Fontes internas	Número pessoas	Fontes internas	Número pessoas
00:00:00	0	0	0	0
01:00:00	0	0	0	0
02:00:00	0	0	0	0
03:00:00	0	0	0	0
04:00:00	0	0	0	0
05:00:00	0	0	0	0
06:00:00	0	0	0	0
07:00:00	0	0	0	0
08:00:00	100	120	200	120
09:00:00	200	120	200	120
10:00:00	300	120	200	120
11:00:00	400	240	300	120
12:00:00	450	240	300	120
13:00:00	500	360	360	240
14:00:00	500	240	360	240
15:00:00	400	360	300	240
16:00:00	400	240	300	240
17:00:00	300	240	300	240
18:00:00	200	360	200	360
19:00:00	100	240	200	240
20:00:00	0	120	0	120
21:00:00	0	0	0	0
22:00:00	0	0	0	0
23:00:00	0	0	0	0

## Planeamento das simulações:

Tabela 26: Organização das simulações e respetivo ficheiro (grupo "n".xlsx).

Edifício	AC	Temperatura Exterior	Carga Térmica Interior	Grupo
Edifício #1	AC #1	Temperatura Exterior #1	Carga Térmica Interior #1	#1
		Temperatura Exterior #2		#2
		Temperatura Exterior #3		#3
		Temperatura Exterior #1	Carga Térmica Interior #2	#4
		Temperatura Exterior #2		#5
		Temperatura Exterior #3		#6
	AC #2	Temperatura Exterior #1	Carga Térmica Interior #1	#7
		Temperatura Exterior #2		#8
		Temperatura Exterior #3		#9
		Temperatura Exterior #1	Carga Térmica Interior #2	#10
		Temperatura Exterior #2		#11
		Temperatura Exterior #3		#12
Edifício #2	AC #1	Temperatura Exterior #1	Carga Térmica Interior #1	#13
		Temperatura Exterior #2		#14
		Temperatura Exterior #3		#15
		Temperatura Exterior #1	Carga Térmica Interior #2	#16
		Temperatura Exterior #2		#17
		Temperatura Exterior #3		#18
	AC #2	Temperatura Exterior #1	Carga Térmica Interior #1	#19
		Temperatura Exterior #2		#20
		Temperatura Exterior #3		#21
		Temperatura Exterior #1	Carga Térmica Interior #2	#22
		Temperatura Exterior #2		#23
		Temperatura Exterior #3		#24

# Anexo C

## Anexo C.1

Para o funcionamento normal, no respetivo capítulo por uma questão de limitação de gráfico apenas foram apresentados os valores para uma carga, desta forma, neste subcapítulo a comparação foi feita para vinte e quatro cargas de cada modelo, cada uma com quinze SMC. O planeamento das simulações é o do Anexo B.

*Tabela 27: Comparação entre os diversos equipamentos de AC.*

	ACC (kWh)	%	ACI FP 100% (kWh)	%	ACI FP 125% (kWh)	%
Carga #1	7,71	100,00	7,70	99,89	7,70	99,91
Carga #2	7,54	100,00	7,56	100,23	7,56	100,22
Carga #3	7,82	100,00	7,84	100,35	7,84	100,34
Carga #4	7,38	100,00	7,36	99,74	7,36	99,74
Carga #5	7,22	100,00	7,22	100,09	7,22	100,09
Carga #6	7,54	100,00	7,51	99,50	7,51	99,52
Carga #7	7,27	100,00	7,28	100,12	7,28	100,12
Carga #8	7,16	100,00	7,14	99,79	7,14	99,79
Carga #9	7,42	100,00	7,41	99,93	7,41	99,93
Carga #10	6,94	100,00	6,95	100,15	6,95	100,14
Carga #11	6,82	100,00	6,82	100,13	6,82	100,13
Carga #12	7,10	100,00	7,09	99,97	7,09	99,96
Carga #13	10,20	100,00	10,15	99,60	10,16	99,65
Carga #14	10,06	100,00	10,02	99,63	10,02	99,60
Carga #15	10,33	100,00	10,30	99,67	10,30	99,72
Carga #16	9,84	100,00	9,82	99,78	9,82	99,81
Carga #17	9,73	100,00	9,68	99,51	9,68	99,49
Carga #18	9,95	100,00	9,96	100,12	9,96	100,16
Carga #19	10,19	100,00	10,16	99,67	10,16	99,69
Carga #20	10,02	100,00	10,02	99,99	10,02	99,99
Carga #21	10,34	100,00	10,30	99,59	10,30	99,63
Carga #22	9,85	100,00	9,82	99,74	9,82	99,76
Carga #23	9,68	100,00	9,68	100,06	9,68	100,08
Carga #24	9,98	100,00	9,96	99,88	9,96	99,86
			Media	99,88		99,89

## Anexo C.2

Para a situação de arranque existiu um compromisso no espaço disponível de forma que apenas se demonstrou a comparação para uma carga, dessa forma, foi feita a comparação para mais cargas por forma a atingir algum relevo probabilístico.

*Tabela 28: Comparação entre o tempo necessário para os diversos equipamentos para que a temperatura interior atinja os 21,5°C.*

ACC (s)	%	ACI FP 100% (s)	%	ACI FP 125% (s)	%
2	100	2	100	1	50
2	100	2	100	1	50
2	100	2	100	1	50
2	100	2	100	1	50
2	100	2	100	1	50
2	100	2	100	2	100
3	100	3	100	2	66,666667
3	100	3	100	2	66,666667
3	100	3	100	2	66,666667
3	100	3	100	2	66,666667
3	100	3	100	2	66,666667
3	100	3	100	2	66,666667
5	100	5	100	3	60
5	100	5	100	3	60
5	100	5	100	3	60
5	100	5	100	3	60
5	100	5	100	3	60
5	100	5	100	3	60
8	100	8	100	5	62,5
8	100	8	100	5	62,5
8	100	8	100	5	62,5
8	100	8	100	5	62,5
8	100	8	100	5	62,5
8	100	8	100	5	62,5
		Media	100		61,875

Além do tempo necessário para restituir a temperatura nos níveis adequados, existe ainda a energia consumida, a potência máxima e a potência média, que são indicadores de comparação adequados entre os diversos equipamentos.

