



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



NZEB e os novos revestimentos

ANDRÉ RODRIGUES CEBOLA PASCOALINHO

Licenciado

Dissertação de Natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Civil na área de especialização de Edificações

Orientadores:

Especialista João António Antunes Hormigo
Doutor Pedro Miguel Matos Soares

Júri:

Presidente: Doutor Filipe Manuel Almeida Vasques

Vogais:

Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques
Especialista João António Antunes Hormigo
Doutor Pedro Miguel Matos Soares

Dezembro 2013

Agradecimentos

No desenvolvimento de um trabalho complexo e aprofundado como é o caso, existem obviamente factores de natureza diversa que tem influência no resultado, os quais não devem deixar de ser realçados, e como tal:

Aos professores e meus orientadores João Hormigo e Pedro Soares, agradeço profundamente todo o apoio, partilha do saber, as valiosas contribuições para o progresso do trabalho, críticas, correcções e sugestões relevantes que aprimoraram o valor do mesmo, bem como a cordialidade com que sempre me receberam. Deixo ainda um enorme obrigado pelo estímulo ao meu interesse pelo conhecimento.

Aos meus pais Ana Cebola e Jorge Pascoalinho, que eu tanto adoro, meus tutores e melhores amigos, a minha gratidão é inexpressável, pelo apoio infundável que sempre deram em todos os passos da minha vida, pelo incentivo e motivação permanente que foram fundamentais para a elaboração deste trabalho, pela excelente educação que me proporcionaram e pelos valores que me transmitiram, sendo os principais responsáveis pela pessoa que hoje sou. O meu eterno obrigado.

À minha irmã Marta Pascoalinho, que tão importante para mim é, e que muito sempre contribuiu para a minha felicidade, alegria e bem-estar, o meu profundo agradecimento pela confiança e boa disposição frequentemente transmitidas.

A minha sincera gratidão à minha namorada Erika Kulesaite, pela profunda amizade, carinho e preocupação ao longo dos últimos anos, pelo apoio constante e motivação que foram decisivos nos momentos mais adversos.

Também dignos de uma nota de apreço são todos os meus colegas do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa que me acompanharam ao longo do período académico, entre os quais o Daniel Lopes, Rui Baiona, Bruno Teixeira, João Neves, Manuel Alves, Diana Furtado e Daniela Lopes com particular destaque para o Diogo Costa e o Ricardo Teixeira que sempre estiveram presentes nos bons momentos e nos menos bons. Deixo ainda uma palavra de agradecimento ao meu colega André Jorge pela ajuda facultada a nível de software, que foi muito apreciada. Para finalizar gostaria ainda de expressar a minha gratidão ao Vasco Machado, René Zander, Pedro Cebola, Miguel Alves, Gonçalo Afonso, Diogo Simões e João Correia que me têm acompanhado ao longo das mais diversas circunstâncias demonstrando sempre um inestimável companheirismo e amizade.

Resumo

O presente trabalho insere-se na óptica dos NZEB (Nearly Zero Energy Buildings), ou seja, edifícios que considerando um ciclo anual, produzem a quase totalidade da energia eléctrica que consomem. São apresentadas soluções de revestimentos de fachadas e coberturas que possam contribuir para a melhoria do comportamento dos edifícios, na perspectiva de convergência para edifícios NZEB.

No capítulo Introdução, salienta-se a extrema importância que a energia, os recursos naturais e as emissões de CO₂ têm no contexto mundial. Aborda-se a crescente necessidade de se incrementar a eficiência energética dos edifícios, é apresentado o conceito de NZEB, são apresentados exemplos de edifícios NZEB em exploração e focam-se os diplomas regulamentares em vigor, sobre esta temática. Nesse âmbito, apresenta-se a Directiva 2010/31/EU, cuja principal disposição é impor que os novos edifícios no espaço europeu sejam NZEB a partir de 31 de Dezembro de 2020. Apresenta-se também a sua precedente, a Directiva 2002/91/EC.

No terceiro capítulo, define-se o conceito de revestimento e apresentam-se diversos materiais de revestimento, com soluções que possam eventualmente servir o propósito dos edifícios NZEB, designadamente: materiais nano tecnológicos (nano revestimentos de painéis solares, nano compósitos, nanotubos de carbono, nano fibras de carbono, micro e nano sílica), vidros geradores de energia, tintas reflectoras da radiação solar para coberturas, placas de cortiça expandida, materiais compostos de cimento e fibras de madeira (designação comercial Viroc) e materiais de mudança de fase (PCM).

No quarto capítulo, apresenta-se o estudo e análise efectuados com base no modelo de simulação (suportado pelo programa de *software DesignBuilder*), considerando placas de cortiça expandida, material composto de cimento e fibras de madeira (designação comercial Viroc) e materiais de mudança de fase (PCM). Interessa referir que este *software* permite, entre outras funcionalidades, simular o comportamento térmico e energético de edifícios. Criou-se um modelo de referência, o qual se comparou com os modelos criados com os materiais de revestimento em estudo. Foram analisados os resultados e efectuada uma análise crítica dos mesmos.

A dissertação conclui-se com a apresentação de conclusões e perspectivas de desenvolvimentos futuros.

Abstract

This dissertation is related to the NZEB (Nearly Zero Energy Buildings) concept, which means buildings whose energy consumption during one year cycle almost equals the energy needs of the building, and seeks to find coatings solutions that would help to build the path towards it. Several coatings for facades and roofing are presented, in order to improve the energy efficiency in buildings.

In the chapter Introduction, it is pointed out the utmost importance of the energy, natural resources and CO₂ gas emissions in the global context. Then is submitted an approach to the growing need to increment the energy efficiency in buildings, the concept of NZEB is developed and some examples of NZEB buildings in operation are presented. Regarding this context the 2010/31/EC Directive is focused. The main aspect of this Directive is its disposition imposing the NZEB concept to all new buildings by the end of the year 2020. The prior Directive (2002/91/EC) is also focused.

In the third chapter, the concept of coating is developed. Several coating materials and solutions which might eventually serve the purpose of NZEB buildings are presented, namely: nanotech materials (nano coatings of solar panels, nano composites, carbon nanotubes and carbon nano fibers, micro and nano silica), power generating glass windows, solar reflective painting for roofing application, cork wallboards, cement and timber fibers composites (Viroc) and phase changing materials (PCM).

In the fourth chapter, are presented and discussed the analysis results of the model simulation (based on the software DesignBuilder application), considering cork wallboards, cement and timber fibers composites and phase changing materials (PCM). It is important to mention that the software allows, among other functionalities, to simulate the energetic and thermal behavior of buildings. A reference model was designed in order to compare its results with the models considering coating materials.

The dissertation is concluded with the presentation of the conclusions and future perspectives of the theme.

Palavras chave / key words

- NZEB / NZEB
- Desempenho energético / Energy performance
- Eficiência energética / Energy efficiency
- Materiais de revestimento / Coating materials
- PCM / PCM
- Placa de cortiça expandida / Cork wallboard
- Viroc – aglomerado de madeira e cimento / Viroc – agglomerate of wood and cement

Índice

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Justificação e enquadramento do tema..... | 1 |
| 1.2 | Objectivos..... | 11 |
| 1.3 | Estrutura da Organização do texto | 11 |
| 2 | NZEBs..... | 13 |
| 2.1 | Considerações iniciais | 13 |
| 2.2 | Enquadramento legal e ambiental | 14 |
| 2.2.1 | Breve descrição da Directiva original de 2002 (Directiva 2002/91/EC) | 14 |
| 2.2.2 | Directiva 2010/31/EU..... | 15 |
| 3 | CARACTERIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE REVESTIMENTO | 21 |
| 3.1 | Considerações Iniciais | 21 |
| 3.2 | Materiais, soluções técnicas e respectivos impactes no desempenho energético | 21 |
| 3.2.1 | Nanotecnologia nos materiais..... | 21 |
| 3.2.2 | Vidros geradores de energia | 26 |
| 3.2.3 | Monitorização de edifícios | 28 |
| 3.2.4 | Tintas reflectoras para coberturas | 31 |
| 3.2.5 | Cortiça | 33 |
| 3.2.6 | Painéis de aglomerado madeira-cimento (Viroc)..... | 36 |
| 3.2.7 | Materiais de Mudança de Fase | 39 |
| 4 | CASE STUDY DE APLICAÇÃO | 49 |
| 4.1 | Considerações iniciais | 49 |
| 4.2 | Caracterização do modelo utilizado..... | 50 |
| 4.2.1 | Paredes exteriores..... | 52 |
| 4.2.2 | Cobertura inclinada | 52 |
| 4.2.3 | Laje dos pisos | 53 |
| 4.2.4 | Cálculo do coeficiente de infiltração | 53 |
| 4.2.5 | Cálculo dos caudais mínimos de ar novo | 55 |
| 4.3 | Análise de resultados dos PCMs..... | 58 |
| 4.3.1 | Análise de diferentes tipos de PCMs aplicados pelo lado interior..... | 58 |
| 4.3.2 | Comparação da eficiência de PCMs aplicados pelo interior e pelo exterior..... | 61 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.3 | Análise de temperaturas e de consumos de electricidade para um dia típico de Inverno e outro dia típico de Verão | 64 |
| 4.3.4 | Análise económica e análise crítica..... | 69 |
| 4.4 | Análise de resultados com isolamento em Viroc | 70 |
| 4.4.1 | Análise de temperaturas e de consumos de electricidade para um dia típico de Inverno e outro dia típico de Verão | 70 |
| 4.4.2 | Análise económica e análise crítica..... | 74 |
| 4.5 | Análise de resultados com isolamento em Cortiça | 74 |
| 4.5.1 | Análise de temperaturas e de consumos de electricidade para um dia típico de Inverno e outro dia típico de Verão | 75 |
| 4.5.2 | Análise económica e análise crítica..... | 79 |
| 5 | CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS | 81 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 85 |
| 7 | ANEXOS | 89 |
| 7.1 | Resultados da simulação - Cortiça | 90 |
| 7.2 | Resultados da simulação - Viroc..... | 94 |
| 7.3 | Resultados da simulação - PCM | 98 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 a) Produção mundial de energia por região; b) Produção mundial de energia por tipos. [2] | 3 |
| Figura 2 a) Consumo interno bruto mundial por região; b) Consumo final de energia por região. [2]..... | 4 |
| Figura 3 Emissões de CO ₂ mundiais por região. [2]..... | 4 |
| Figura 4 a) Consumo interno bruto da EU-27 por tipos de energia em 1995; b) Consumo interno bruto da EU-27 por tipos de energia em 2011. [2]..... | 5 |
| Figura 5 Dependência da importação energética da EU-27. [2]..... | 5 |
| Figura 6 Desenho ilustrativo da reflectividade e absorção dos raios solares [4]..... | 6 |
| Figura 7 Hotel Stadthalle na Capital Austríaca [7]..... | 8 |
| Figura 8 The Crystal [10] | 9 |
| Figura 9 Torre Pearl River em Guangzhou na China [12] | 10 |
| Figura 10 Painéis solares passíveis de receberem nano revestimentos [57]..... | 23 |
| Figura 11 nanotubos de carbono..... | 25 |
| Figura 12 Novos compostos eléctricos transparentes das células solares | 28 |
| Figura 13 Software de monitorização de energia em edifícios para <i>tablets</i> e <i>smartphones</i> [27] | 29 |
| Figura 14 <i>Liberty Science Center</i> em Jersey City [28]..... | 30 |
| Figura 15 Ilustração da diferença de absorção de calor de um telhado normal e de um telhado revestido com tinta reflectora [29]..... | 32 |
| Figura 16 Ilustração de uma placa constituída por várias camadas onde predomina a cortiça [30]..... | 34 |
| Figura 17 Exemplos de cores de Viroc e da sua aparência [33]..... | 37 |
| Figura 18 Distribuição dos materiais que compõem o Viroc, por Kg [33] | 38 |
| Figura 19 Exemplo de aplicação do Viroc, em Peniche [35] | 39 |
| Figura 20 Caso genérico da curva sinusoidal representativa da oscilação de temperatura ao longo de um ano (23)..... | 41 |
| Figura 21 Membrana de PCM em cápsulas [39]..... | 42 |
| Figura 22 Ilustração da incorporação de PCMs em materiais de construção [40]. | 43 |

| | |
|---|----|
| Figura 23 Capacidade de armazenamento de energia de alguns materiais, sem PCM e com PCM (ácido carboxílico) [42] | 45 |
| Figura 24 Modelo do edifício de escritórios utilizado..... | 50 |
| Figura 25 Ilustração da constituição das camadas das paredes | 52 |
| Figura 26 Ilustração da constituição das camadas da cobertura..... | 52 |
| Figura 27 Ilustração da constituição das camadas das lajes | 53 |
| Figura 28 Palas de sombreamento | 57 |
| Figura 29 Simulação de Temperaturas do ar para diferentes PCMs nos meses de Janeiro e Fevereiro | 59 |
| Figura 30 Simulação de Temperaturas do ar para diferentes PCMs nos meses de Julho e Agosto..... | 59 |
| Figura 31 Simulação de Consumos de aquecimento para diferentes PCMs nos meses de Janeiro e Fevereiro..... | 60 |
| Figura 32 Simulação de Consumos de arrefecimento para diferentes PCMs nos meses de Julho e Agosto | 60 |
| Figura 33 a) Esquema da constituição das paredes com PCM pelo interior; b) Esquema da constituição das paredes com PCM pelo exterior..... | 61 |
| Figura 34 a) Esquema da constituição da cobertura com PCM pelo interior; b) Esquema da constituição da cobertura com PCM pelo exterior..... | 62 |
| Figura 35 Simulação das temperaturas do ar com o PCM 23 no exterior e no interior . | 62 |
| Figura 36 Simulação dos Consumos de aquecimento com o PCM 23 no exterior e no interior | 63 |
| Figura 37 Simulação dos Consumos de arrefecimento com o PCM 23 no exterior e no interior | 63 |
| Figura 38 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Janeiro.. | 65 |
| Figura 39 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e de electricidade total no dia 1 de Janeiro | 66 |
| Figura 40 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 14 de Agosto | 67 |
| Figura 41 Gráfico das variações dos consumos de arrefecimento e de electricidade total no dia 14 Agosto..... | 67 |
| Figura 42 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e arrefecimento ao longo do ano | 68 |
| Figura 43 a) Esquema da constituição das paredes com Viroc; b) Esquema da constituição da cobertura com Viroc. | 70 |

| | |
|--|----|
| Figura 44 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Janeiro.. | 71 |
| Figura 45 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e de electricidade total no dia 1 de Janeiro | 71 |
| Figura 46 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Agosto.. | 72 |
| Figura 47 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Agosto.. | 73 |
| Figura 48 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e arrefecimento ao longo do ano | 73 |
| Figura 49 a) Esquema da constituição das paredes com Placa de Cortiça; b) Esquema da constituição da cobertura com Placa de Cortiça..... | 75 |
| Figura 50 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Janeiro.. | 76 |
| Figura 51 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e de electricidade total no dia 1 de Janeiro | 76 |
| Figura 52 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 14 de Agosto | 77 |
| Figura 53 Gráfico das variações dos consumos de arrefecimento e de electricidade total no dia 14 de Agosto | 78 |
| Figura 54 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e arrefecimento ao longo do ano | 79 |

Índice de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 Propriedades de tintas reflectoras para coberturas [29] | 33 |
| Tabela 2 Propriedades da cortiça [30] | 35 |
| Tabela 3 Características técnicas e propriedades do Viroc [33]..... | 36 |
| Tabela 4 PCMs de sais hidratados (valores típicos) [52]. | 47 |
| Tabela 5 PCMs Orgânicos (valores típicos) [52]. | 48 |
| Tabela 6 Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma | 54 |
| Tabela 7 Valores convencionais de R _{ph} (em h ⁻¹) para edifícios de habitação | 55 |
| Tabela 8 Caudais mínimos de ar novo..... | 56 |

Abreviaturas

CE – Comissão Europeia

CEN – The European Committee for Standardisation

CNF – Carbon nanofibers

CNT – Carbon nanotubes

CoP – Coefficient of Performance

C-S-H – Calcium Silicate Hydrate

ECEEE – European Council for Energy Efficient Economy

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive

EPDM – Borracha de etileno-propileno-dieno

EPS – Poliestireno expandido

EUA – Estados Unidos da América

Hm – Calor de fusão

HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning

IEE – Módulo de Designer Builder

LCD – Liquid Crystal Display

LED – Light Emitting Diode

LHTES – Latent Heat Thermal Energy Storage

LSC – Liberty Science Center

Mtoe – One million tonne of oil equivalent

NZEB – Nearly Zero Energy Building

ONU – Organização das Nações Unidas

OSB – Oriented Strand Board

PCM – Phase Change Materials

PLS – Poder calorífico superior

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PSC – Polymer Solar Cells

Q – Temperatura a que ocorre a fase de transição no PCM

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

Rph – Taxa de renovação de ar mínima necessária

RSECE – Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SSPCM – Método de encapsulamento

T_m – Temperatura de fusão

UE – União Europeia



INTRODUÇÃO

1.1 Justificação e enquadramento do tema

As áreas da sustentabilidade e eficiência energética têm vindo a registar importância crescente devido a um conjunto de factores importantes, destacando-se a crise que actualmente assola algumas zonas do globo, nomeadamente a Europa, o desafio representado pelo aquecimento global e a necessidade de redução da dependência de recursos naturais fósseis.

Segundo Clarisse Coutinho, não existe uma data concreta que marque o início dos movimentos ambientalistas, pois começaram a surgir em lugares e épocas distintas por diferentes motivos. No entanto, em meados do século XIX surgem as primeiras preocupações socio-ambientais. Em 1864, George Perkins Marsh publicou o livro “*Man and Nature*” que muitos consideram um marco do ambientalismo americano. Ele abordava e destacava questões como o aumento do desperdício e destruição, como os principais factores que levariam à destruição do planeta, tornando-o inabitável para os seres humanos. Os movimentos ambientalistas viriam a ser mais frequentes e abrangentes apenas no início do século XX, verificando-se o período a que se denominou Revolução Ambiental à escala mundial somente após a Segunda Grande Guerra Mundial, como consequência da enorme industrialização que ocorreu, da ameaça dos testes nucleares, e ainda do crescimento exponencial das malhas urbanas que se traduziam num consumo desenfreado de recursos e aumento de poluição. Em 1949 teve lugar, na cidade de Paris, a Conferência das Nações Unidas sobre a Conservação e Utilização de Recursos, de onde não surgiram nenhuma medidas de imposições governamentais, mas que de certa maneira demonstraram o aumento da vontade de agir no sentido de proteger o ambiente. Em 1962, Rachel Carson publicou um livro que determinou um novo marco para a Revolução Ambiental, denominado



“*Silent Spring*”, que gerou bastante polémica. Em 1960, teve origem o Clube de Roma, que debatia questões pertinentes da sociedade, chegando à conclusão, mais tarde, que o mundo sofreria graves consequências se a produção e o consumo de recursos continuasse a crescer ao mesmo ritmo. Onze anos depois, na Suíça, teve lugar a Conferência de Founex, que tinha como objectivo discutir os problemas ambientais com origem no desenvolvimento, argumentando a necessidade de haver uma interligação harmoniosa entre meio ambiente e desenvolvimento. Com base nessa premissa, ocorreu no ano seguinte, em 1972, em Estocolmo a primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano. Essa matéria foi debatida por toda a comunidade internacional, levando à criação da Carta de Estocolmo, que destacava a importância de uma nova postura da sociedade, onde a utilização dos recursos naturais teria de ser adequada às necessidades das gerações presentes, sem colocar em causa a satisfação das necessidades das gerações futuras. Esta carta veio delinear o conceito de Desenvolvimento Sustentável, e conduziu à criação, por parte desta entidade, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Em 1992 decorreu no Rio de Janeiro aquela que ficaria recordada como a Conferência Rio-92 ou Cúpula da Terra. Vários documentos foram formulados, sendo o principal a Agenda 21, que é um programa global que visa regulamentar o processo de desenvolvimento com base nos princípios de sustentabilidade. Na passagem para o novo milénio, a Comissão de Desenvolvimento Sustentável da ONU propôs a realização de uma nova Conferência mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, o que viria a acontecer em 2002, em Joanesburgo. Esta, previa uma revisão e reformulação da Agenda 21 e pretendia alcançar a renovação de compromissos políticos com o intuito de se aproximar do Desenvolvimento Sustentável, mas os seus objectivos não foram inteiramente conseguidos. Desde então, uma vastidão de Conferências e relatórios têm sido realizados por parte de diversos organismos das Nações Unidas, sempre com a meta de alcançar um maior equilíbrio entre ambiente e desenvolvimento sustentável [1].

De acordo com o *Market Observatory for Energy* do Eurostat, podemos constatar diversos factos sobre o consumo energético e a dependência energética. A figura 1 a) deixa bem patente a insaciável necessidade de energia que a China tem vivido e que se reflecte num aumento para sensivelmente o dobro na sua produção energética no espaço de apenas 15 anos, entre 1995 e 2010. Por sua vez, podemos verificar que os EUA

(Estados Unidos da América), o segundo maior produtor mundial, mantiveram a sua produção aproximadamente idêntica nesse mesmo período, ao contrário da UE-27 (União Europeia) que demonstrou um ligeiro decréscimo. Na figura 1 b) podemos observar a produção energética mundial discriminada pelos diferentes tipos de combustíveis, sendo que a produção de energia do Petróleo e Derivados é a mais elevada, tendo atingido as 4000 Mtoe (Mega tonelada equivalente de petróleo) no ano de 2010. Os Combustíveis Fósseis Sólidos registaram um incremento quase constante entre o ano 2000 e 2010, ultrapassando a meta das 3500 Mtoe. De notar que o Gás Natural continua a ser uma fonte de energia cada vez mais utilizada, explicando por isso o aumento de produção que tem vindo a sofrer. Infelizmente, as Energias Renováveis a demonstrarem aqui de uma forma clara, que ainda não alcançaram o patamar de que a humanidade precisa, registando um aumento de produção ao longo dos anos, mas de maneira pouco acentuada.

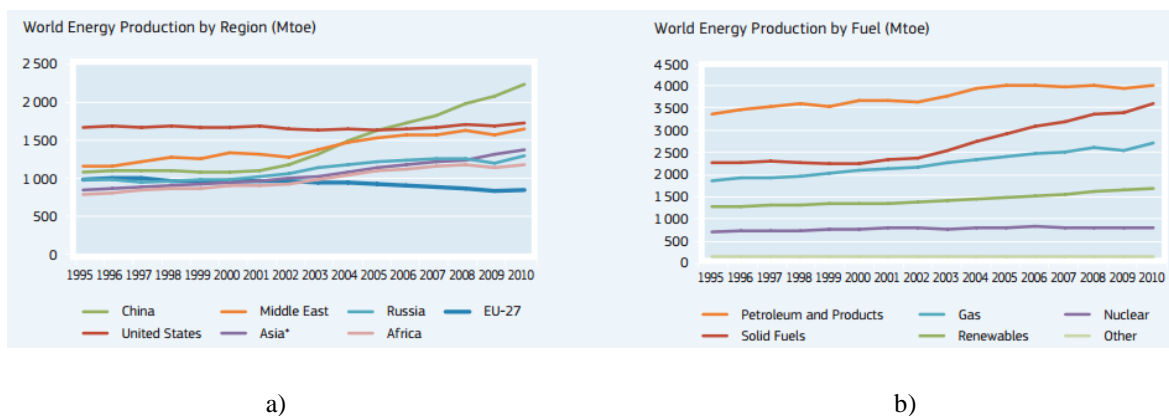


Figura 1 a) Produção mundial de energia por região; b) Produção mundial de energia por tipos. [2]

As figuras 2 a) e b) traduzem o consumo energético por região do globo, e vêm confirmar uma vez mais que os EUA e a China são os maiores consumidores de energia, sendo que a China mais que duplicou o seu consumo na última década. É de notar que a UE-27 tem um grande défice energético, pois no ano de 2010 produzia aproximadamente metade do que consumia. Do lado inverso, temos o Médio Oriente com um enorme excedente energético uma vez que nesse mesmo ano produzia à volta de 1700 Mtoe e consumia apenas 700 Mtoe.

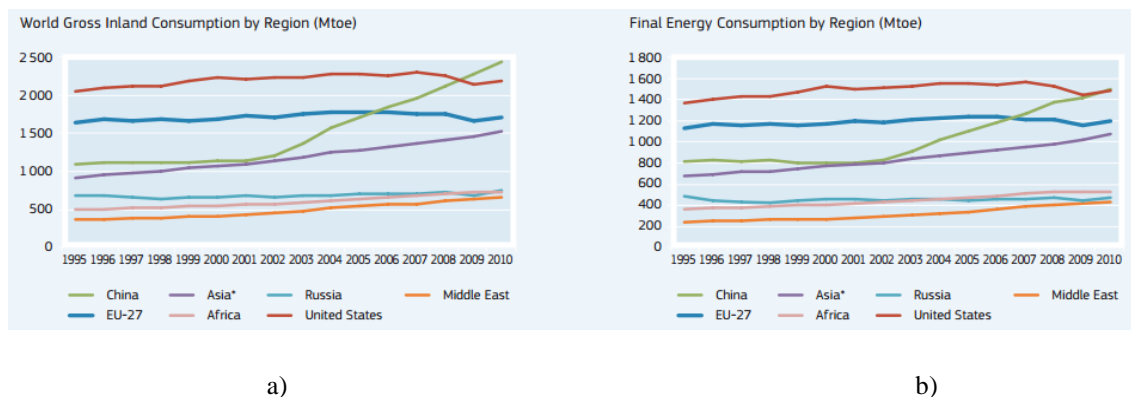


Figura 2 a) Consumo interno bruto mundial por região; b) Consumo final de energia por região. [2]

A figura 3 ilustra as emissões de CO₂ (Carbon Dioxide) para a atmosfera. No total foram 31375 Mio ton CO₂ em 2010. Na verdade, os resultados são os expectáveis, e assemelham-se muito ao gráfico do consumo, naturalmente, visto que ambos estão intrinsecamente ligados, com ligeiro destaque para a UE-27 que mostra porventura uma melhor performance de eficiência energética.

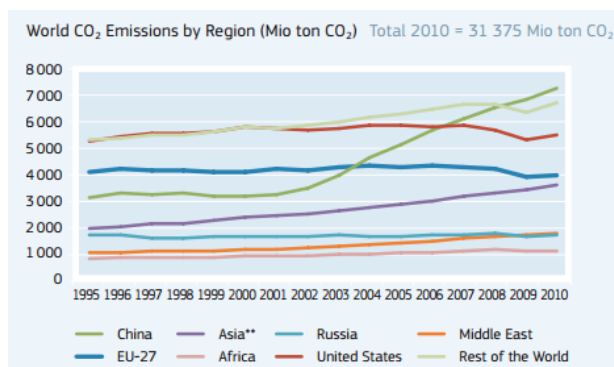
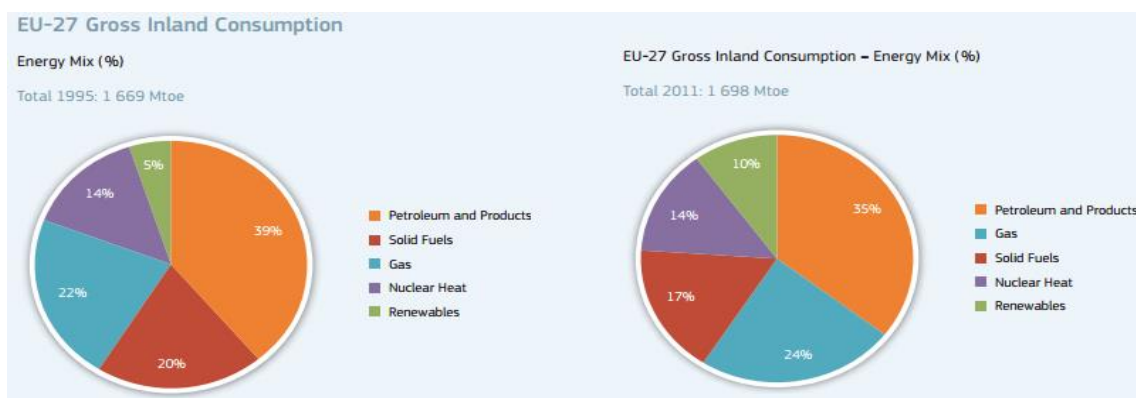


Figura 3 Emissões de CO₂ mundiais por região. [2]

Analisando agora exclusivamente a UE-27 no que se refere à energia consumida proveniente de diferentes fontes (figuras 4 a) e b)), regista-se o facto de o consumo de energias renováveis ter passado de 5% para 10% entre os anos de 1995 e 2011. Por sua vez, a energia obtida a partir do Petróleo e Derivados sofreu uma redução de 4%, continuando ainda assim a ser a maior fonte de energia. Consta-se ainda, que no espaço de 16 anos, o consumo energético manteve-se praticamente estável, de 1669 Mtoe para 1698 Mtoe, sendo a sua diferença quase insignificante, embora nesse período se tenha vivido uma explosão tecnológica a todos os níveis, com incremento substancial de electrodomésticos, de aparelhos tecnológicos, de transporte rodoviário, marítimo e

aéreo. Isso explica-se, de certo modo, pelo aumento significativo da eficiência energética dos mesmos.



a)

b)

Figura 4 a) Consumo interno bruto da EU-27 por tipos de energia em 1995; b) Consumo interno bruto da EU-27 por tipos de energia em 2011. [2]

Na figura 5, verifica-se que nos países da UE-27 a dependência energética tem vindo a aumentar, rondando os 43,2% em 1995 mas, em 2011, já ultrapassava os 53%.

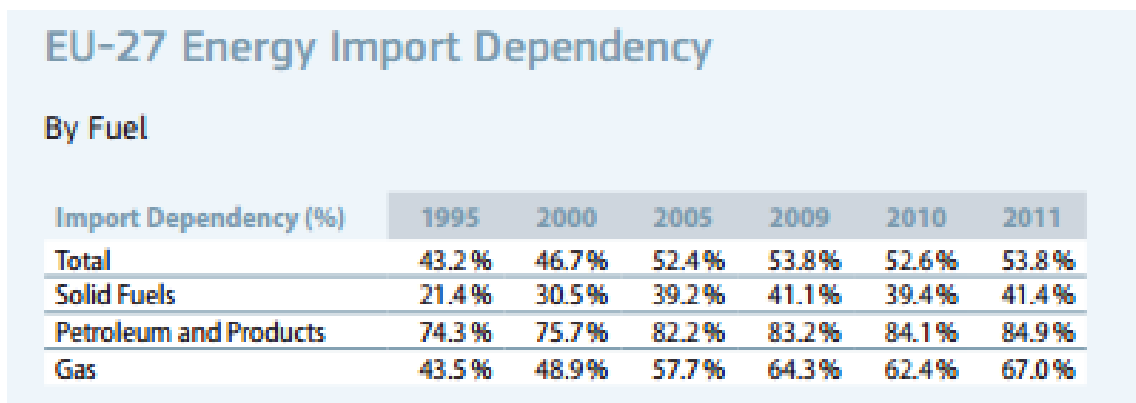


Figura 5 Dependência da importação energética da EU-27. [2]



Cerca de 40% da energia consumida no planeta e 40% dos gases com efeito de estufa, derivam da energia despendida pelos edifícios [3]. Traduz-se por gases com efeito de estufa o processo natural ou resultante de actividade humana que é responsável pelo aquecimento do planeta. O conceito de efeito de estufa, refere-se a situações em que comprimentos de onda curtos de luz visível provenientes do sol, passam através de um meio transparente e são absorvidos, mas relativamente aos comprimentos de onda maiores, de radiação infravermelha dos objectos aquecidos, são incapazes de passar através desse meio. O aprisionamento da radiação de comprimento de onda longa vai proporcionar um maior aquecimento e subida de temperatura. De referir que o dióxido de carbono absorve os raios infravermelhos em grande quantidade, não permitindo assim que eles regressem ao espaço. Daí o facto das emissões de CO₂ serem um dos temas mais relevantes da actualidade.

