

# **Modelação do comportamento térmico de edifícios para Gestão da Procura de Energia**

*António Luís Pina Rocha Oliveira*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Vítor Leal



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Junho 2019



*“Para ser grande, sê inteiro: nada  
Teu exagera ou exclui.  
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és  
No mínimo que fazes.  
Assim em cada lago a lua toda  
Brilha, porque alta vive”  
Fernando Pessoa*

## Resumo

No sentido de combater as alterações climáticas, o paradigma de abastecimento energético deverá continuar a evoluir no sentido de se basear cada vez mais em eletricidade proveniente de fontes renováveis. Para fazer face à crescente procura de eletricidade, atendendo à intermitência associada às fontes renováveis, terá de haver uma gestão eficaz da procura por parte dos fornecedores de eletricidade. Por isso, cada vez mais serão implementados na rede elétrica modelos de controlo preditivo (MCP) que incluem modelos térmicos dinâmicos.

Pretende-se com esta dissertação em primeiro lugar o desenvolvimento de um modelo térmico dinâmico. Estando este modelo base desenvolvido, pretende-se depois desenvolver diversas variantes de modelação mais simples que facilitem a sua aplicação em modelos MCP. Com isto, pretende-se avaliar de que forma estas variantes alteram o tempo de computação que o software requer para fazer simulações e de que forma é que estas influenciam a precisão do cálculo da temperatura interior. Esta avaliação é feita através de uma análise comparativa entres os resultados obtidos no modelo base e os resultados das diferentes variantes de modelação.

## **Modeling thermal behaviour in buildings for energy demand management**

### **Abstract**

In order to combat climate change, the energy supply paradigm should continue to evolve to rely more and more on electricity from renewable sources. To meet the growing demand for electricity, given the intermittence associated with renewable sources, there must be an effective demand management by electricity suppliers. For this reason, models of predictive control (MPC's) that include dynamic thermal models will be implemented in the electric grid.

It is intended with this dissertation, first the development of a dynamic thermal model. With this base model being developed, it is intended to develop several simpler modeling variants that facilitate its application in MPC models. With this, we intend to evaluate how these variants alter the computation time that the software requires to make simulation and in that way they influence the evolution of the internal temperature. This evaluation is made through a comparative analysis between the results obtained in the base model and the results of different modeling variants.

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Sr. Professor Vítor Leal por toda a disponibilidade, orientação e conhecimento transmitido ao longo da realização desta dissertação.

Gostaria também de agradecer à minha namorada e a toda a minha família, em especial aos meus pais e irmã por todo o apoio que me deram ao longo desta jornada, a todos os princípios e valores que me ensinaram e me trouxeram onde estou hoje.

## Índice

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | Introdução.....  | 1  |
| 2.     | Revisão Bibliográfica .....  | 6  |
| 2.1.   | Térmica de edifícios .....   | 6  |
| 2.2.   | Modelação térmica de edifícios .....                               | 8  |
| 2.3.   | “Lumped Parameter Modelling” .....                                 | 10 |
| 3.     | Modelo Base.....   | 12 |
| 3.1.   | Caso de estudo .....   | 12 |
| 3.2.   | Dados climáticos.....  | 13 |
| 3.3.   | Descrição do Modelo base .....                                     | 14 |
| 3.3.1. | Envolvente.....  | 14 |
| 3.2.3. | Ganhos Internos .....  | 32 |
| 3.2.4. | Renovação de Ar .....  | 33 |
| 3.2.5. | Mobiliário .....   | 33 |
| 3.4.   | Temperatura interior.....  | 34 |
| 3.5.   | Resultados .....   | 35 |
| 4.     | Estudo de variantes de modelação .....                             | 36 |
| 4.1.   | Alteração da resistência térmica superficial .....                 | 36 |
| 4.1.1. | Contextualização .....   | 36 |
| 4.1.2. | Resultados e conclusões.....                                       | 38 |
| 4.1.3. | Estudo de sensibilidade do $h_{convi}$ em função de $R_{ph}$ ..... | 39 |
| 4.2.   | Introdução de temperatura ar-sol no modelo .....                   | 40 |
| 4.2.1. | Temperatura Ar-Sol.....  | 40 |
| 4.2.2. | Implementação da temperatura ar-sol no modelo.....                 | 41 |
| 4.2.3. | Resultados e conclusões.....                                       | 43 |
| 4.3.   | Modelação mais detalhada da camada principal das paredes .....     | 44 |
| 4.3.1. | Paredes exteriores A, B .....                                      | 47 |
| 4.3.2. | Paredes Interiores D, E.....                                       | 49 |
| 4.3.3. | Pavimento F.....   | 51 |
| 4.3.4. | Cobertura C .....  | 52 |
| 4.3.5. | Resultados e Conclusões .....                                      | 53 |
| 4.4.   | Variante de Lorenz & Masy .....                                    | 54 |
| 4.4.1. | Método Lorenz & Masy .....   | 54 |
| 4.4.2. | Integração com o modelo base.....                                  | 55 |
| 4.4.3. | Resultados e conclusões.....                                       | 57 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 4.5. Variante Tang & Wang .....      | 59 |
| 4.5.1. Resultados e conclusões ..... | 62 |
| 4.6. Variante 3ISOL.....             | 63 |
| 4.6.1. Resultados e Conclusões ..... | 65 |
| 5. Sumário de Conclusões .....       | 67 |
| Referências.....                     | 69 |
| Anexo A .....                        | 70 |



## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Tendência a longo termo para a evolução da temperatura média da Terra.(Earth, 2019) .....   | 1  |
| Figura 2 – Emissões de gases de estufa por setor na UE .(Eurostat, 2018) .....   | 2  |
| Figura 3 -Emissões de CO2 por setor na EU.(Association, 2018) .....  | 2  |
| Figura 4 – Modelo conceptual de “Smart-Grid”. (Fang, Misra, Xue, & Yang, 2012) .....   | 3  |
| Figura 5 – Esquema de um MCP. (Tang & Wang, 2019) .....  | 4  |
| Figura 6 - Trajetos da energia no edifício. (Kreith & Goswami, 2007) .....   | 6  |
| Figura 7 – Sumário das especificidades de cada método físico. (Fouquier et al., 2013).....   | 8  |
| Figura 8 - Sumário das especificidades de cada método físico. (Fouquier et al., 2013).....   | 9  |
| Figura 9 – Comparação entre métodos “white-box”, “grey-box” e “black box”. (Dimitriou, 2016) .....   | 10 |
| Figura 10 – Exemplo de formulação modelo RC. ....  | 11 |
| Figura 11 – Figura ilustrativa com duas vistas do quarto que o modelo pretende descrever....   | 12 |
| Figura 12 – Representação integral do modelo térmico RC proposto.....  | 15 |
| Figura 13 – Resistências térmicas superficiais (Santos & Matias, 2006).....  | 16 |
| Figura 14 – Ilustração do esquema RC das paredes exteriores. ....  | 18 |
| Figura 15 - Ilustração do esquema RC da cobertura. ....  | 21 |
| Figura 16 - Ilustração do esquema RC das paredes interiores.....   | 23 |
| Figura 17 - Ilustração do esquema RC da cobertura.....   | 26 |
| Figura 18 - Ilustração do esquema RC das janelas. ....   | 28 |
| Figura 19 - Ilustração do esquema RC da cobertura.....   | 31 |
| Figura 20 - Ilustração do esquema RC da mobiliário.....  | 33 |
| Figura 21 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior no modelo base.....  | 35 |
| Figura 22 – Valores empíricos (Clarke, 2007).....  | 37 |
| Figura 23 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior. .... | 38 |
| Figura 24 – Resultados obtidos através do EES, dos valores da temperatura interior em função RPH.....  | 40 |
| Figura 25 - Figura ilustrativa da temperatura ar-sol no modelo.....  | 41 |
| Figura 26 - Ilustração do modelo térmico RC em análise.....  | 42 |
| Figura 27 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior. .... | 44 |
| Figura 28 - Esquema RC das da camada principal no modelo base.....   | 45 |
| Figura 29 – Esquema RC das da camada principal no modelo em estudo.....  | 45 |
| Figura 30 - Ilustração integral do modelo térmico RC em análise. ....  | 46 |
| Figura 31 - Ilustração do esquema RC das paredes exteriores. ....  | 47 |
| Figura 32 - Ilustração do esquema RC das paredes interiores.....   | 49 |
| Figura 33 - Ilustração do esquema RC do pavimento. ....  | 51 |
| Figura 34 - Ilustração do esquema RC das paredes cobertura.....  | 52 |
| Figura 35 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior. .... | 53 |
| Figura 36 - (Masy, 1982).....  | 54 |
| Figura 37 – Esquema RC proposto por Lorenz&Masy.....   | 56 |
| Figura 38 - Ilustração do modelo térmico RC em análise.....  | 56 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 39 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior. .... | 58 |
| Figura 40 - Ilustração do modelo térmico RC em análise.....  | 59 |
| Figura 41 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior. .... | 62 |
| Figura 42 - Ilustração do modelo térmico RC em análise.....  | 63 |
| Figura 43 – Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior. .... | 66 |

## Índice de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Dimensões dos diferentes elementos construtivos do quarto. ....                                  | 13 |
| Tabela 2 – Características do reboco interior nas paredes exteriores.....                                   | 18 |
| Tabela 3 - Características do alvenaria nas paredes exteriores. ....  | 18 |
| Tabela 4 – Características do isolamento nas paredes exteriores. ....                                       | 18 |
| Tabela 5 – Características do reboco exterior nas paredes exteriores. ....                                  | 18 |
| Tabela 6 – Resistências térmicas calculadas para a parede A.....  | 19 |
| Tabela 7 – Capacidades térmicas calculadas para a parede A. ....  | 19 |
| Tabela 8 - Resistências térmicas calculadas para a parede B. ....   | 20 |
| Tabela 9 - Capacidades térmicas calculadas para a parede B. ....  | 20 |
| Tabela 10 – Características do reboco interior na cobertura. ....   | 21 |
| Tabela 11 – Características da estrutura resistente na cobertura.....                                       | 21 |
| Tabela 12 – Características da camadas de forma na cobertura. ....  | 21 |
| Tabela 13 – Características da camada de forma na cobertura.....  | 22 |
| Tabela 14 – Características da proteção exterior na cobertura.....  | 22 |
| Tabela 15 - Resistências térmicas calculadas para a cobertura. ....   | 22 |
| Tabela 16 – Capacidades térmicas calculadas para cobertura. ....  | 22 |
| Tabela 17 – Características do reboco interior nas paredes interiores. ....                                 | 23 |
| Tabela 18 - Características do reboco interior nas paredes interiores. ....                                 | 24 |
| Tabela 19 - Características do reboco interior nas paredes interiores. ....                                 | 24 |
| Tabela 20 - Resistências térmicas calculadas para a parede D. ....  | 24 |
| Tabela 21 - Capacidades térmicas calculadas para a parede D.....  | 24 |
| Tabela 22 - Resistências térmicas calculadas para a parede E.....   | 25 |
| Tabela 23 - Capacidades térmicas calculadas para a parede E. ....   | 25 |
| Tabela 24 – Características do pavimento. ....  | 26 |
| Tabela 25 - Características da betonilha .....  | 26 |
| Tabela 26 - Características da lage aligeirada .....  | 27 |
| Tabela 27 – Características do reboco exterior.....   | 27 |
| Tabela 28 - Resistências térmicas calculadas para a Pavimento F.....  | 27 |
| Tabela 29 - Capacidades térmicas calculadas para a Pavimento F. ....  | 27 |
| Tabela 30 – Características das janelas A e B.....  | 30 |
| Tabela 31 - Resistências térmicas calculadas para a janela da parede A.....                                 | 30 |
| Tabela 32 - Resistências térmicas calculadas para a janela da parede B. ....                                | 31 |
| Tabela 33 – Propriedades da porta P. ....   | 31 |
| Tabela 34 – Valores dos parâmetros térmicos da porta P. ....  | 32 |
| Tabela 35 – Propriedades físicas do contraplacado.....  | 34 |
| Tabela 36 – Parâmetros térmicos do mobiliário.....  | 34 |
| Tabela 37 - Capacidade térmica do ar.....   | 35 |
| Tabela 38 – Valores das variáveis calculadas para $R_{ph}$ .....  | 37 |
| Tabela 39 – Resistências térmicas interiores das diferentes paredes. ....                                   | 38 |
| Tabela 40 - Valores das variáveis calculadas em função de $R_{ph}$ .....                                    | 39 |
| Tabela 41 – Resistências térmicas superficiais em função do RPH.....  | 39 |
| Tabela 42 – Parâmetros térmicos calculados através do método Lorenz&Masy. ....                              | 57 |
| Tabela 43 – Valores dos parâmetros térmicos.....  | 60 |
| Tabela 44 – Valores dos parâmetros térmicos calculados.....   | 65 |
| Tabela 45 - Tabela sumária de resultados das simulações efetuadas para os diferentes modelos expostos. .... | 67 |

## 1. Introdução

As alterações climáticas são hoje consideradas uma das principais ameaças contra a fauna e flora que habitam o planeta Terra. Estima-se que a temperatura média da terra tenha aumentado  $1,16\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre os finais do século XIX e 2018. Desde 1980, a tendência global de aumento desta temperatura é  $+0,19\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$  (Fig.1). (Earth, 2019) Esta tendência é alarmante e revela a importância de a humanidade agir no sentido de atenuar este aumento.