Tabela 29: Comparação entre os diversos equipamentos durante o período de arranque, para a energia consumida, potência média e máxima.

Energia Consumida (Wh)						Potência Média (W)			Potência Máxima (W)		
ACC	%	ACI FP 100%	%	ACI FP 125%	%	ACC	ACI FP 100%	ACI FP 125%	ACC	ACI FP 100%	ACI FP 125%
328,00	100,00	301,00	91,77	302,50	92,23	656,00	602,00	605,00	1640,00	1640,00	2050,00
328,00	100,00	301,00	91,77	294,17	89,68	656,00	602,00	588,33	1640,00	1640,00	2050,00
328,00	100,00	301,00	91,77	302,50	92,23	656,00	602,00	605,00	1640,00	1640,00	2050,00
328,00	100,00	301,00	91,77	302,50	92,23	656,00	602,00	605,00	1640,00	1640,00	2050,00
355,33	100,00	301,00	84,71	302,50	85,13	710,67	602,00	605,00	1640,00	1640,00	2050,00
328,00	100,00	304,33	92,78	305,83	93,24	656,00	608,67	611,67	1640,00	1640,00	2050,00
301,00	100,00	282,50	93,85	282,50	93,85	602,00	565,00	565,00	1290,00	1290,00	1612,50
301,00	100,00	282,50	93,85	282,50	93,85	602,00	565,00	565,00	1290,00	1290,00	1612,50
322,50	100,00	290,83	90,18	290,83	90,18	645,00	581,67	581,67	1290,00	1290,00	1612,50
322,50	100,00	291,37	90,35	290,83	90,18	645,00	582,73	581,67	1290,00	1290,00	1612,50
322,50	100,00	290,83	90,18	290,83	90,18	645,00	581,67	581,67	1290,00	1290,00	1612,50
301,00	100,00	299,70	99,57	299,17	99,39	602,00	599,40	598,33	1290,00	1290,00	1612,50
492,00	100,00	434,87	88,39	443,17	90,07	984,00	869,73	886,33	1640,00	1640,00	2050,00
464,67	100,00	434,87	93,59	443,17	95,37	929,33	869,73	886,33	1640,00	1640,00	2050,00
464,67	100,00	434,87	93,59	443,17	95,37	929,33	869,73	886,33	1640,00	1640,00	2050,00
519,33	100,00	434,87	83,74	443,17	85,33	1038,67	869,73	886,33	1640,00	1640,00	2050,00
519,33	100,00	434,87	83,74	443,17	85,33	1038,67	869,73	886,33	1640,00	1640,00	2050,00
492,00	100,00	434,87	88,39	443,17	90,07	984,00	869,73	886,33	1640,00	1640,00	2050,00
430,00	100,00	424,40	98,70	431,29	100,30	860,00	848,80	862,58	1290,00	1290,00	1612,50
430,00	100,00	424,40	98,70	431,29	100,30	860,00	848,80	862,58	1290,00	1290,00	1612,50
430,00	100,00	428,70	99,70	431,29	100,30	860,00	857,40	862,58	1290,00	1290,00	1612,50
430,00	100,00	428,70	99,70	431,29	100,30	860,00	857,40	862,58	1290,00	1290,00	1612,50
430,00	100,00	428,70	99,70	431,29	100,30	860,00	857,40	862,58	1290,00	1290,00	1612,50
430,00	100,00	434,23	100,98	436,67	101,55	860,00	868,47	873,33	1290,00	1290,00	1612,50
		Média	92,98		93,62						

# Anexo D

O planeamento para os CA cíclicos foi o seguinte:

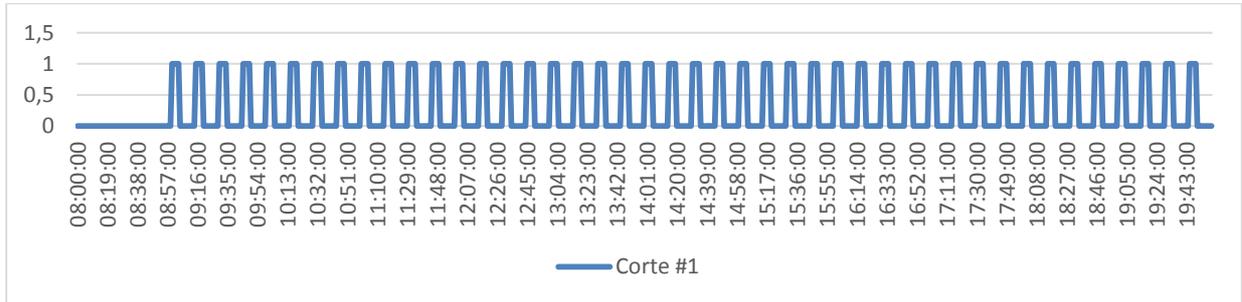


Figura 47: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=5min e TOFF=10min.

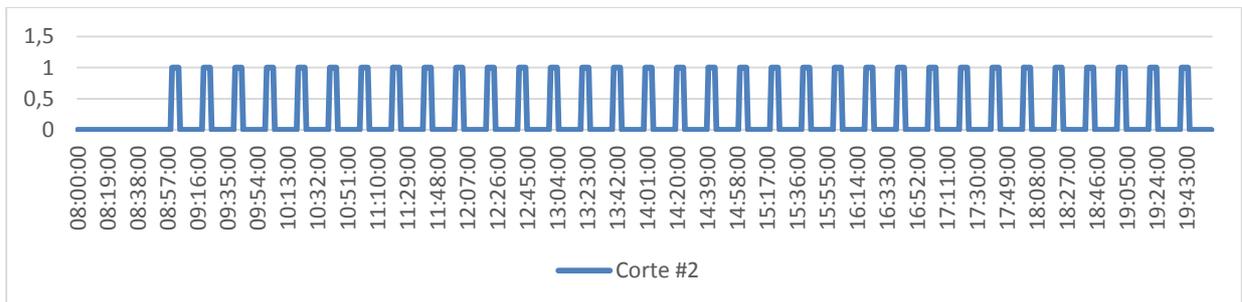


Figura 48: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=5min e TOFF=15min.