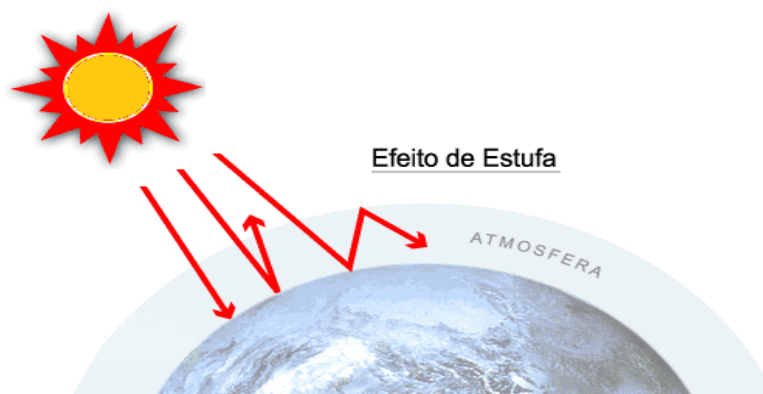


Figura 6 Desenho ilustrativo da reflectividade e absorção dos raios solares [4].

Assim sendo, tornou-se imperativo que a sociedade tornasse a eficiência energética numa das suas prioridades, bem como a exploração e utilização de energias provindas de fontes renováveis, isto é, energias ambientalmente limpas.

Foi por isso criado um dos instrumentos jurídicos internacionais mais importantes na luta contra as alterações climáticas, o Protocolo de Quioto, que integra os compromissos assumidos pelos países industrializados de reduzirem as suas emissões de um conjunto

de gases com efeito de estufa que provocam o aquecimento global. Nele estava determinado que os países desenvolvidos deveriam reduzir as emissões totais em pelo menos 5% em relação aos níveis registados em 1990, durante o período 2008-2012 [5]. No entanto, essas metas não têm sido atingidas globalmente, sendo que em muitos países aumentaram as emissões em larga escala. É ainda de enorme relevância referir que alguns dos maiores emissores de gases não assinaram o protocolo, incluindo os EUA, que à data eram os maiores poluentes do globo, tendo entretanto já sido relegados para segundo lugar, atrás da China. Os EUA nunca tomaram uma posição correcta em relação a esta matéria, alegando que a redução das emissões de gases interferiria no crescimento da economia. Também as grandes economias emergentes mantêm práticas que não atendem às preocupações ecológicas.

Na Europa, a Comissão Europeia (CE) tem-se debruçado sobre o assunto afincadamente, estabelecendo metas extremamente ambiciosas, com o intuito de minimizar os impactos ambientais provocados pela actividade da indústria da construção e outras indústrias e pelo património já construído, como ficou decretado com a Directiva 2010/31/EU, melhorando simultaneamente as condições que permitam a competitividade da indústria da construção. Foi realizada uma reformulação da directiva respeitante ao desempenho energético dos edifícios, com o objectivo de conseguir uma optimização da eficiência energética dos mesmos. Dessa forma, prevê-se uma redução de 5% a 6% do consumo energético e de 5% das emissões de CO₂ até 2020 em toda a UE. Para tal, pretende-se que nessa data todos os novos edifícios sejam *nearly zero energy buildings* (NZEB). De referir que a nova Directiva 2010/31/EU será minuciosamente abordada, posteriormente, no capítulo 2.2.

Os Estados Membros, têm de planificar as suas estratégias de modo a fomentar a construção de edifícios NZEBs e assim aumentar fortemente o escasso número actualmente existente. Tem-se verificado recentemente uma crescente preocupação em construir edifícios deste género, já existindo, no entanto, alguns protótipos há vários anos e espera-se que surjam cada vez mais exemplos um pouco por toda a Europa, tais como os que se referem de seguida:



- O Hotel *Stadthalle* em Viena, na Áustria, tornou-se no primeiro Hotel no mundo a alcançar o balanço energético zero, isto é, que produz num ciclo anual a quantidade de energia que necessita para o seu funcionamento. O edifício foi concebido de modo a contemplar a redução de fluxos de água, a aproveitar a recolha de águas pluviais, a reciclar água, a utilizar iluminação LED e a gerar energia a partir de painéis solares [6].



Figura 7 Hotel Stadthalle na Capital Austríaca [7]

- *The Crystal*, é um novo edifício sustentável localizado em *Queen Victoria Dock*, em Londres, e que foi concebido pela Siemens como um centro de boas práticas de sustentabilidade, de modo a dar a conhecer aos cidadãos a temática da eficiência energética. O edifício tem instalados sistemas de energia solar fotovoltaica e painéis térmicos solares no telhado, aliados a um sistema de bombas de calor geotérmicas. É o primeiro edifício do Reino Unido a ter um plano de segurança para a água potável, através dos 17 quilómetros de tubagens subterrâneas construídas e de um sistema de recolha de águas pluviais e reciclagem de águas cinzentas, que tornam o *The Crystal* passível de ser 90% auto-suficiente em termos de água. Os vãos envidraçados foram projectados de forma a desempenharem o papel de isolamento térmico altamente eficaz, e a ventilação é efectuada não só através de métodos naturais, mas também complementada com meios mecânicos, quando necessário. A nível de iluminação, os LEDs estão presentes em todo o edifício e a gestão do conforto térmico, iluminação, ventilação e segurança são garantidos através de um sistema de controlo remoto que

pode ficar a cargo apenas de um único operador [8]. O custo da obra ascendeu a cerca de 35,1 milhões de euros, e é um dos edifícios mais verdes do mundo, tendo alcançado a acreditação “*Outstanding BREEAM*” e a acreditação “*Platinum LEED*”, que correspondem aos sistemas de avaliação ambiental de edifícios do Reino Unido e dos EUA, respectivamente, determinando os mais rigorosos padrões de projecto e construção sustentável. Este edifício impulsiona o conceito de eficiência energética para um patamar superior [9].

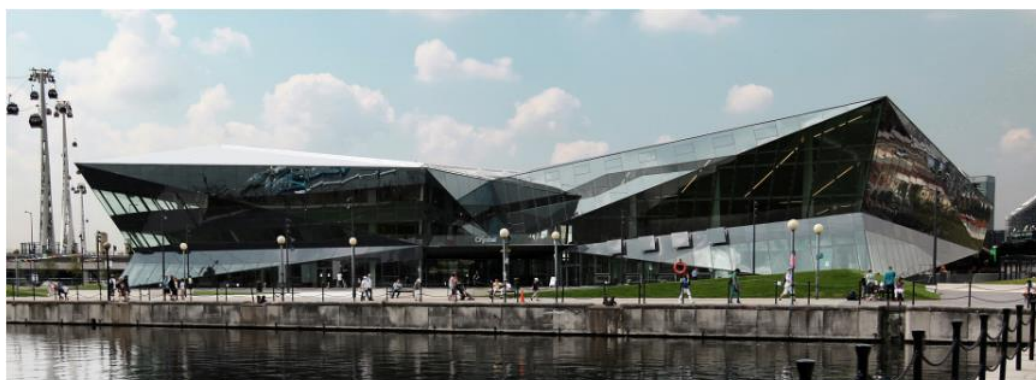


Figura 8 The Crystal [10]

- O edifício *Pearl River Tower*, que se encontra em Guangzhou, China, foi projectado para ser o arranha-céus energeticamente mais eficiente do mundo. É dotado de colectores solares, de células fotovoltaicas, de tectos de arrefecimento e inclusive de turbinas eólicas, possíveis devido à maneira como o edifício foi concebido. Foram criados alguns pisos elevados de ventilação. O edifício está virado a sul e destaca-se pela importante característica de possuir quebras na fachada, em género de funil, que permitem canalizar o vento directamente para o interior das turbinas eólicas integradas, garantindo o funcionamento dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado. Nas fachadas existem ainda grelhas de sombreamento eléctricas, que rodam consoante as necessidades. É o maior edifício de escritórios “*radiant-cooled*” do mundo (O arrefecimento dá-se nos espaços interiores através da remoção do calor sensível e a maior parte da transferência de calor ocorre através de radiação térmica) [11].

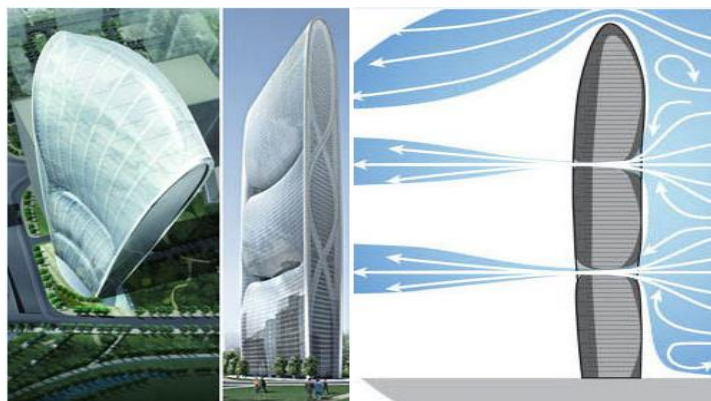


Figura 9 Torre Pearl River em Guangzhou na China [12]

No entanto, apesar do crescente número de edifícios deste tipo, os pontos de vista sobre como eles devem ser definidos e os meios e técnicas para atingir as metas propostas divergem consideravelmente de país para país. Em grande parte, isso deve-se às diferentes condições climáticas em cada um deles e, como tal, não é adequado definir um modelo *standard*. As exigências no caso de um edifício a construir no Norte de Europa são obviamente diferentes de as de um edifício a construir no Sul da Europa.

Para garantir a sustentabilidade na construção e ainda o conforto interior, é imposto o uso de produtos de qualidade comprovada com critérios integrados a nível energético e ambiental, definidos através da nova legislação. Inerente à crescente procura de energia, ao desafio do aquecimento global e essencialmente à política levada a cabo pela CE surgiu naturalmente a necessidade de avaliar o potencial de aplicação das mais recentes tecnologias de revestimentos, que pode ser uma mais-valia para satisfazer os requisitos futuros dos novos edifícios NZEBs, requisitos esses que têm de ser atendidos, como é o caso de equipamento solar térmico, solar fotovoltaico, isolamento térmico de paredes, pavimentos e coberturas, tratamento adequado de vãos envidraçados, sombreamento no verão, ventilação natural adequada, etc.

Como tal, o tema escolhido para desenvolvimento de tese destinada à obtenção de grau de Mestre enquadra-se nesta temática e visa a caracterização de novas tecnologias de revestimentos e o seu potencial no desempenho energético dos NZEBs.

1.2 Objectivos

A temática dos NZEBs é ainda relativamente desconhecida do comum cidadão. Contudo com a política europeia definida quanto a consumos de energia, será de prever uma forte expansão da construção destes edifícios ou da reabilitação dos existentes, para os aproximar dos NZEBs.

O objectivo desta tese insere-se na problemática dos NZEBs e na sua vertente associada aos revestimentos. Deste modo, procedeu-se a uma exaustiva pesquisa e estudo dos revestimentos de forma a caracterizar o seu potencial de aplicação ao edificado construído ou a construir, para que futuramente possam corresponder às exigências de um NZEB. Adicionalmente pretende-se estudar a viabilidade técnica e económica de diferentes tecnologias já existentes e em desenvolvimento no que se refere aos revestimentos, nomeadamente de placas de cortiça, Viroc e materiais de mudança de fase.

Apesar de tudo isso, interessará estudar e divulgar conclusões sobre uma matéria actualmente pouco desenvolvida, tendo em vista um futuro mais sustentável.

1.3 Estrutura da Organização do texto

A presente tese encontra-se estruturada em 5 capítulos principais, sendo o primeiro constituído pela introdução, onde se enquadra o tema e se estabelecem os objectivos do trabalho.

O segundo começa por procurar descrever a definição da temática dos NZEBs, passando depois pelo enquadramento legal e ambiental, onde se aborda a antiga Directiva 2002/91/EC e posteriormente se efectua uma análise mais completa à mais recente Directiva 2010/31/EU, directiva essa que define os parâmetros para que, actualmente, haja uma maior sustentabilidade na construção.

No terceiro capítulo são expostas várias tecnologias modernas e inovadoras que procuram marcar a diferença no ramo da construção sustentável, procurando torná-lo



mais dinâmico. São explorados conceitos tanto a nível de materiais como soluções técnicas e respectiva influência a nível do desempenho energético.

No quarto capítulo construiu-se um modelo simulador recorrendo a *software*, mais precisamente o *DesignBuilder*, onde foram aplicadas algumas das metodologias estudadas no capítulo anterior, para se poder efectuar uma análise dos resultados e avaliar a sua eficácia e potencial enquanto opções rumo à satisfação dos compromissos assumidos na Directiva europeia para 2020, a Directiva 2010/31/EU.

No quinto e último capítulo resume-se o trabalho desenvolvido, apresentam-se as conclusões e indicam-se perspectivas futuras da temática desenvolvida no presente trabalho.

2.1 Considerações iniciais

Entende-se por *net zero energy building* (ZEB) um edifício que utiliza 0 kWh/m² de energia primária, se se considerar o consumo no ciclo anual. Normalmente é uma rede conectada com um desempenho energético muito elevado. A net ZEB equilibra o consumo de energia primária de modo a que a injeção dessa mesma energia na rede iguale a energia primária entregue à ZEB pelas redes de energia. O balanço anual de energia primária de 0 kWh/m² geralmente conduz a que a uma quantidade significativa da energia gerada no local seja trocada com a rede. Portanto, a net ZEB produz energia quando as condições são favoráveis, caso contrário usa energia entregue pela rede.

Denomina-se por *nearly net zero energy building* (NZEB), ou também como “edifício com necessidades quase nulas de energia (de acordo com o art.º 2º da Directiva 2010/31/EU e art.º 16 do Dec-lei 118/13 de 29 Agosto), um edifício que utilize mais de 0 kWh/m² de energia primária conseguida através das melhores práticas e medidas de eficiência energética e tecnologias de energias renováveis que podem, ou não, ser economicamente ideais.

Entende-se por energia primária, aquela que provém de fontes renováveis ou de fontes não renováveis, que não tenham sofrido qualquer tipo de processo de conversão ou transformação [13].

De uma forma generalista, um NZEB pode ser descrito como “um edifício que possui elevado desempenho energético”. A energia quase nula ou pouco significativa que é eventualmente necessária, deverá ser garantida quase na sua totalidade por fontes renováveis [14].



2.2 Enquadramento legal e ambiental

2.2.1 Breve descrição da Directiva original de 2002 (Directiva 2002/91/EC)

A directiva do desempenho energético de edifícios (EPBD) do inglês *Energy Performance of Buildings Directive*, entrou em vigor a 4 de Janeiro de 2003 e deveria ter sido implementada pelos Estados Membros o mais tardar até 4 de Janeiro de 2006. Foi inspirada no Protocolo de Quioto, o qual propunha que a UE teria de reduzir até 2010 as suas emissões de CO₂ para 5,2% abaixo dos valores registados em 1990.

A directiva 2002/91/EC foi formulada no sentido de promover o desempenho energético dos edifícios nos Estados-Membros através de alguns parâmetros definidos, tais como os que seguidamente se referem:

- Metodologia de cálculo para medição do desempenho energético integrado dos edifícios;
- Padrões mínimos de desempenho energético para edifícios novos e igualmente para alguns edifícios existentes renovados, com respectiva actualização frequente desses padrões;
- Certificação energética e directrizes para edifícios novos e existentes;
- Inspeção e avaliação de caldeiras e sistemas de aquecimento /arrefecimento.

A sua implementação revelou-se um processo difícil e complexo, por não ser fácil conseguir uma abordagem comum ao nível de toda a UE, pela diversidade de concepção e construção difere em toda a Europa consoante diferentes culturas, climas e materiais disponíveis. [15]



2.2.2 Directiva 2010/31/EU

Esta Directiva (EPBD) foi aprovada no dia 19 de maio de 2010 e derivou da necessidade de reformulação daquela que lhe precedeu, e consistiu no reforço de muitas características da mesma e também do acréscimo de algumas novas exigências. Consequentemente:

- O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, os novos edifícios na UE devem ter necessidades quase nulas de energia, e essa deverá ser maioritariamente proveniente de energias renováveis;
- As autoridades publicas que possuam ou ocupem um edifício devem dar o exemplo construindo, comprando ou alugando um edifício de “energia quase zero” a partir de 31 de Dezembro de 2018;
- “Edifício com necessidades quase nulas de energia” caracteriza-se por ser um edifício que tem uma enorme eficiência energética, determinada de acordo com o anexo da Directiva. A quase zero ou muito reduzida quantidade de energia necessária deverá ser significativamente proveniente de fontes renováveis;
- Não existe nenhuma meta específica definida para renovação de edifícios, no entanto, os Estados Membros deverão desenvolver políticas e adoptar medidas (como por exemplo metas a nível energético) que estimulem a transformação de edifícios remodelados em edifícios de baixo consumo energético. Deverão ainda informar a CE dos seus planos a nível nacional;
- O limite de 1000 m² para grandes renovações que existia na Directiva original, foi eliminado. Em vez disso, terá efeito quando os regulamentos nacionais forem implementados, provavelmente, no início de 2014. Como tal, os edifícios com áreas iguais ou inferiores a esse valor, isto é, a grande maioria dos edifícios estão agora abrangidos pela nova Directiva já reformulada;
- São introduzidos requisitos mínimos para componentes em todas as substituições e renovações. No caso de grandes obras de renovação, a metodologia de cálculo integrado

é o procedimento aconselhado. Como alternativa ou complemento, os cálculos de desempenho com base em requisitos de componentes, são permitidos;

- A Directiva contempla uma metodologia de cálculo harmonizado que visa o aumento dos requisitos mínimos energéticos dos Estados Membros com o intuito de melhorar a relação custo/nível. Este método está definido em anexo, sendo que os Estados Membros terão de justificar à Comissão qualquer diferença superior a 15% entre os requisitos óptimos correntes e de custo;

- Em todos os Estados Membros será necessário desenvolver um procedimento mais detalhado e rigoroso para emissão de certificados de desempenho energético;

- Os Estados Membros terão de exigir sistemas de controlo que permitam verificar a regularidade da certificação de desempenho;

- Os Estados Membros deverão prever sanções em caso de incumprimento e estabelecer regras sobre as mesmas, a aplicar quando exista infracção às provisões adoptadas nos termos definidos na presente Directiva, tomando as devidas precauções para assegurar que são implementadas. Os Estados Membros terão de reportar essas provisões à Comissão, sendo que elas terão de ser eficazes, proporcionais e dissuasivas.

Qual a posição do ECEEE?

The European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) é uma entidade sem fins lucrativos, que tem como principal objectivo estimular a eficiência energética através da partilha de informação e cooperação.

Durante o período de transição para a primeira EPBD, o estilo de abordagem à implementação foi mal concebido e preparado, levando muitos Estados Membros a solicitar derrogação de prazo de implementação. Como tal, muitos Estados Membros estão actualmente a ser notificados de inconformidade, pelo que a Comissão Europeia está já numa fase final de desenvolvimento de processos judiciais contra 22 Estados Membros pelo seu incumprimento no que toca à implementação da EPBD original. Este

número elevado apenas demonstra que melhorar a eficiência energética nos edifícios não é uma prioridade para muitos dos Estados Membros.

Melhorias importantes na Directiva reformulada vieram impor parâmetros mínimos de desempenho energético, sendo que a Directiva não contempla nenhum fundo de apoio financeiro para a modernização de edifícios existentes. Contudo, os requisitos incluem:

- Elementos específicos ou componentes e sistemas técnicos;
- Definição de requisitos para edifícios NZEBs;
- Definição de um nível de “custo ideal” para os requisitos acima descritos;
- Encorajamento a renovações;
- Melhorias no uso de certificados de desempenho energético.

Quando os Estados Membros iniciam o processo de implementação da Directiva, devem simultaneamente transpor a reformulação da mesma para a legislação nacional. Esse será um período de transição fundamental, em que os atrasos não são aceites por parte do ECEEE. Esta reformulação trará muitos benefícios, desde preocupações com a segurança energética até às mudanças climáticas.

Para o ECEEE, a política europeia para a eficiência energética dos edifícios é mais do que uma Directiva. Esta reformulação veio oferecer um quadro legislativo forte, mas não significa por isso que resolva todas as dificuldades. Deve ser realizada uma abordagem em cada uma de três áreas distintas: edifícios existentes, edifícios novos e as questões institucionais.

2.2.2.1 Edifícios existentes

Os edifícios que já existem são talvez aqueles que constituem as melhores oportunidades e os maiores desafios, pois são os que concentram a maior fatia no que toca ao potencial de economizar energia. Futuramente, é expectável que mais seja feito



nesta matéria, visto que a reformulação efectuada não contempla este tipo de edifícios, não definindo assim objectivos a atingir. Normalmente, renovações completas são realizadas a cada 30 ou 40 anos, e quando isso acontece será desejável que se tenha em conta a eficiência energética. É certo que são processos dispendiosos e complexos, mas que se não forem levados a cabo, todo o potencial de poupanças será desperdiçado durante décadas.

Posição do ECEEE sobre os edifícios existentes

- É necessário definir metas de renovação de edifícios com o propósito de aumentar e fomentar o número de renovações anuais;
- Devem ser feitas renovações mais profundas, de acordo com o método de optimização de custos estabelecido pela Directiva;
- Devem ser criadas oportunidades chave que conduzam à eficiência energética, abolindo para tal os entraves que dificultem esse processo. Aqueles que movem e desenvolvem a Europa necessitam de informações fidedignas, melhorias na capacidade industrial, maior apoio financeiro, inspecção mais eficaz, melhor desempenho energético e, finalmente, certificação.
- Deve ser feita uma melhor gestão de recursos e dinamização da disponibilidade dos mesmos com orientação para grandes renovações, sendo que para tal, haja desbloqueamento de fundos públicos.
- Devem ser enfrentados alguns dos maiores desafios através do cálculo do custo optimizado, do desenvolvimento e/ou revisão dos respectivos padrões CEN (*The European Committee for Standardisation*), treino, desenvolvimento de capacidades e melhoria da capacidade de execução.

2.2.2.2 Novos Edifícios

As datas limites para implementação dos NZEBs no sector público são o final de 2018, e para os restantes sectores, o ano de 2020. Tendo em conta tudo aquilo que ainda precisa de ser feito para atingir essas metas optimistas, não é muito tempo. É necessário apressar toda a industria de construção nesse sentido para que todos os intervenientes fiquem devidamente preparados. De maneira a atender aos prazos, os Estados Membros têm de desenvolver rapidamente directrizes detalhados.

Posição do ECEEE sobre os novos edifícios

- Há que garantir que não há derrapagem relativamente ao cumprimento das datas estabelecidas para os NZEBs;
- Abordar alguns dos principais desafios, tais como o cálculo do custo ideal, rever e/ou desenvolver os padrões CEN que estejam relacionados, nomeadamente a qualidade de execução;
- Dar prioridade às novas construções entre o período actual e 2018, e em 2020 através de melhorias regulamentares e aplicação das normas de construção;
- Necessidade de criar directrizes nacionais para que todas as partes interessadas saibam quando e como fazer, e o que falta fazer para atingir as tão desejadas metas de 2018 e 2020.

2.2.2.3 Questões Institucionais

O sucesso da implementação da reformulação EPBD está directamente interligado com as instituições da UE juntamente com os ministérios e agências dos Estados Membros. No entanto, o ECEEE tem algumas preocupações sobre a capacidades dessas entidades cumprirem os seus papéis. Inicialmente, muitos dos Estados Membros não se



mostravam entusiasmados em relação à reformulação da Directiva proposta e com particular destaque sobre as emendas do Parlamento Europeu. Em segundo lugar, no sentido de seguir uma atitude positiva e optimista, e desprezando para tal o facto de que 22 Estados Membros infringem a EPBD de 2002, a reformulação da Directiva apresenta-se já por si só como um grande desafio. Mas sem a devida determinação, eles farão apenas o mínimo exigido e, conseqüentemente, não será feito como deve ser. Assim sendo, o ECEEE vai trabalhar com todas as partes interessadas no sentido de desenvolver uma boa abordagem a longo prazo e vai tomar uma posição activa no desenrolar do processo de formulação, controlando o progresso da implementação.

Posição do ECEEE sobre as questões institucionais

- Assegurar um acompanhamento eficaz bem como avaliar os passos que conduzem à total implementação da reformulação;
- Efectuar um acompanhamento independente de terceiros, especialmente na fase de implementação;
- Incentivar a eficiência energética;
- Dar apoio aos Estados Membros que estejam em dificuldades com a implementação;
- Assegurar que o Parlamento Europeu desempenha um papel fundamental no acompanhamento da execução para que se possa determinar quais as novas iniciativas políticas que podem ter maior impacto;
- Incentivar a Comissão a fornecer as ferramentas necessárias e dar apoio aos Estados Membros com o intuito de melhorar a implementação;
- Garantir que os Estados Membros estão plenamente empenhados nas prioridades políticas, incluindo o fornecimento de recursos adequados para a implementação definitiva. [16]

CARACTERIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE REVESTIMENTO

3.1 Considerações Iniciais

Revestimento é uma cobertura que se aplica usualmente na superfície de um objecto ou material, normalmente referido como substrato. Em muitos casos os revestimentos são aplicados para melhorar as propriedades da superfície do substrato, tais como a aparência, a aderência, a permeabilidade, a resistência à corrosão, a resistência ao desgaste, a resistência aos riscos, etc.

Os revestimentos estudados neste trabalho enquadram-se no âmbito da construção sustentável, designada em outros termos por NZEB, e procuram melhorar as condições de conforto no interior dos edifícios recorrendo para tal a menos energia.

Neste capítulo são abordadas diversas e distintas soluções com esse objectivo. Três dessas soluções, uma com a utilização de cortiça, outra com a utilização de Viroc e outra com a utilização de materiais de mudança de fase, são mais aprofundadas e posteriormente testadas e analisadas.

3.2 Materiais, soluções técnicas e respectivos impactes no desempenho energético

3.2.1 Nanotecnologia nos materiais

Alguns novos revestimentos desenvolvidos usando nanotecnologia prometem revolucionar este conceito, criando protecção a longo prazo de superfícies, melhorando significativamente as características para os quais os revestimentos são concebidos.

Os revestimentos protectores que utilizam nanotecnologia são formulados recorrendo aos avanços científicos que se têm verificado no passado recente, neste ramo. Os revestimentos invisíveis combinam um agente de silano complexo com componentes de ligantes obtidos através de fontes de recursos naturais. O meio de transporte das nano partículas é realizado através de álcool e nafta. Assim que o produto de revestimento de alto desempenho é aplicado sobre o substrato a tratar, o transporte de material traz as nano partículas que se vão depositar dentro e sobre o substrato, onde conseqüentemente vai ocorrer uma reacção química com os poros e capilaridades ou superfície. O material de transporte evapora posteriormente deixando apenas as nano partículas que são “soldadas em conjunto” com o substrato, criando dessa forma uma protecção de longo prazo extremamente resistente [17].

A engenharia dos materiais é um processo que se caracteriza pela adaptação da microestrutura dos materiais tendo em vista conseguir dar-lhes as propriedades desejadas. Quando estamos perante características à escala nanométrica, então designa-se por nano engenharia. Isso acontece quando ocorrem modificações directamente nesta ordem de grandeza, através de uma síntese macroscópica ou introdução de nano aditivos que poderão ser inertes ou interagir quimicamente com o material. Considera-se uma nano partícula aquela que tenha pelo menos uma das suas dimensões compreendidas entre 1-100 nm

Desempenho deste tipo de revestimentos:

- Proporcionam um revestimento claro e incolor, impermeabilizando a superfície para evitar danos, descoloração e apodrecimento da mesma;
- Aumentam a resistência ao sal, às radiações UV e a contaminações. Ideal para proteger superfícies pintadas, vidros, metais e plásticos;
- Não são revestimentos tóxicos e uma vez que não provocam danos no meio ambiente, pois são 100% naturais e biodegradáveis, são considerados revestimentos de protecção sustentáveis;

- Proporcionam tratamento de madeira e impregnação de pedra que dura 10-25 anos, bem como revestimentos protectores para painéis solares, plásticos, metais e vidros que duram 2-5 anos.

Tendo em conta o âmbito desta tese a abordagem do revestimento de painéis solares assume alguma relevância, no sentido de tornar os edifícios sustentáveis até 2020. Dessa forma, foram já desenvolvidos produtos baseados nos critérios anteriormente descritos, e que



Figura 10 Painéis solares passíveis de receberem nano revestimentos [57]

actuam como nano revestimentos com propriedades hidrofóbicas e de auto limpeza para painéis fotovoltaicos e painéis solares térmicos. O efeito de auto limpeza proporcionado ao vidro impede a poeira e fezes de pássaros de aderirem aos painéis, mantendo-os assim limpos e eficientes, garantindo a máxima produção de electricidade possível. No caso de um painel revestido, as propriedades hidrofóbicas repelem a água mais rapidamente do que num painel não revestido. Ora essa propriedade demonstra-se relevante quando as condições climáticas forem mais severas, pois torna o painel mais eficiente.

Nano escala: C-S-H

Os materiais à base de cimento resultam de um fenómeno complexo de reacções químicas que acontecem quando o cimento (essencialmente constituído por silicatos Tricálcicos $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ e Silicato Dicálcico $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$) reage com a água para formar vários produtos de hidratação, com nano características que são modeladas em forma de multi-escala num espaço tridimensional [18]. Como a maioria dos cimentos (>80%) são compostos por C3S e C2S, os produtos de hidratação que deles derivam tornam-se dominantes em termos volumétricos. Ambas as fases de silicato vão reagir com a água



dando origem a uma versão hidratada de silicatos de cálcio (C-S-H do inglês *Calcium Silicate Hydrate*) e hidróxido de cálcio (CH):



A fase constituinte principal, C-S-H, que representa mais de 70% do volume e consequentemente rege a resposta do material a nível macroscópico, manifesta-se na ordem do comprimento de escala de nm até à μm [19].

Nano compósitos à base de cimento

Com o objectivo de potenciar o desempenho macroscópico do cimento, hoje em dia existem inúmeras nano partículas que se consideram como aditivos, que ao serem misturadas com o cimento vão actuar nesse sentido, tornando-o mais funcional e de acordo com aquilo que se pretende [20].

Alguns exemplos, são a nano sílica, dióxido de titânio, nanotubos de carbono, calcário de dimensão manométrica, partículas de argila, etc [21].

Nanotubos de Carbono (CNT do inglês *Carbon Nanotubes*) e Nanofibras de carbono (CNF do inglês *Carbon Nanofibers*)

Estes componentes são talvez dois dos materiais mais promissores devido às características próprias que apresentam. A relação entre o seu tamanho e aspecto permite-lhes serem distribuídos numa escala muito mais fina do que as microfibras de reforço utilizadas. Resultantes disso, as microfissuras são interrompidas muito mais rapidamente durante a propagação numa matriz nano reforçada, conduzindo dessa

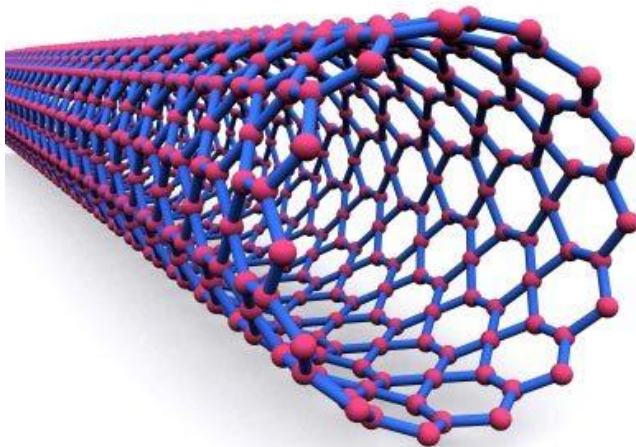


Figura 11 nanotubos de carbono

forma a larguras de fendas bastante mais reduzidas no primeiro ponto de contacto entre a parte frontal da fissura em movimento e do reforço.