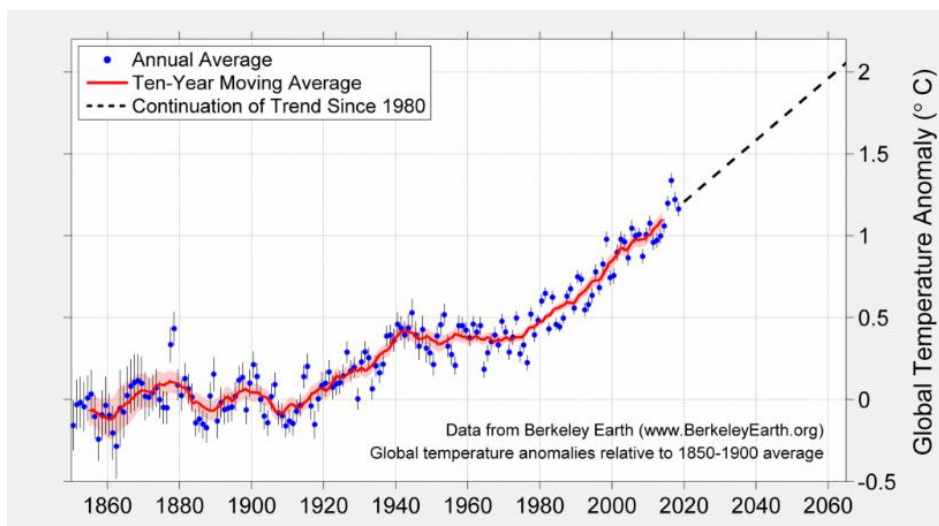


Figura 1 - Tendência a longo termo para a evolução da temperatura média da Terra. (Earth, 2019)

Este aumento na temperatura média global deve-se ao aumento na emissão de gases de estufa como dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , vapor de água  $\text{H}_2\text{O}$ , metano  $\text{CH}_4$  e óxido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera. Sendo que o  $\text{CO}_2$  é responsável por 64% do aquecimento global provocado pelo homem. O aumento da emissão de gases de estufa tem várias causas:

- Queima de combustíveis fósseis.
- Desflorestação.
- Fertilizantes com nitrogénio.
- Pecuária.
- Gases Fluorados.

Apesar das diversas causas para este aumento de emissões enunciadas anteriormente, a queima de combustíveis fósseis destaca-se claramente por ser o principal responsável por este facto (Fig.2).

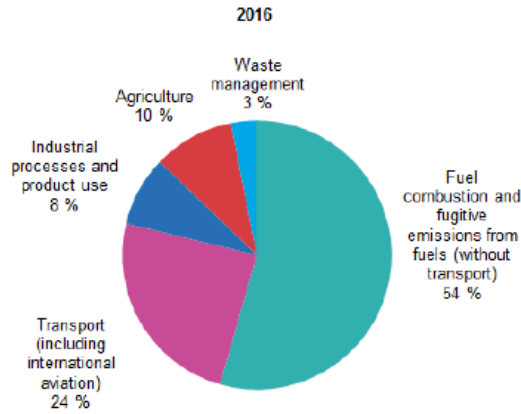


Figura 2 – Emissões de gases de estufa por setor na UE .(Eurostat, 2018)

O fornecimento de energia elétrica é o principal responsável pela libertação de  $CO_2$  na Europa (Fig. 3), isto deve-se ao facto de atualmente grande parte da eletricidade gerada ter origem em centrais térmicas que queimam combustíveis fósseis. No sentido de contrariar este facto nas últimas décadas muitos países têm incentivado que o abastecimento de energia deve cada vez mais evoluir no sentido de se basear em eletricidade com origem em fontes renováveis.

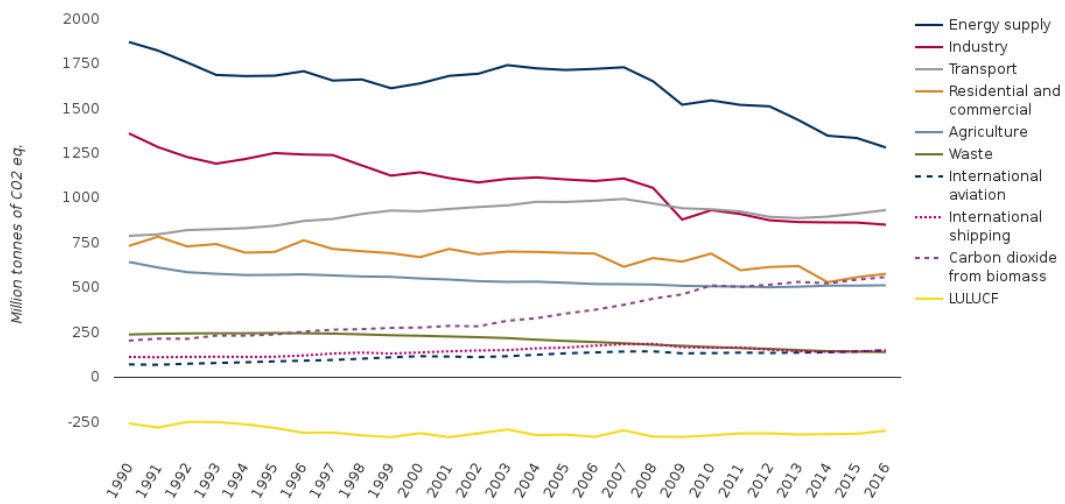


Figura 3 -Emissões de  $CO_2$  por setor na UE.(Association, 2018)