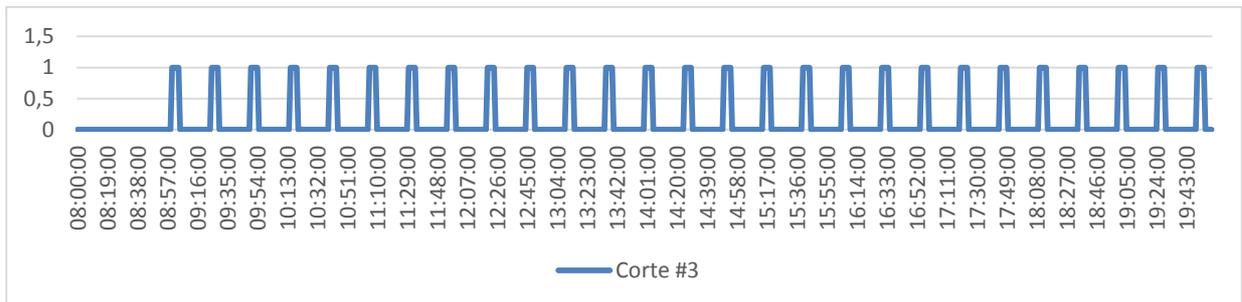


Figura 49: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=5min e com TOFF=20min.

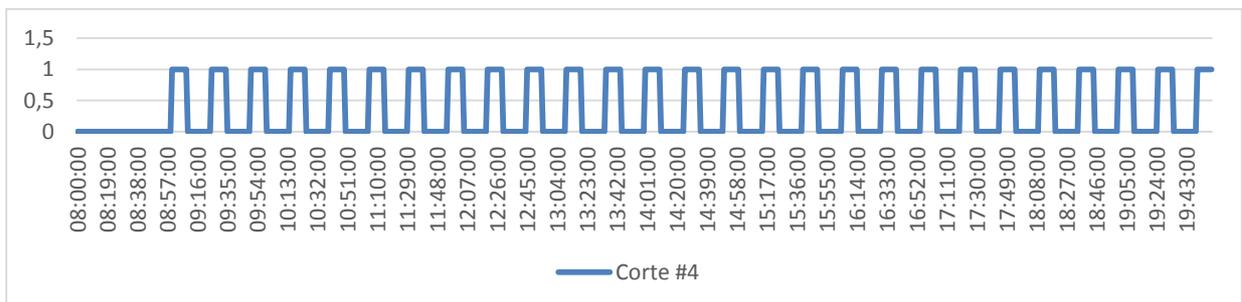


Figura 50: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=10min e TOFF=15min.

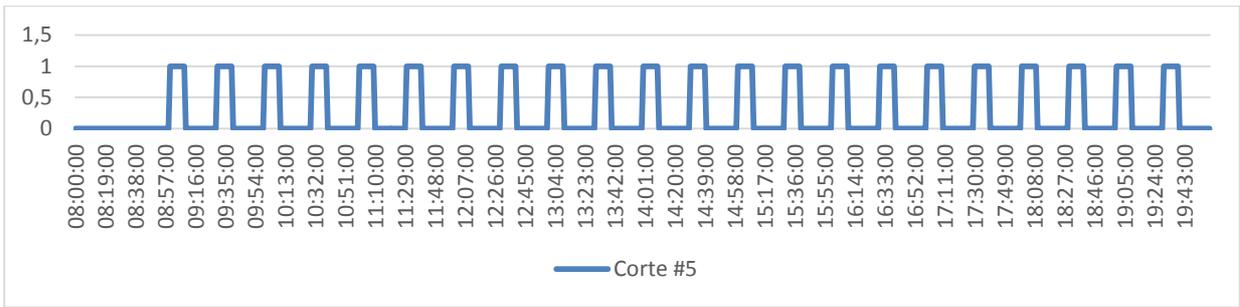


Figura 51: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=10min e com TOFF=20min.

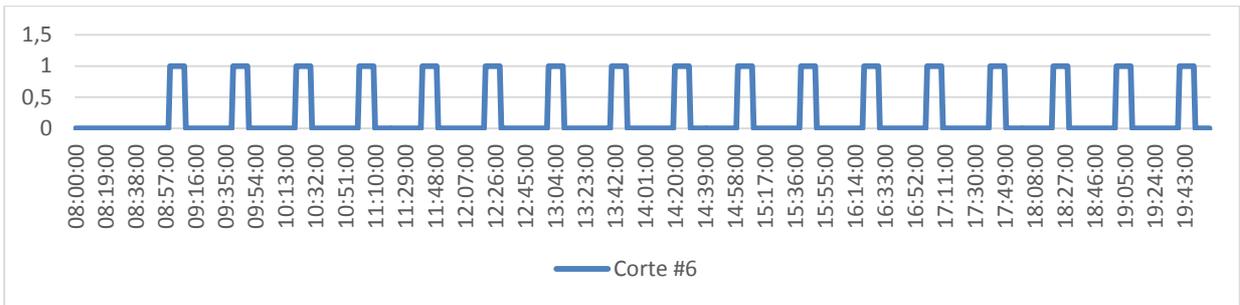


Figura 52: Aplicação de cortes a um dia completo, com TON=10min e com TOFF=30min.

# Anexo E

Neste anexo encontra-se feito o planeamento para a VBM para cargas singulares, explorando três tipos de situações:

- Aplicação de um aumento da BM durante todo o dia;
- Aplicação de um aumento da BM durante as horas de ponta;
- Aplicação de uma diminuição da VBM antes das horas de ponta e um posterior aumento durante as horas de ponta, beneficiando assim da capacidade de armazenar energia térmica do edifício.

Os planos de VBM são os seguintes:

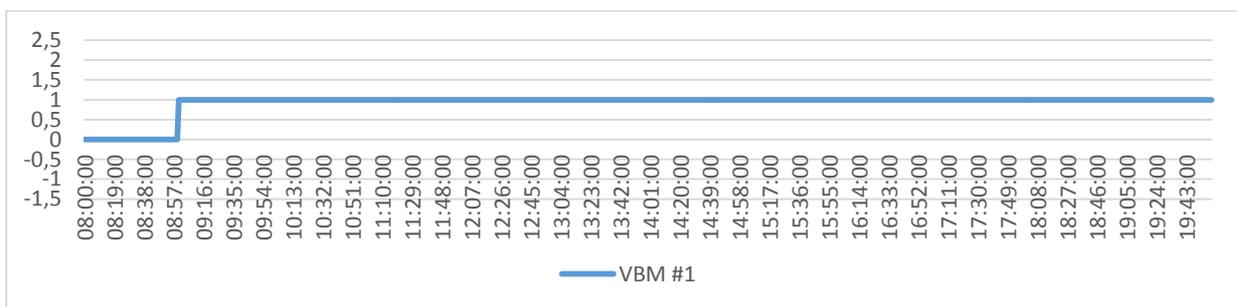


Figura 53: Plano de VBM #1 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante todo o dia.