Neste estudo [22], os CNT e CNF não tratados são adicionados aos compósitos de cimento em concentrações 0,1 e 0,2% do peso do cimento. Os nano filamentos são dispersados recorrendo a um misturador ultra-sónico e

posteriormente moldados. Para cada amostra é feito um teste em três pontos feitos à medida que visa determinar as suas propriedades mecânicas, isto é, o módulo de Young, resistência à flexão, Estado Limite Último de tensão e resistência à fractura, aos 7, 14 e 28 dias. Através da utilização de um microscópio electrónico mede-se a diferença entre as fissuras e o arrancamento de fibras. Os testes mostram-se bastante conclusivos, pelo que o facto de juntarmos pequenas concentrações tanto de CNTs como de CNFs vão incrementar a resistência, ductilidade e resistência à fractura.

Micro e nano sílica (μ/n -SiO₂)

Quando a sílica (SiO₂) é adicionada ao betão vai originar um aumento da sua capacidade de resistência à compressão, tracção e abrasão. Estas melhorias advêm da disposição fechada adoptada pela pasta de cimento que de uma maneira geral reduz a porosidade e melhora a zona de transição de interface. Por sua vez, a redução da porosidade produz simultaneamente um material com maior durabilidade e resistência aos processos de degradação química tais como a difusão de iões cloreto, reacção alcalino sílica, preservando o material contra a degradação mecânica e o aço contra a corrosão [23].



A enorme área de superfície e altamente reactiva que a sílica coloidal oferece, provoca uma aceleração da hidratação do cimento e torna-se assim importante na fase de hidratação do betão fresco [24].

Existe, portanto, uma vasta possibilidade de aplicação de cimentos com aditivos de sílica. Porém, diversos artigos apontam para vantagens significativas da nano sílica em relação à micro sílica [25].

Estes avanços tecnológicos dos compostos que constituem os materiais utilizados na construção vão, porventura, levar a que as estruturas sejam mais leves e, conseqüentemente, conduzir a um decréscimo do material despendido, o que não só reduz indirectamente os gastos energéticos inerentes à obtenção dos materiais, mas também é benéfico para o ambiente.

3.2.2 Vidros geradores de energia

A arquitectura da segunda metade do século XX veio incutir uma maior utilização de fachadas envidraçadas em detrimento das fachadas tradicionais de alvenaria. Dadas as circunstâncias, algumas empresas tecnológicas ligadas por exemplo à nanotecnologia, assumiram a sua posição preponderante no mercado e tomaram a iniciativa de tentar tirar partido do enorme potencial que os vãos envidraçados evidenciam. E assim nasceu a recente tecnologia que ainda se encontra em fase embrionária que permite aos vidros gerar electricidade através da captação de energia solar. Actualmente são diversas as tecnologias relacionadas que se encontram em desenvolvimento. Pela imposição do enorme potencial que representam para o futuro dos edifícios sustentáveis, vamos tentar compreendê-las melhor.

De acordo com [26], Uma equipa de investigadores norte-americanos afirma ter desenvolvido uma célula solar de polímero - PSC (*Polymer Solar Cells*) transparente que concede ao vidro a propriedade de absorção da radiação solar sem comprometer a



sua capacidade de transparência que nos permite ver através dele. Mas uma particularidade da descoberta é o facto de gerar energia utilizando um “material plástico foto activo” que absorve principalmente a luz infravermelha invisível ao ser humano em vez da luz visível, gerando assim electricidade através de radiação de que não necessitamos. São conhecidas por “*Intelligent Windows*”, e as novas células que as constituem, tornam-nas aproximadamente 70% transparentes ao olho humano, sendo que a sua aplicação deixará a sensação de que no máximo, os vidros estão ligeiramente tingidos. Para o efeito, a equipa desenvolveu um novo tipo de material condutor constituído por nano fios de prata e nano partículas de dióxido de titânio, a que está induzido uma única desvantagem, que é o facto da eficiência de conversão de energia ser de apenas 4%, o que significa que a energia gerada por um painel solar tradicional seria consideravelmente superior.

É verdade que não foi uma descoberta pioneira nesta matéria, mas também é verdade que a anterior tecnologia bloqueia cerca de 80% da luz visível e 90% da luz infravermelha, o que a torna pouco viável e pouco prática na maioria das situações, pois quando se recorre ao uso do vidro é, usualmente, porque se pretende criar uma zona de grande visibilidade e/ou luminosidade.

Actualmente, baseado na arquitectura tradicional de componentes sobrepostos, já se conseguiu atingir um recorde de 10,6 % no que toca à eficiência de conversão de energia para células PSC, o que vem confirmar o futuro promissor das mesmas. Do ponto de vista dos materiais fotovoltaicos, uma camada ideal de material foto activo para PSCs transparentes, necessita de captar o máximo de fotões dos raios ultravioleta (UV) e comprimentos de onda do espectro solar próximos dos infravermelhos, enquanto simultaneamente, os fotões do intervalo de luz visível devem ser transmitidos, proporcionando dessa forma a visibilidade desejada. Uma vez que a alta eficiência de conversão está intrinsecamente ligada com a quantidade de fotões que são absorvidos, existe usualmente uma reacção entre os fotões capturados e a película do polímero que limita o desenvolvimento de materiais para utilização na produção de PSCs transparentes. O condutor transparente é também um dos factores chave que influenciam a visibilidade dos PSCs. Um condutor ideal para PSCs transparentes deve



ter simultaneamente alta transparência e baixa resistência, juntamente com facilidade de processamento e captação de carga efectiva.

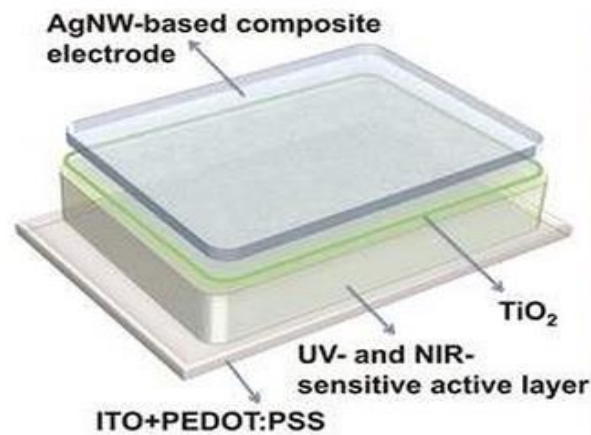


Figura 12 Novos compostos eléctricos transparentes das células solares

3.2.3 Monitorização de edifícios

Uma das mais consistentes e eficazes tecnologias para a melhoria da eficiência energética nos edifícios, e que se tem vindo a provar imprescindível para se conseguir alcançar as metas propostas, é a monitorização energética. A sua implementação está a tornar-se imperativa visto que permite uma poupança de energia bastante significativa e ainda uma enorme redução das emissões de carbono para a atmosfera. Hoje em dia são já inúmeras as empresas que exploram este nicho de mercado em plena expansão exponencial. De acordo com uma das empresas líderes no ramo [27], a melhor maneira de reduzir os consumos de energia é mostrando às pessoas precisamente quanto estão a gastar em termos médios e em tempo real, levando a que estas consigam controlar melhor os gastos e, porventura, tenham comportamentos mais conservativos. Existem aplicações para os equipamentos móveis à disposição como *iPads* e *Smartphones*, que possibilitam gerir remotamente a produção de energia de fontes renováveis proveniente, por exemplo, de painéis solares instalados no local, gerir o consumo de energia, bem como o uso da água em tempo real. Tudo isso é feito através duma interface,

desenvolvida para o efeito, bastante intuitiva, para que o consumidor tenha perfeita noção de toda a sua rede.



Figura 13 Software de monitorização de energia em edifícios para *tablets* e *smartphones* [27]

Através da plataforma de software disponibilizada, é possível acompanhar a energia do edifício ou residência, em tempo real, permitindo ajustar as configurações com base nos padrões de ocupação definidos para o local. Não obstante, emite notificações imediatas assim que os limites são atingidos. Esta ferramenta levou a uma redução no consumo de energia e água dos clientes na ordem dos 15%, em média.

A monitorização de Painéis Fotovoltaicos também é outra vertente dos benefícios deste conceito, que vem trazer não só vantagens económicas mas também ambientais. Consegue-se através da: maximização da eficiência dos painéis, com a emissão de relatórios a cada minuto que descrevem o desempenho dos mesmos; redução dos custos de operação e de manutenção, isolando os problemas de desempenho na superfície do painel, por exemplo; redução dos custos de produtividade.



De modo a proporcionar uma melhor percepção da influência que estes equipamentos podem provocar nos consumos finais, apresenta-se de seguida uma análise efectuada a um edifício, de proporções consideráveis, onde o equipamento foi aplicado.

Como exemplo, e de acordo com [27], pode-se referir que o *Liberty Science Center* (LSC) é um museu de ciência interactivo com cerca de 27406m², localizado em Jersey City, New Jersey, e que em 2008 acolheu a instalação do Monitor *EnergyFlow* da *Noveda Technologies* para que se pudesse fazer um controlo adequado do uso de energia do sistema solar fotovoltaico e monitorizar o seu desempenho. Rapidamente se constatou através de informação adquirida, que estava a ser consumida três vezes mais energia do que aquilo que inicialmente tinha sido previsto. O sistema permitiu descobrir, por exemplo, que no período nocturno entre as 22h e as 6h, o sistema de ventilação e tratamento de ar estava a trabalhar de modo ineficiente, trazendo ar quente e húmido de volta para o interior do edifício, o que era um enorme desperdício de energia. As configurações de operação durante esse período foram reajustadas e conseguiu-se com isso uma redução do consumo de energia na ordem dos 11%.



Figura 14 *Liberty Science Center* em Jersey City [28]

O facto de ter acesso a toda esta informação em tempo real, possibilitou aos funcionários do museu, para além de monitorizar a utilização de energia, tomar novas



iniciativas de poupança energética e avaliar o seu impacto em tempo real. Algumas dessas iniciativas são enunciadas de seguida:

- Optimização das horas de iluminação, que levou a uma economia de 25%;
- Ajustamento dos principais equipamentos de forma a maximizar a eficiência e o conforto;
- Actualização dos dispositivos de iluminação;
- Desactivação no período nocturno das bombas de água quente.

Estas acções conduziram o museu para um patamar de eficiência energética bem superior ao que se verificava anteriormente, demonstrando resultados extremamente positivos e exemplares. A utilização de energia baixou em 43%, com os custos mínimos de manutenção, o equivalente a cerca de 600 mil euros, e um decréscimo nas emissões de CO₂ a rondar os 40%. O investimento efectuado neste sistema de monitorização foi compensado após apenas três meses.

Este é um mero exemplo do quão significativo é este conceito para que se consigam cumprir as normas estipuladas pela directiva europeia para 2020, sendo provavelmente uma das mais importantes medidas a aplicar no futuro a todas as edificações novas e também já existentes, rumo à sustentabilidade.

3.2.4 Tintas reflectoras para coberturas

Quando nos deparamos com um obstáculo, a primeira coisa que devemos fazer é pensar como ultrapassá-lo, e para isso temos de analisar todas as alternativas possíveis. Neste caso concreto, que é a imposição por parte da UE que em 2020 todos os edifícios sejam NZEB, o procedimento é similar e, como tal, temos de nos focar em estudar todas as possibilidades que nos levem a conseguir atingir esse objectivo.

De acordo com isso, surgiu a necessidade de abordar uma nova tecnologia, relativamente recente e que aparenta ser muito eficaz em reduzir os custos associados aos sistemas de arrefecimento, particularmente em zonas quentes e de muito sol. Estamos a falar dos novos sistemas de tintas reflectoras para telhados que permitem não só diminuir as emissões de CO₂ como também os gastos energéticos.

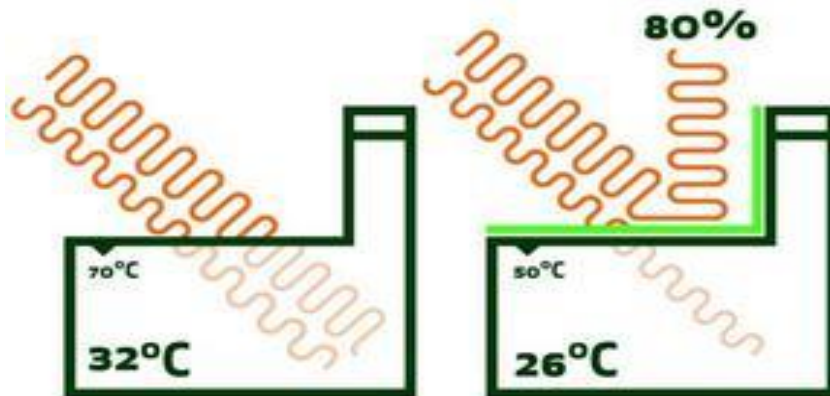


Figura 15 Ilustração da diferença de absorção de calor de um telhado normal e de um telhado revestido com tinta reflectora [29]

Caracteriza-se por ser um sistema inteligente de pintura para coberturas que melhora a capacidade do telhado para reflectir os raios solares. Quanto maior for esta capacidade menor será o calor no interior do edifício. Isso explica-se pelo facto de a tinta ser fabricada com polímeros termo estabilizantes especiais com excelente aderência que repelem os raios solares, e que juntamente com a cor e o tipo de telhado vão determinar o nível de reflectividade. A adição de nano silanos proporciona à tinta capacidade de auto limpeza. A flexibilidade, que é um termo associado à resiliência e à resistência ao impacto, é de até 400%. Os resultados obtidos permitem reflectir até 80% dos raios infravermelhos e dos raios ultravioleta, e reduzindo a temperatura na superfície da cobertura em até 40%. Isso vai repercutir-se noutros factores, tais como prolongar a durabilidade da cobertura, reduzir a temperatura no interior e, conseqüentemente, conduzir a uma menor energia despendida no arrefecimento e ainda diminuir as emissões de CO₂ para a atmosfera [29].

Tabela 1 Propriedades de tintas reflectoras para coberturas [29]

| Características | Descrição |
|--------------------|--|
| Composição | À base de água com pigmentos termo estáveis reflectores, estabilizadores de raios UV e IV, polímeros flexíveis resistentes ao calor, e nano silanos de auto limpeza. |
| Cores | Vermelho oxidado, cinzento escuro, branco, cinzento claro, cinzento de alumínio, preto, vermelho de telha, vermelho acastanhado e castanho escuro. |
| Brilho | Aproximadamente 15. |
| Aplicação | Com escova, rolo ou pistola de pintura. |
| Tempo de secagem | Aproximadamente 6h a 20°C e 60% de humidade. |
| Taxa de propagação | Aproximadamente 2-3 m ² /l dependendo do tipo de superfície e método aplicado. |
| Limpeza | Água morna com sabão imediatamente após a utilização |
| Armazenamento | Conservar em local seco e não gelado |

3.2.5 Cortiça

A cortiça é um material de elevada estabilidade dimensional que consegue suportar enormes variações térmicas, aproximadamente entre -180°C e +120°C e que em caso de incêndio, não liberta gases tóxicos. O processo industrial é 100% natural, utilizando como matéria-prima apenas a cortiça, sem nenhuns químicos ou aditivos e em que a aglomeração é realizada simplesmente com as próprias resinas (suberina). A biomassa, desperdício resultante do seu próprio processo industrial, é responsável por aproximadamente 90% do consumo de energia do processo produtivo. Esse desperdício, que neste caso são grânulos de cortiça e pó, é 100% reutilizável. Como tal, caracteriza-se essencialmente por ser um produto sustentável, de durabilidade ilimitada mantendo



as características técnicas (cerca de 50 anos), excelente isolante térmico e acústico e não artificial, o que complementando com as modernas técnicas de construção existentes se torna no isolante ideal. É totalmente reciclável para voltar a ser utilizado na construção.

No que respeita ao impacto na floresta de sobreiro (cerca de 735000 hectares em Portugal) que lhe está inerente, o efeito é benéfico, evita a desertificação do solo e é uma matéria-prima renovável, dado que os sobreiros a produzem a cada 9 anos. A cada colheita a casca melhora de qualidade. Contraria a desertificação populacional e assume um papel importante na manutenção da biodiversidade europeia. Para finalizar, é referência absoluta na absorção de CO₂, evitando anualmente a emissão de 5 milhões de toneladas desse gás para a atmosfera a nível nacional [30].

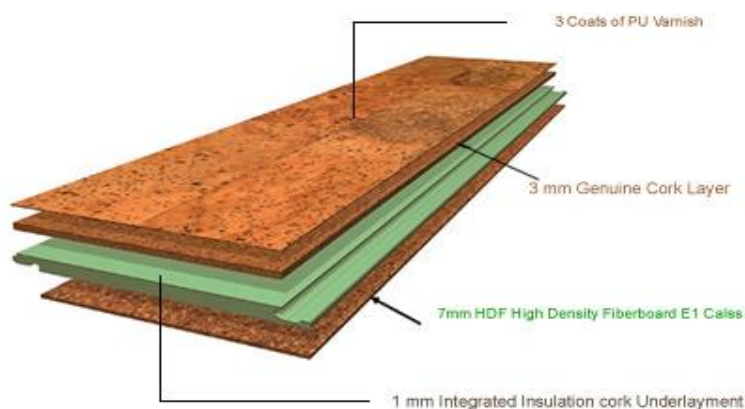


Figura 16 Ilustração de uma placa constituída por várias camadas onde predomina a cortiça [30]

Na construção, o uso deste material como isolante mais frequente é o isolamento com placa de cortiça, que é feito recorrendo à cortiça “crua” (que pode ser um subproduto da indústria da rolha de cortiça) em forma de granulado que, posteriormente, é introduzido numa espécie de forno de pressão a vapor, onde permanece por algum tempo até que a cortiça se começa a expandir para formar blocos e, simultaneamente, dá início a um processo de aglutinação por meio da sua própria resina natural, que lhe vai conferir a cor castanha que por norma apresenta [31].

Tabela 2 Propriedades da cortiça [30]

| <i>Características</i> | <i>Resultado de testes</i> |
|---|--------------------------------|
| Densidade | 100 / 120 kg/m ³ |
| Condutividade térmica | 0,036 / 0,038 W/(m.k) |
| Resistência à compressão a 10% | 110 / 120 kPa |
| Resistência perpendicular às faces | 60 kPa |
| Teor de humidade | Máx de 8% |
| Absorção de água | 0,3% kg/m ² |
| Tolerâncias no comprimento | Entre +/- 3 e 5 mm |
| Tolerâncias na largura | Entre +/- 2 e 3 mm |
| Tolerâncias na espessura | Entre +/- 1 e 2 mm |
| Resistência ao fogo | Euro classe E |
| Durabilidade | Praticamente ilimitada |
| Reciclável | 100 % |
| Ruídos de impacto | 20 dB BF – 40 dB MF – 30 dB HF |
| Ruídos aéreos | 30 dB BF – 35 dB MF – 34 dB HF |
| Absorção acústica 50 mm | 40% a 400 Hz / 50% a 3500 Hz |
| Velocidade do som na cortiça | 500 m/s |
| Coefficiente de absorção acústica 500 CPS | 0,33 / 0,35 |

Portugal é o maior produtor mundial de cortiça, produzindo anualmente entre 54% e 63% da produção mundial de cortiça, sendo que a floresta de sobro nacional, representa entre 28% e 35% da totalidade a nível mundial. A exportação de produtos de cortiça representa cerca de 3% do total das exportações nacionais e já ultrapassou os 1000 milhões de euros anuais, o que faz do nosso país o maior exportador do mundo deste produto e seus derivados. O sector emprega 15000 pessoas a nível nacional e mais 6000 que trabalham sazonalmente na extracção do material [32].

Dadas essas circunstâncias, é naturalmente de esperar que Portugal esteja na vanguarda deste sector, sendo que hoje em dia existem inúmeras aplicações que utilizam a cortiça, desde rolhas, revestimentos para a construção, calçado, vestuário, artigos decorativos, indústria automóvel, militar, de aviação e até espacial.



3.2.6 Painéis de aglomerado madeira-cimento (Viroc)

Este produto caracteriza-se por ser um composto formado por uma mistura cimentícia com partículas de madeira e dotado de uma aparência heterogénea. Existem várias cores disponíveis bem como uma gama de espessuras que varia entre os 8mm e os 32mm.

O processo de produção deste material tem início na obtenção das aparas, que provêm do descasque dos troncos e posterior corte e laminação dos mesmos. De seguida é feita a mistura através da junção nas devidas proporções de água, aparas de madeira, aditivos e cimento, dando origem a uma pasta a que se designa de mistura. A pasta é então colocada numa máquina que a distribui sobre chapas de aço, pulverizadas anteriormente com um óleo, formando um colchão de espessura uniforme. Empilha-se as chapas com o colchão de acordo com a espessura que se pretende, e depois é efectuada a prensagem transformando o material nos painéis de Viroc. Posteriormente, o produto é colocado numa estufa de endurecimento com a finalidade de acelerar o processo de cura. Mais tarde é realizada a secagem para retirar a humidade em excesso [33].

Tabela 3 Características técnicas e propriedades do Viroc [33]

| Características | Valores | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------|-----------|-----------|----|----|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Densidade | 1350 +/- 50 kg/m ³ | | | | | | | | | | |
| Inchamento (24 horas) | 1,5 % | | | | | | | | | | |
| Teor de humidade na origem | 9-12 % | | | | | | | | | | |
| Módulo elasticidade em flexão | 4500 N/mm ² | | | | | | | | | | |
| Resistência à tracção | 0,5 N/mm ² | | | | | | | | | | |
| Resistência à flexão | 9 N/mm ² | | | | | | | | | | |
| Alcalinidade superficial | 11-13 pH | | | | | | | | | | |
| * Condutibilidade térmica | 0,22 W/m.C | | | | | | | | | | |
| * Poder calorífico superior, PCS | 4 +/- 0,5 kJ/Kg | | | | | | | | | | |
| Factor de resistência ao vapor de água | Método Húmido $\mu = 30$ Método Seco $\mu = 50$ | | | | | | | | | | |
| * Reacção ao fogo | <16 mm = 0,6 mm/min. ≥16 mm = 0,5 mm/min. B – s1, d0 Classe 0 | | | | | | | | | | |
| Coefficiente de absorção sonora | 250Hz - 500Hz $\alpha=0,10$ 1000Hz - 2000Hz $\alpha=0,30$ | | | | | | | | | | |
| * Índice de isolamento sonoro | <table border="1"> <tr> <td>Espessura(mm):</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Rw (C;Ctr)(dB):</td> <td>31(-1;-3)</td> <td>33(-1;-3)</td> <td>35(-2;-3)</td> <td>37(-2;-3)</td> </tr> </table> | Espessura(mm): | 8 | 12 | 16 | 22 | Rw (C;Ctr)(dB): | 31(-1;-3) | 33(-1;-3) | 35(-2;-3) | 37(-2;-3) |
| Espessura(mm): | 8 | 12 | 16 | 22 | | | | | | | |
| Rw (C;Ctr)(dB): | 31(-1;-3) | 33(-1;-3) | 35(-2;-3) | 37(-2;-3) | | | | | | | |

* Testes realizados em painéis Viroc Cinza

Vantagens e desvantagens

Relativamente aos pontos negativos das placas Viroc, um dos mais relevantes será o preço substancialmente superior aos demais materiais do mesmo género (OSB, contraplacados, gesso cartonado). Também possuem um peso aproximadamente três vezes mais elevado, são mais propícias a fissurar dado a sua maior rigidez, o que também as torna mais difíceis de cortar e perfurar e absorvem mais humidade e, por último, a entrega destas placas sobre os elementos estruturais não é a mais adequada, dado que requer aumentar a aba dos perfis metálicos tornando a estrutura mais cara.

Como pontos favoráveis, ressalta a combinação entre a resistência e a flexibilidade da madeira com a durabilidade e rigidez do cimento, apresentam elevada resistência ao impacto, podem ser aplicadas como acabamento final, ficando expostas à intempérie, não são tóxicas, são isolantes acústicos de fácil instalação, são ignífugas (evitando assim a propagação do fogo), são hidrófugas, são isolantes térmicas e resistentes a insectos. [34]

É um material que pode ser aplicado em fachadas, paredes e revestimento de paredes, pavimentos, tectos falsos, suporte de coberturas, cofragem perdida, design de interiores, mobiliário urbano, etc. Na figura seguinte é possível observar a aparência de diversas cores e a diferença quando se lixa a superfície.

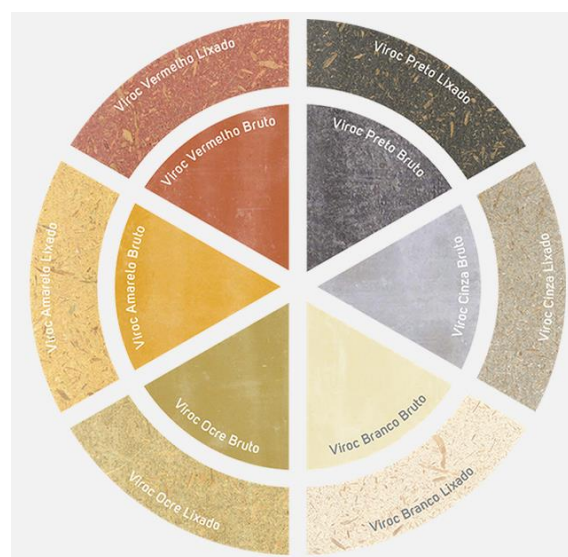


Figura 17 Exemplos de cores de Viroc e da sua aparência [33]



No que diz respeito às proporções dos materiais constituintes do Viroc, a figura em baixo transmite-nos o conhecimento de como estão distribuídas.

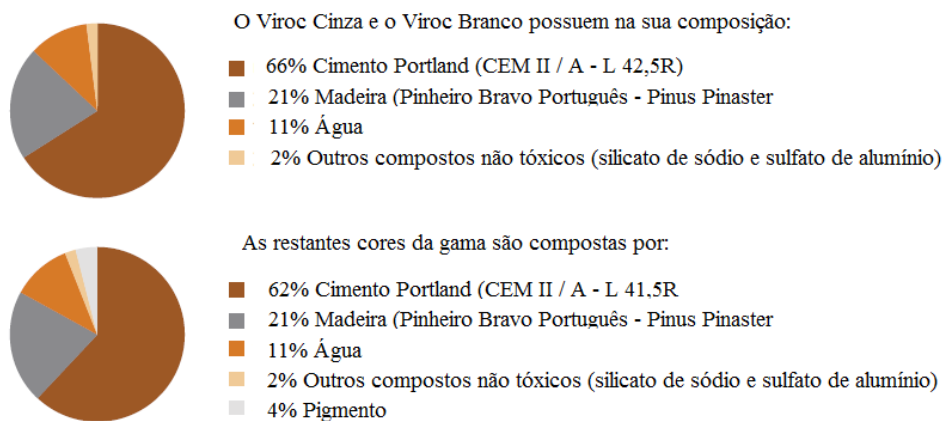


Figura 18 Distribuição dos materiais que compõem o Viroc, por Kg [33]

A nível de acabamentos o painel Viroc pode ser maquinado com os mesmos instrumentos que a madeira, dependendo da espessura com que se está a lidar (serra portátil, serra fixa de bancada, etc.). A furação pode ser realizada recorrendo a um berbequim convencional sem percussão com brocas para metal. Este material pode ser fornecido calibrado/lixado. Uma vez lixado ele vai ostentar uma aparência em que são visíveis as partículas de madeira na superfície do painel (visível na figura 17).

É compatível com uma gama enorme de revestimentos seja para protecção ou decoração e deve ser aplicado um verniz para proteger contra a agressividade da exposição solar e das condições climáticas onde ele está inserido, proporcionando desse modo a sua durabilidade e características. Derivado disso, a tonalidade da cor dos painéis de Viroc pode sofrer uma alteração, tornando-se mais brilhante. Pode também ser pintado para decoração, conferindo-lhe também alguma protecção. [33]

Na figura 19 visualiza-se um exemplo de aplicação deste material em Portugal, no caso, o centro de alto rendimento de Peniche.



Figura 19 Exemplo de aplicação do Viroc, em Peniche [35]

3.2.7 Materiais de Mudança de Fase

Estes materiais são vulgarmente designados por PCMs (do Inglês *Phase Change Materials*), e são materiais com a capacidade de alterar o seu estado físico numa determinada temperatura, absorvendo ou libertando energia do meio que os envolve, podendo armazenar grandes quantidades de energia a temperaturas aproximadamente constantes.

Para tentar compreender melhor o seu modo de funcionamento, considere-se um exemplo simples, a água. A água pode ser encontrada em três estados diferentes, líquido, sólido e gasoso. Nos processos de transição do estado líquido para o sólido (solidificação) e vice-versa (fusão) e do estado líquido para o gasoso (vaporização) e vice-versa (condensação) estão permanentemente associadas determinadas quantidades de energia, que normalmente se denominam de entalpia ou calor latente de solidificação, fusão, vaporização e condensação.

A transição da fase sólida para a líquida é a mais comum quando se pretende armazenar energia, pelo facto de as variações de volume intrínsecas a esse processo serem reduzidas.



Os compostos de PCMs mais utilizados comercialmente são os sais hidratados e as parafinas.

A necessidade energética varia consoante o período do dia, visto que durante o período nocturno a maioria das actividades laborais se encontram desactivadas, bem como as residenciais. Em virtude disso existem, inclusive, diferenças nas taxas cobradas pelas companhias energéticas para os períodos diurno e nocturno. Por isso, é de todo o interesse conseguir mover alguns dos consumos para o período de menor procura, e logo mais barato. Nesse âmbito, o armazenamento térmico de energia latente é um trunfo imprescindível para atingir esse objectivo.

Mas é sobretudo a nível de regulação térmica no interior dos edifícios que se tem vindo a revelar atractivo pelas extraordinárias vantagens que apresenta, tais como:

- Contribui massivamente para o conforto térmico no interior dos edifícios, com a particularidade aliciante de diminuir a necessidade de recorrer a sistemas de arrefecimento e/ou aquecimento, pois permite armazenar o calor proveniente da energia solar e utilizá-lo para aquecimento, essencialmente à noite quando a temperatura começa a descer [36], e armazenar o ar mais frio derivado da ventilação natural nocturna para arrefecimento durante o dia quando a temperatura começa a subir [37].
- Fomenta a utilização de energia no período nocturno em detrimento do diurno, reduzindo o enorme fosso existente entre ambos e evitando riscos, por exemplo, como a quebra no fornecimento energético por incapacidade de satisfação da solicitação da rede.
- Nestas circunstâncias, consegue-se uma menor variação de temperaturas no interior simultaneamente com uma poupança energética.

Contrariamente, os materiais mais densos como é o caso do betão conduzem a maiores variações térmicas interiores, e que portanto, significa um maior desconforto térmico.