No entanto, a integração de eletricidade com origem renovável na rede elétrica enfrenta dois problemas tecnológicos: localização e variabilidade. As fontes de energia renováveis, por norma, encontram-se em locais remotos longe dos grandes centros populacionais isto requer mais transmissão de alta capacidade de longa distância para a oferta igualar a procura. A variabilidade das renováveis devido a condições meteorológicas é alta, a passagem de nuvens durante o dia pode provocar quebras até 70% na energia solar e no caso na energia eólica quebras até 100% se não houver vento. (Crabtree et al., 2011)

O rápido aumento na procura de eletricidade e a maior integração de fontes renováveis e a variabilidade a elas associada impõe tensão no balanço das redes elétricas. Isto implica que se não houver uma gestão eficaz da rede pode haver flutuações na voltagem e até mesmo apagões, sendo isto indesejável tanto para o operador da rede como para o utilizador desta. Assim, considera-se que “smart-grids” (Fig. 4) como sendo uma solução promissora que incorpora tecnologias avançadas para oferecer mais flexibilidade, fiabilidade e segurança nas operações da rede elétrica. Aos esforços feitos pelo lado da oferta sobre a procura, para fazer face às limitações da oferta na rede elétrica chama-se “gestão da procura” ou, em certos contextos mais específicos, “resposta da procura (RP)”. Programas RP beneficiam tanto os operadores de rede como traz vantagens económicas aos utilizadores finais. Atualmente, os edifícios são responsáveis pelo consumo de 76,3% do total de eletricidade nos EUA e 90% em Hong Kong. (Tang & Wang, 2019).

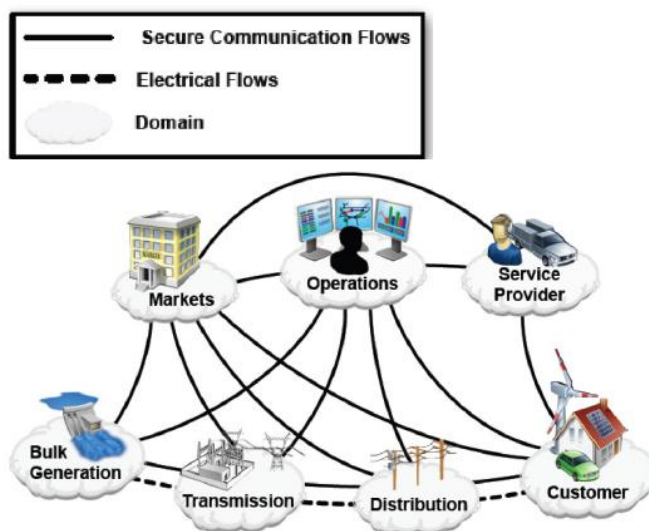


Figura 4 – Modelo conceptual de “Smart-Grid”. (Fang, Misra, Xue, & Yang, 2012)

O facto de os edifícios representarem uma fatia tão grande do consumo total de eletricidade vai fazer com que estes tenham um papel importante na RP. A incorporação de tecnologias como smart-meters e sistemas de automação vai permitir a implementação de estratégias de RP nos edifícios permitindo o fluxo de energia bidirecional entre estes e a rede eléctrica. Havendo alterações nas tarifas de eletricidade ou nas necessidades da rede, uma das estratégias de RP usadas pelos fornecedores de eletricidade é a deslocação da procura através do reagendamento das operações do sistema. A deslocação da procura é o processo de deslocar uma carga “on-peak” para horas “off peak” tirando vantagem das diferentes tarifas eléctricas em diferentes períodos. Tendo em conta que o ar condicionado, especialmente em locais com um clima mais quente, é um dos principais consumidores de eletricidade em edifícios tanto comerciais, como residenciais. Neste tipo de climas, o controlo da deslocação da procura dos ares condicionados é adotado como forma para otimizar a procura de energia para o edifício. (Tang & Wang, 2019)

Em casos urgentes em que a rede eléctrica necessita de reduzir a potência, o fornecedor de eletricidade não consegue em pouco tempo reduzir a potência da rede através do reagendamento das operações do sistema. Nestes casos, uma das soluções para RP é desligar total ou parcialmente o ar condicionado nos edifícios por um espaço de tempo onde não haja uma alteração substancial na inércia térmica do edifício, não influenciando o conforto térmico.

Para o fornecedor de eletricidade poder fazer este tipo de gestão da procura é necessário um modelo que consiga fazer previsões precisas do comportamento futuro que os sistemas sob controlo vão ter e que seja capaz de determinar as ações de controlo através da otimização de uma função objetivo que depende das previsões dentro de um espaço de tempo. Este tipo de modelo chama-se modelo de controlo preditivo (MCP) e encontra-se representado em esquema na Fig.5.

Um dos constituintes do MCP é um modelo térmico dinâmico que tem como função prever a resposta térmica do edifício (evolução da temperatura interior) em eventos de RP. Assim a precisão de uma previsão feita pelo MCP depende do modelo térmico dinâmico.

A implementação deste tipo de modelos MCP na rede eléctrica vai requerer um enorme poder computacional para processamento de dados. Assim, para a integração na rede eléctrica, interessa que o MCP tenha um modelo térmico o mais simples possível sendo, no entanto, realista.

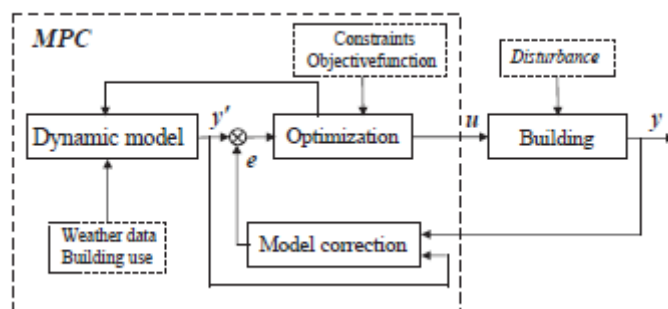


Figura 5 – Esquema de um MCP. (Tang & Wang, 2019)

Para o controlo da rede elétrica, o MCP usar modelos dinâmicos térmicos simples e fiáveis é crucial. Assim, o objetivo desta dissertação é, numa primeira fase, o desenvolvimento de um modelo térmico dinâmico para um determinado compartimento numa estação de arrefecimento. Após o desenvolvimento do modelo, pretende-se implementá-lo num software e simular a evolução da temperatura. Estando desenvolvido o modelo base, a segunda fase da dissertação consiste em fazer variantes do modelo base, no sentido de o complexificar ou simplificar e avaliar o impacto que estas variantes têm tanto na evolução da temperatura como no tempo que o software demora para realizar a simulação da evolução da temperatura.