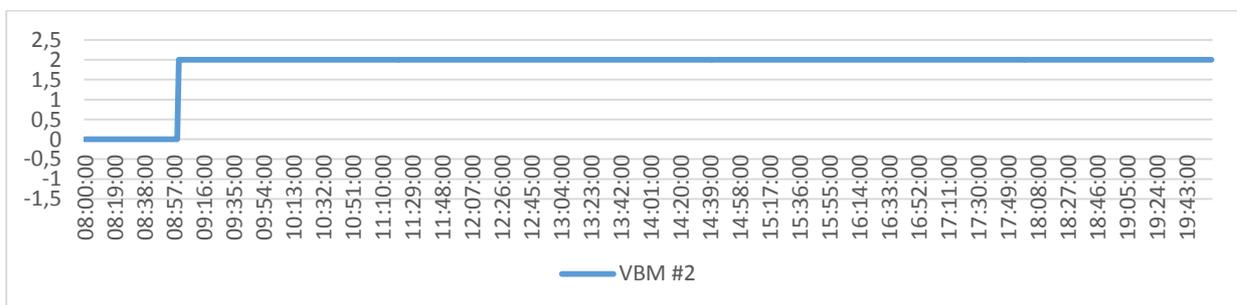


Figura 54: Plano de VBM #2 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante todo o dia.

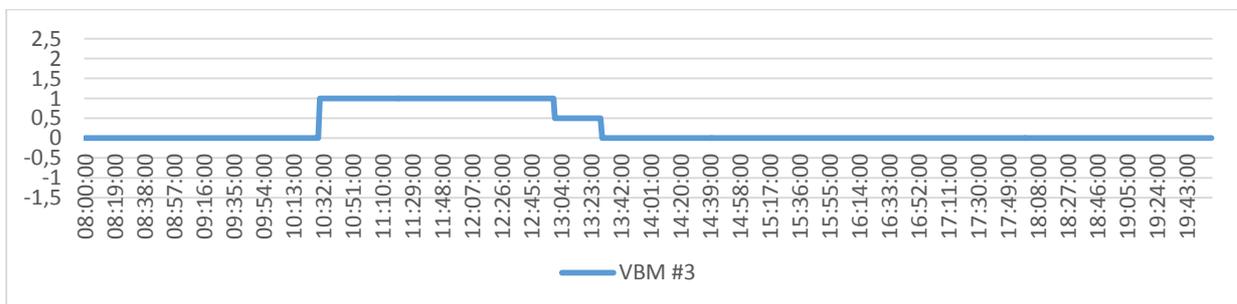


Figura 55: Plano de VBM #3 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante as horas de ponta, o abaixamento da BM foi progressivo para evitar picos de potência.

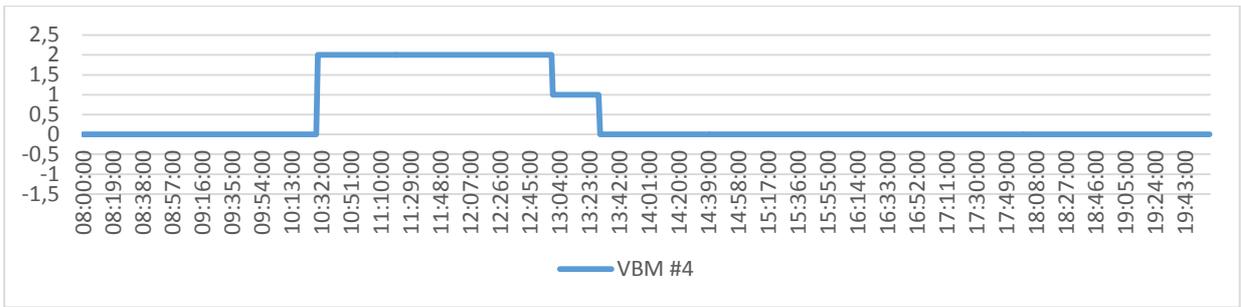


Figura 56: Plano de VBM #4 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante as horas de ponta, o abaixamento da BM foi progressivo para evitar picos de potência.

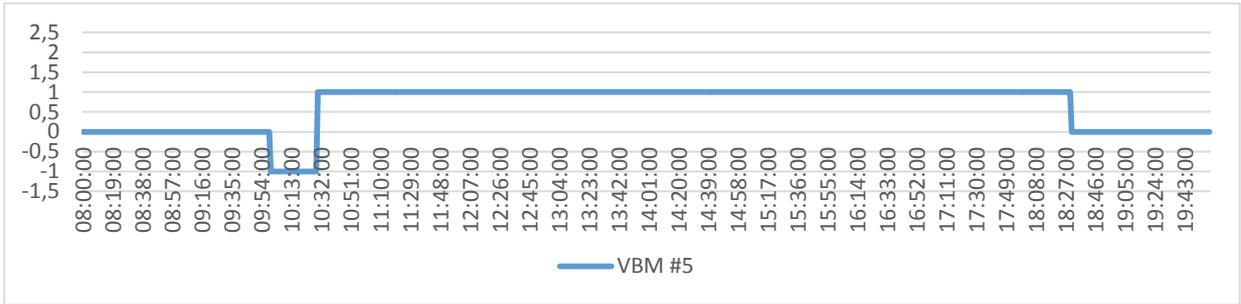


Figura 57: Plano de VBM #5 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante as horas de maior consumo.