A figura que se segue apresenta duas curvas sinusoidais que retransmitem a oscilação de temperaturas ao longo do ano. O espaço entre as duas linhas horizontais define aquele que se considera ser o intervalo de conforto, isto é, a temperatura ideal. E nesse contexto, os PCMs vêm contribuir bastante pelo que conduzem a uma menor amplitude da curva sinusoidal, o que significa que esta se aproximará do intervalo pretendido. Vantajosamente, isso implica ainda uma diminuição das áreas representadas a amarelo e a azul escuro, que são respectivamente, a carga de aquecimento e a carga de arrefecimento e, conseqüentemente, uma menor necessidade de recorrer a equipamentos de aquecimento e arrefecimento que despendem muita energia.

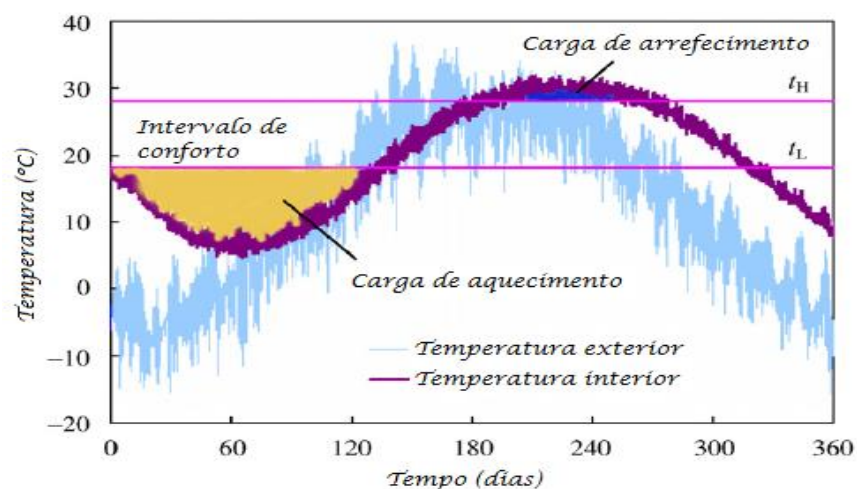


Figura 20 Caso genérico da curva sinusoidal representativa da oscilação de temperatura ao longo de um ano (23)

O método tradicional de ventilação noturna é uma maneira fácil de aumentar o conforto durante os períodos do ano mais quentes, a custo reduzido, que se baseia sobretudo em aberturas de janelas, ventoinhas entre outros métodos, permitindo assim arrefecer os elementos estruturais e o ar ambiente, mas que se demonstra insuficiente devido à diminuta capacidade térmica da envolvente do edifício, uma área de calor menor ou uma taxa de fluxo de ar mais baixa.

Contudo, o sistema de ventilação noturna LHTES (do inglês *Latent Heat Thermal Energy Storage*) com recurso a PCM para armazenamento de ar mais frio prova ser bastante mais eficiente do que aquele que não recorre a esse material. À noite o ar fresco passa através do sistema LHTES que vai acumulando a “refrigeração”. No dia

seguinte, o “tecido de PCM” que absorveu o frio vai libertando-o gradualmente conforme as necessidades, contribuindo de forma significativa para o arrefecimento do ar e das paredes no interior do edifício [38].

Dependendo de inúmeros factores inerentes a cada caso distinto é, porém, possível manter a temperatura interior dentro do intervalo de conforto durante um longo período sem necessidade de recorrer a equipamentos de aquecimento e/ou arrefecimento. Para tal, o calor de fusão do PCM, representado usualmente pela sigla H_m , deverá ser o suficiente para manter a superfície interna da parede à temperatura de fusão durante todo o dia. O critério de escolha de um PCM assume, portanto, um papel de enorme relevância, pelo que o mesmo deverá contemplar preferivelmente uma temperatura de fusão (t_m) que se enquadre dentro do intervalo de conforto. Obviamente que a escolha do PCM vai estar correlacionada com factores determinantes como, por exemplo, as condições climáticas em que a construção se insere ou o tipo de construção, e como tal o valor exacto de t_m terá de ser calculado de acordo com isso.

Para uma determinada estrutura inserida num determinado clima, se o ponto de fusão for demasiado elevado, a quantidade de calor absorvido da radiação solar durante o dia e armazenado pelo PCM será insuficiente. Se, pelo contrário, o ponto de fusão for demasiado baixo poderá não ser possível conseguir manter a temperatura a um nível confortável durante a noite [38].



Figura 21 Membrana de PCM em cápsulas [39].

É também possível aplicar PCMs com o intuito de alterar as propriedades térmicas dos materiais, recorrendo a um processo de incorporação dos mesmos em materiais de construção, que é extremamente benéfico considerando as enormes potencialidades que isso proporciona, pois como se sabe, a estrutura dos edifícios apresenta áreas de proporções elevadas que podem ser inteiramente aproveitadas para armazenar energia. Aliás, pelo facto de este método permitir aumentar a área de transferência de energia, tem-se vindo a comprovar mais vantajoso do que alguns dos sistemas de armazenamento de energia com base em transições de mudança de fase sólido-líquido que apresentam baixa condutividade térmica, como é o caso das parafinas, o que significa que transmitem energia ao meio envolvente, por vezes de forma demasiado lenta. Na figura 22, está representada uma parede com incorporação de PCM, constituída por cimento ou gesso (grânulos azuis) e por cápsulas de polímeros de acrílico (grânulos laranja) que contêm cera parafínica.

Tampão térmico para dias quentes



Figura 22 Ilustração da incorporação de PCMs em materiais de construção [40].



Existem três métodos principais de incorporação de PCMs que são a incorporação directa, imersão e encapsulamento.

Incorporação directa

PCMs líquidos ou em pó são adicionados e misturados com materiais como o gesso e o betão durante o processo de produção [38].

Imersão

Os materiais de construção porosos tais como a placa de gesso, o tijolo ou bloco de betão, são mergulhados no PCM derretido e quente, que por sua vez é absorvido para dentro dos poros por acção capilar. Posteriormente, esse material é removido do PCM líquido e colocado a arrefecer, o que permite que o PCM permaneça nos poros existentes no material. Este processo permite, por exemplo, tornar um reboco normal num reboco de PCM [38].

Encapsulamento

Neste método existem duas vertentes, o macro encapsulamento e o micro encapsulamento. No primeiro caso, o PCM é colocado em tubos, bolsas ou cápsulas esféricas e, posteriormente, incorporado na construção dos edifícios. Alguns dos aspectos menos positivos que apresenta, são o facto de necessitar de protecção contra a destruição, requerer muito mais trabalho para integrá-lo nos elementos construtivos do edifício, sendo também por isso mais dispendioso, e ainda diminuir o coeficiente de transferência de calor durante o processo de solidificação. No segundo caso, (micro encapsulamento) as pequenas partículas de PCM são encerradas numa fina película de polímero com elevado peso molecular que deverá ser compatível tanto com os materiais de construção como com o PCM. Este método proporciona benefícios a nível de facilidade de aplicação, boa transferência de calor (devido a uma maior área de superfície de troca de calor) e não necessita de protecção. Porém, podem influenciar a resistência mecânica da estrutura [38].

Considerando a publicação “*Latent heat storage in building materials*” [41], alguns PCM orgânicos (ácido carboxílico e poliálcool) foram testados com o objectivo de estudar a sua capacidade de serem absorvidos pelos materiais de construção usualmente utilizados. Descobriu-se que os materiais com impregnação de ácidos carboxílicos originaram resultados bastante melhores, em relação a capacidade de armazenar energia, do que aqueles que foram tratados com poliálcool. A figura em baixo retracta de uma maneira simples os resultados obtidos:

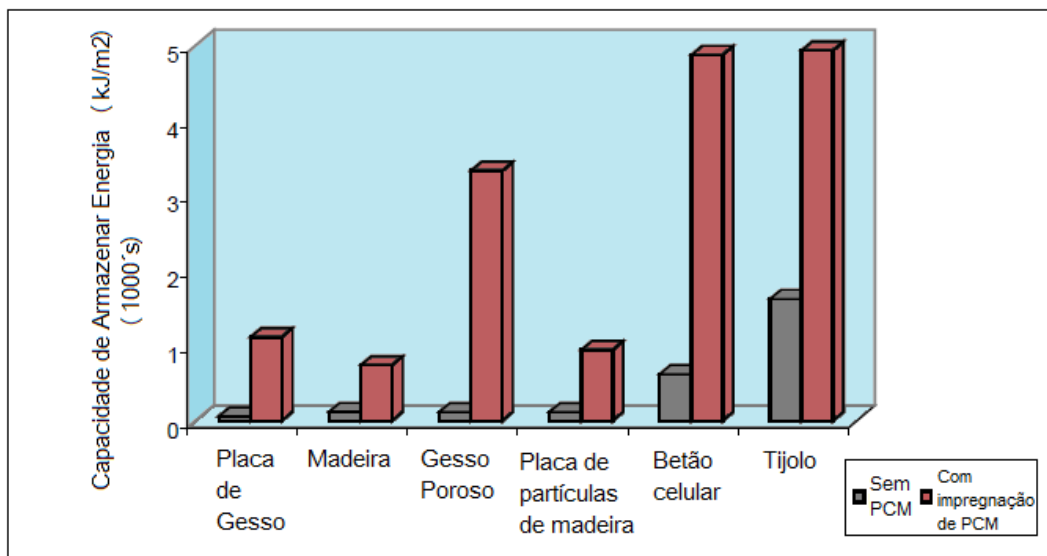


Figura 23 Capacidade de armazenamento de energia de alguns materiais, sem PCM e com PCM (ácido carboxílico) [42]

Melhoria da transferência de calor

Uma transferência de calor inadequada e a redução global das condutividades térmicas durante a recuperação de energia, são vistos como os principais factores de obstrução ao bom desempenho de um sistema de PCM rebocado. A razão para tal deve-se à formação de camadas sólidas, que ocorrem na superfície dos PCMs durante o processo de mudança de fase e que, portanto, afectam as características de transferência de calor. Também existe um fenómeno multidimensional de transferência de calor que torna a recuperação de energia ineficiente [43].



De acordo com Zalba et al. [36], existem diversos métodos que permitem melhorar o processo de transferência de calor no armazenamento térmico de calor latente. Alguns investigadores como, entre outros, Abhat et al. [44], propuseram o uso de tubos com pequenas alas com diferentes configurações. Outra técnica, estudada por Siegel [45], assenta na melhoria da velocidade de solidificação do sal fundido disperso com partículas de alta condutividade. Bauer e Wirtz [46], desenvolveram o uso de placas de alumínio finas preenchidas com PCM. Mehling et al. [47] e Py et al. [48] sugeriram um composto de grafite, onde o PCM é incorporado dentro de uma matriz de grafite, que tornaria o material vantajoso, na medida em que aumentaria a condutividade de calor do PCM sem redução significativa de armazenamento de energia, assim como provocaria a diminuição do arrefecimento dos hidratos de sal e a diminuição da mudança de volume das parafinas. Fukai et al. [49] foram os responsáveis pelo desenvolvimento de escovas feitas de fibras de carbono com a particularidade de permitirem o controlo do volume das fibras com grande precisão e no caso das fibras com baixo volume ficam totalmente dispersas no PCM. Os estudos numéricos e experimentais de Darkwa and Kim's [43] demonstraram que os PCMs com placas de gesso laminado apresentam melhor desempenho térmico do que os PCMs com placas misturadas aleatoriamente, numa ordem de grandeza de 7% a 18%. Xiao et al. [50] desenvolveram um material compósito à base de parafina, com polímero de três blocos estireno-butadieno-estireno e grafite em lascas. Não foi registada nenhuma fuga no processo de mudança de fase sólido-líquido a que a parafina do compósito foi sujeita, nem mesmo no estado de fusão. O compósito demonstra alta condutividade térmica e cerca de 80% do calor latente de fusão por unidade, em relação à parafina. Os resultados experimentais realizados por Zhang et al. [51] provaram que alguns aditivos, como é o caso do grafite, poderiam melhorar bastante a condutividade térmica da parafina SSPCM (SSPCM é um método de encapsulamento). Quando a fracção de massa de grafite for de 20%, a sua condutividade térmica é 221% superior à original. Porém, quando a fracção de massa dos aditivos se torna grande, a capacidade de resistência mecânica diminuiria consideravelmente [38].

Os PCM podem atender a duas tipologias distintas, isto é, podem ser orgânicos e inorgânicos [41].

PCMs Inorgânicos

Nas primeiras tentativas de criar materiais destinados a armazenar calor latente foram utilizados PCMs inorgânicos. Estes materiais são os sais hidratados e apresentam algumas características relevantes para o efeito, como elevados valores de calor latente, não são inflamáveis e o seu elevado teor em água torna-os monetariamente acessíveis. Como desvantagens demonstram corrosão, instabilidade, solidificação imprópria e uma tendência para arrefecerem demasiado. Visto que estes requerem contenção, têm sido considerados inadequados para impregnação em materiais de construção porosos. Tendo em conta estas propriedades mais desfavoráveis, surgiu a necessidade de investigar os PCMs orgânicos. Na tabela que se segue, apresentam-se as propriedades de mudança de fase dos PCMs inorgânicos [41].

Tabela 4 PCMs de sais hidratados (valores típicos) [52].

| PCM | Melting Point (°C) | Heat of Fusion (kJ/kg) |
|---|--------------------|------------------------|
| KF·4H ₂ O Potassium fluoride tetrahydrate | 18.5 | 231 |
| CaCl ₂ ·6H ₂ O Calcium chloride hexahydrate | 29.7 | 171 |
| Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O Sodium sulphate decahydrate | 32.4 | 254 |
| Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O Sodium orthophosphate dodecahydrate | 35.0 | 281 |
| Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O Zinc nitrate hexahydrate | 36.4 | 147 |

PCMs Orgânicos

Estes materiais têm uma série de características que os tornam úteis e aliantes para o armazenamento de calor latente em determinados elementos de construção.

Relativamente às substâncias inorgânicas, estes materiais são quimicamente mais estáveis, fundem com maior coerência e o arrefecimento não constitui nenhum obstáculo. Apesar disso, eles provaram ser compatíveis e adequados para absorção em diversos materiais de construção. Não obstante, a nível económico são mais dispendiosos na fase inicial de aquisição, mas competitivos no custo de instalação.

Mas, obviamente, os materiais orgânicos também apresentam características menos boas, e referindo as mais expressivas, são materiais inflamáveis e podem ser tóxicos. Com menor probabilidade de ocorrência, mas não impossível, podem originar uma reacção indesejável com os produtos da hidratação do betão, envelhecimento oxidativo térmico, odor e uma mudança de volume considerável.

É possível eliminar algumas destas indesejadas características, como por exemplo o envelhecimento do oxidativo térmico, que pode ser inibido através da aplicação de um antioxidante apropriado. Actualmente, procura-se alargar as opções de escolha destes materiais que sejam compatíveis com o betão. Na tabela abaixo descrevem-se os PCMs orgânicos mais conhecidos [41].

Tabela 5 PCMs Orgânicos (valores típicos) [52].

| PCM | Melting Point (°C) | Heat of Fusion (kJ/kg) |
|---|--------------------|------------------------|
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$ Butyl stearate | 19 | 140 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OH}$ 1-dodecanol | 26 | 200 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{OH}$ 1-tetradecanol | 38 | 205 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n(\text{CH}_3)_2$ Paraffin | 20-60 | 200 |
| 45% $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$ 55% $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ 45/55 capric-lauric acid | 21 | 143 |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOC}_3\text{H}_7$ Propyl palmitate | 19 | 186 |

CASE STUDY DE APLICAÇÃO

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, com o objectivo de simular a eficiência e viabilidade de revestimentos, recorreu-se a um sistema de *software*, o *DesignBuilder*, que é um interface para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*. É uma ferramenta que combina geometrias de modelação de construções aliada a uma relativa facilidade de verificação da performance energética, de consumo de dióxido de carbono, de iluminação e de conforto do edifício em questão. É um sistema desenvolvido de modo a simplificar o processo de simulação do edifício e que rapidamente nos fornece resultados fiáveis sobre o desempenho do edifício. Providencia dados de desempenho ambiental bastante precisos, tal como imagens 3D do modelo em qualquer fase da modelação que dão um feedback visual dos elementos construtivos. Visto ser um programa muito completo, relativamente complexo e que visa a maior aproximação possível da situação real do edifício a analisar, exige que se definam uma vasta quantidade de parâmetros consoante os materiais utilizados, o tipo de construção, os equipamentos presentes, a ocupação, as condições climáticas, a envolvente, etc. A versão do programa utilizada foi a 3.2.0.073.

O *DesignBuilder* assenta sobre um módulo designado por IEE que se caracteriza por ser o módulo principal da versão portuguesa. Possibilita utilizar os parâmetros do edifício que estão associados à construção do modelo, bem como os resultados da simulação detalhada para determinar elementos de relevância como os Factores de Correção Climática de Inverno e de Verão, o Factor de Forma, entre muitos outros. Os cálculos efectuados estão todos de acordo com a única informação climática que o programa possui, que é do ano 2002.

No presente trabalho, efectuou-se uma análise dos resultados do comportamento e desempenho de um modelo de edifício padrão com um determinado tipo de materiais de



construção comuns. Posteriormente, analisou-se o comportamento e desempenho desse mesmo modelo, nas mesmas condições, mas com alguns dos materiais estudados anteriormente que se crêem ser mais eficientes, como é o caso dos PCMs, das placas de cortiça e do Viroc.

4.2 Caracterização do modelo utilizado

Para a modelação geométrica foi utilizado um modelo padrão do programa, que corresponde a um edifício de escritórios de forma rectangular, em planta. É constituído por dois pisos acima do solo e uma cobertura inclinada. Dispõe de uma particularidade importante, que é o facto de existir uma abertura no meio do edifício que permite a entrada de maior luminosidade e que vai fazer com que todas as paredes existentes sejam paredes exteriores, pois não existem divisórias no seu interior. Cada piso contempla uma área útil de 287,98 m², totalizando ambos 575,96 m². Encontra-se situado em Lisboa.

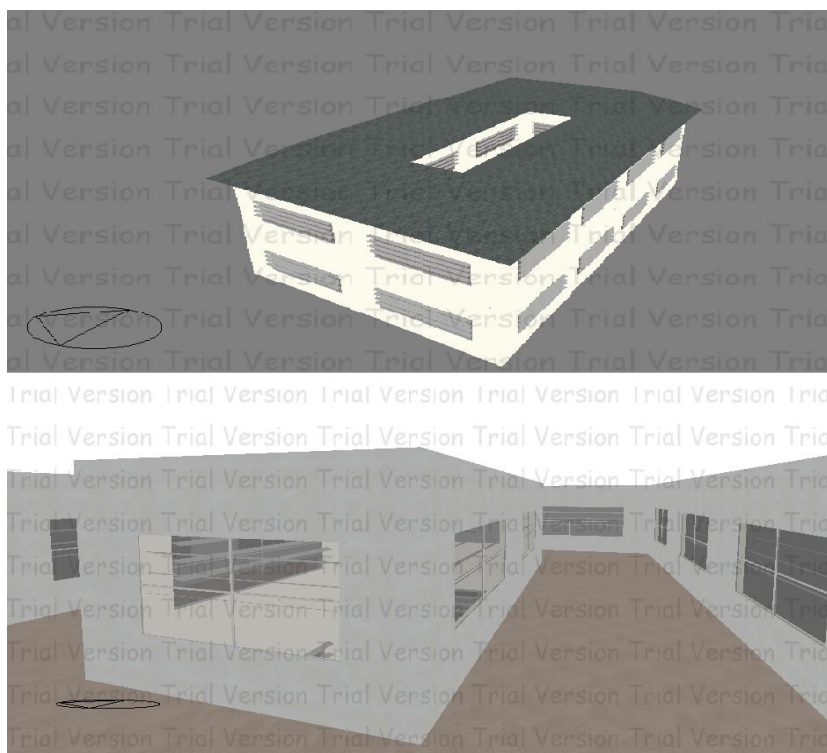


Figura 24 Modelo do edifício de escritórios utilizado



Na rubrica “*Activity*” do programa informático foram definidos diversos factores que seguidamente se explicam. Para a ocupação foi aplicado um valor de 0,07 pessoas/m², de densidade de ocupação, arbitrado com algum bom senso, pois para um espaço de 575,96 m² significa uma ocupação de aproximadamente 40 pessoas, que distribuídas pelos dois pisos resulta em 20 por cada, um valor aceitável para um edifício de escritórios desta dimensão.

No controlo ambiental foram fixados valores de referência (*Setpoints*) de temperatura para o aquecimento e para o arrefecimento. No caso do *Setpoint* de aquecimento esse valor foi de 20°C e no *Setpoint* de arrefecimento foi de 25°C.

Na iluminação utilizou-se um valor de 500 lux no plano de trabalho como índice de iluminância, valor referenciado para edifícios de escritórios [53].

Para os computadores foi contabilizado um valor de 10 W/m², tendo em conta que um computador desktop consome entre 80 e 250 W/h e um monitor LCD consome em média 35 W/h. Como tal, foi considerado um valor de 165 W/h para um computador que somado ao LCD totaliza 200 W/h. Arbitrando um valor de 30 computadores no edifício, temos: $200 * 30 / 575,96 = 10,42 \text{ W/m}^2$

No parâmetro “*Construction*” do programa informático foram estabelecidas as características de cada um dos materiais utilizados nos elementos construtivos e a estanqueidade.



4.2.1 Paredes exteriores

Este elemento caracteriza todas as paredes do edifício (não existem paredes interiores) e é constituído por diversas camadas de materiais, mais concretamente cinco. Descrevendo de acordo com uma ordem sequencial da camada interior para a exterior, existe uma camada de estuque de 1cm com condutividade 0,16 W/m-K e massa volúmica 600 kg/m³. Seguidamente existem dois tijolos de 11cm de espessura cada, com condutividade de 0,77 W/m-K e massa volúmica 1920 kg/m³, espaçados entre si por uma caixa-de-ar de 10 mm. A última camada é rebocada por uma argamassa com 1cm de espessura, condutividade 0,82 W/m-K e massa específica 1680 kg/m³.

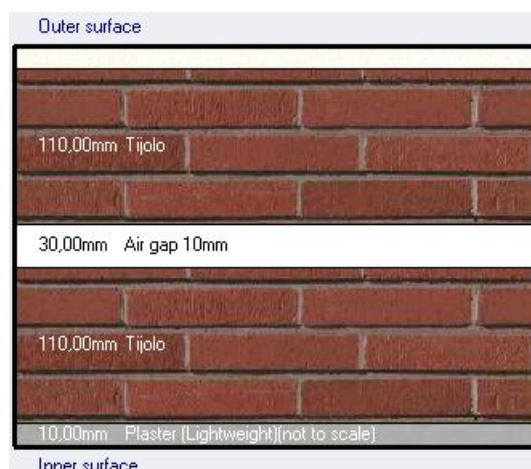


Figura 25 Ilustração da constituição das camadas das paredes

4.2.2 Cobertura inclinada

É um elemento constituído por cinco camadas, começando interiormente por apresentar uma camada de 2,5 cm de *Oriented Strand Board* (OSB) com condutividade 0,13 W/m-K e massa específica 650 kg/m³. A segunda camada é composta por um poliestireno expandido (EPS) com 10 cm de espessura, condutividade 0,04 W/m-K e massa específica 15 kg/m³. A terceira camada é igual à primeira.

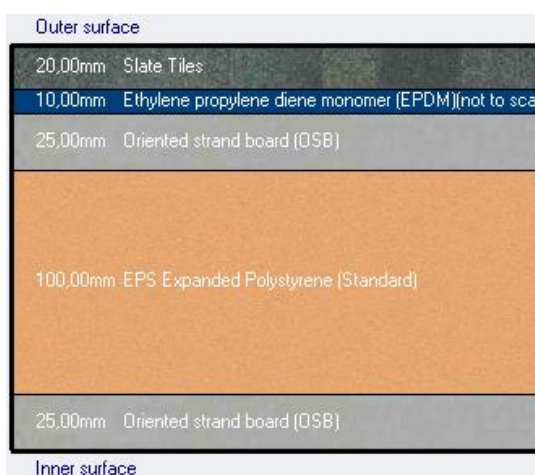


Figura 26 Ilustração da constituição das camadas da cobertura

A quarta camada é constituída por *Ethylene propylene diene monomer* (EPDM – Borracha de Etileno-Propileno-Dieno) com 1cm de espessura e pertence à categoria das borrachas, condutividade 0,250 W/m-K e massa específica 1150 kg/m³. A quinta e última camada, é constituída por telhas de ardósia de espessura 2cm, condutividade 2 W/m-K e massa específica 2700 kg/m³.

4.2.3 Laje dos pisos

A laje dos pisos é formada por três camadas, sendo que a inferior será o tecto do piso superior e é estuque com uma espessura de 1,2cm, condutividade 0,400 W/m-K e massa específica 1000 kg/m³, a segunda tem 15cm de espessura e é constituída por betão que apresenta uma condutividade de 1,650 W/m-K e uma massa específica de 2500 kg/m³. A camada superior tem 2cm e é de madeira, com condutividade 0,14 W/m-K e massa específica 650 kg/m³.



Figura 27 Ilustração da constituição das camadas das lajes

4.2.4 Cálculo do coeficiente de infiltração

Na “infiltração” do modelo, no parâmetro da estanqueidade, foi utilizado um valor de 1 ac/h (*air change per hour* – mudança de ar por hora), o qual foi determinado de acordo com o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) da seguinte forma:



Considera-se que o edifício pertence à Região A (todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à Região B, que por sua vez contempla as regiões Autónomas dos Açores e Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e/ou de altitude superior a 600 m), e de Rugosidade I (edifícios situados no interior de uma zona urbana).

Recorrendo ao Quadro IV.2 do RCCTE (tabela 6), que se encontra em baixo:

Tabela 6 Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma

| Altura acima do solo | Região A | | | Região B | | |
|-----------------------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | I | II | III | I | II | III |
| Menor que 10 m | Exp. 1 | Exp. 2 | Exp. 3 | Exp. 1 | Exp. 2 | Exp. 3 |
| De 10 m a 18 m | Exp. 1 | Exp. 2 | Exp. 3 | Exp. 2 | Exp. 3 | Exp. 4 |
| De 18 m a 28 m | Exp. 2 | Exp. 3 | Exp. 4 | Exp. 2 | Exp. 3 | Exp. 4 |
| Superior a 28 m | Exp. 3 | Exp. 4 | Exp. 4 | Exp. 3 | Exp. 4 | Exp. 4 |

Foi possível determinar a classe de exposição ao vento das fachadas do edifício. Visto se tratar de um edifício com apenas 2 pisos, a altura acima do solo é inferior a 10m e dessa forma obteve-se uma classe de exposição 1.

Através do Quadro IV.1 do RCCTE (tabela 7), uma vez que não existem dispositivos de admissão na fachada nem caixas de estore e que a permeabilidade das caixilharias não foi comprovada por ensaio e, conseqüentemente, se considerou “sem classificação”, o valor obtido de Rph (taxa de renovação de ar mínima necessária) foi de 0,9 h⁻¹. Contudo, decreta o RCCTE que no caso da área de vãos envidraçados ser superior a 15% da área útil de pavimento, os valores do quadro IV.1 devem ser agravados de 0,10, o que resulta num valor final de 1.

$$\begin{aligned} \text{Área dos envidraçados (comprimento*altura*número de janelas)} &= 5 * 1,5 * 36 = \\ &= 270 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Área útil de pavimento} = 575,96 \text{ m}^2$$

$$270 / 575,96 = 0,469 \quad \longrightarrow \quad 46,9 \% > 15 \%$$

Tabela 7 Valores convencionais de Rph (em h⁻¹) para edifícios de habitação

| Classe de exposição | Dispositivos de admissão na fachada | Permeabilidade ao ar das caixilharias (de acordo com a norma EN 12207) | | | | | | | | Edifícios conformes com a NP 1037-1 |
|---------------------|-------------------------------------|--|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-------------------------------------|
| | | Sem classificação | | Classe 1 | | Classe 2 | | Classe 3 | | |
| | | Caixa de estore | | Caixa de estore | | Caixa de estore | | Caixa de estore | | |
| | | Sim | Não | Sim | Não | Sim | Não | Sim | Não | |
| 1 | Sim | 0,90 | 0,80 | 0,85 | 0,75 | 0,80 | 0,70 | 0,75 | 0,65 | 0,60 |
| | Não | 1,00 | 0,90 | 0,95 | 0,85 | 0,90 | 0,80 | 0,85 | 0,75 | |
| 2 | Sim | 0,95 | 0,85 | 0,90 | 0,80 | 0,85 | 0,75 | 0,80 | 0,70 | |
| | Não | 1,05 | 0,95 | 1,00 | 0,90 | 0,95 | 0,85 | 0,90 | 0,80 | |
| 3 | Sim | 1,00 | 0,90 | 0,95 | 0,85 | 0,90 | 0,80 | 0,85 | 0,75 | |
| | Não | 1,10 | 1,00 | 1,05 | 0,95 | 1,00 | 0,90 | 0,95 | 0,85 | |
| 4 | Sim | 1,05 | 0,95 | 1,00 | 0,90 | 0,95 | 0,85 | 0,90 | 0,80 | |
| | Não | 1,15 | 1,05 | 1,10 | 1,00 | 1,05 | 0,95 | 1,00 | 0,90 | |

4.2.5 Cálculo dos caudais mínimos de ar novo

O volume do edifício é facilmente determinado multiplicando a altura do pé direito pela área total.

$$\text{Volume} = 3,5 * 576 = 2016 \text{ m}^3$$

De acordo com o anexo VI do RSECE (tabela 8) (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios), os caudais mínimos de ar novo para gabinetes em edifícios de serviços são de 35 m³/(h.ocupante).



Tabela 8 Caudais mínimos de ar novo

| Tipo de actividade | | Caudais mínimos de ar novo | |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| | | [m ³ /(h.ocupante)] | [m ³ /(h.m ²)] |
| Residencial | Salas de estar e quartos | 30 | |
| Comercial | Salas de espera | 30 | 5 |
| | Lojas de comércio | | 5 |
| | Áreas de armazenamento | | 10 |
| | Vestiários | 30 | 5 |
| | Supermercados | | |
| Serviços de refeições | Salas de refeições | 35 | |
| | Cafetarias | 35 | 35 |
| | Bares, salas de <i>cocktail</i> | 35 | 35 |
| | Sala de preparação de refeições | 30 | |
| Empreendimentos turísticos | Quartos/suites | 30 | |
| | Corredores/átrios | | 5 |
| Entretenimento | Corredores/átrios | | 5 |
| | Auditério | 30 | |
| | Zona do palco, estúdios | 30 | |
| | Café/foyer | 35 | 35 |
| | Piscinas | | 10 |
| Serviços | Ginásio | 35 | |
| | Gabinetes | 35 | 5 |
| | Salas de conferências | 35 | 20 |
| | Salas de assembleia | 30 | 20 |
| | Salas de desenho | 30 | |
| | Consultórios médicos | 35 | |
| | Salas de recepção | 30 | 15 |
| | Salas de computador | 30 | |
| Elevadores | | 15 | |
| Escolas | Salas de aula | 30 | |
| | Laboratórios | 35 | |
| | Auditórios | 30 | |
| | Bibliotecas | 30 | |
| | Bares | 35 | |
| Hospitais | Quartos | 45 | |
| | Áreas de recuperação | 30 | |
| | Áreas de terapia | 30 | |

$$40 \text{ (ocupantes)} * 35 = 1400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1400 / 2016 = 0.694 < 1$$



Visto que é inferior ao caudal de infiltração determinado anteriormente, o caudal mínimo de ar novo está garantido.

Considerando o resultado dos cálculos efectuados não foi necessário ter ventilação natural ou mecânica.