## 2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, será feita a revisão bibliográfica nos seguintes assuntos:

- Processos de transferências de calor em edifícios.
- Tipos de modelos térmicos existentes.
- Método de modelação de parâmetros discretos (“Lumped Parameter Modelling”).

### 2.1. Térmica de edifícios

Uma transferência de calor é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço (Incropera, 2011). Existem três processos de transferência de calor:

- Condução é energia transferida por contacto direto das partículas elementares.
- Convecção é energia transferida por contato de partículas elementares em movimento.
- Radiação térmica é energia emitida através de ondas eletromagnéticas por toda a matéria que tenha uma temperatura diferente do zero absoluto.

A Fig. 6 representa as diferentes trocas de calor que existem entre o ar interior de um edifício e o meio que o envolve. As condições meteorológicas como a temperatura exterior e radiação solar são os fatores que mais influenciam as trocas de calor no edifício.

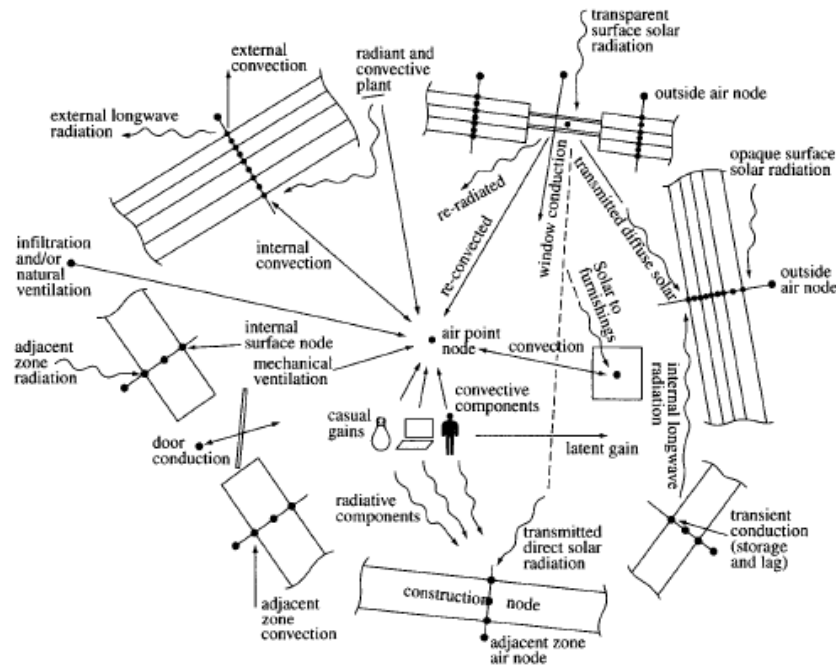


Figura 6 - Trajetos da energia no edifício. (Kreith & Goswami, 2007)

O balanço térmico no interior do edifício depende cargas térmicas induzidas pelos seguintes componentes:

- Trocas de ar

Estas podem ser causadas pelo fluxo não intencional de ar por entre brechas (normalmente em janelas e portas) sendo chamadas de infiltrações, ou se o movimento de ar for intencional devido à abertura de uma janela ou provocado por uma ventoinha chama-se de ventilação.

- Ganhos internos

Estes ganhos são devidos aos diversos equipamentos que libertem calor que estejam no interior do compartimento como aplicações elétricas. A trocas de calor devidas à iluminação são também contabilizadas nos ganhos internos, bem como o calor libertado pelos ocupantes no interior do edifício.

- Condução pela envolvente

A diferença entre a temperatura exterior ( $T_{ext}$ ) e a temperatura no interior do edifício ( $T_i$ ), vai fazer com que haja um fluxo de calor entre o ar interior, a envolvente e o ar exterior.

- Radiação Solar

A radiação solar vai incidir na superfície exterior da envolvente e vai ser absorvida por esta sendo este fluxo de calor transmitido através de condução através das diferentes camadas da envolvente sendo depois absorvido pelo ar interior. Outra parte da radiação solar vai atravessar as janelas e ser absorvida diretamente pelo ar interior e mobiliário.

Num edifício, as propriedades térmicas da envolvente mais importantes são a resistência térmica e a capacidade térmica. A resistência térmica  $R$  ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) de um dado elemento construtivo de um edifício, é a capacidade que este tem de resistir a uma transferência de calor. A resistência térmica é função do quociente entre a espessura  $e$  ( $m$ ) e a condutividade térmica do material  $\lambda$  ( $W/m \cdot ^\circ C$ ). A condutividade térmica de um dado elemento é capacidade que este tem de permitir a passagem de um fluxo de calor. Em condições de regime permanente, a resistência térmica e o diferencial entre as temperaturas exterior e interior são os principais fatores responsáveis pelas trocas de calor no edifício. Em condições de regime dinâmico, um fator que toma uma importância significativa é a capacidade que um dado elemento tem de armazenar energia que depois será emitida. À capacidade que um dado elemento tem de armazenar calor chama-se capacidade térmica. A capacidade térmica de um dado elemento construtivo é função da densidade  $\rho$ , espessura, área superficial e capacidade térmica mássica  $Cp$  ( $J/Kg \cdot ^\circ C$ ) deste. (Dimitriou, 2016)

## 2.2. Modelação térmica de edifícios

Existem diversos métodos e modelos usados quando se pretende estudar o comportamento térmico de edifícios e as necessidades energéticas destes. Pretende-se nesta secção apresentar alguns destes métodos e as diferentes abordagens a estes associados.

Segundo (Fouquier, Robert, Suard, Stéphan, & Jay, 2013), existem três diferentes abordagens para modelar o comportamento térmico de um edifício. A primeira, baseia-se em modelos físicos é nomeada de “white box”. A segunda tem por base métodos estatísticos que usam machine learning nomeada de “black-box”. E a terceira abordagem híbrida que usa tanto métodos estatísticos como físicos e é chamada de “grey-box”.