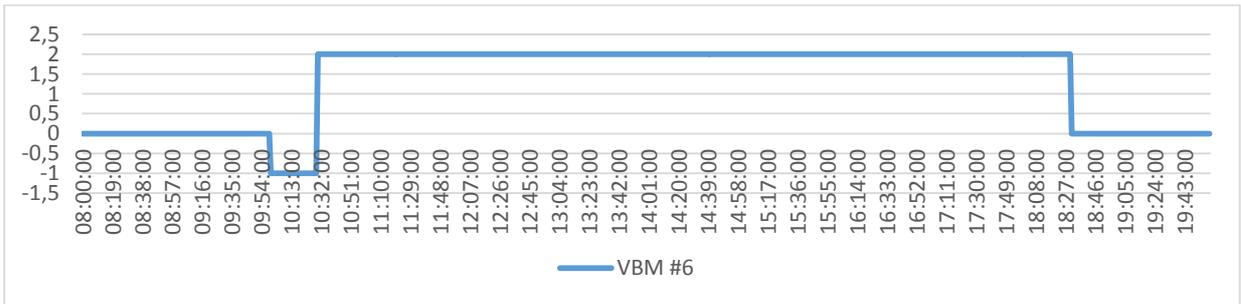


Figura 58: Plano de VBM #6 corresponde à aplicação de um aumento da BM durante as horas de maior consumo.

# Anexo F

## Anexo F.1

O planejamento para dos CA para conjuntos de cargas foi o seguinte:

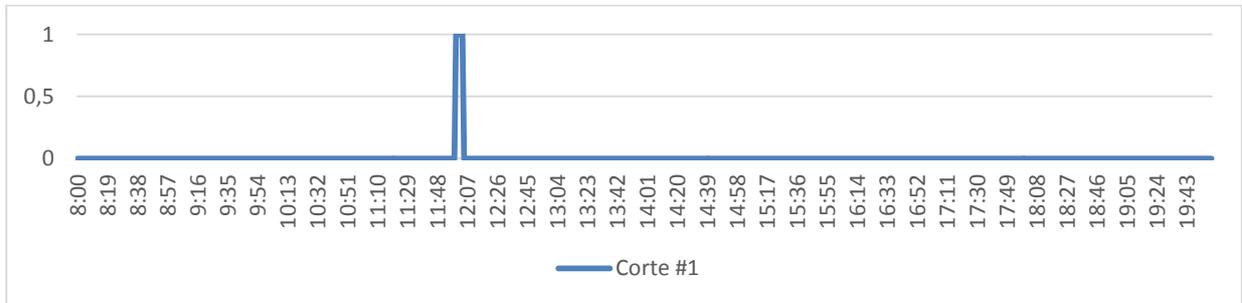


Figura 59: Planejamento dos CA a aplicar ao conjunto de cargas, foi feita uma implementação simultânea e outra desfasada de um minuto.

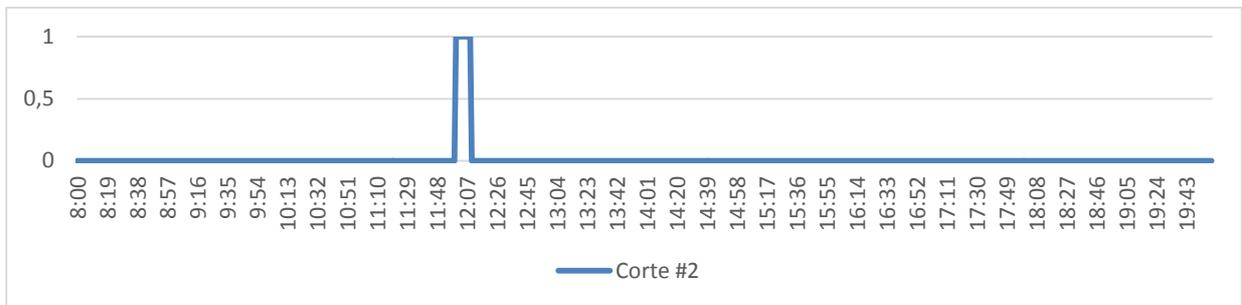


Figura 60: Planejamento dos CA a aplicar ao conjunto de cargas, foi feita uma implementação simultânea e outra desfasada de um minuto.

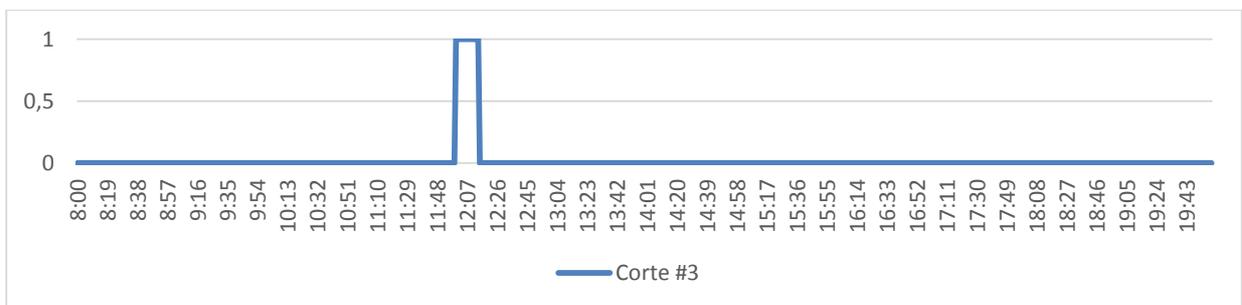


Figura 61: Planejamento dos CA a aplicar ao conjunto de cargas, foi feita uma implementação simultânea e outra desfasada de um minuto.

## Anexo F.2

O planeamento para da VBM para conjuntos de cargas foi o seguinte:

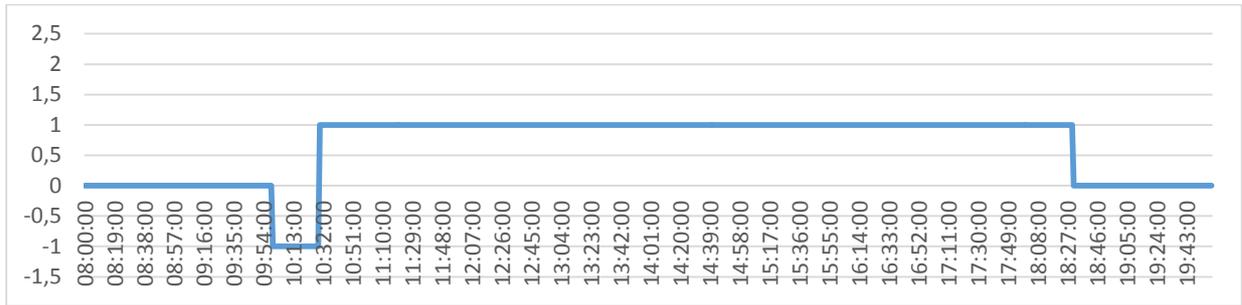


Figura 62: Planeamento das VBM para um grupo de cargas, VBM #1.