Voltando à caracterização do modelo utilizado, a rubrica “*Openings*” do programa corresponde às aberturas, como as janelas, as portas e as entradas de ventilação. As fachadas são 40% envidraçadas sendo que estas são compostas por um vidro duplo de 3mm cada, com uma caixa-de-ar de 6mm entre eles. Geometricamente apresentam 1,5m de altura e comprimento 5m. As caixilharias são de aço e o sombreamento é garantido por via de palas destinadas para o efeito, com 0,5m de comprimento do tipo “*projection louvre*”, tal como se encontra ilustrado na seguinte figura:



Figura 28 Palas de sombreamento

Na iluminação foi considerado para cálculo um valor de 10 W/m^2 , valor comum neste tipo de edifícios.

Nas definições do HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), visto ser um edifício de escritórios, adoptou-se um sistema de ar condicionado centralizado. No aquecimento foi adoptado um CoP (coeficiente de desempenho) de 0,750, enquanto no arrefecimento foi de 1,730, valores em linha com aquilo que o programa sugere para este tipo de equipamento. De acordo com a lógica de exploração corrente de edifícios de escritórios, determinou-se que o aquecimento funcionaria das 8h até às 18h todo o ano, excepto nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro, isto é, nos meses quentes, período o qual se encontra desligado. Para o arrefecimento, a situação é precisamente a oposta, funciona apenas nesses quatro meses mais quentes, no mesmo período horário.

Tal como foi calculado e verificado anteriormente, não é necessário utilizar ventilação natural ou mecânica para este edifício. No entanto, foi considerada a inclusão de ventilação natural durante o período nocturno apenas no Verão, entre as 23h e as 6h, visto que funcionará em benefício do PCM ajudando a arrefecer o material mais rapidamente nesse período, fazendo com que o PCM consiga ficar abaixo da temperatura do seu ponto de fusão, tornando-se dessa forma no estado sólido, podendo então libertar o calor absorvido durante o dia. O *Setpoint* para essa rubrica foi de 20°C, o que significa que a ventilação natural apenas vai funcionar no horário estabelecido caso a temperatura do ar interior seja superior a esse valor. Para o limite do Delta T, adoptou-se o valor de zero, que determina que a ventilação natural nunca funcionará caso a temperatura exterior seja superior à interior, no horário de funcionamento estabelecido, para que não ocorra a indesejável situação de trazer calor do exterior para o interior, pois no Verão o que se pretende é exactamente o contrário.

4.3 Análise de resultados dos PCMs

4.3.1 Análise de diferentes tipos de PCMs aplicados pelo lado interior

Dos diferentes tipos de PCMs que o programa *DesignBuilder* disponibiliza, foi escolhido aplicar o PCM tipo BioPCM M182 que tem quatro vertentes que são a Q21, Q23, Q25 e Q27. A sigla M182 refere-se à capacidade de armazenamento de calor latente, e esta era a mais elevada que o programa oferecia. A sigla Q refere a temperatura a que ocorre a fase de transição. Todos os PCMs da gama M182 têm uma condutividade 0,200 W/m-K, um calor específico 1620 J/kg-K e uma massa específica de 860 kg/m³. O PCM foi aplicado em cápsulas dispostas numa membrana visto que o software não disponibiliza PCMs incorporados.

Nas figuras 29 e 30, é possível observar os resultados obtidos para uma simulação das temperaturas do ar para dois meses de Inverno e para dois meses de Verão. Posteriormente, estão representadas outras duas figuras que ilustram, para os mesmos períodos, os resultados do consumo eléctrico consoante os diferentes tipos de PCMs 182, aplicados pelo interior.

Como se pode constatar na figura abaixo, as diferenças entre as Temperaturas do ar resultantes da aplicação os diversos PCMs são insignificantes, e dificilmente se notam as variações entre elas uma vez que são de centésimas de unidade no mês de Janeiro e de milésimas de unidade no mês de Fevereiro.

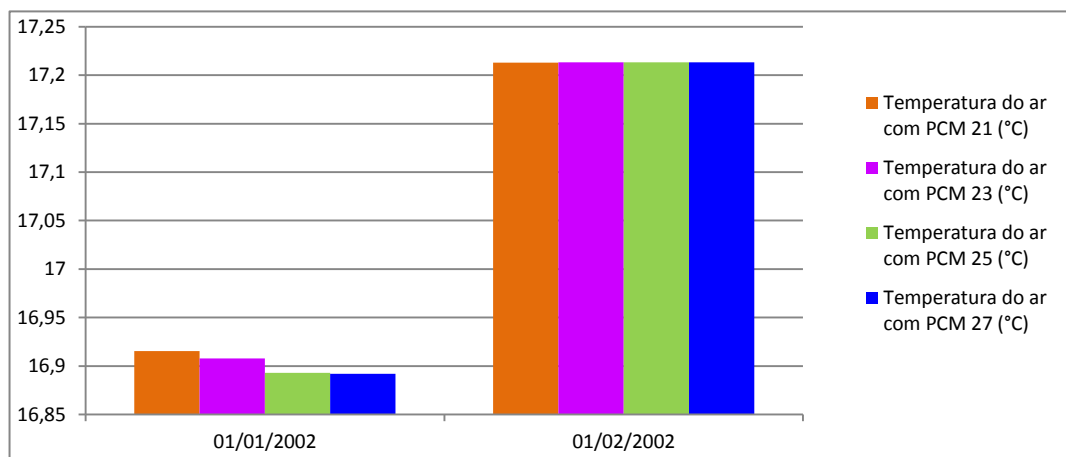


Figura 29 Simulação de Temperaturas do ar para diferentes PCMs nos meses de Janeiro e Fevereiro

Na figura 30, que reproduz a simulação nos meses quentes, embora as diferenças também sejam mínimas, o modelo com PCM 25 tem um desempenho ligeiramente melhor.

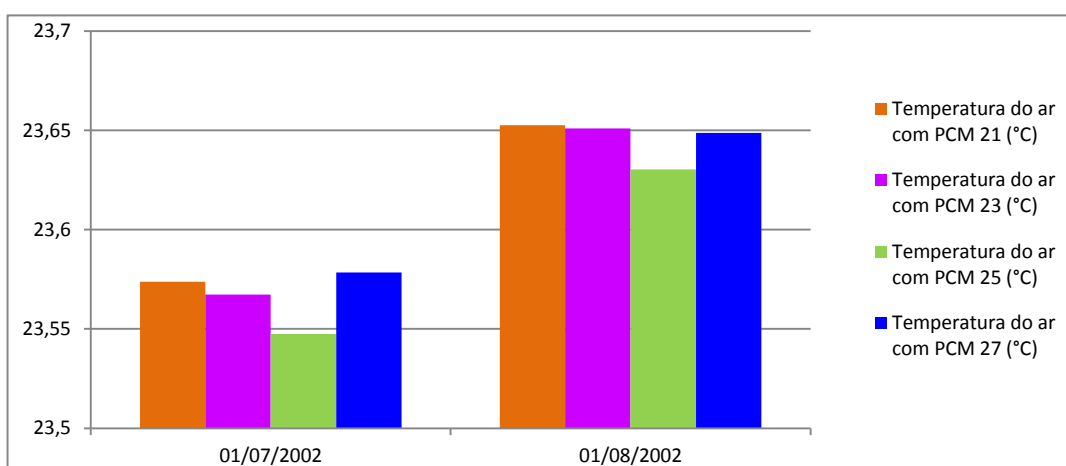


Figura 30 Simulação de Temperaturas do ar para diferentes PCMs nos meses de Julho e Agosto

Na figura 31, que retrata o consumo utilizado para aquecimento, as diferenças são pouco notórias e também pouco significativas. No mês de Fevereiro os consumos para esse efeito são praticamente idênticos. Contudo, no mês de Janeiro o PCM21 e o PCM23 apresentam um consumo menor que os outros dois em aproximadamente 50 kWh e 35 kWh, respectivamente.

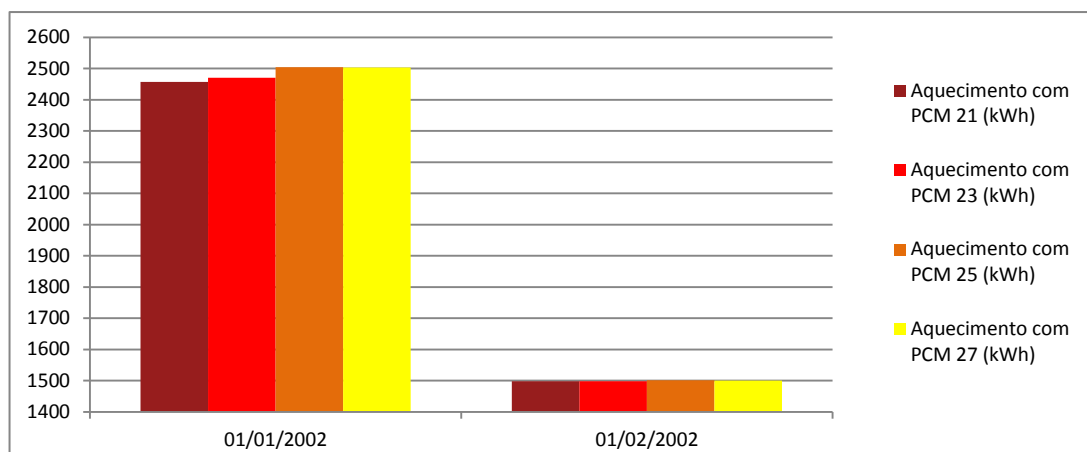


Figura 31 Simulação de Consumos de aquecimento para diferentes PCMs nos meses de Janeiro e Fevereiro

Na figura 32, verificam-se pequenas variações dos consumos destinados ao arrefecimento, mas que são visíveis a esta escala. Por exemplo, no mês de Julho o modelo com PCM25 apresenta um consumo inferior em 73,8 kWh em relação ao modelo com PCM 21.

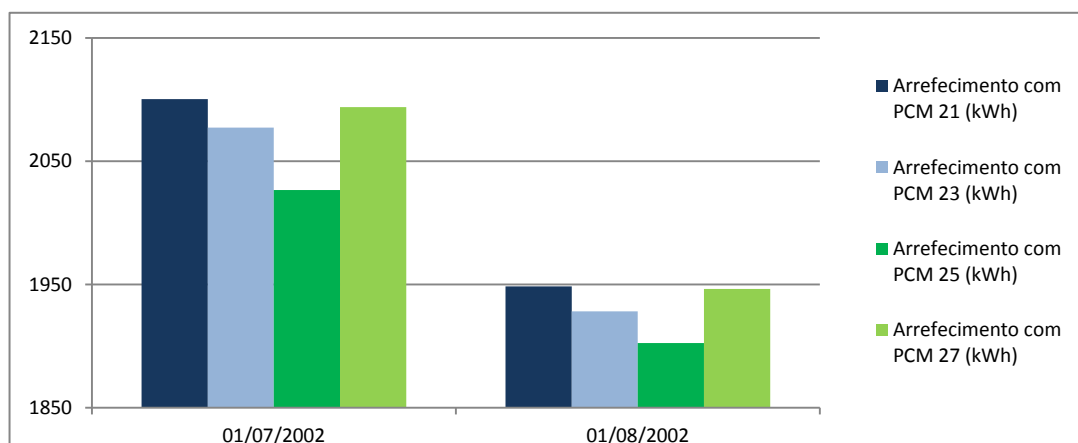


Figura 32 Simulação de Consumos de arrefecimento para diferentes PCMs nos meses de Julho e Agosto

Conclui-se que, de certa forma, os PCMs não têm um comportamento linear ao longo do ano, sendo que aqueles que funcionam melhor nos meses frios não são aqueles mais apropriados para os meses quentes. Isso explica-se sobretudo pela influência que existe em relação às amplitudes térmicas que determinam se a temperatura atravessa o ponto de fusão do PCM escolhido ou não. Do Inverno para o Verão as temperaturas variam muito, logo um PCM que tenha um ponto de fusão elevado funcionará melhor no Verão, e vice-versa.

Como tal, daqui em diante vamos adotar o modelo com PCM 23, pois é o mais intermédio.

4.3.2 Comparação da eficiência de PCMs aplicados pelo interior e pelo exterior

No sentido de tentar compreender qual a metodologia mais vantajosa, foi-se comparar a eficiência de um PCM, neste caso o PCM 23, aplicado pelo exterior das paredes e da cobertura com um PCM aplicado pelo interior das mesmas. Na figura 33 apresenta-se uma ilustração que caracteriza a localização da camada de PCM das paredes, no lado interior no caso a), e no lado exterior no caso b).

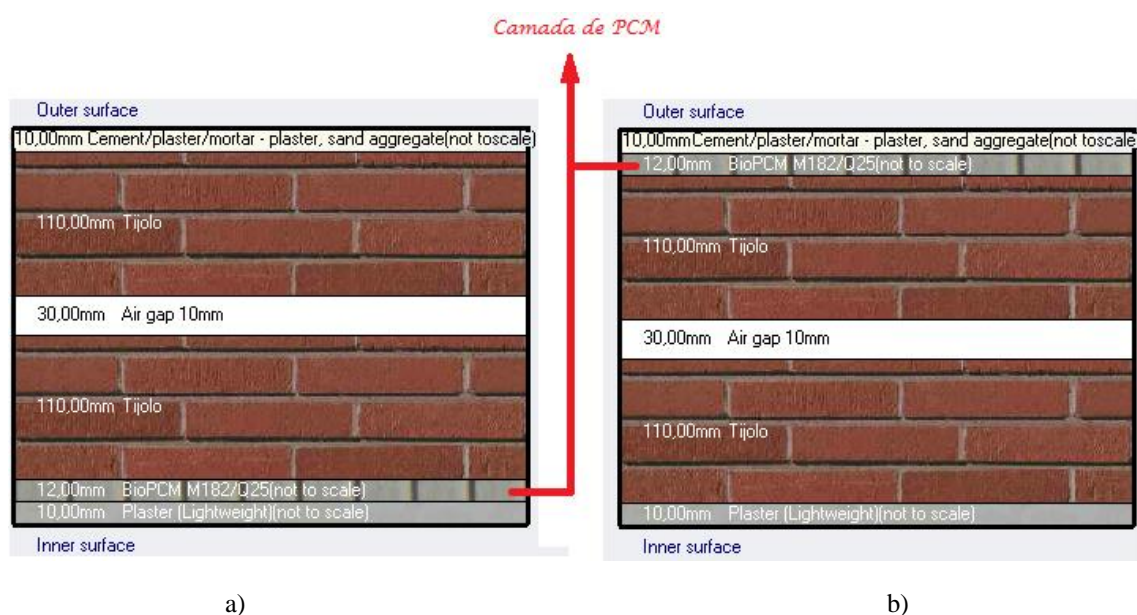


Figura 33 a) Esquema da constituição das paredes com PCM pelo interior; b) Esquema da constituição das paredes com PCM pelo exterior.

Na figura 34 a) e b) está ilustrada a localização da camada de PCM das coberturas do modelo estudado, no lado interior e no lado exterior, respectivamente.

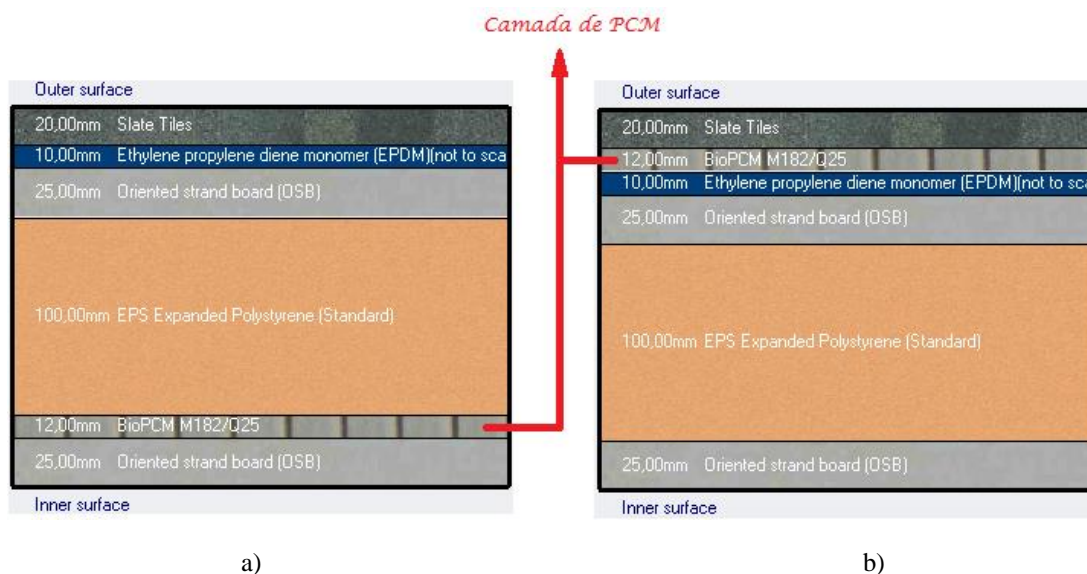


Figura 34 a) Esquema da constituição da cobertura com PCM pelo interior; b) Esquema da constituição da cobertura com PCM pelo exterior.

A nível térmico, as diferenças entre aplicar o PCM pelo exterior ou pelo interior são muito reduzidas. Na figura 35 estão expostos os resultados da simulação realizada para os meses de Abril, Maio e Junho, pois são os únicos em que foi possível observar uma ligeira variação, com vantagem para o que foi aplicado pelo lado interior.

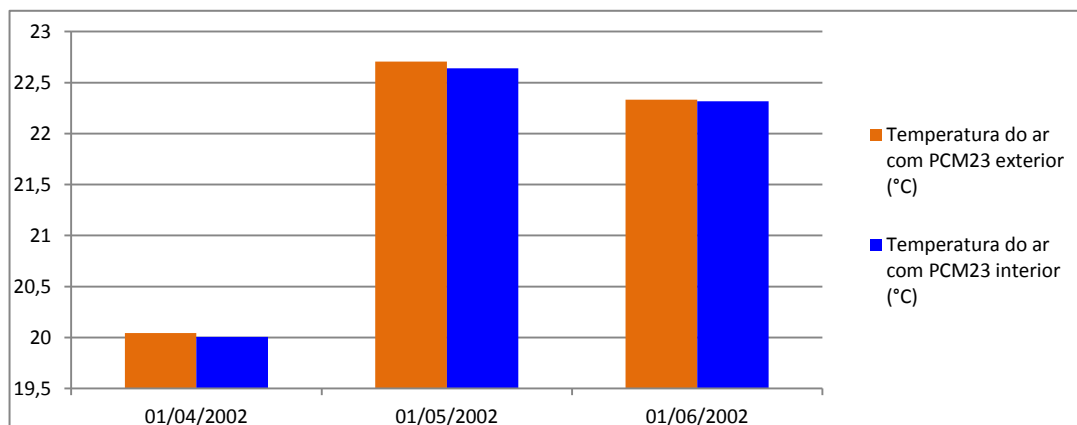


Figura 35 Simulação das temperaturas do ar com o PCM 23 no exterior e no interior

A figura 36 demonstra a comparação do desempenho a nível de consumo eléctrico para aquecimento nos três primeiros meses, pois no quarto esse consumo é muito reduzido e nos seis meses que se seguem é mesmo inexistente. No mês de Janeiro o modelo com PCM pelo interior consome menos 28 kWh em aquecimento. Nos outros dois meses representados a diferença entre eles é inferior a esse valor. Globalmente, a solução que contém PCM aplicado pelo interior aparenta ser ligeiramente mais vantajosa.

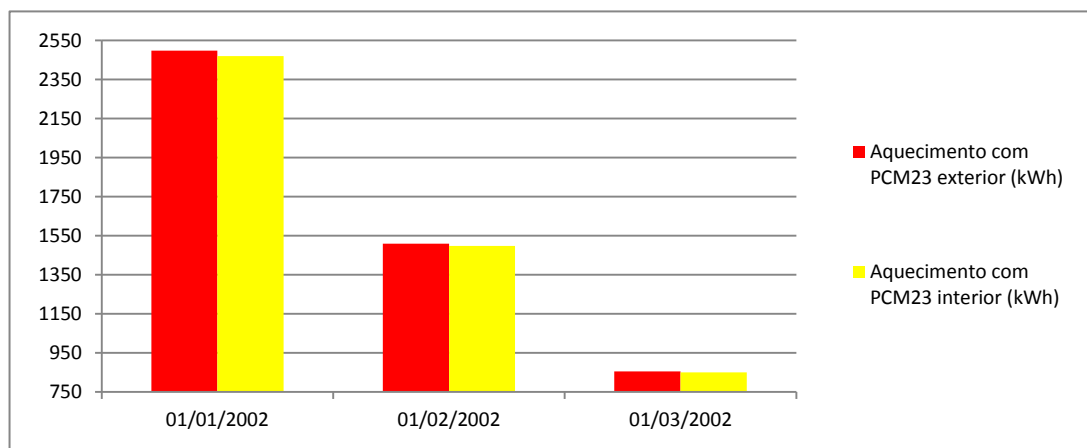


Figura 36 Simulação dos Consumos de aquecimento com o PCM 23 no exterior e no interior

A figura abaixo ilustra o consumo eléctrico para o arrefecimento, que só está em funcionamento nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro, e por isso é nulo nos restantes meses do ano. Uma vez mais a solução que recorre à aplicação do PCM pelo interior é, em escala insignificante, mais vantajosa. No mês de Junho a variação é de 23 kWh.

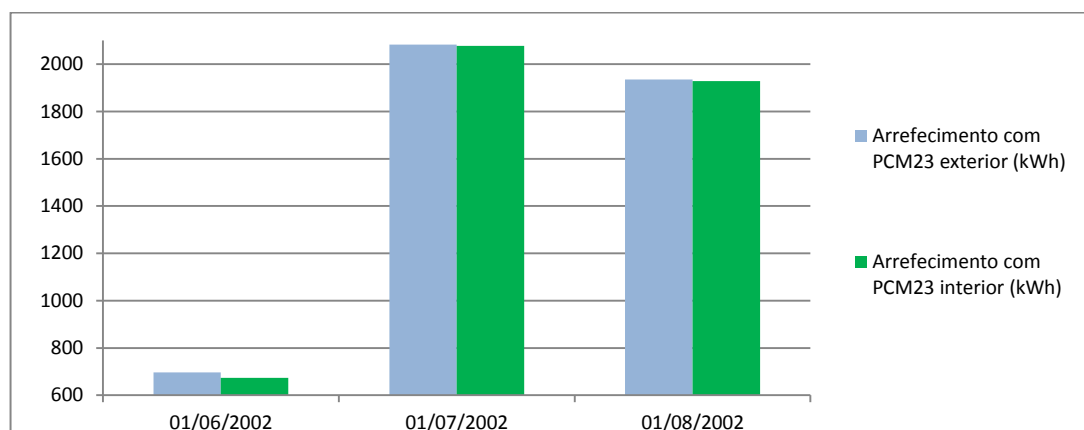


Figura 37 Simulação dos Consumos de arrefecimento com o PCM 23 no exterior e no interior



Posto isto, chegamos à conclusão que é quase irrelevante aplicar o PCM de uma forma ou de outra. No entanto, será adoptada a solução “aplicação pelo interior” para futuros cálculos.

4.3.3 Análise de temperaturas e de consumos de electricidade para um dia típico de Inverno e outro dia típico de Verão

Posto isto, decidiu-se aplicar o PCM 23 pelo interior para realizar a análise pretendida, a qual passa pela medição das temperaturas no edifício sem PCM e com PCM, bem como o consumo eléctrico de aquecimento e de arrefecimento sem PCM e com PCM e finalmente o consumo eléctrico total sem PCM e com PCM, este último para se poder comparar a fatia proporcional de energia destinada ao aquecimento e arrefecimento.

Na figura 38, está representada uma simulação de temperaturas, por hora, que foi efectuada para o dia 1 de Janeiro, pois dessa forma é possível obter uma melhor visualização do seu desenvolvimento ao longo do mesmo. É possível verificar também as temperaturas radiantes.

Durante a noite o PCM, que se encontra no estado sólido, desempenha bem a sua função que é libertar o calor que absorveu durante o dia, e por isso a temperatura com PCM é sempre superior até às 8h. Nesse momento, ambas as temperaturas do ar sofrem um incremento brutal, praticamente da mesma ordem pelo facto não só de já ser dia, mas também porque o edifício já se encontra em pleno funcionamento e como tal o ar condicionado começa a trabalhar aquecendo o ar até à zona de conforto definida. No entanto, quando os funcionários chegam para trabalhar, o edifício com PCM está um pouco mais quente, sendo por isso necessária muito menos energia para o aquecer. Mesmo durante o período de trabalho, verifica-se que a temperatura no edifício com PCM é superior, podendo isso ser explicado, possivelmente, pelo facto do ponto de fusão do PCM instalado (M182 Q23) ser de 23°C, isto é, superior à temperatura ambiente, o que significa que o material ainda se encontra no estado sólido, e desse modo continua a libertar calor. Às 18h, o dia de trabalho no escritório termina e o sistema de ar condicionado é desligado. Observa-se assim uma diminuição acentuada da temperatura de aproximadamente 3,5°C nas duas horas seguintes, sendo que no caso do

edifício com PCM essa descida é ligeiramente menos pronunciada. A partir das 20h a temperatura regista uma descida lenta e progressiva até de manhã, mas no edifício com PCM é claramente sempre superior à do edifício que não tem PCM.

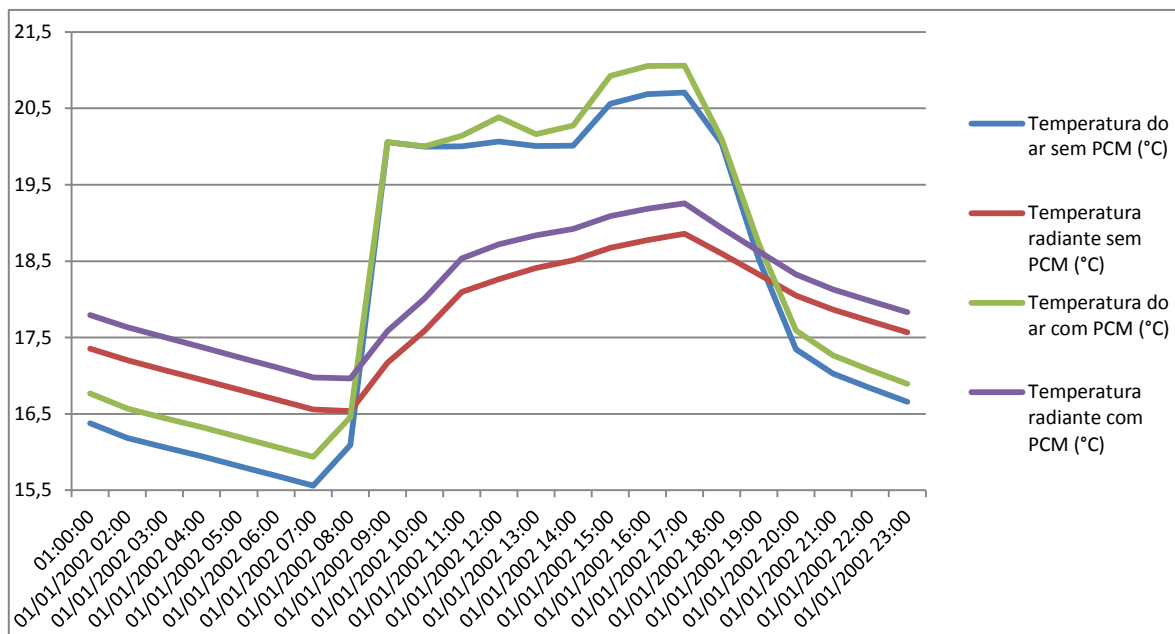


Figura 38 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Janeiro

Na figura 39, é possível perceber como está distribuído o consumo de electricidade ao longo desse mesmo dia, típico de inverno.

Pela razão descrita anteriormente, de que o PCM liberta energia durante a noite mantendo a temperatura num patamar sempre superior, será pois necessária menos energia para aquecer o edifício até atingir o *Setpoint* definido, sendo que as necessidades energéticas são quase sempre inferiores ao longo do dia, visto que o edifício se encontra a uma temperatura sempre superior não sendo necessário despender tanta energia para o aquecer. É importante referir que o pico do consumo dá-se por volta das 9.30h, pois foi o período até ao qual mais energia foi necessária para aquecer o edifício até à temperatura pretendida. A partir daí o consumo começou a decrescer de forma marcante, sendo que no caso do edifício com PCM é mesmo inexistente a partir do meio-dia, excepto apenas num pequeno período ao final da tarde.

Nota-se nitidamente que a energia destinada ao aquecimento no edifício sem PCM é substancialmente superior ao longo de todo o período.

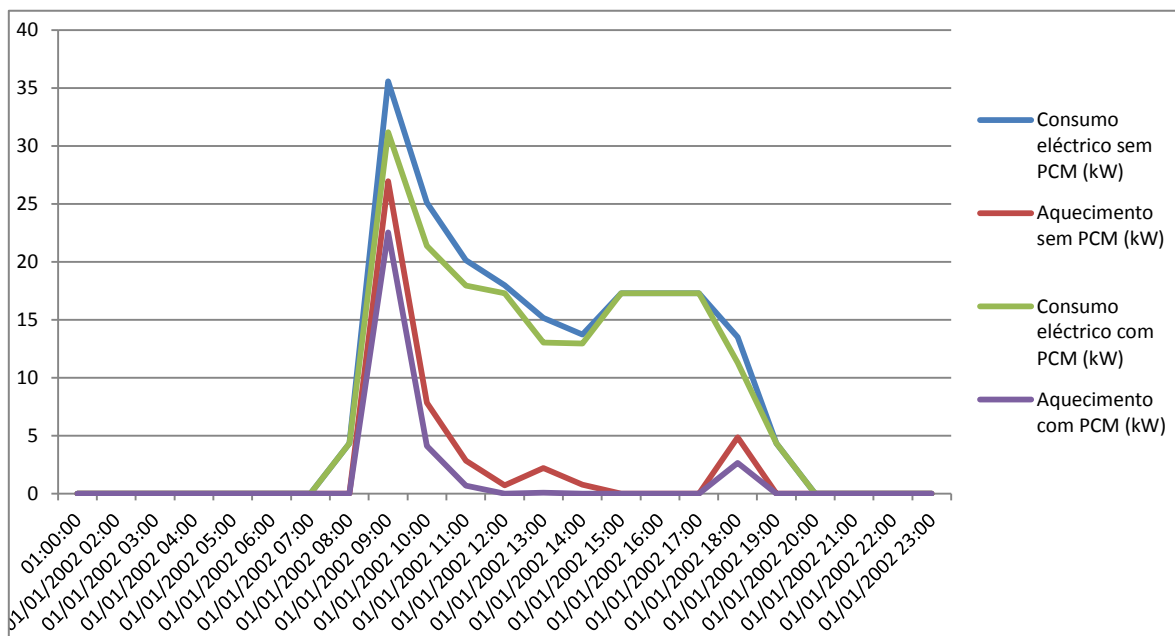


Figura 39 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e de electricidade total no dia 1 de Janeiro

Na figura 40, está exposta uma simulação de temperaturas, por hora, que foi efectuada para o dia 14 de Agosto, um típico dia de Verão.

É evidente que neste período mais quente, os resultados do edifício com PCM não são tão expressivos como no Inverno e são muito semelhantes aos do edifício sem PCM. Durante o horário de trabalho as temperaturas são muito elevadas, logo o sistema de arrefecimento encontra-se sempre em funcionamento mantendo a temperatura ambiente constante nos 25°C. Terminando o período de trabalho, o edifício com PCM consegue baixar a temperatura mais rapidamente que o edifício sem PCM, embora a diferença entre eles seja também irrelevante. Em suma, no Verão as diferenças entre as duas soluções aplicadas são mínimas. Caso fosse outro tipo de edifício onde não existisse sistema de arrefecimento centralizado, talvez a solução com PCM conseguisse fazer a diferença pois o PCM conseguiria absorver mais calor.