### ➤ “White-Box”

Modelos físicos são usados para modelar o comportamento térmico de diferentes tipos de edifícios com as suas necessidades específicas: hospitais, escolas, escritórios, etc. Estas técnicas físicas baseiam-se em resolver equações que descrevem o comportamento físico das diferentes transferências de calor.(Fouquier et al., 2013)

Dentro dos modelos físicos existem também diferentes abordagens que importa falar. A primeira, a abordagem CFD (“Computational Fluid Dynamics”). Dentro da simulação térmica de edifícios esta é a abordagem mais completa e baseia-se essencialmente na resolução das equações de Navier-Stokes. A segunda abordagem é zonal, trata-se de uma simplificação do método CFD, consiste em dividir o espaço em análise em pequenas células. A última abordagem a falar é o método dos nós. Este consiste em assumir que a cada zona do edifício corresponde um volume homogéneo caracterizado por variáveis de estado uniformes. A Fig. 7 apresenta as aplicações, vantagens e desvantagens de cada um dos métodos falados.

| Physical technique | Specificity of each technique                                | Application field   | Advantages   | Drawbacks   |
|--------------------|--|---|--|---|
| CFD method         | One cell = a control volume (3-D); Local state variables     | Contaminant distribution; Indoor air quality; HVAC systems  | Detailed description of the fluid flows occurring inside the building; Large volume zones                                | Huge computation time; Complexity of the model implementation   |
| Zonal method       | One cell = a division of a room (2-D); Local state variables | Indoor thermal comfort; Artificial and natural ventilation  | Spatial and time distribution of local state variables (temperature, concentration, pressure, airflow) in a large volume | Large computation time<br>Requirement of a detailed description of the flow field and flow profiles   |
| Nodal method       | One cell = a room (1-D); Uniform state variables             | Determination of the total energy consumption/the average of the indoor temperature/the cooling or heating load; Time evolution of the global energy consumption/ the space-averaged indoor temperature | Multiple zone buildings; Reasonable computation time; Easier implementation  | Difficulty to study large volume systems<br>Unable to study local effects as heat or pollutant source |

Figura 7 – Sumário das especificidades de cada método físico. (Fouquier et al., 2013)

➤ “Black-Box”

Como já foi referido, a abordagem à modelação térmica com base em métodos estatísticos e machine learning é designada de “black-box”. Comparativamente às técnicas usadas na modelação “white-box” onde é necessário ter informações físicas sob o edifício, os métodos estatísticos não requerem estas informações. Não há necessidade de equações de transferência de calor ou de parâmetros térmicos ou geométricos. Os modelos estatísticos são baseados na implementação de uma função deduzida por amostras de “data training” que descrevem o comportamento de um determinado sistema. Existem diversos métodos estatísticos usados no campo da previsão do consumo de energia em edifícios, no entanto os mais utilizados são: o da regressão linear múltipla, a rede neural artificial, o algoritmo genético e máquina de vetores de suporte. Todos estes métodos pertencem ao domínio da inteligência artificial. Na Fig. 8 podem ser vistas as principais características destes métodos como especificidade de cada método, principais aplicações, vantagens e desvantagens.

| Statistical tool                                  | Specificity of each technique   | Application field  | Advantages  | Drawbacks   |
|---|---|--|---|---|
| Conditional demand analysis: regression technique | Starting hypothesis: linear relation between variables and the output                                   | Forecasting of the energy consumption; Evolution of the energy demand              | Regression function describing the system   | A large amount of training data/Non-collinearity between data                                       |
| Genetic algorithm: optimization technique         | Starting hypothesis: equation form imposed by the user; Final result is not necessary the best solution | Prediction of the energy consumption; Optimization of the equipment or load demand | Function describing the system; Powerful optimization algorithm                                     | A large amount of training data; Difficulties to adjust algorithm parameters Large computation time |
| Artificial neural network: regression technique   | No starting hypothesis but huge “black box” which prevents from physical interpretations                | Prediction of the energy consumption and energy uses                               | A huge training faculty   | A large amount of exhaustive and representative data; No physical interpretation                    |
| Support vector machine: regression technique      | Starting hypothesis: kernel function imposed by the user  | Forecasting of the energy consumption or temperature                               | A reasonable amount of training data with mainly vector data; Minimization problem based on the SRM | Determination of the kernel function Difficulty to adjust parameters C and $\epsilon$               |

Figura 8 - Sumário das especificidades de cada método físico. (Fouquier et al., 2013)

➤ “Grey-Box”

Os modelos “Grey-box” usam uma abordagem híbrida em que incorporam tanto técnicas e modelos físicos “white-box”, como métodos estatísticos baseados em machine learning “Black-box”. Existem diversas estratégias para estas abordagens híbridas:

1. Usar machine learning para estimar os parâmetros físicos do edifício.
2. Usar estatísticas de forma a implementar um modelo de aprendizagem que descreva o comportamento térmico do edifício.
3. Usar métodos estatísticos em aplicações onde os modelos físicos não são efetivos e precisos.

Na Fig. 9 encontram-se uma análise comparativa das diferentes abordagens de modelação térmica existentes segundo (Foucquier et al., 2013).

| Methods                           | Building geometry   | Training data   | Physical interpretation   |
|-----------------------------------|---|---|---|
| Physical or “white box” method    | A detailed description of the building geometry is required | No training data are required   | Results can be interpreted in physical terms                          |
| Statistical or “black box” method | A detailed description of the geometry is not required      | A large amount of training data collected over an exhaustive period of time is required | There are several difficulties to interpret results in physical terms |
| Hybrid or “grey box” method       | A rough description of the building geometry is enough      | A small amount of training data collected over a short period of time is required       | Results can be interpreted in physical terms                          |

Figura 9 – Comparação entre métodos “white-box”, “grey-box” e “black box”. (Dimitriou, 2016)

### 2.3. “Lumped Parameter Modelling”

“Lumped Parameter Models” (LPMs) ficaram famosos na década de 70 devido aos curtos tempos de computação a eles associados quando na altura o poder computacional era muito limitado. Este tipo de modelos é ainda usado atualmente, quando se pretende um elevado realizar um elevado número de simulações. Estes modelos usam a analogia reo-elétrica. Através desta analogia, a condutividade térmica de um material é interpretada como a condutividade elétrica e a inércia térmica como a capacidade elétrica. A vantagem do uso de redes resistência e capacidades (RC) é que permitem modelar matematicamente um edifício por um conjunto de equações diferenciais de primeira ordem a custo de computação relativamente baixo. (Ramallo-González, Eames, & Coley, 2013)

A construção de modelos térmicos RC para edifícios implica representar cada elemento destes através de resistências e capacidades, mesmo no caso de elementos em que as paredes tenham várias camadas.

As dinâmicas térmicas da temperatura em cada nó de temperatura na rede RC são governadas pela seguinte equação diferencial ordinária, usando o nó  $k$  como exemplo (Wang, Chen, & Li, 2019):

$$C_k \frac{dT_k}{dt} = \sum_h \frac{T_h - T_k}{R_{h,k}} + \sum_j w_j Q_j \quad (1)$$

Onde:

$T_k$  – Temperatura no nó k ( $^{\circ}C$ ).