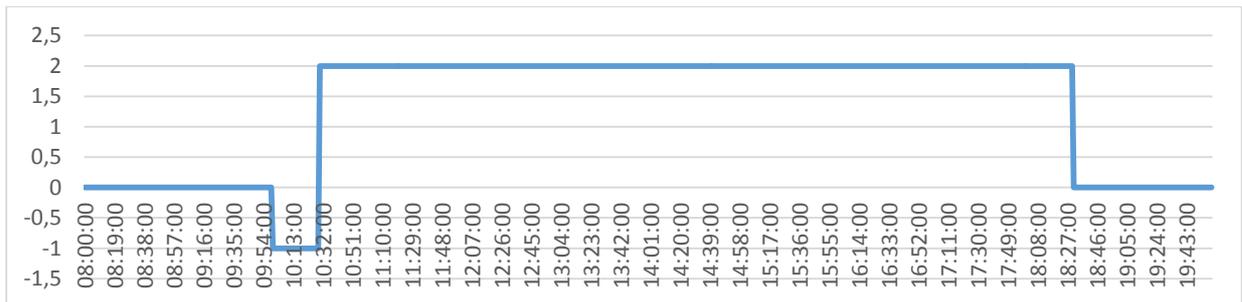


Figura 63: Planeamento das VBM para um grupo de cargas, VBM #2.

# Anexo G

## Anexo G.1

Neste anexo encontram-se os dados necessários ao planeamento das simulações para o caso de estudo. Como a opção foi de realizar dois casos de estudo para averiguar a vantagem ou não de existir uma maior variedade na aplicação das medidas, temos para o “Caso de Estudo #1”:

Tabela 30: Edifício #1.

	Coeficiente U Paredes	Área paredes	Tcwalls	Coeficiente U Janelas	Área Janelas	Sombreamento
Norte	2,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,75
Nordeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Este	2,00	14,40	0,00	5,30	4,00	0,75
Sudoeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Sul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Sudeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Oeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Nordeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Teto	2,00	36,00				
Chão	2,00	36,00				
Portas	3,00	1,50				
Paredes internas	2,80	28,80				
Temperatura média interior (°C)	25,00					
Latitude	40,00					
Humidade interior (%)	59,00					
Ventilação (Sim-1; Não-0)	1,00					
Volume condicionado (m <sup>3</sup> )	86,40					
Número de Trocas (ar/hora)	2,00					
Pressão saturação (kPa)	2,62					
Temperatura Ambiente no Início da Simulação	22,5					
Infiltrações Com o Interior (ar/hora)	0,5					

Tabela 31: Edifício #2.

	Coefficiente U Paredes	Área paredes	Tcwalls	Coefficiente U Janelas	Área Janelas	Sombreamento
Norte	2,00	19,20	0,00	0,00	0,00	0,75
Nordeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Este	2,00	19,20	0,00	5,30	4,00	0,75
Sudoeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Sul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Sudeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Oeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Nordeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
Teto	2,00	64,00				
Chão	2,00	64,00				
Portas	3,00	1,50				
Paredes internas	2,80	38,40				
Temperatura média interior (°C)	25,00					
Latitude	40,00					
Humidade interior (%)	59,00					
Ventilação (Sim-1; Não-0)	1,00					
Volume condicionado (m <sup>3</sup> )	153,60					
Número de Trocas (ar/hora)	2,00					
Pressão saturação (kPa)	2,62					
Temperatura Ambiente no Início da Simulação	22,5					
Infiltrações Com o Interior (ar/hora)	0,5					

Tabela 32: Temperatura exterior #1.

Hora	Temperatura Exterior #1
00:00:00	22,00
01:00:00	21,00
02:00:00	20,00
03:00:00	19,00
04:00:00	18,00
05:00:00	17,00
06:00:00	17,50
07:00:00	19,00
08:00:00	21,00
09:00:00	23,00
10:00:00	25,00
11:00:00	29,00
12:00:00	34,00
13:00:00	36,00
14:00:00	38,00
15:00:00	37,00
16:00:00	36,00
17:00:00	32,00
18:00:00	30,00
19:00:00	27,00
20:00:00	24,00
21:00:00	22,00
22:00:00	21,00
23:00:00	22,00

Tabela 33: Carga térmica interna #1.

Hora	Carga Térmica Interna #1	
	Fontes internas	Número pessoas
00:00:00	0	0
01:00:00	0	0
02:00:00	0	0
03:00:00	0	0
04:00:00	0	0
05:00:00	0	0
06:00:00	0	0
07:00:00	0	0
08:00:00	100	120
09:00:00	200	120
10:00:00	350	240
11:00:00	400	240
12:00:00	250	240
13:00:00	200	120
14:00:00	200	0
15:00:00	350	120
16:00:00	400	240
17:00:00	450	240
18:00:00	450	360
19:00:00	300	240
20:00:00	100	120
21:00:00	0	0
22:00:00	0	0
23:00:00	0	0

Os equipamentos de AC são idênticos aos usados nas simulações de carga individual, encontram-se representados na Tabela 17. Desta forma o planeamento das simulações será o seguinte:

*Tabela 34: Planeamento das simulações para o Caso de Estudo #1.*

Edifício	AC	Modelo de Equipamento	Quantidade De Cargas	Carga Térmica Interior	Temperatura Exterior	Grupo
Edifício #1	AC #1	ACC	60	Carga Térmica #1	Temperatura Exterior #1	#1
		ACI FP 100%	60			#2
		ACI FP 100%	5			#3
	AC #2	ACC	60			#4
		ACI FP 100%	60			#5
		ACI FP 100%	5			#6
Edifício #2	AC #1	ACC	60			#7
		ACI FP 100%	60			#8
		ACI FP 100%	5			#9
	AC #2	ACC	60			#10
		ACI FP 100%	60			#11
		ACI FP 100%	5			#12