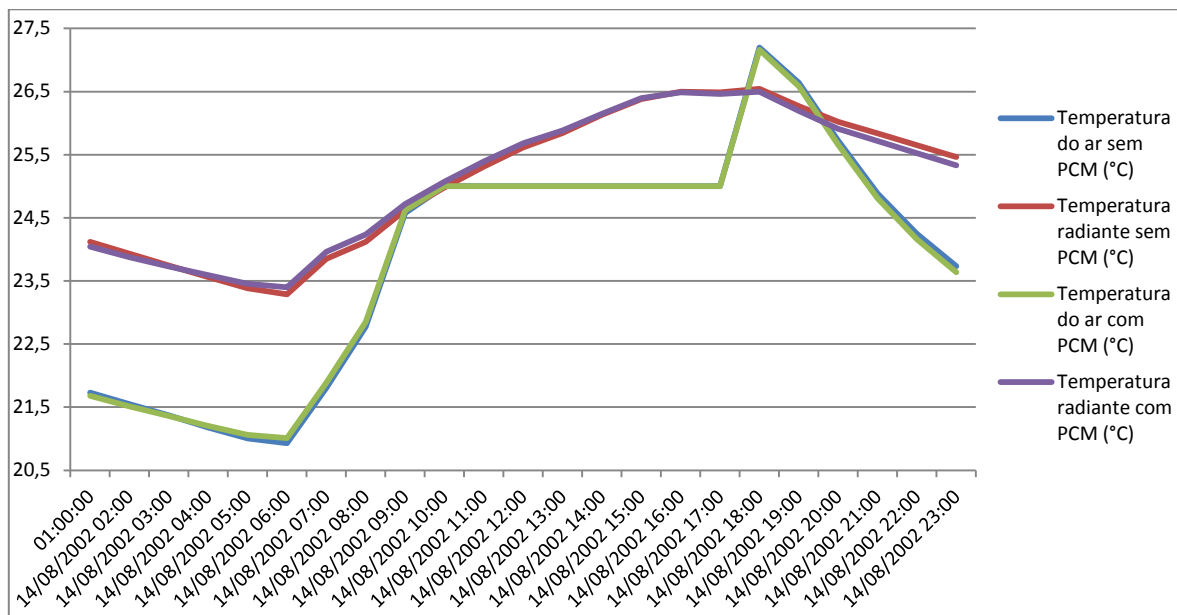


Figura 40 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 14 de Agosto

A diferença de consumos é tão semelhante entre as duas soluções comparadas que nem é possível notar as pequenas diferenças existentes através do gráfico horário que as representa. É contudo, possível perceber que a parte do consumo eléctrico reservada ao arrefecimento apenas tem influência a partir aproximadamente das 9h, pois antes disso a temperatura encontra-se abaixo dos 25°C e não existe necessidade de arrefecimento.

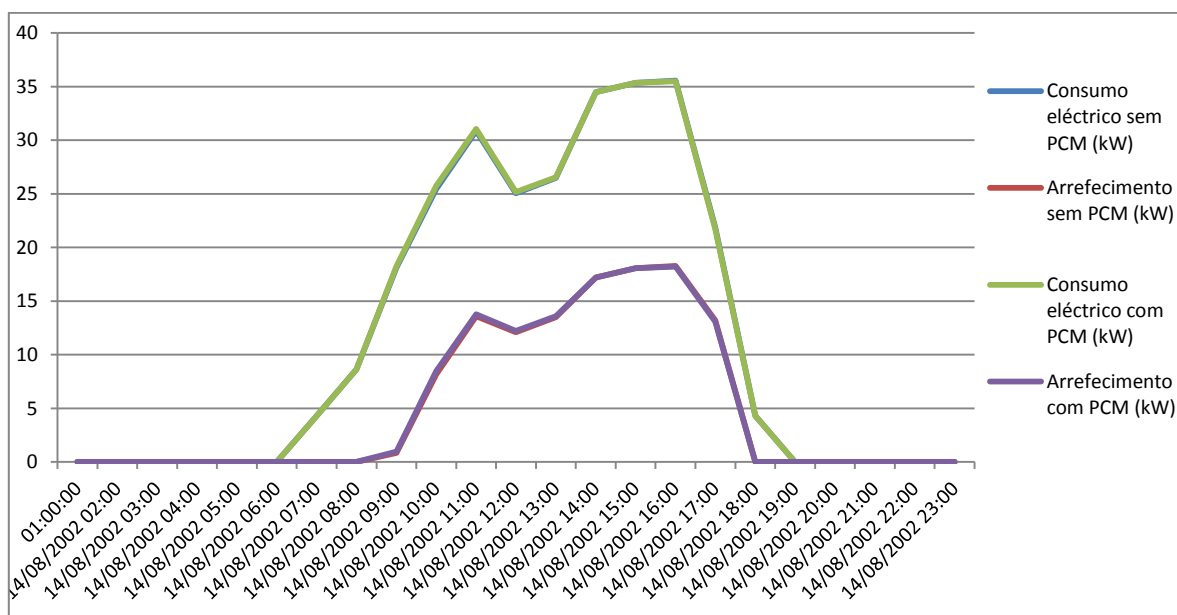


Figura 41 Gráfico das variações dos consumos de arrefecimento e de electricidade total no dia 14 Agosto



Na figura 42, está reproduzido o consumo anual de electricidade derivado do aquecimento no Inverno e do arrefecimento no Verão para os modelos com e sem PCM. No período de aquecimento (representado a vermelho e laranja), a solução com PCM é ligeiramente mais vantajosa. O mês de Janeiro é aquele em que a poupança é mais elevada atingindo os 8,5% de redução da energia despendida no aquecimento (2470,751 kWh com PCM contra 2698,842 kWh sem PCM). Nos meses de Maio e de Outubro o modelo com PCM apresenta mesmo zero de consumo neste parâmetro, isto é, não se torna necessário recorrer ao sistema de aquecimento mecânico. Nos quatro meses em que é preciso recorrer ao sistema de arrefecimento mecânico para manter as temperaturas numa zona de conforto, ambos os modelos são muito semelhantes, apresentando-se o modelo com PCM mais económico no mês de Junho, mas nos dois meses seguintes ligeiramente menos vantajoso, sendo no mês de Setembro praticamente iguais.

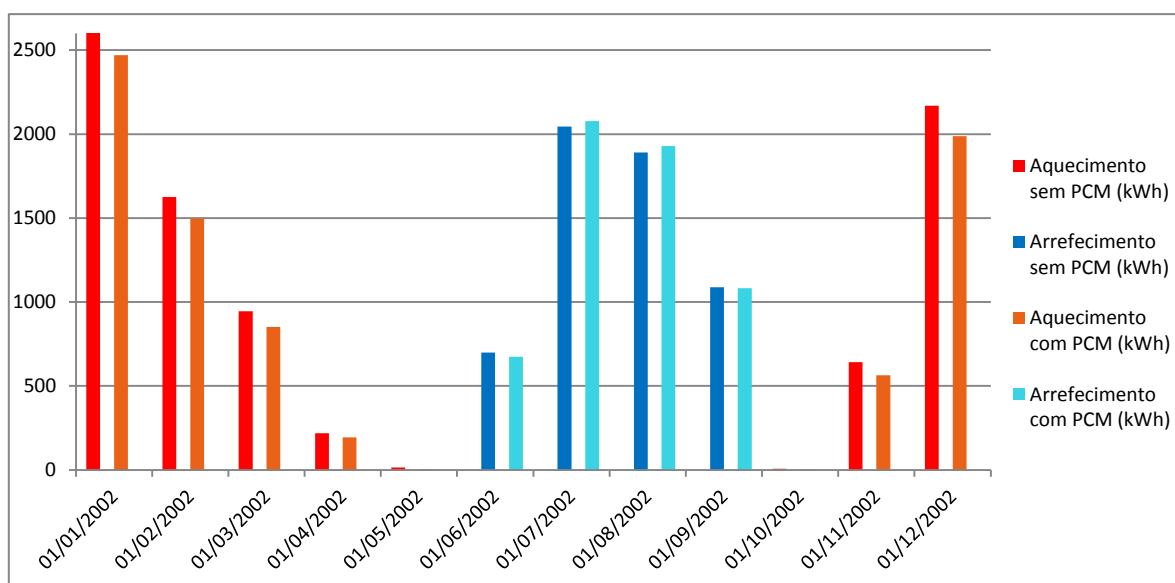


Figura 42 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e arrefecimento ao longo do ano

Após examinação atenta dos resultados obtidos verificou-se uma redução do consumo anual de aquecimento e arrefecimento na ordem dos 5,06%, visto que no modelo sem PCM essa rubrica apresenta um valor de 14042,06 kWh e no modelo com PCM o valor se reduziu para os 13331,85 kWh. Obviamente não é um valor muito expressivo, mas representa uma redução de consumo de electricidade. Se contabilizarmos ao nível do

edifício globalmente, 54630,6 kWh sem PCM e 53919,59 kWh no caso com PCM, a redução no consumo eléctrico fica-se pelos 1,3%. Porém, isso não faz qualquer sentido pelo simples facto de que cerca de 75% do consumo deste edifício correspondem a iluminação, computadores e equipamentos de escritório e, por isso, os revestimentos da envolvente não produzem qualquer influência nessa parcela.

4.3.4 Análise económica e análise crítica

De acordo com a informação fornecida pelo software, o custo de aquisição deste tipo de PCM ronda os 150 €/m², o que revela que este tipo de material ainda é dispendioso tal como se previa, por ser ainda um material pouco conhecido e que se baseia numa tecnologia recente e ainda em desenvolvimento. Logo, quando foi proposto o estudo e posterior avaliação deste material como solução em prol dos edifícios NZEB, já se sabia que dificilmente seria viável, e que tal só poderia acontecer, eventualmente, caso os resultados fossem muito expressivos em linha com as publicações de alguns investigadores.

Tomando em consideração que a área de PCM utilizada foi de 763,53 m², o custo total de aquisição do material rondaria os 114529 €. Uma vez que a poupança anual obtida na simulação foi de 711 kWh e que o custo da electricidade se estimou em 0,21 €/kWh, a poupança anual é de 149,31 €, sendo o retorno do investimento certamente >50 anos.

As razões que podem explicar estes resultados não serem tão bons como se esperaria poderão ser inúmeras. Uma das principais será com certeza o facto de o software aplicado não disponibilizar os PCMs mais eficientes, os PCMs por incorporação. Por isso foram utilizadas membranas com cápsulas que contêm o material de mudança de fase, pois são os PCMs que o programa admite. Outra das razões poderá ser o facto de o software apresentar uma espessura standard de apenas 12mm que não é editável, o que não é muito relevante em termos de revestimentos para construção.

4.4 Análise de resultados com isolamento em Viroc

Na figura 43 a) e b) estão ilustradas, respectivamente, as localizações e sequência das camadas que formam as paredes e cobertura utilizadas no modelo com Viroc. A espessura utilizada para o Viroc foi de 16 mm, e as propriedades deste material são as seguintes: condutividade 0,22 W/m-K, calor específico 4000 J/kg-K e densidade 1350 kg/m³.

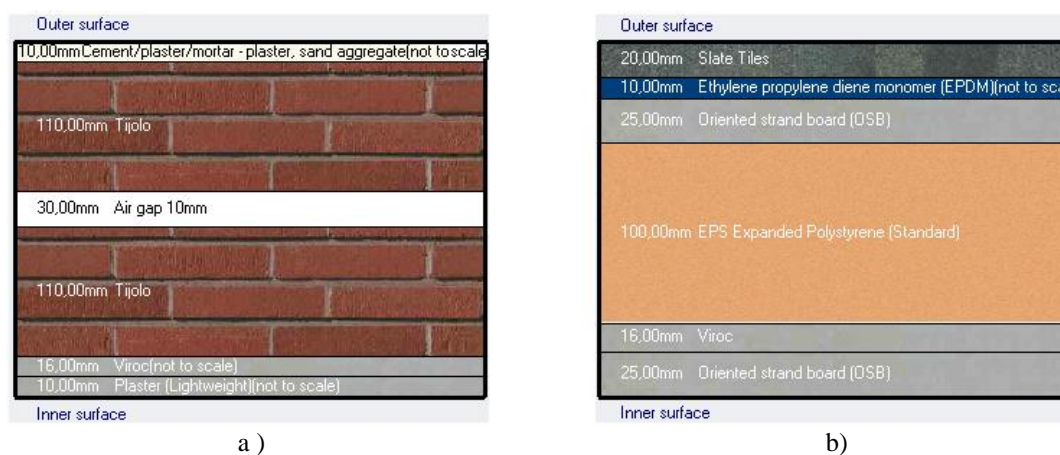


Figura 43 a) Esquema da constituição das paredes com Viroc; b) Esquema da constituição da cobertura com Viroc.

4.4.1 Análise de temperaturas e de consumos de electricidade para um dia típico de Inverno e outro dia típico de Verão

Na figura 44 encontra-se representado o gráfico que caracteriza as temperaturas do edifício com revestimento Viroc e sem revestimento ao longo do dia 1 de Janeiro. No contexto geral, pode-se afirmar que elas são iguais nesse período, pois não se verificam nenhuma variação significativas.

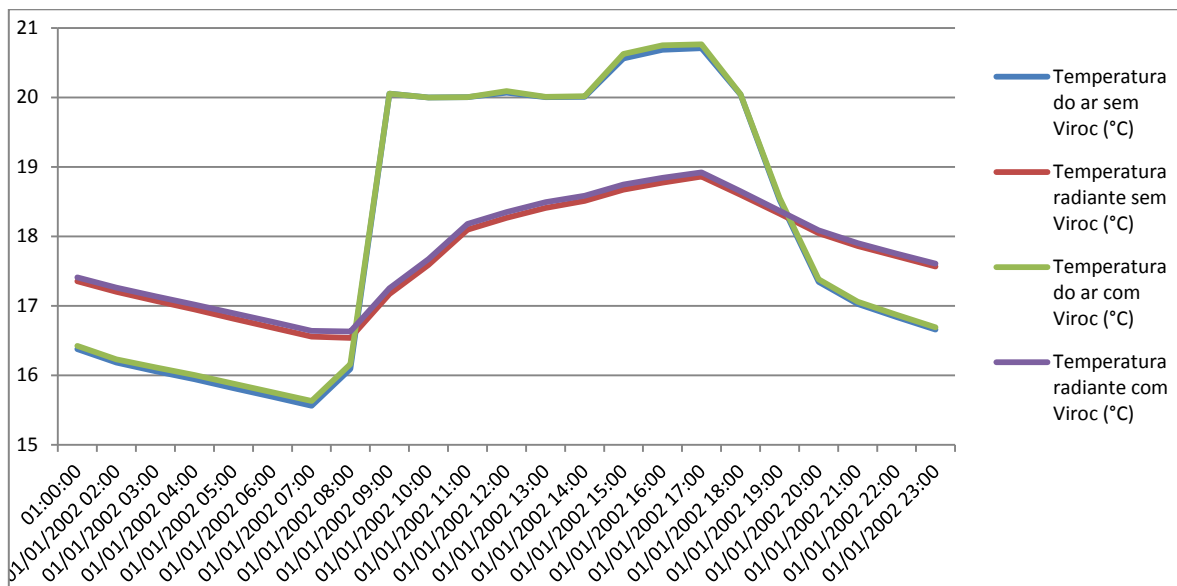


Figura 44 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Janeiro

Em termos de consumos de electricidade e da sua parcela relativa a aquecimento nota-se, através da observação da figura 45, que existe uma ligeira poupança de energia mas que tem muito pouca relevância, e visto que esse valor é mensurável, ajuda-nos a ter uma melhor percepção da sua importância no total do consumo diário. A poupança é de apenas 4,7 kWh, pois no modelo sem revestimento o consumo no dia 1 é 201,65 kWh e no modelo com revestimento de Viroc esse valor decresce para 196,97 kWh.

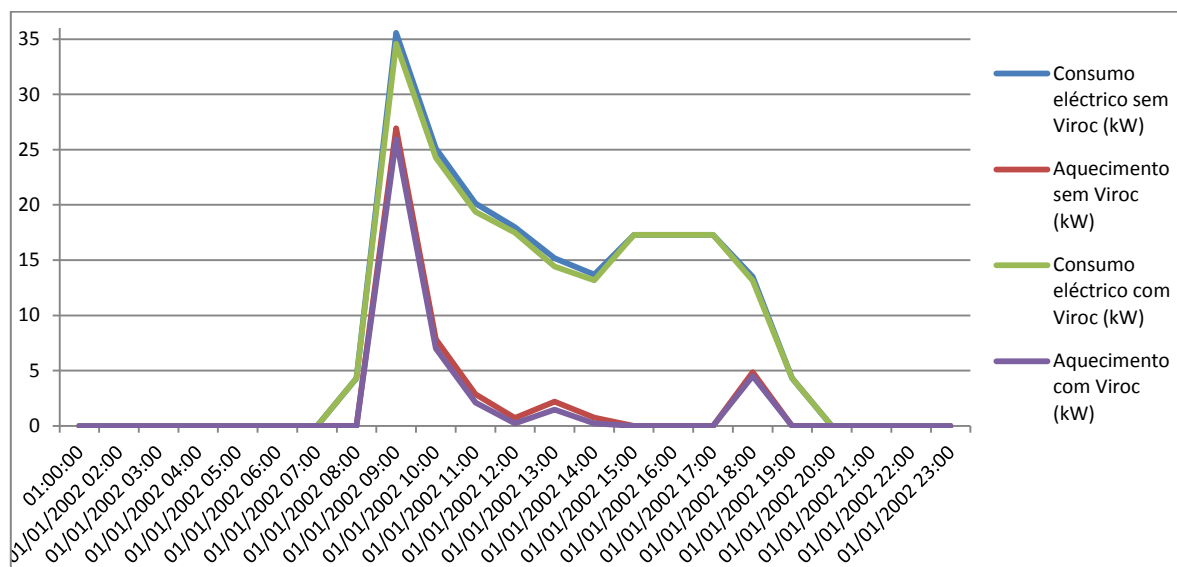


Figura 45 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e de electricidade total no dia 1 de Janeiro

Na figura 46, relativa às temperaturas verificadas no dia 1 de Agosto, verifica-se que durante a noite as temperaturas do modelo com Viroc são substancialmente mais reduzidas, mantendo-se ao mesmo nível entre as 9.30h e as 17.30h, período em que o ar condicionado em modo de arrefecimento determina que assim seja. Posteriormente, o modelo com Viroc demonstra ser novamente mais eficiente em manter a temperatura num estado inferior.

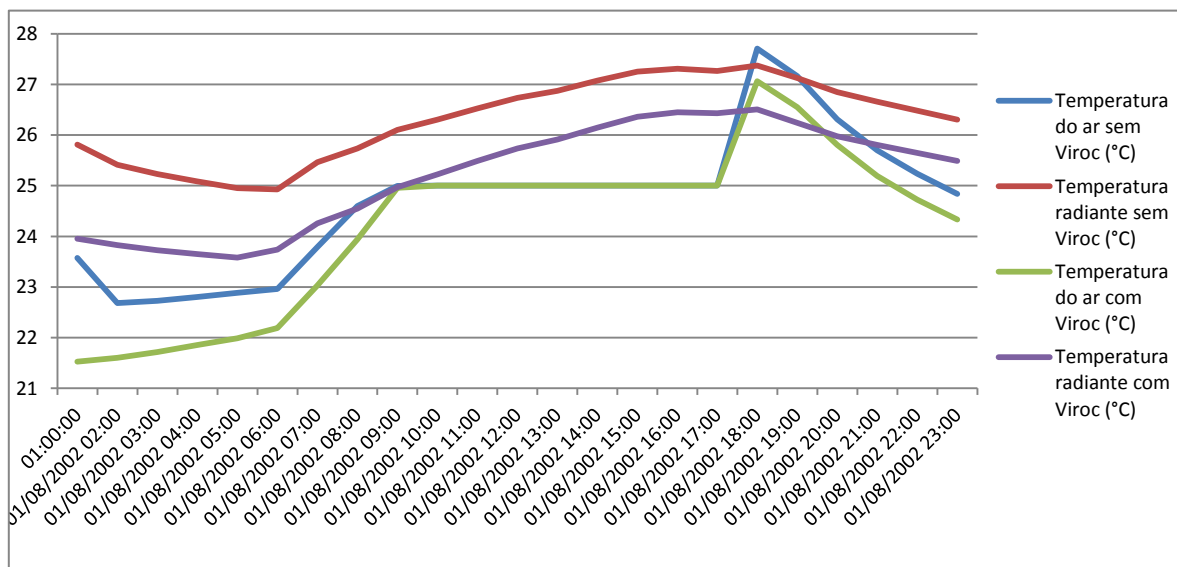


Figura 46 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Agosto

No gráfico da figura seguinte, respeitante ao consumo eléctrico total e ao consumo eléctrico destinado somente ao arrefecimento, constata-se definitivamente que no dia em questão, os consumos são inferiores no caso do modelo que contempla revestimento com Viroc. Porém, nem todos os dias do Verão apresentaram resultados tão positivos, sendo que a maioria deles as diferenças foram muito reduzidas e alguns inclusive pioraram.

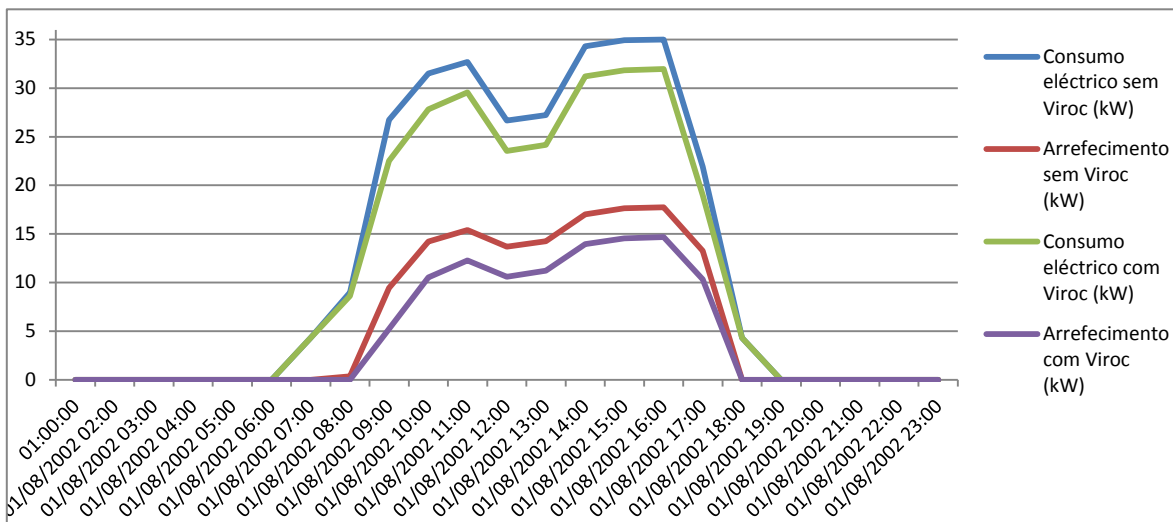


Figura 47 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Agosto

Por último, é possível visualizar, na figura abaixo, o gráfico correspondente ao desempenho energético anual, referente somente ao aquecimento e arrefecimento, que permite comparar as variações existentes entre o modelo sem revestimento e o modelo com revestimento de Viroc. Como é visível, nos meses frios consegue-se, uma vez mais, poupanças mais significativas. Exemplificando o mês de Janeiro, porventura o melhor, o aquecimento sofreu um decréscimo de 117,54 kWh, o que equivale a 4,36%.

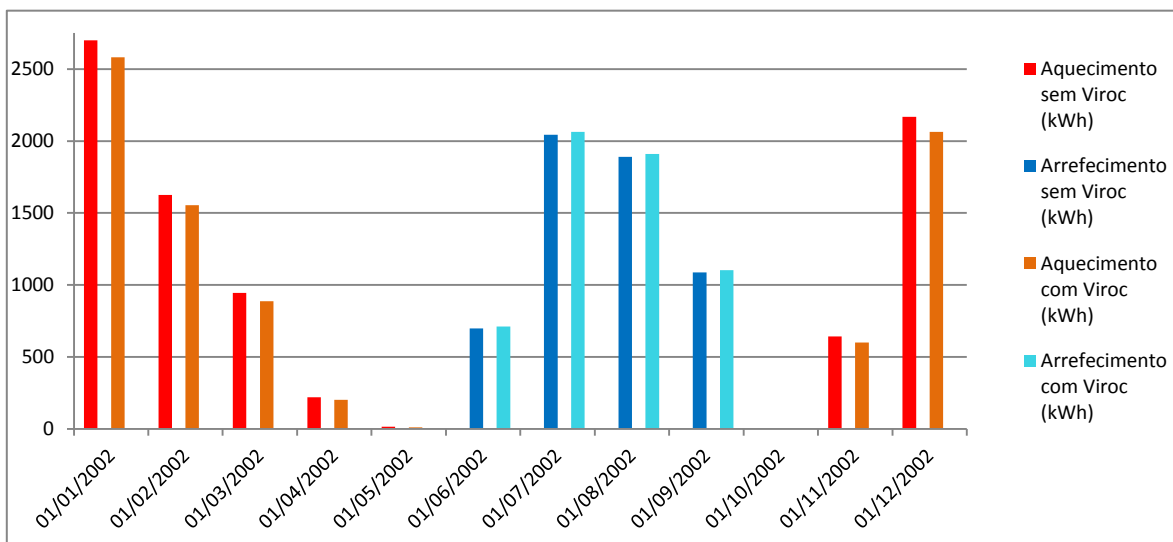


Figura 48 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e arrefecimento ao longo do ano

No contexto generalizado, a poupança anual da parcela referente ao aquecimento e arrefecimento fica-se pelos 2,5% (14042,49 kWh no modelo sem revestimento e 13697,4 kWh no modelo com revestimento Viroc), um valor também pouco expressivo e aquém do expectável.

4.4.2 Análise económica e análise crítica

Considerando a informação obtida em “Grupo Cimentos Madeira” [54], o preço do Viroc 16mm de espessura é de 13,87 €/m². Tendo uma área de 763,53 m² para revestir, implica um investimento de 10590,16 €.

Em linha com aquilo que foi visto anteriormente, a poupança anual foi somente de 345,5 kWh, e considerando o custo da electricidade de 0,21 €/kWh traduz-se num valor de 72,6 €. O tempo de retorno do investimento seria >50 anos.

Este material revelou alguma ineficiência não sendo viável para o modelo estudado. Devido também ao facto de existir uma enorme área de vãos envidraçados, a área a revestir mostrou ser insuficiente para tornar os resultados mais significativos.

4.5 Análise de resultados com isolamento em Cortiça

Na figura 49 a) e b) estão ilustradas, respectivamente, as localizações e sequência das camadas que formam as paredes e cobertura utilizadas no modelo com placas de cortiça. A espessura adoptada para a placa de cortiça foi de 4 cm, e as características deste material são as seguintes: condutividade 0,04 W/m-K, calor específico 1888 J/kg-K e densidade 160 kg/m³.

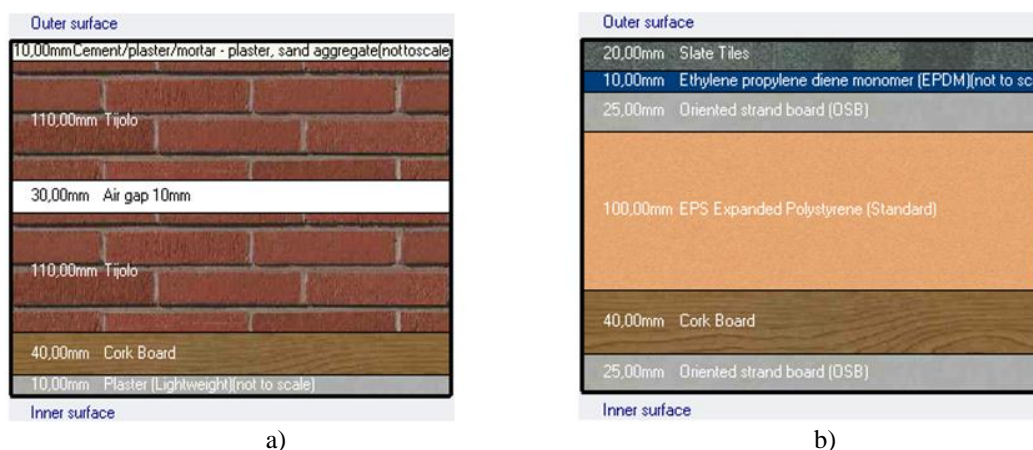


Figura 49 a) Esquema da constituição das paredes com Placa de Cortiça; b) Esquema da constituição da cobertura com Placa de Cortiça.

4.5.1 Análise de temperaturas e de consumos de electricidade para um dia típico de Inverno e outro dia típico de Verão

Na figura 50 retracts-se a variação das temperaturas do ar no modelo do edifício com placa de cortiça e sem placa de cortiça no dia 1 de Janeiro, tal como anteriormente foi efectuado para os PCMs. Constata-se que é uma solução bastante eficaz no que diz respeito ao conforto térmico, pois apresenta temperaturas claramente superiores ao longo de todo o dia. O único período em que as temperaturas do ar coincidem dá-se por volta das 8.30h, momento em que o ar condicionado está a funcionar para colocar a temperatura no *Setpoint* definido.

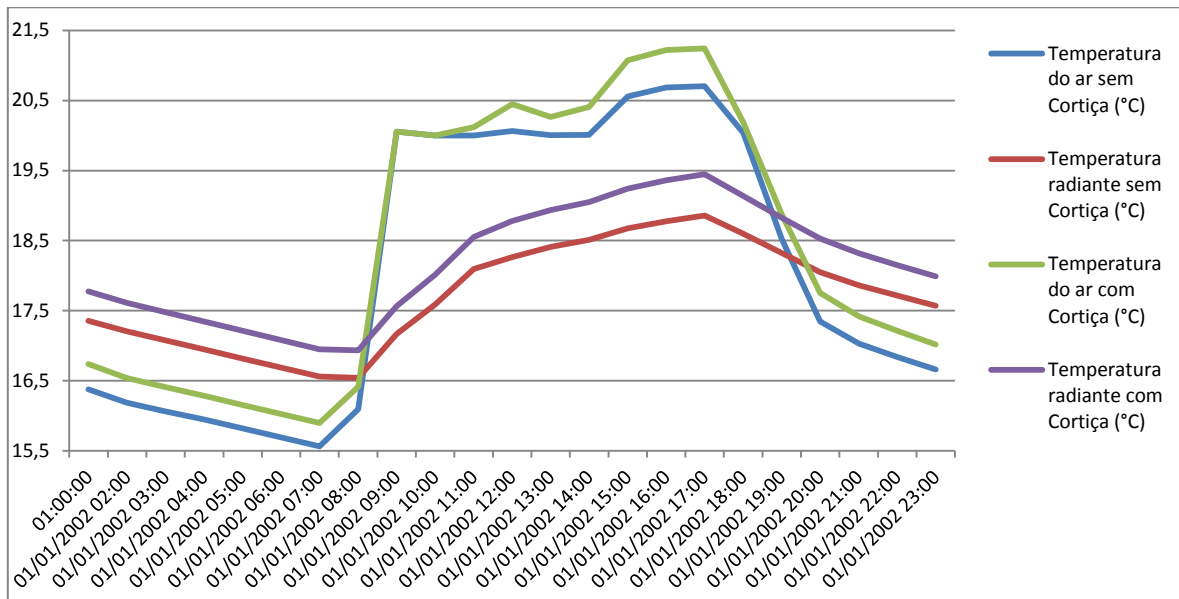


Figura 50 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 1 de Janeiro

Sem surpresas, essa tendência para a temperatura se manter sempre superior à do modelo sem cortiça vai-se reflectir nos consumos para o aquecimento, que serão naturalmente mais reduzidos visto que não se necessita de tanta energia para aquecer o ambiente. Esse comportamento pode ser observado no gráfico da figura 51, que é análogo ao gráfico homólogo para o modelo com PCM.