$T_h$  – Temperatura no nó h adjacente ao nó k ( $^{\circ}C$ ).

$C_k$  – Capacidade térmica no nó k ( $^{\circ}C/K$ ).

$R_{h,k}$  – Resistência térmica entre o nó k e o nó h ( $^{\circ}C/W$ ).

$Q_j$  – Fonte de calor j que entra no nó k (W).

$w_j$  – Fator de peso que avalia a fonte de calor.

Na Fig. 10, retirada de (Wang et al., 2019) mostra-se um exemplo genérico de formulação de um modelo RC.

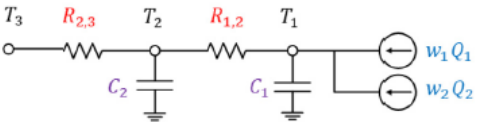
|                           |   |
|---------------------------|---|
| Model<br>Structure        |    |
| Differential<br>Equations | $C_1 \frac{dT_1}{dt} = \frac{T_2 - T_1}{R_{1,2}} + w_1 Q_1 + w_2 Q_2$ $C_2 \frac{dT_2}{dt} = \frac{T_3 - T_2}{R_{2,3}} + \frac{T_1 - T_2}{R_{1,2}}$ |

Figura 10 – Exemplo de formulação modelo RC.

### 3. Modelo Base

Pretende-se neste capítulo descrever o desenvolvimento de um modelo térmico RC para um compartimento durante uma estação de arrefecimento. Este modelo pretende descrever o comportamento térmico do compartimento em questão, tendo como output a temperatura no interior do compartimento ( $T_i$ ) e como input dados da temperatura exterior ( $T_{ext}$ ) e da radiação solar. No sentido de obter resultados da evolução da  $T_i$  ao longo de um período de tempo de 10 dias, este modelo foi implementado e simulado no software EES. Importa referir que todas as simulações serão feitas com recurso a um computador Asus com 8Gb de memória RAM, com processador “Intel®Core™ i7-4710HQ CPU @ 2.5GHz 2.5GHz” e sistema operativo Windows de 64 bits.

#### 3.1. Caso de estudo

Para o presente trabalho pretende-se o desenvolvimento de um modelo térmico para um quarto individual. Na Fig.11 podem ser observadas duas vistas do quarto que se pretende modelar. Na vista da esquerda, encontram-se representadas as paredes exteriores A e B e respetivas janelas. Na vista da direita, estão representadas as paredes interiores D e E do quarto e a porta. Importa mencionar que as paredes exteriores A e B estão orientadas para Sul e Este respetivamente.

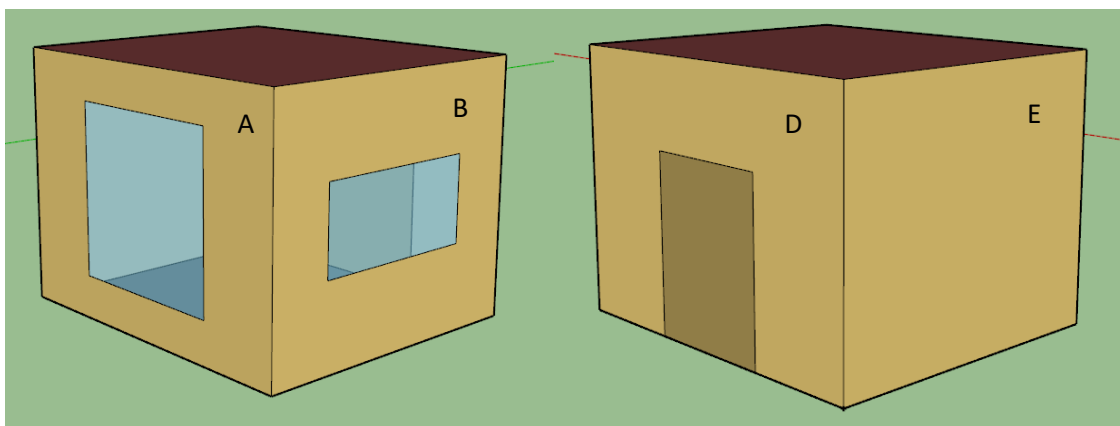


Figura 11 – Figura ilustrativa com duas vistas do quarto que o modelo pretende descrever

Como se pode verificar através da Fig. 11, a envolvente do quarto em estudo é composta por vários elementos construtivos, sendo estes:

- Paredes Exteriores – A e B
- Paredes Interiores – D e E
- Cobertura – C
- Pavimento – F
- Janelas – A, B
- Porta – P

Os valores considerados para as dimensões dos diferentes elementos construtivos foram arbitrados e encontram-se representadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões dos diferentes elementos construtivos do quarto.

| Elemento construtivo | Comprimento [m] | Altura/largura [m] | Área total [m <sup>2</sup> ] |
|----------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|
| A                    | 4               | 3                  | 12                           |
| B                    | 4               | 3                  | 12                           |
| D                    | 3,5             | 3                  | 10,5                         |
| E                    | 3,5             | 3                  | 10,5                         |
| C                    | 4               | 3,5                | 14                           |
| F                    | 4               | 3,5                | 14                           |
| Janela A             | 2               | 2                  | 4                            |
| Janela B             | 2               | 1                  | 2                            |
| Porta P              | 2               | 1,5                | 3                            |

As características e propriedades, como parâmetros térmicos, dos vários elementos construtivos que fazem parte da envolvente serão apresentados em detalhe na secção 3.3.1.

### 3.2. Dados climáticos

Como já foi referido, o modelo térmico RC em estudo foi desenvolvido para uma estação de arrefecimento. Assim considera-se que a estação em causa é o Verão e que Torre de Moncorvo é concelho onde está situado o quarto modelado.

A radiação solar incidente num edifício e a temperatura exterior são os inputs neste modelo térmico, e são também os principais fatores responsáveis pelos processos de transferência de calor no interior deste. Estes factos revelam a importância da determinação da radiação incidente e da temperatura exterior num edifício, quando se pretende estudar o seu comportamento térmico. Como no quarto, apenas as paredes exteriores e cobertura se encontram expostas a radiação solar, será só necessário calcular a radiação incidente nestes elementos construtivos.