*Tabela 35: Planeamento das simulações para o Caso de Estudo #2.*

Edifício	AC	Modelo de Equipamento	Quantidade De Cargas	Carga Térmica Interior	Temperatura Exterior	Grupo
Edifício #1	AC #1	ACC	50	Carga Térmica #1	Temperatura Exterior #1	#1
		ACI FP 100%	50			#2
		ACI FP 125%	25			#3
	AC #2	ACC	50			#4
		ACI FP 100%	50			#5
		ACI FP 125%	25			#6
Edifício #2	AC #1	ACC	50			#7
		ACI FP 100%	50			#8
		ACI FP 125%	25			#9
	AC #2	ACC	50			#10
		ACI FP 100%	50			#11
		ACI FP 125%	25			#12

Tabela 36: Planeamento das simulações para o Caso de Estudo #3

Edifício	AC	Modelo de Equipamento	Quantidade De Cargas	Carga Térmica Interior	Temperatura Exterior	Grupo
Edifício #1	AC #1	ACC	25	Carga Térmica #1	Temperatura Exterior #1	#1
		ACI FP 100%	25			#2
		ACI FP 125%	12			#3
	AC #2	ACC	25			#4
		ACI FP 100%	25			#5
		ACI FP 125%	13			#6
Edifício #2	AC #1	ACC	25			#7
		ACI FP 100%	25			#8
		ACI FP 125%	12			#9
	AC #2	ACC	25			#10
		ACI FP 100%	25			#11
		ACI FP 125%	13			#12
Edifício #1	AC #1	ACC	25	Carga Térmica #1	Temperatura Exterior #1	#13
		ACI FP 100%	25			#14
		ACI FP 125%	12			#15
	AC #2	ACC	25			#16
		ACI FP 100%	25			#17
		ACI FP 125%	13			#18
Edifício #2	AC #1	ACC	25			#19
		ACI FP 100%	25			#20
		ACI FP 125%	12			#21
	AC #2	ACC	25			#22
		ACI FP 100%	25			#23
		ACI FP 125%	13			#24

## Anexo G.2

Planeamento dos CA para o Caso de Estudo, a implementação foi de fazer a aplicação desfasada no tempo em dois minutos.

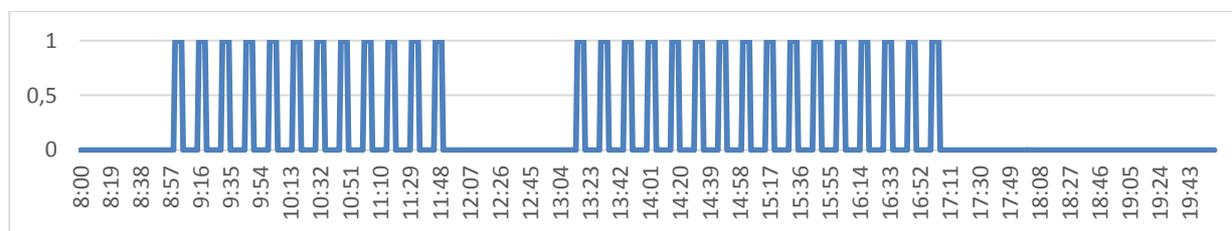


Figura 64: Planeamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #1.

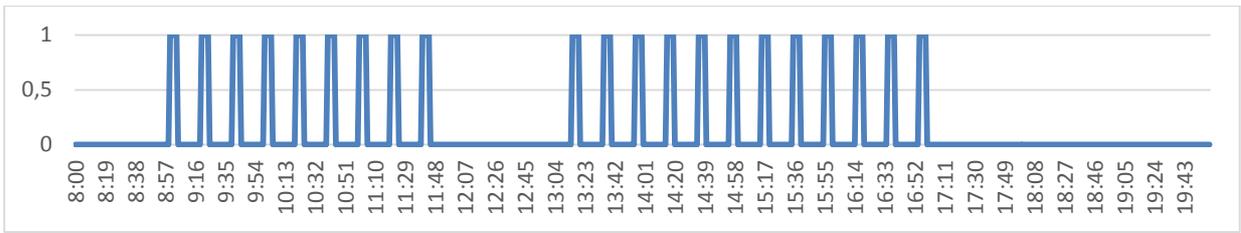


Figura 65: Planejamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #2.

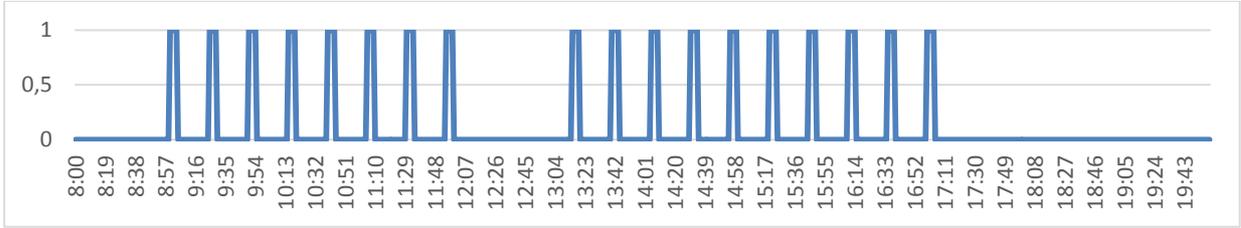


Figura 66: Planejamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #3.

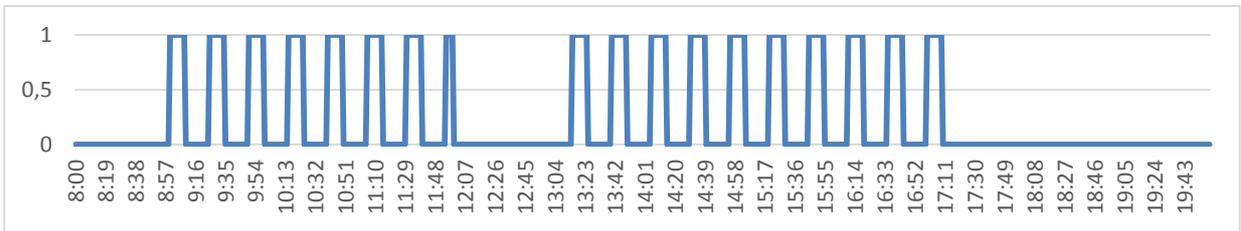


Figura 67: Planejamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #4.