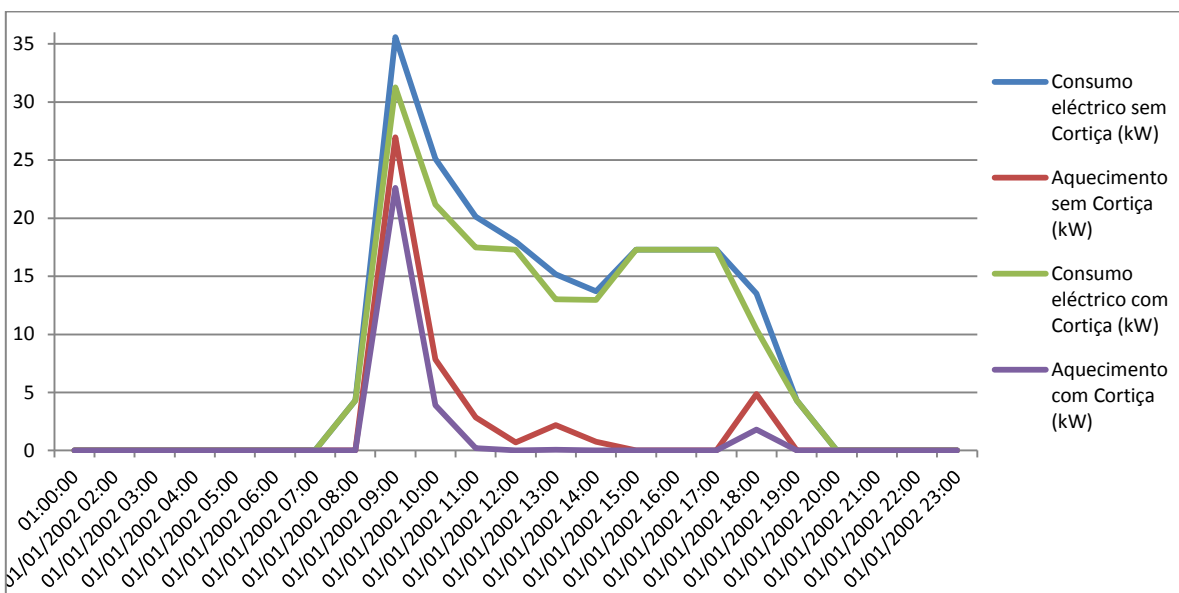


Figura 51 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e de electricidade total no dia 1 de Janeiro

Para o mesmo dia de Verão estudado anteriormente, a figura que se apresenta de seguida demonstra o desempenho do modelo com placa de cortiça comparativamente ao modelo que não tem esse revestimento. Como se constata, as diferenças entre eles são quase inexistentes. De uma forma pouco consistente, o modelo com placa de cortiça, durante o período nocturno, encontra-se abaixo da temperatura do modelo que não tem cortiça. Ao longo do dia as temperaturas são iguais, uma vez que o calor é muito elevado e requer que o ar condicionado esteja em constante funcionamento, arrefecendo a temperatura ambiente e mantendo-a nos 25°C estabelecidos no *Setpoint*. Por volta das 18.30h a temperatura atinge o pico mais elevado, ultrapassando os 27°C, e neste momento a temperatura do modelo sem placa de cortiça encontra-se ligeiramente abaixo, mas apenas por um curto intervalo de tempo, descendo ambas as temperaturas do ar de um modo idêntico com o desenrolar do final de tarde.

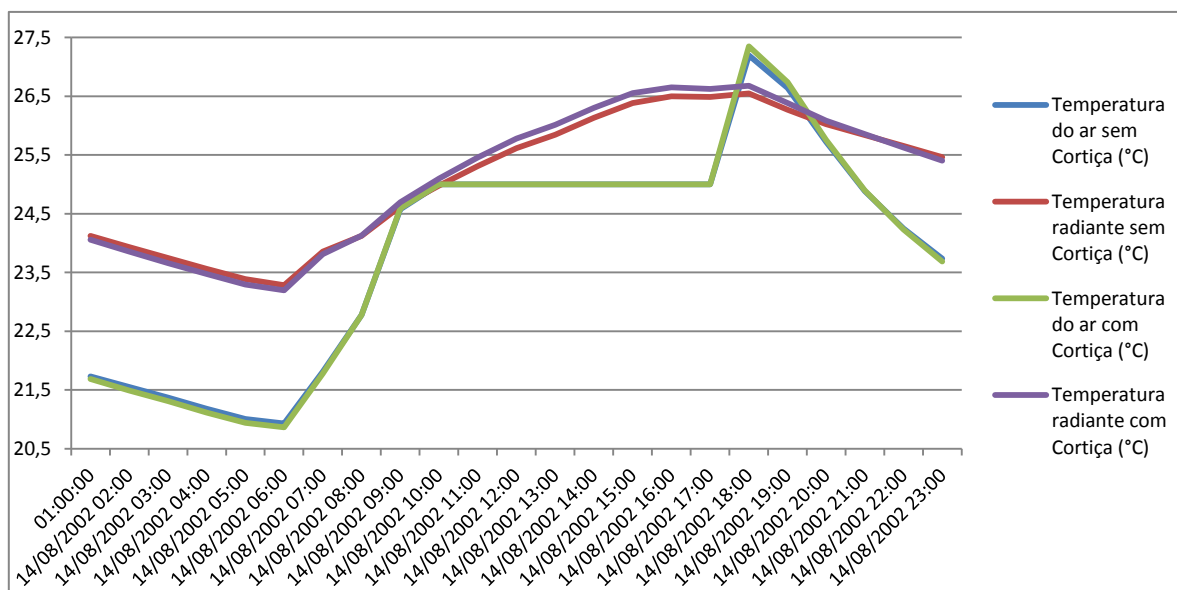


Figura 52 Gráfico das variações de temperaturas do ar e radiante no dia 14 de Agosto

Por sua vez, esse comportamento vai repercutir-se na figura 53, que ilustra os consumos referentes a esse mesmo dia. São praticamente idênticos, como seria de esperar, contudo o modelo sem placa de cortiça é mais económico entre, aproximadamente, as 11h e as 17h, mas de uma forma irrelevante obtendo uma poupança de apenas 4,38 kW no dia.

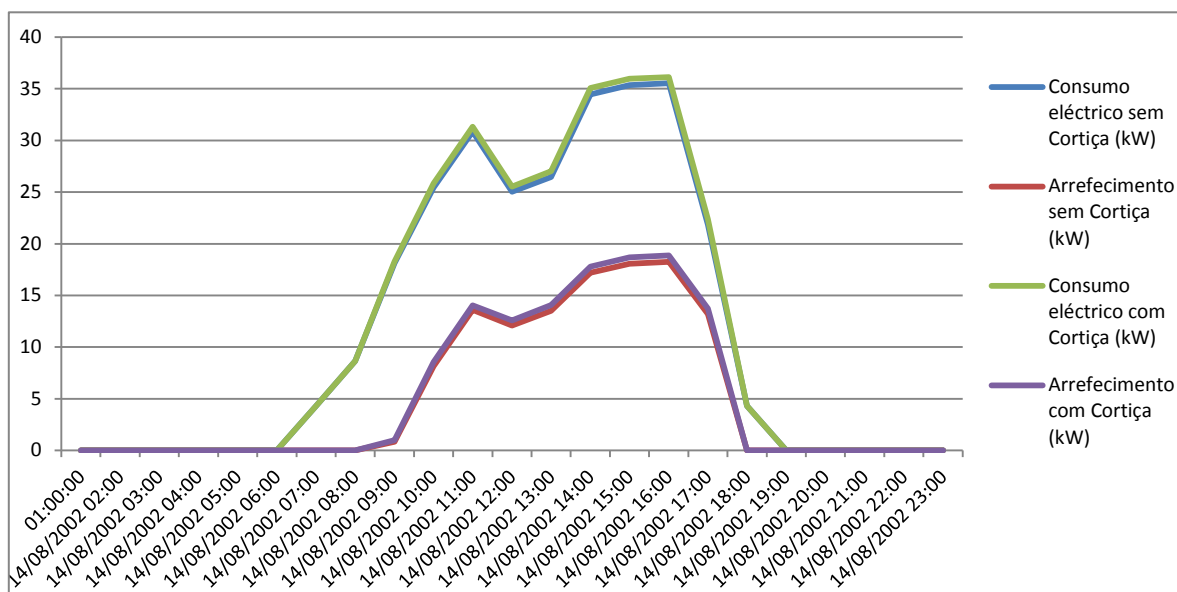


Figura 53 Gráfico das variações dos consumos de arrefecimento e de electricidade total no dia 14 de Agosto

Na figura 54, é possível analisar o consumo anual de electricidade referente ao aquecimento no Inverno e ao arrefecimento no Verão para os modelos com e sem placa de cortiça. No período que retrata o aquecimento (representado a vermelho e laranja), a solução com placa de cortiça é incontestavelmente mais económica. Tal como aconteceu na análise dos PCMs, o primeiro mês do ano foi aquele em que se conseguiu uma maior poupança, a rondar os 24% de redução da energia despendida no aquecimento (2054,654 kWh com placa de cortiça contra 2698,842 kWh sem placa de cortiça). Nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro, período referente ao ar condicionado para arrefecimento, o modelo sem placa de cortiça apresenta um consumo inferior, embora de uma forma ténue.

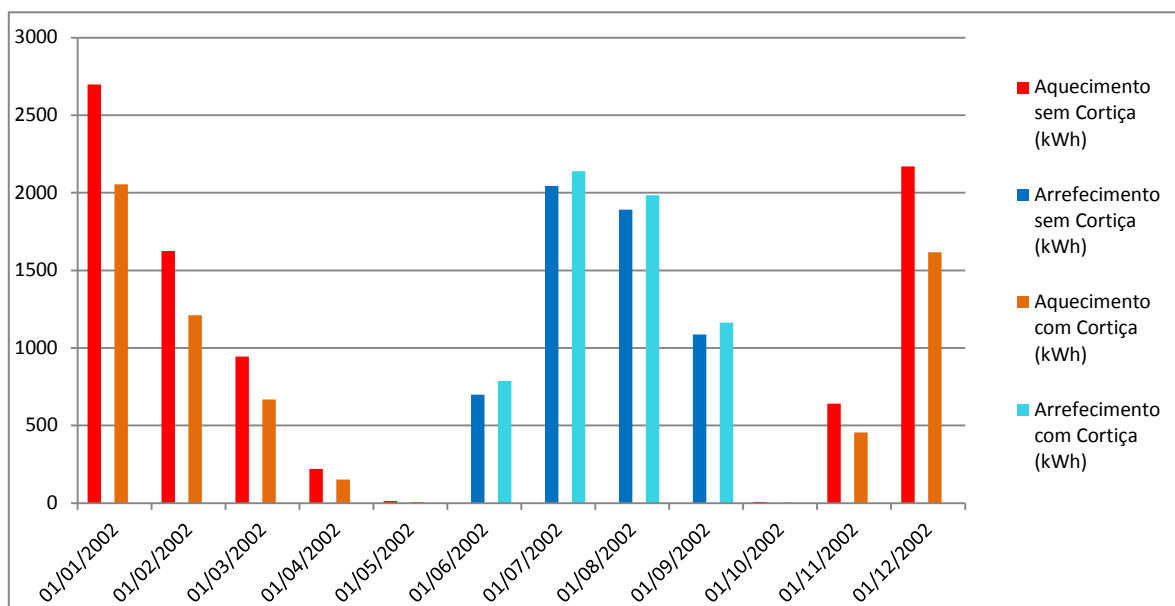


Figura 54 Gráfico das variações dos consumos de aquecimento e arrefecimento ao longo do ano

Posto isto, pode-se afirmar que é notória a redução do consumo anual de aquecimento e arrefecimento, atingindo um valor de 12,8% (14042,86 kWh no modelo sem placa de cortiça e apenas 12245,44 kWh no modelo com placa de cortiça). No consumo energético total, tem uma influência que permite alcançar os 3,3% de diminuição do mesmo. Estes resultados são inequivocamente melhores do que os obtidos nos modelos com PCM e com Viroc, tornando esta solução bastante atractiva pela sua eficácia.

4.5.2 Análise económica e análise crítica

De acordo com “Orçamentos e Orçamentação na construção civil” [55], o custo deste produto é de 7,56 €/m². No caso em questão, a área que é necessário revestir com este material é de 763,53 m², perfazendo um valor total de aquisição de 5772,29 €.

Como se verificou na análise dos resultados, a poupança anual foi de 1797,42 kWh, que tomando em conta o custo da electricidade de 0,21 €/kWh resulta num valor concreto de 377,46 €. O tempo de retorno do investimento seria então cerca de 15 anos.



A incorporação das placas de cortiça como camada de revestimento em fachadas e coberturas revelou ser bastante eficaz. Ainda assim, a sua eficácia seria superior noutros tipos de edifícios mais comuns, pois o edifício de escritórios modelado apresenta enormes áreas de vãos envidraçados. No caso de um edifício mais comum a poupança seria certamente muito superior e o tempo de retorno do investimento muito inferior.

Assume-se assim como uma opção importante a considerar para revestimentos de edifícios e que Portugal deveria esforçar-se por dinamizá-la, pois é um material natural, expressivo para a indústria e economia portuguesa, ecológico, reciclável, etc.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este capítulo final visa a apresentação das conclusões obtidas com a elaboração deste trabalho que focou os seguintes aspectos:

- Definição e enquadramento dos edifícios NZEB, face à legislação em vigor;
- Caracterização de tecnologias de revestimento: nano materiais, vidros geradores de energia, tintas reflectoras ara coberturas, materiais de mudança de fase, cortiça, viroc;
- Aplicação de diversos revestimentos a um edifício e estudo do seu comportamento do ponto de vista energético;
- Pretendeu-se deixar algumas sugestões para estudos e desenvolvimentos futuros que envolvam a pesquisa e análise de materiais de revestimento inovadores.

No presente trabalho começou-se por apresentar, de forma sucinta, o enquadramento histórico das preocupações ambientais. Seguidamente, fez-se uma abordagem do consumo energético a uma escala global, quantificando-se os consumos energéticos por regiões ou países, identificando-se os maiores produtores de energia e os maiores emissores de gases com efeito de estufa.

Foi assim possível constatar a importância do sector da energia no âmbito da economia mundial e daí inferir a necessidade de incrementar a eficiência energética dos edifícios, responsáveis por cerca de 40% da energia consumida globalmente. Consequentemente, o conceito dos edifícios NZEB assume uma particular relevância para se garantir a eficiência energética dos edifícios.



Apresentam-se as Directivas emanadas da CE que impõem critérios cada vez mais rigorosos para que a partir do ano 2020 todos os edifícios satisfaçam este novo paradigma - NZEB.

Foi estudado um conjunto de materiais de revestimento e soluções técnicas potencialmente relevantes para se conseguir traduzir o conceito NZEB numa realidade.

O desenvolvimento da nanotecnologia vem proporcionar um vasto leque de potencialidades, conferindo propriedades únicas aos materiais. Entre elas, uma maior rigidez e leveza dos materiais, que podem conduzir a uma menor utilização e redução de desperdícios dos mesmos.

Os vidros geradores de energia, apresentam-se como uma medida cada vez mais apreciada dado recente o aumento significativo da sua transparência, e bastante interessantes, na medida em que, hoje em dia, é corrente a utilização de grandes vãos envidraçados nas fachadas dos edifícios.

As tintas reflectoras prometem contribuir para estabilizar as temperaturas interiores dos edifícios através do impedimento da entrada de grande parte do calor proveniente do exterior, levando a uma menor necessidade de utilização de sistemas de arrefecimento.

Os PCMs caracterizam-se por ter a capacidade de alterar o seu estado físico consoante a temperatura, conseguindo absorver ou libertar energia da sua envolvência, podendo armazená-la em grandes quantidades. Podem ser inorgânicos e orgânicos, pelo que estes últimos são os mais utilizados. Relativamente à selecção do material de mudança de fase, há que ter em conta que o seu ponto de fusão deve situar-se próximo da temperatura média do espaço interior em questão, e os valores de condutividade térmica e de capacidade de armazenamento de calor devem ser adequados. Os PCMs podem ser utilizados em membranas com cápsulas que os contêm ou podem ser incorporados nos materiais de construção.

O caso de PCM em membranas com cápsulas foi o testado no modelo de simulação do presente trabalho, que embora seja menos eficiente, é o único disponibilizado pelo *software* utilizado. Os resultados obtidos foram pouco expressivos e o material revelou-

se economicamente inviável. É um material que ainda requer um investimento demasiado elevado e que ainda necessita de comprovar as suas potencialidades em determinados contextos.

Foi estudado no modelo de simulação outro material designado correntemente e comercialmente por Viroc, que se caracteriza por ser uma mistura de cimento com partículas de madeira que lhe conferem algumas características desejáveis como o aumento da flexibilidade, bom isolamento térmico e acústico. O modelo testado com este material comprovou que não é compensador do ponto de vista económico. Em relação ao conforto térmico, as melhorias foram insignificantes.

Com a elaboração deste trabalho descobriu-se ainda o enorme potencial na construção que as placas de cortiça aplicadas como revestimento apresentam. Além de ser um material 100% reciclável, que não contém tóxicos e de extrema relevância para a economia portuguesa, revelou bons resultados como isolante térmico conseguindo-se uma redução significativa do consumo de energia. Este material ecológico foi, claramente, o que melhores resultados demonstrou em termos económicos e de conforto térmico de entre os três materiais testados, com um tempo de retorno do investimento aceitável.

Em parte, os resultados obtidos da análise comparativa entre materiais de revestimento de fachadas e coberturas, que foi efectuada, explicar-se-ão pelo facto de o edifício do modelo testado apresentar vãos envidraçados significativos, o que não beneficia a aplicação de materiais de revestimento de fachadas em alvenaria e de revestimento de coberturas.

Como medida complementar estudou-se a monitorização dos edifícios que, como se constatou, é uma das medidas mais eficientes a nível de redução dos consumos energéticos, possibilitando poupanças de energia exorbitantes em alguns casos, como por exemplo o que foi visto neste trabalho em que baixou 43%.

O estudo de quaisquer soluções técnicas de materiais de revestimento deverá ser efectuada de forma a optimizar o conforto interior e a melhorar a eficiência energética do edifício.



A exigência crescente de redução de consumos de energia em edifícios impulsionará a criação de novos materiais de revestimento, pelo que é expectável que nos próximos anos, se assista a um desenvolvimento crescente de PCMs e de outros materiais desenvolvidos em laboratório. Haverá assim, trabalho a desenvolver no sentido de garantir que estes materiais se revelem como materiais de revestimento, de excelência.

Como potencialmente interessante, aponta-se o desenvolvimento dos PCMs incorporados em argamassas betões, ou outros elementos construtivos, sendo necessária investigação aprofundada, quanto a influência dos PCMs incorporados, na durabilidade dos elementos construtivos, na sua resistência mecânica, na fadiga, no comportamento em relação ao fogo e na transmissão térmica e conseqüente transferência de calor. Outras soluções técnicas e materiais de revestimento deverão ser desenvolvidos, testados, aplicados e avaliados com o objectivo de alcançar as características definidas para os edifícios NZEB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Clarisse Coutinho, “Universidade Federal Fluminense,” [Online]. [Acedido em Março 2013].
- [2] http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2013_pocketbook.pdf. “Eurostat,” [Online].
- [3] Lechtenbohmer and Schuring, “Study on the Energy Savings Potentials in Eu Member States, Candidate Countries and EEA Countries”.
- [4] “http://static.publico.pt/fichas/ambiente/efeito_estufa.html,” [Online]. [Acedido em 27 5 2013].
- [5] “europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_pt.htm” [Online]. [Acedido em Abril 2013].
- [6] European Council of Civil Engineers, “ecceengineers.eu,” [Online]. [Acedido em Junho 2013].
- [7] “<http://www.hotelstadthalle.at/en/>,” [Online].
- [8] D. Thomas, “The Crystal – London’s new eco building”.
- [9] “www.thecrystal.com/,” [Online]. [Acedido em 6 10 2013].
- [10] “<http://www.designboom.com/>,” [Online].
- [11] Namita Kandeyang, Khuketolu A. Kibami, Sujitesh Pillay, “Pearl River Tower, Guangzhou, China”.
- [12] “<http://www.socalgreenrealestateblog.com/>,” [Online].
- [13] Jarek Kurnitski, et. al. “How to define nearly net zero energy buildings nZEB - REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast”.
- [14] Attila Talamon, “GovernEE,” 25 february 2013. [Online].
- [15] “Directiva 2002/91/EC”.
- [16] “Directiva 2010/31/EU”.



- [17] “nanoshell,” [Online]. [Acedido em Junho 2013].
- [18] Feldman and Sereda, Sorption and Length-Change Scanning Isotherms of Methanol and Water on Hydrated Portland Cement, Tokyo 1968
- [19] Nonat, A., 2004. The structure and stoichiometry of C-S-H. *Cement and Concrete Research*, 34(8), 1521–1528.
- [20] F.Pacheco-Torgal, M.V. Diamanti, A.Nazari and C-G.Granqvist. “Nanotechnology in eco-efficient construction,” 2013.
- [21] Meng et al., 2008, Sato and Diallo, Tregger et al. e Sato and Beaudoin.
- [22] Tyson, B., Abu Al-Rub, R., Yazdanbakhsh, A., and Grasley, Z. “Carbon Nanotubes and Carbon Nanofibers for Enhancing the Mechanical Properties of Nanocomposite Cementitious Materials,” 2011.
- [23] Zhang, M.H. and Li, H., 2011. Pore structure and chloride permeability of concrete containing nano-particles for pavement. *Construction and Building Materials*, 25(2), 608–616.
- [24] Bjornstrom et. al., “Nanotechnology in Concrete Materials,” 2012.
- [25] Jo et al., 2007, Ye et al. e Senff et al., 2010.
- [26] Chun-Chao Chen, et. al, “Visibly Transparent Polymer Solar Cells Produced by Solution Processing, vol. 6’ no. 8’ 7185-7190’ 2012,” 2012.
- [27] “Noveda Technologies/solutions/energy-management/energyflow,” [Online]. [Acedido em Julho 2013].
- [28] “<http://www.timeout.com/new-york-kids/museums-attractions/liberty-science-center>,” [Online]. [Acedido em 04 10 2013].
- [29] “ClimateCooler.dk,” [Online]. [Acedido em Julho 2013]
- [30] “Corticeira Amorim,” [Online]. [Acedido em Agosto 2013].
- [31] Fernando Ribeiro, “green architecture notes,” 2010. [Online]. [Acedido em Agosto 2013].
- [32] Luís Gil et.at., “Nатурlink,” [Online]. [Acedido em 12 12 2013].
- [33] “www.viroc.pt,” [Online]. [Acedido em 30 11 2013].
- [34] “<http://www.futureeng.pt/placas-cimenticias>,” [Online]. [Acedido em 30 11 2013].
- [35] “<http://www.banema.pt/viroc>,” [Online]. [Acedido em 2 12 2013].
- [36] Zalba B, et. al. “Review on thermal energy storage with phase change materials,



- heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering* 2003;23(3):251-83”.
- [37] Khudhair AM and Farid MM, “A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conservation and Management* 2004;45(2):263-75”.
- [38] Yinping Zhang, Guobing Zhou, Kunping Lin, Qunli Zhang, Hongfa Di. “Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and Outlook”, 2006.
- [39] “treehugger,” [Online]. [Acedido em 29 9 2013].
- [40] “BASF,” [Online]. [Acedido em 17 10 2013].
- [41] Ruth Kelly, “Latent heat storage in building materials”. *Building Services Engineering, Diploma Dissertation, Dublin Institute of Technology, 1999.*
- [42] Kaasinen H., The absorption of phase change substances into commonly used building materials, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 27 (1992), pp. 173-179.
- [43] Darkwa K, Kim JS., “Heat transfer in neuron composite laminated phase-change drywall.,” 2004.
- [44] A.Abhat, S. Aboul-Enein, N. Malatidis., “Heat of fusion storage systems for solar heating applications, in: C. Den Quden (Ed.), *Thermal Storage of Solar Energy*, Martinus Nijhoff, 1981”.
- [45] R. Siegel, “Solidification of low conductivity material containing dispersed high conductivity particles, *Int. Heat Mass Transfer* 20 (1977) 1087–1089.”.
- [46] C.A. Bauer, R.A. Wirtz., “Thermal characteristics of a compact, passive thermal energy storage device,” 2000.
- [47] H. Mehling, S. Hiebler, F. Ziegler., “Latent heat storage using a PCM-graphite composite material, *Proceedings of Terrastock 2000—8th International Conference on Thermal Energy Storage*,” Stuttgart (Germany), 2000.
- [48] X. Py, R. Olives, S. Mauran, “Paraffin/porous-graphite-matrix composite as a high and constant power thermal storage material, *Int. J. Heat Mass Transfer* 44 (2001) 2727–2737. 375–380.”.
- [49] J. Fukai, Y. Hamada, Y. Morozumi, O. Miyatake, “Effect of carbon-fiber brushes



- on conductive heat transfer in phase change materials, *Int. J. Heat Mass Transfer* 45 (2002) 4781–4792.”.
- [50] Xiao M, Feng B, Gong KC., “Thermal performance of a high conductive shape-stabilized thermal storage material. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2001;69(3):293-6.”.
- [51] Zhang YP, Ding JH, Wang X, Yang R, Lin KP., “Influence of additives on thermal conductivity of shape stabilized phase change material. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2006;90(11):1692-702”.
- [52] Feldman et. al., "Latent heat storage in building materials, *Energy and Buildings*", 20 (1993), pp. 77-86.
- [53] “Norma UNE 12464-1, Artificial lighting of interiors; lighting of rooms with VDU work stations or VDU assisted workplaces”.
- [54] “Grupo Cimentos Madeira,” [Online]. [Acedido em 10 12 2013].
- [55] “<http://orcamentos.eu/>,” [Online]. [Acedido em 1 12 2013].
- [56] Gu, Z. et. al., ““Thermal Energy Recover from Air Conditioning System – Heat Recovery System Calculation and Phase Change Materials Development”, *Applied Thermal Engineering*, 24 (2004) 2511-2526.”.
- [57] “<http://www.wallcg.com/power-solar-panels-18962/>,” [Online]. [Acedido em 17 09 2013].



7

ANEXOS



7.1 Resultados da simulação - Cortiça

Anual

| Date/Time | Temperatura do ar sem Cortiça | Temperatura radiante sem Cortiça | Consumo eléctrico sem Cortiça | Aquecimento sem Cortiça | Arrefecimento sem Cortiça |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,86886 | 16,69773 | 6275,54 | 2698,842 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,19121 | 17,11871 | 4735,927 | 1625,755 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,13522 | 18,16635 | 4210,132 | 944,451 | 0 |
| 01/04/2002 | 19,99505 | 20,08926 | 3640,77 | 219,5804 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,65619 | 22,77804 | 3591,672 | 14,97378 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,31852 | 23,2264 | 3808,856 | 0 | 698,6836 |
| 01/07/2002 | 23,55573 | 24,76023 | 5621,081 | 0 | 2044,383 |
| 01/08/2002 | 23,63339 | 24,8698 | 5312,053 | 0 | 1890,864 |
| 01/09/2002 | 22,8042 | 23,70041 | 4352,897 | 0 | 1087,217 |
| 01/10/2002 | 22,74481 | 22,82354 | 3584,213 | 7,514745 | 0 |
| 01/11/2002 | 18,77663 | 18,82156 | 3907,479 | 641,7988 | 0 |
| 01/12/2002 | 17,03272 | 16,94484 | 5589,982 | 2168,793 | 0 |
| | | | 54630,6 | 8321,709 | 5721,148 |

| Date/Time | Temperatura do ar com Cortiça | Temperatura radiante com Cortiça | Consumo eléctrico com Cortiça | Aquecimento com Cortiça | Arrefecimento com Cortiça |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 17,1209 | 17,08263 | 5631,352 | 2054,654 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,46463 | 17,50009 | 4320,014 | 1209,842 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,46282 | 18,58566 | 3934,405 | 668,7238 | 0 |
| 01/04/2002 | 20,43856 | 20,60978 | 3573,153 | 151,964 | 0 |
| 01/05/2002 | 23,14721 | 23,34095 | 3584,155 | 7,456519 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,37949 | 23,36992 | 3898,658 | 0 | 788,4858 |
| 01/07/2002 | 23,57346 | 24,82723 | 5716,302 | 0 | 2139,604 |
| 01/08/2002 | 23,64433 | 24,92547 | 5405,625 | 0 | 1984,436 |
| 01/09/2002 | 22,82392 | 23,76301 | 4427,971 | 0 | 1162,29 |
| 01/10/2002 | 23,11056 | 23,24399 | 3581,443 | 4,744932 | 0 |
| 01/11/2002 | 19,12435 | 19,25321 | 3721,299 | 455,6186 | 0 |
| 01/12/2002 | 17,28161 | 17,31452 | 5038,813 | 1617,624 | 0 |
| | | | 52833,19 | 6170,628 | 6074,816 |



Mês de Janeiro, por hora

| Date/Time | Temperatura do ar sem Cortiça | Temperatura radiante sem Cortiça | Consumo eléctrico sem Cortiça | Aquecimento sem Cortiça |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01:00:00 | 16,37773 | 17,35514 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 02:00 | 16,18388 | 17,20188 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 03:00 | 16,062 | 17,07446 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 04:00 | 15,94641 | 16,94802 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 05:00 | 15,81732 | 16,81764 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 06:00 | 15,69198 | 16,68834 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 07:00 | 15,56259 | 16,55748 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 08:00 | 16,09175 | 16,53909 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 09:00 | 20,05541 | 17,16906 | 35,58249 | 26,94312 |
| 01/01/2002 10:00 | 20 | 17,58999 | 25,11077 | 7,832041 |
| 01/01/2002 11:00 | 20,00164 | 18,09544 | 20,12635 | 2,847619 |
| 01/01/2002 12:00 | 20,06598 | 18,26539 | 17,9808 | 0,702064 |
| 01/01/2002 13:00 | 20,00473 | 18,41171 | 15,16179 | 2,202736 |
| 01/01/2002 14:00 | 20,0086 | 18,51023 | 13,70915 | 0,750101 |
| 01/01/2002 15:00 | 20,55844 | 18,67379 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 16:00 | 20,68532 | 18,7738 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 17:00 | 20,70564 | 18,85932 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 18:00 | 20,03815 | 18,59678 | 13,50298 | 4,863607 |
| 01/01/2002 19:00 | 18,52291 | 18,32518 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 20:00 | 17,34717 | 18,04767 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 21:00 | 17,02922 | 17,86366 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 22:00 | 16,83887 | 17,71558 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 23:00 | 16,65787 | 17,56918 | 0 | 0 |

| Date/Time | Temperatura do ar com Cortiça | Temperatura radiante com Cortiça | Consumo eléctrico com Cortiça | Aquecimento com Cortiça |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01:00:00 | 16,73863 | 17,77427 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 02:00 | 16,53637 | 17,61085 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 03:00 | 16,40784 | 17,47633 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 04:00 | 16,28754 | 17,34505 | 0 | 0 |



| | | | | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| 01/01/2002 05:00 | 16,15461 | 17,21088 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 06:00 | 16,02667 | 17,07903 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 07:00 | 15,89491 | 16,94602 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 08:00 | 16,41363 | 16,93442 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 09:00 | 20,05574 | 17,56564 | 31,24151 | 22,60214 |
| 01/01/2002 10:00 | 20 | 18,01155 | 21,17182 | 3,893085 |
| 01/01/2002 11:00 | 20,12107 | 18,55242 | 17,47691 | 0,198171 |
| 01/01/2002 12:00 | 20,44694 | 18,7789 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 13:00 | 20,26391 | 18,937 | 13,01435 | 0,055304 |
| 01/01/2002 14:00 | 20,40929 | 19,05145 | 12,95905 | 0 |
| 01/01/2002 15:00 | 21,07497 | 19,24267 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 16:00 | 21,21987 | 19,35865 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 17:00 | 21,2431 | 19,44908 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 18:00 | 20,18583 | 19,13621 | 10,4359 | 1,79653 |
| 01/01/2002 19:00 | 18,87545 | 18,82621 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 20:00 | 17,75191 | 18,52737 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 21:00 | 17,4165 | 18,31676 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 22:00 | 17,21212 | 18,15005 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 23:00 | 17,01861 | 17,98829 | 0 | 0 |

Mês de Agosto, por hora

| Date/Time | Temperatura do ar sem Cortiça | Temperatura radiante sem Cortiça | Consumo eléctrico sem Cortiça | Arrefecimento sem Cortiça |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01:00:00 | 21,73108 | 24,11999 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 02:00 | 21,54752 | 23,92949 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 03:00 | 21,37062 | 23,74357 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 04:00 | 21,17856 | 23,56153 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 05:00 | 21,00639 | 23,38427 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 06:00 | 20,92985 | 23,28536 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 07:00 | 21,8091 | 23,85227 | 4,319684 | 0 |
| 14/08/2002 08:00 | 22,77437 | 24,11993 | 8,639368 | 0 |
| 14/08/2002 09:00 | 24,57557 | 24,621 | 18,12626 | 0,847521 |
| 14/08/2002 10:00 | 25 | 24,97942 | 25,43785 | 8,159117 |
| 14/08/2002 11:00 | 25 | 25,31026 | 30,87282 | 13,59409 |
| 14/08/2002 12:00 | 25 | 25,6143 | 25,04631 | 12,08725 |
| 14/08/2002 13:00 | 25 | 25,84248 | 26,47483 | 13,51578 |



| | | | | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| 14/08/2002 14:00 | 25 | 26,13108 | 34,46755 | 17,18882 |
| 14/08/2002 15:00 | 25 | 26,38342 | 35,35471 | 18,07597 |
| 14/08/2002 16:00 | 25 | 26,49523 | 35,54417 | 18,26544 |
| 14/08/2002 17:00 | 25 | 26,48909 | 21,85022 | 13,21085 |
| 14/08/2002 18:00 | 27,19627 | 26,54462 | 4,319684 | 0 |
| 14/08/2002 19:00 | 26,64049 | 26,26922 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 20:00 | 25,72128 | 26,02108 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 21:00 | 24,88651 | 25,83645 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 22:00 | 24,24782 | 25,65199 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 23:00 | 23,73395 | 25,46323 | 0 | 0 |
| | | | | 114,9448 |

| Date/Time | Temperatura do ar com Cortiça | Temperatura radiante com Cortiça | Consumo eléctrico com Cortiça | Arrefecimento com Cortiça |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01:00:00 | 21,68539 | 24,05897 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 02:00 | 21,49111 | 23,8532 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 03:00 | 21,3081 | 23,65814 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 04:00 | 21,11285 | 23,471 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 05:00 | 20,93995 | 23,29206 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 06:00 | 20,86513 | 23,19533 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 07:00 | 21,7769 | 23,81067 | 4,319684 | 0 |
| 14/08/2002 08:00 | 22,77633 | 24,1278 | 8,639368 | 0 |
| 14/08/2002 09:00 | 24,58865 | 24,69221 | 18,27541 | 0,996672 |
| 14/08/2002 10:00 | 25 | 25,09904 | 25,83365 | 8,554914 |
| 14/08/2002 11:00 | 25 | 25,45666 | 31,3204 | 14,04167 |
| 14/08/2002 12:00 | 25 | 25,7764 | 25,54928 | 12,59023 |
| 14/08/2002 13:00 | 25 | 26,01028 | 27,02803 | 14,06898 |
| 14/08/2002 14:00 | 25 | 26,3014 | 35,05972 | 17,78099 |
| 14/08/2002 15:00 | 25 | 26,55133 | 35,97821 | 18,69948 |
| 14/08/2002 16:00 | 25 | 26,65141 | 36,14187 | 18,86314 |
| 14/08/2002 17:00 | 25 | 26,62099 | 22,37093 | 13,73156 |
| 14/08/2002 18:00 | 27,34598 | 26,67877 | 4,319684 | 0 |
| 14/08/2002 19:00 | 26,73563 | 26,38433 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 20:00 | 25,7585 | 26,08526 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 21:00 | 24,89584 | 25,85326 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 22:00 | 24,22841 | 25,6267 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 23:00 | 23,68855 | 25,40135 | 0 | 0 |
| | | | | 119,3276 |



7.2 Resultados da simulação - Viroc

Anual

| Date/Time | Temperatura do ar sem Viroc | Temperatura radiante sem Viroc | Consumo eléctrico sem Viroc | Aquecimento sem Viroc | Arrefecimento sem Viroc |
|------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,86886 | 16,69773 | 6275,54 | 2698,842 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,19121 | 17,11871 | 4735,927 | 1625,755 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,13522 | 18,16635 | 4210,132 | 944,451 | 0 |
| 01/04/2002 | 19,99505 | 20,08926 | 3640,77 | 219,5804 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,65619 | 22,77804 | 3591,672 | 14,97378 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,31852 | 23,2264 | 3808,856 | 0 | 698,6836 |
| 01/07/2002 | 23,55573 | 24,76023 | 5621,081 | 0 | 2044,383 |
| 01/08/2002 | 23,63339 | 24,8698 | 5312,053 | 0 | 1890,864 |
| 01/09/2002 | 22,8042 | 23,70041 | 4352,897 | 0 | 1087,217 |
| 01/10/2002 | 22,74481 | 22,82354 | 3584,213 | 7,514745 | 0 |
| 01/11/2002 | 18,77663 | 18,82156 | 3907,479 | 641,7988 | 0 |
| 01/12/2002 | 17,03272 | 16,94484 | 5589,982 | 2168,793 | 0 |
| | 21,15679 | | 54630,6 | 8321,709 | 5721,148 |

| Date/Time | Temperatura do ar com Viroc | Temperatura radiante com Viroc | Consumo eléctrico com Viroc | Aquecimento com Viroc | Arrefecimento com Viroc |
|------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,90261 | 16,7538 | 6157,993 | 2581,295 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,21786 | 17,16008 | 4664,445 | 1554,273 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,1679 | 18,21259 | 4153,502 | 887,8214 | 0 |
| 01/04/2002 | 20,04498 | 20,14896 | 3623,303 | 202,1136 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,71893 | 22,84988 | 3588,783 | 12,08467 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,32477 | 23,24447 | 3822,678 | 0 | 712,5062 |
| 01/07/2002 | 23,55419 | 24,76665 | 5640,558 | 0 | 2063,86 |
| 01/08/2002 | 23,62995 | 24,87358 | 5331,475 | 0 | 1910,286 |
| 01/09/2002 | 22,8033 | 23,70609 | 4367,723 | 0 | 1102,042 |
| 01/10/2002 | 22,80845 | 22,8969 | 3583,209 | 6,511131 | 0 |
| 01/11/2002 | 18,82293 | 18,88164 | 3865,838 | 600,157 | 0 |
| 01/12/2002 | 17,06537 | 16,99791 | 5485,687 | 2064,498 | 0 |
| | 21,18488 | | 54285,19 | 7908,754 | 5788,694 |



Mês de Janeiro, por hora

| Date/Time | Temperatura do ar sem Viroc | Temperatura radiante sem Viroc | Consumo eléctrico sem Viroc | Aquecimento sem Viroc |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01:00:00 | 16,37773 | 17,35514 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 02:00 | 16,18388 | 17,20188 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 03:00 | 16,062 | 17,07446 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 04:00 | 15,94641 | 16,94802 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 05:00 | 15,81732 | 16,81764 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 06:00 | 15,69198 | 16,68834 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 07:00 | 15,56259 | 16,55748 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 08:00 | 16,09175 | 16,53909 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 09:00 | 20,05541 | 17,16906 | 35,58249 | 26,94312 |
| 01/01/2002 10:00 | 20 | 17,58999 | 25,11077 | 7,832041 |
| 01/01/2002 11:00 | 20,00164 | 18,09544 | 20,12635 | 2,847619 |
| 01/01/2002 12:00 | 20,06598 | 18,26539 | 17,9808 | 0,702064 |
| 01/01/2002 13:00 | 20,00473 | 18,41171 | 15,16179 | 2,202736 |
| 01/01/2002 14:00 | 20,0086 | 18,51023 | 13,70915 | 0,750101 |
| 01/01/2002 15:00 | 20,55844 | 18,67379 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 16:00 | 20,68532 | 18,7738 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 17:00 | 20,70564 | 18,85932 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 18:00 | 20,03815 | 18,59678 | 13,50298 | 4,863607 |
| 01/01/2002 19:00 | 18,52291 | 18,32518 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 20:00 | 17,34717 | 18,04767 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 21:00 | 17,02922 | 17,86366 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 22:00 | 16,83887 | 17,71558 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 23:00 | 16,65787 | 17,56918 | 0 | 0 |

| Date/Time | Temperatura do ar com Viroc | Temperatura radiante com Viroc | Consumo eléctrico com Viroc | Aquecimento com Viroc |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01/01/2002 01:00 | 16,4244 | 17,41074 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 02:00 | 16,23389 | 17,26143 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 03:00 | 16,11584 | 17,13867 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 04:00 | 16,0045 | 17,0174 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 05:00 | 15,87996 | 16,89255 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 06:00 | 15,7593 | 16,76892 | 0 | 0 |



| | | | | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| 01/01/2002 07:00 | 15,63454 | 16,64367 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 08:00 | 16,16316 | 16,6312 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 09:00 | 20,05607 | 17,25486 | 34,59545 | 25,95608 |
| 01/01/2002 10:00 | 20 | 17,67443 | 24,28489 | 7,006157 |
| 01/01/2002 11:00 | 20,0042 | 18,18023 | 19,38001 | 2,101279 |
| 01/01/2002 12:00 | 20,09067 | 18,35111 | 17,49966 | 0,220925 |
| 01/01/2002 13:00 | 20,00664 | 18,49326 | 14,4164 | 1,457344 |
| 01/01/2002 14:00 | 20,01653 | 18,58518 | 13,17328 | 0,214231 |
| 01/01/2002 15:00 | 20,62265 | 18,74717 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 16:00 | 20,74855 | 18,84238 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 17:00 | 20,76212 | 18,92113 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 18:00 | 20,04547 | 18,64743 | 13,13761 | 4,498238 |
| 01/01/2002 19:00 | 18,5546 | 18,36962 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 20:00 | 17,3832 | 18,08836 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 21:00 | 17,06276 | 17,90166 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 22:00 | 16,87115 | 17,75297 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 23:00 | 16,6905 | 17,60769 | 0 | 0 |

Mês de Agosto, por hora

| Date/Time | Temperatura do ar sem Viroc | Temperatura radiante sem Viroc | Consumo eléctrico sem Viroc | Arrefecimento sem Viroc |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01:00:00 | 23,57447 | 25,81224 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 02:00 | 22,68453 | 25,41239 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 03:00 | 22,72551 | 25,22883 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 04:00 | 22,80517 | 25,08318 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 05:00 | 22,88301 | 24,95281 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 06:00 | 22,96407 | 24,92722 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 07:00 | 23,78708 | 25,46413 | 4,319684 | 0 |
| 01/08/2002 08:00 | 24,5987 | 25,73307 | 9,000978 | 0,36161 |
| 01/08/2002 09:00 | 24,99806 | 26,10047 | 26,72046 | 9,441722 |
| 01/08/2002 10:00 | 25 | 26,30548 | 31,50467 | 14,22593 |
| 01/08/2002 11:00 | 25 | 26,52833 | 32,69103 | 15,4123 |
| 01/08/2002 12:00 | 25 | 26,73353 | 26,65822 | 13,69917 |
| 01/08/2002 13:00 | 25 | 26,87172 | 27,2227 | 14,26365 |
| 01/08/2002 14:00 | 25 | 27,0731 | 34,30503 | 17,02629 |
| 01/08/2002 15:00 | 25 | 27,25459 | 34,93871 | 17,65997 |
| 01/08/2002 16:00 | 25 | 27,30682 | 35,01269 | 17,73396 |



| | | | | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| 01/08/2002 17:00 | 25 | 27,26316 | 21,91483 | 13,27546 |
| 01/08/2002 18:00 | 27,70877 | 27,37205 | 4,319684 | 0 |
| 01/08/2002 19:00 | 27,16575 | 27,12632 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 20:00 | 26,31355 | 26,84905 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 21:00 | 25,69701 | 26,65674 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 22:00 | 25,23725 | 26,48273 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 23:00 | 24,84083 | 26,30487 | 0 | 0 |

| Date/Time | Temperatura do ar com Viroc | Temperatura radiante com Viroc | Consumo eléctrico com Viroc | Arrefecimento com Viroc |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01/08/2002 01:00 | 21,52639 | 23,95425 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 02:00 | 21,60014 | 23,82584 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 03:00 | 21,71589 | 23,72659 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 04:00 | 21,85396 | 23,64796 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 05:00 | 21,98635 | 23,57963 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 06:00 | 22,19255 | 23,74011 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 07:00 | 23,03134 | 24,25618 | 4,319684 | 0 |
| 01/08/2002 08:00 | 23,9402 | 24,5496 | 8,639368 | 0 |
| 01/08/2002 09:00 | 24,95753 | 24,96996 | 22,51909 | 5,240357 |
| 01/08/2002 10:00 | 25 | 25,22182 | 27,82458 | 10,54585 |
| 01/08/2002 11:00 | 25 | 25,49123 | 29,56196 | 12,28323 |
| 01/08/2002 12:00 | 25 | 25,73784 | 23,54826 | 10,58921 |
| 01/08/2002 13:00 | 25 | 25,91204 | 24,17978 | 11,22073 |
| 01/08/2002 14:00 | 25 | 26,14554 | 31,22729 | 13,94856 |
| 01/08/2002 15:00 | 25 | 26,36243 | 31,82262 | 14,54389 |
| 01/08/2002 16:00 | 25 | 26,44686 | 31,97055 | 14,69181 |
| 01/08/2002 17:00 | 25 | 26,43333 | 18,98456 | 10,34519 |
| 01/08/2002 18:00 | 27,06394 | 26,50577 | 4,319684 | 0 |
| 01/08/2002 19:00 | 26,55282 | 26,24354 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 20:00 | 25,80498 | 25,97845 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 21:00 | 25,19307 | 25,8056 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 22:00 | 24,72556 | 25,64792 | 0 | 0 |
| 01/08/2002 23:00 | 24,33202 | 25,48929 | 0 | 0 |



7.3 Resultados da simulação - PCM

Anual

| Date/Time | Temperatura do ar sem PCM | Temperatura radiante sem PCM | Consumo eléctrico sem PCM | Aquecimento sem PCM | Arrefecimento sem PCM |
|------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,86886 | 16,69773 | 6275,54 | 2698,842 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,19121 | 17,11871 | 4735,927 | 1625,755 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,13522 | 18,16635 | 4210,132 | 944,451 | 0 |
| 01/04/2002 | 19,99505 | 20,08926 | 3640,77 | 219,5804 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,65619 | 22,77804 | 3591,672 | 14,97378 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,31852 | 23,2264 | 3808,856 | 0 | 698,6836 |
| 01/07/2002 | 23,55573 | 24,76023 | 5621,081 | 0 | 2044,383 |
| 01/08/2002 | 23,63339 | 24,8698 | 5312,053 | 0 | 1890,864 |
| 01/09/2002 | 22,8042 | 23,70041 | 4352,897 | 0 | 1087,217 |
| 01/10/2002 | 22,74481 | 22,82354 | 3584,213 | 7,514745 | 0 |
| 01/11/2002 | 18,77663 | 18,82156 | 3907,479 | 641,7988 | 0 |
| 01/12/2002 | 17,03272 | 16,94484 | 5589,982 | 2168,793 | 0 |
| | | | 54630,602 | 8321,7087 | 5721,148 |

| Date/Time | Temperatura do ar com PCM | Temperatura radiante com PCM | Consumo eléctrico com PCM | Aquecimento com PCM | Arrefecimento com PCM |
|------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,90773 | 16,77075 | 6047,449 | 2470,751 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,2134 | 17,15878 | 4608,399 | 1498,227 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,17823 | 18,22574 | 4116,648 | 850,9677 | 0 |
| 01/04/2002 | 20,00515 | 20,10328 | 3614,785 | 193,5957 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,64012 | 22,76424 | 3581,159 | 4,461471 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,31784 | 23,25154 | 3784,121 | 0 | 673,9493 |
| 01/07/2002 | 23,56733 | 24,80541 | 5654,013 | 0 | 2077,315 |
| 01/08/2002 | 23,65099 | 24,92082 | 5349,351 | 0 | 1928,161 |
| 01/09/2002 | 22,81178 | 23,73815 | 4347,817 | 0 | 1082,137 |
| 01/10/2002 | 23,07977 | 23,21081 | 3576,783 | 0,085517 | 0 |
| 01/11/2002 | 18,9113 | 18,98573 | 3829,661 | 563,9802 | 0 |
| 01/12/2002 | 17,05958 | 16,9977 | 5409,411 | 1988,222 | 0 |
| | | | 53919,597 | 7570,2906 | 5761,562 |



Mês de Janeiro, por hora

| Date/Time | Temperatura do ar sem PCM | Temperatura radiante sem PCM | Consumo eléctrico sem PCM | Aquecimento sem PCM |
|------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01:00:00 | 16,37773 | 17,35514 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 02:00 | 16,18388 | 17,20188 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 03:00 | 16,062 | 17,07446 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 04:00 | 15,94641 | 16,94802 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 05:00 | 15,81732 | 16,81764 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 06:00 | 15,69198 | 16,68834 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 07:00 | 15,56259 | 16,55748 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 08:00 | 16,09175 | 16,53909 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 09:00 | 20,05541 | 17,16906 | 35,58249 | 26,94312 |
| 01/01/2002 10:00 | 20 | 17,58999 | 25,11077 | 7,832041 |
| 01/01/2002 11:00 | 20,00164 | 18,09544 | 20,12635 | 2,847619 |
| 01/01/2002 12:00 | 20,06598 | 18,26539 | 17,9808 | 0,702064 |
| 01/01/2002 13:00 | 20,00473 | 18,41171 | 15,16179 | 2,202736 |
| 01/01/2002 14:00 | 20,0086 | 18,51023 | 13,70915 | 0,750101 |
| 01/01/2002 15:00 | 20,55844 | 18,67379 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 16:00 | 20,68532 | 18,7738 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 17:00 | 20,70564 | 18,85932 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 18:00 | 20,03815 | 18,59678 | 13,50298 | 4,863607 |
| 01/01/2002 19:00 | 18,52291 | 18,32518 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 20:00 | 17,34717 | 18,04767 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 21:00 | 17,02922 | 17,86366 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 22:00 | 16,83887 | 17,71558 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 23:00 | 16,65787 | 17,56918 | 0 | 0 |

| Date/Time | Temperatura do ar com PCM | Temperatura radiante com PCM | Consumo eléctrico com PCM | Aquecimento com PCM |
|------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01:00:00 | 16,76739 | 17,79209 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 02:00 | 16,56993 | 17,63388 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 03:00 | 16,44563 | 17,50367 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 04:00 | 16,3283 | 17,37516 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 05:00 | 16,19665 | 17,24202 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 06:00 | 16,069 | 17,11011 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 07:00 | 15,93656 | 16,97608 | 0 | 0 |



| | | | | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| 01/01/2002 08:00 | 16,45859 | 16,96305 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 09:00 | 20,05525 | 17,5835 | 31,17999 | 22,54062 |
| 01/01/2002 10:00 | 20,00039 | 18,01085 | 21,37222 | 4,093482 |
| 01/01/2002 11:00 | 20,14071 | 18,53518 | 17,94515 | 0,666413 |
| 01/01/2002 12:00 | 20,3818 | 18,72157 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 13:00 | 20,16032 | 18,8387 | 13,01858 | 0,059533 |
| 01/01/2002 14:00 | 20,27633 | 18,92102 | 12,95905 | 0 |
| 01/01/2002 15:00 | 20,92383 | 19,08865 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 16:00 | 21,0519 | 19,18418 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 17:00 | 21,05981 | 19,25764 | 17,27873 | 0 |
| 01/01/2002 18:00 | 20,09975 | 18,93485 | 11,29074 | 2,651368 |
| 01/01/2002 19:00 | 18,7305 | 18,62588 | 4,319684 | 0 |
| 01/01/2002 20:00 | 17,59103 | 18,32754 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 21:00 | 17,26529 | 18,1306 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 22:00 | 17,07347 | 17,97962 | 0 | 0 |
| 01/01/2002 23:00 | 16,89192 | 17,83164 | 0 | 0 |

Mês de Agosto, por hora

| Date/Time | Temperatura do ar sem PCM | Temperatura radiante sem PCM | Consumo eléctrico sem PCM | Arrefecimento sem PCM |
|------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 01:00:00 | 21,73108 | 24,11999 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 02:00 | 21,54752 | 23,92949 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 03:00 | 21,37062 | 23,74357 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 04:00 | 21,17856 | 23,56153 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 05:00 | 21,00639 | 23,38427 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 06:00 | 20,92985 | 23,28536 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 07:00 | 21,8091 | 23,85227 | 4,319684 | 0 |
| 14/08/2002 08:00 | 22,77437 | 24,11993 | 8,639368 | 0 |
| 14/08/2002 09:00 | 24,57557 | 24,621 | 18,12626 | 0,847521 |
| 14/08/2002 10:00 | 25 | 24,97942 | 25,43785 | 8,159117 |
| 14/08/2002 11:00 | 25 | 25,31026 | 30,87282 | 13,59409 |
| 14/08/2002 12:00 | 25 | 25,6143 | 25,04631 | 12,08725 |
| 14/08/2002 13:00 | 25 | 25,84248 | 26,47483 | 13,51578 |
| 14/08/2002 14:00 | 25 | 26,13108 | 34,46755 | 17,18882 |
| 14/08/2002 15:00 | 25 | 26,38342 | 35,35471 | 18,07597 |
| 14/08/2002 16:00 | 25 | 26,49523 | 35,54417 | 18,26544 |
| 14/08/2002 17:00 | 25 | 26,48909 | 21,85022 | 13,21085 |



| | | | | |
|------------------|----------|----------|----------|---|
| 14/08/2002 18:00 | 27,19627 | 26,54462 | 4,319684 | 0 |
| 14/08/2002 19:00 | 26,64049 | 26,26922 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 20:00 | 25,72128 | 26,02108 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 21:00 | 24,88651 | 25,83645 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 22:00 | 24,24782 | 25,65199 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 23:00 | 23,73395 | 25,46323 | 0 | 0 |

| Date/Time | Temperatura do ar com PCM | Temperatura radiante com PCM | Consumo eléctrico com PCM | Arrefecimento com PCM |
|------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| | (°C) | (°C) | (kW) | (kW) |
| 14/08/2002 01:00 | 21,68045 | 24,04421 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 02:00 | 21,51381 | 23,87769 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 03:00 | 21,36277 | 23,72905 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 04:00 | 21,20109 | 23,59098 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 05:00 | 21,05878 | 23,45656 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 06:00 | 21,00979 | 23,39666 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 07:00 | 21,88731 | 23,96083 | 4,319684 | 0 |
| 14/08/2002 08:00 | 22,84982 | 24,23363 | 8,639368 | 0 |
| 14/08/2002 09:00 | 24,61421 | 24,7196 | 18,24199 | 0,963252 |
| 14/08/2002 10:00 | 25 | 25,073 | 25,72754 | 8,448803 |
| 14/08/2002 11:00 | 25 | 25,39312 | 31,04578 | 13,76705 |
| 14/08/2002 12:00 | 25 | 25,68024 | 25,17061 | 12,21156 |
| 14/08/2002 13:00 | 25 | 25,88346 | 26,54539 | 13,58634 |
| 14/08/2002 14:00 | 25 | 26,14939 | 34,4877 | 17,20896 |
| 14/08/2002 15:00 | 25 | 26,39369 | 35,36028 | 18,08155 |
| 14/08/2002 16:00 | 25 | 26,48711 | 35,48342 | 18,20468 |
| 14/08/2002 17:00 | 25 | 26,46127 | 21,7122 | 13,07283 |
| 14/08/2002 18:00 | 27,16401 | 26,49904 | 4,319684 | 0 |
| 14/08/2002 19:00 | 26,58576 | 26,19568 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 20:00 | 25,65814 | 25,91151 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 21:00 | 24,8089 | 25,71412 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 22:00 | 24,15865 | 25,52132 | 0 | 0 |
| 14/08/2002 23:00 | 23,63883 | 25,32953 | 0 | 0 |



Diferentes tipos de PCM

Sem PCM

| Date/Time | Temperatura do ar sem PCM | Radiant Temperature sem PCM | Consumo eléctrico sem PCM | Aquecimento sem PCM | Arrefecimento sem PCM |
|------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,86886 | 16,69773 | 6275,54 | 2698,842 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,19121 | 17,11871 | 4735,927 | 1625,755 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,13522 | 18,16635 | 4210,132 | 944,451 | 0 |
| 01/04/2002 | 19,99505 | 20,08926 | 3640,77 | 219,5804 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,65619 | 22,77804 | 3591,672 | 14,97378 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,31852 | 23,2264 | 3808,856 | 0 | 698,6836 |
| 01/07/2002 | 23,55573 | 24,76023 | 5621,081 | 0 | 2044,383 |
| 01/08/2002 | 23,63339 | 24,8698 | 5312,053 | 0 | 1890,864 |

Com PCM 21

| Date/Time | Temperatura do ar com PCM 21 | Radiant Temperature com PCM 21 | Consumo eléctrico com PCM 21 | Aquecimento com PCM 21 | Arrefecimento com PCM 21 |
|------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,91536 | 16,78172 | 6033,339 | 2456,641 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,21283 | 17,1581 | 4608,625 | 1498,453 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,1746 | 18,22172 | 4117,062 | 851,3812 | 0 |
| 01/04/2002 | 19,96281 | 20,05503 | 3613,589 | 192,3999 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,66355 | 22,79016 | 3578,719 | 2,02078 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,33349 | 23,27465 | 3811,698 | 0 | 701,5255 |
| 01/07/2002 | 23,57372 | 24,81955 | 5676,981 | 0 | 2100,284 |
| 01/08/2002 | 23,65259 | 24,92976 | 5369,514 | 0 | 1948,325 |

Com PCM 23

| Date/Time | Temperatura do ar com PCM 23 | Radiant Temperature com PCM 23 | Consumo eléctrico com PCM 23 | Aquecimento com PCM 23 | Arrefecimento com PCM 23 |
|------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,90773 | 16,77075 | 6047,449 | 2470,751 | 0 |



| | | | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 01/02/2002 | 17,2134 | 17,15878 | 4608,399 | 1498,227 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,17823 | 18,22574 | 4116,648 | 850,9677 | 0 |
| 01/04/2002 | 20,00515 | 20,10328 | 3614,785 | 193,5957 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,64012 | 22,76424 | 3581,159 | 4,461471 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,31784 | 23,25154 | 3784,121 | 0 | 673,9493 |
| 01/07/2002 | 23,56733 | 24,80541 | 5654,013 | 0 | 2077,315 |
| 01/08/2002 | 23,65099 | 24,92082 | 5349,351 | 0 | 1928,161 |

Com PCM 25

| Date/Time | Temperatura do ar com PCM 25 | Radiant Temperature com PCM 25 | Consumo eléctrico com PCM 25 | Aquecimento com PCM 25 | Arrefecimento com PCM 25 |
|------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,89289 | 16,74857 | 6081,369 | 2504,671 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,21329 | 17,1581 | 4611,383 | 1501,211 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,18103 | 18,22865 | 4118,381 | 852,7002 | 0 |
| 01/04/2002 | 20,08344 | 20,19185 | 3616,544 | 195,3549 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,76161 | 22,90042 | 3587,402 | 10,70413 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,33939 | 23,28148 | 3822,676 | 0 | 712,5036 |
| 01/07/2002 | 23,54753 | 24,77372 | 5603,175 | 0 | 2026,477 |
| 01/08/2002 | 23,63034 | 24,89065 | 5323,689 | 0 | 1902,5 |

Com PCM 27

| Date/Time | Temperatura do ar com PCM 27 | Radiant Temperature com PCM 27 | Consumo eléctrico com PCM 27 | Aquecimento com PCM 27 | Arrefecimento com PCM 27 |
|------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,89194 | 16,74764 | 6080,183 | 2503,485 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,21312 | 17,15812 | 4609,937 | 1499,765 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,18114 | 18,22881 | 4118,033 | 852,3522 | 0 |
| 01/04/2002 | 20,08624 | 20,1948 | 3616,642 | 195,4526 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,78364 | 22,92392 | 3587,531 | 10,83275 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,34597 | 23,29228 | 3851,213 | 0 | 741,041 |
| 01/07/2002 | 23,57851 | 24,82451 | 5670,557 | 0 | 2093,859 |
| 01/08/2002 | 23,64874 | 24,92568 | 5367,441 | 0 | 1946,251 |



Comparação de PCM interior com exterior

| Date/Time | Temperatura do ar com PCM23 exterior | Radiant Temperature com PCM23 exterior | Electricity com PCM23 exterior | Aquecimento com PCM23 exterior | Arrefecimento com PCM23 exterior |
|------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,90368 | 16,76328 | 6075,167 | 2498,469 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,2143 | 17,15907 | 4619,4 | 1509,228 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,17792 | 18,22531 | 4120,801 | 855,1199 | 0 |
| 01/04/2002 | 20,04322 | 20,14619 | 3614,166 | 192,9768 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,70756 | 22,83691 | 3583,701 | 7,002672 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,33191 | 23,27485 | 3807,144 | 0 | 696,9715 |
| 01/07/2002 | 23,57141 | 24,81488 | 5660,209 | 0 | 2083,511 |
| 01/08/2002 | 23,64983 | 24,92398 | 5356,542 | 0 | 1935,353 |

| Date/Time | Temperatura do ar com PCM23 interior | Radiant Temperature com PCM23 interior | Electricity com PCM23 interior | Aquecimento com PCM23 interior | Arrefecimento com PCM23 interior |
|------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | (°C) | (°C) | (kWh) | (kWh) | (kWh) |
| 01/01/2002 | 16,90773 | 16,77075 | 6047,449 | 2470,751 | 0 |
| 01/02/2002 | 17,2134 | 17,15878 | 4608,399 | 1498,227 | 0 |
| 01/03/2002 | 18,17823 | 18,22574 | 4116,648 | 850,9677 | 0 |
| 01/04/2002 | 20,00515 | 20,10328 | 3614,785 | 193,5957 | 0 |
| 01/05/2002 | 22,64012 | 22,76424 | 3581,159 | 4,461471 | 0 |
| 01/06/2002 | 22,31784 | 23,25154 | 3784,121 | 0 | 673,9493 |
| 01/07/2002 | 23,56733 | 24,80541 | 5654,013 | 0 | 2077,315 |
| 01/08/2002 | 23,65099 | 24,92082 | 5349,351 | 0 | 1928,161 |