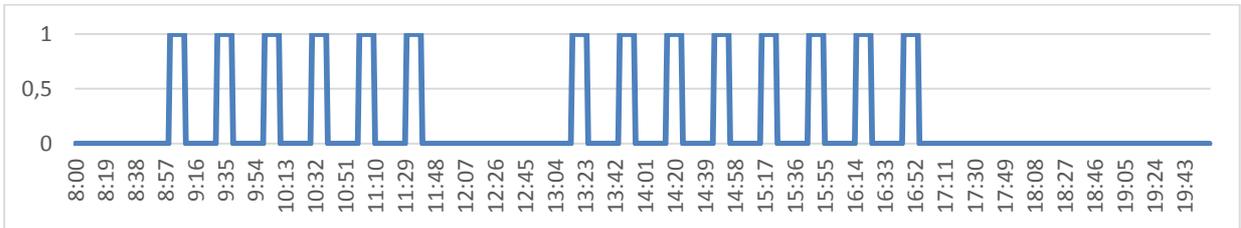


Figura 68: Planejamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #5.

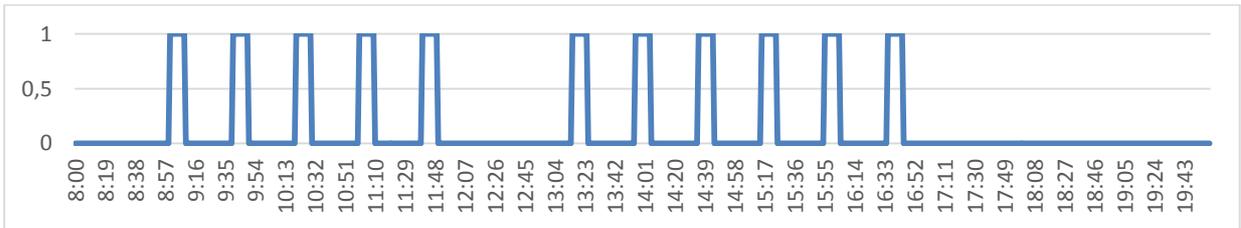


Figura 69: Planejamento dos CA aplicados ao "Caso de Estudo", Corte #6.

## Anexo G.3

Planeamento da VBM para o Caso de Estudo, a implementação foi feita de forma desfasada no tempo em dois minutos.

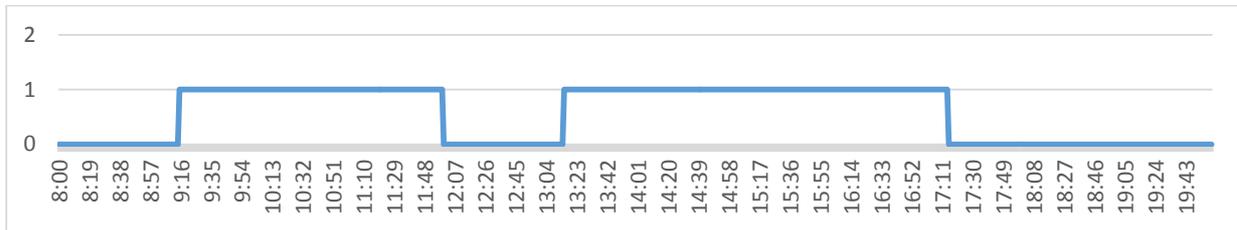


Figura 70: Planeamento de VBM #1 aplicado no caso de estudo de forma desfasada.

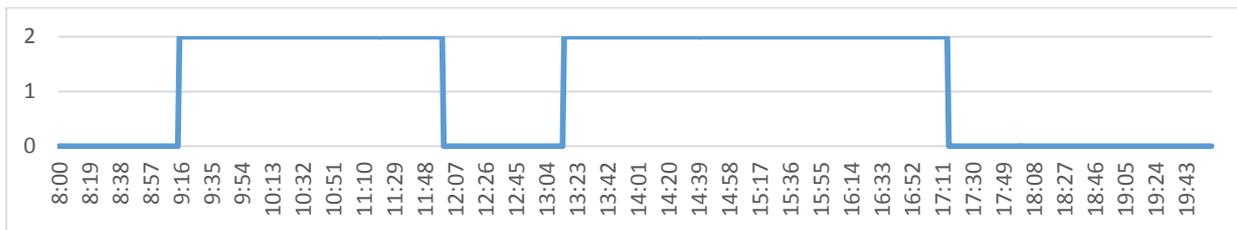


Figura 71: Planeamento de VBM #2 aplicado no caso de estudo de forma desfasada.

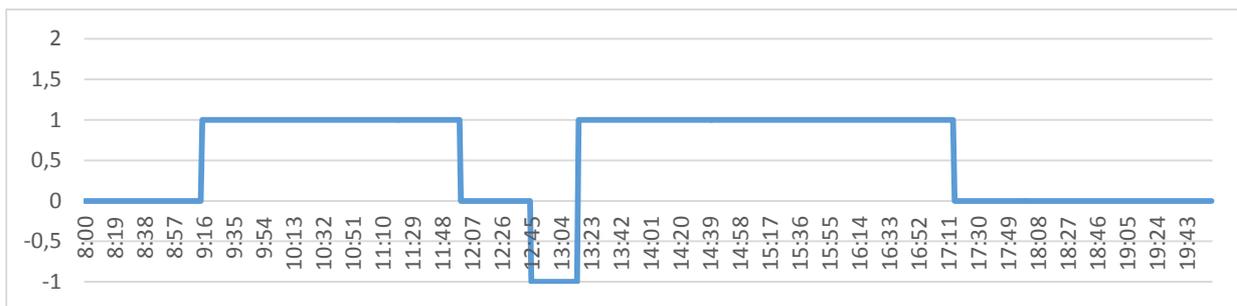


Figura 72: Planeamento de VBM #3 aplicado no caso de estudo de forma desfasada.