Os valores da radiação incidente e da temperatura exterior foram obtidos com recurso a uma base de dados nacional, para o concelho em causa. Os dados fornecidos por esta fonte são de hora a hora. No presente modelo térmico, pretende-se que o passo de tempo seja de minuto a minuto. Assim é necessário interpolar os dados fornecidos pela base de dados. A nomenclatura usada para os inputs é:

$Q_{SA}$  – Radiação incidente na parede A ( $W/m^2$ ).

$Q_{SB}$  – Radiação incidente na parede B ( $W/m^2$ ).

$T_{ext}$  – Temperatura exterior ( $^{\circ}C$ ).



### 3.3. Descrição do Modelo base

A Fig.12 pretende ilustrar uma representação completa do modelo térmico que se pretende descrever nesta secção, onde estão representadas todas as trocas de calor e considerações feitas. Estas considerações são:

- Cada camada de cada elemento construtivo da envolvente é representado por esquema 2R1C.
- As janelas não armazenam calor apenas transferem.
- Parte da radiação solar incidente na envolvente atravessa as janelas sendo absorvido diretamente pelo mobiliário e chão do quarto.
- A porta não armazena calor apenas transfere.
- Absorsividade dos elementos construtivos ( $\alpha$ ) toma o valor de 0,4 isto porque foi considerado que a cor da superfície destes é clara.

Como já foi dito anteriormente, a temperatura no interior de qualquer edifício depende do balanço térmico entre os diferentes agentes de transferência de calor envolvidos. Este tópico é abordado com mais profundidade em 2.1. No entanto, para o quarto em estudo apenas se consideraram as seguintes trocas de calor com o meio interior:

- Condução pela envolvente
- Ganhos internos
- Radiação solar
- Trocas de ar

Pretende-se nos próximos subcapítulos descrever em detalhe o modelo térmico RC proposto. Será feita uma descrição de todos os elementos construtivos, quais os seus materiais, parâmetros térmicos. Pretende também mostrar-se as equações usadas para descrever as transferências de calor para cada um destes elementos.

#### 3.3.1. Envolvente

Nesta secção, pretende-se mostrar quais as características dos diferentes elementos da envolvente do quarto e quais os parâmetros térmicos associados a estes e seu modo de cálculo. Pretende-se ainda mostrar as equações envolvidas na modelação térmica de cada elemento construtivo da envolvente.

Todos os valores necessários à obtenção das resistências e das capacidades térmicas de cada camada, para cada elemento da envolvente foram obtidos com recurso ao livro “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios”

(Santos & Matias, 2006), ao “Manual de apoio à aplicação do RCCTE”(Camelo et al., 2006) e ao “Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios” aprovado pelo Decreto-Lei nº40/90(“Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios,” 2005).

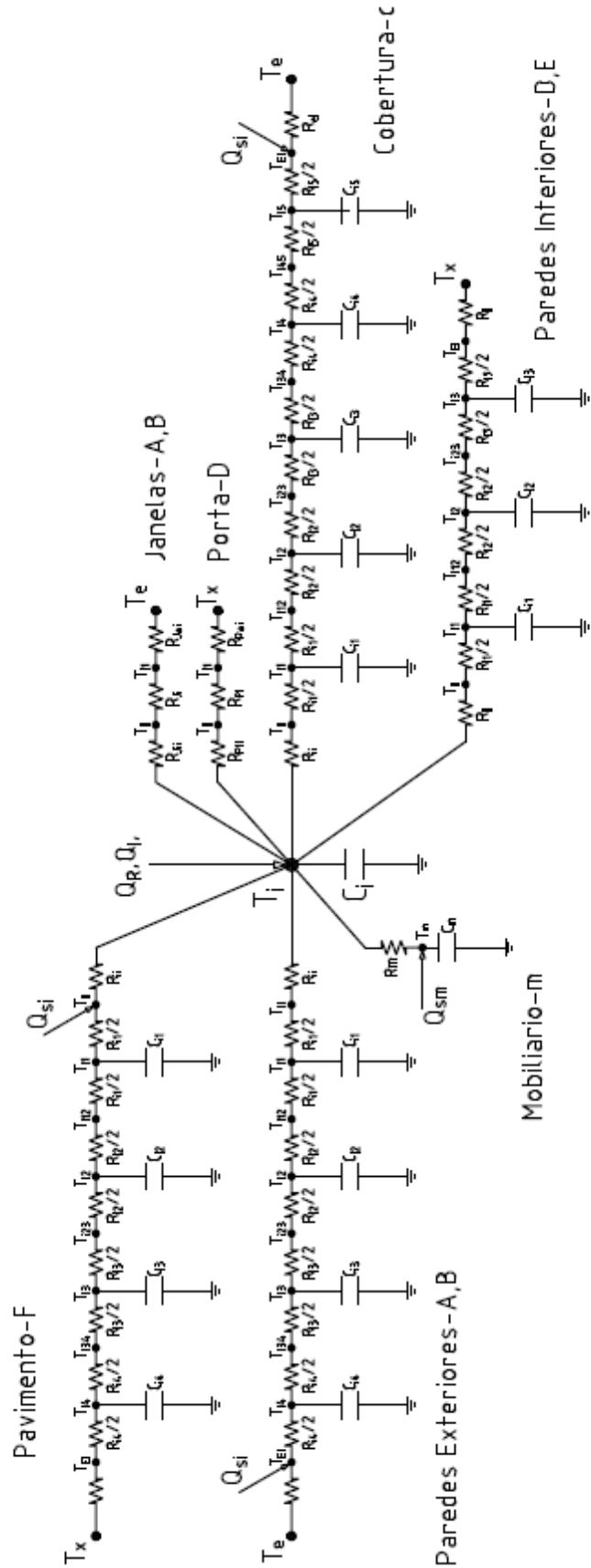


Figura 12 – Representação integral do modelo térmico RC proposto.

QUADRO I.3

RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAIS

$R_{se}, R_{si} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$

| Sentido do fluxo de calor | Resistência térmica superficial |                      |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------|
|                           | [[ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]]    |                      |
|                           | exterior<br>$R_{se}$            | interior<br>$R_{si}$ |
| Horizontal <sup>(1)</sup> | 0,04                            | 0,13                 |
| Vertical <sup>(2)</sup>   | ascendente                      | 0,04                 |
|                           | descendente                     | 0,17                 |

1 – Paredes (até +/- 30° com a vertical)

2 – Coberturas e pavimentos (até +/- 60° com a horizontal)

Figura 13 – Resistências térmicas superficiais (Santos & Matias, 2006)

Em seguida serão apresentados os procedimentos usados para o cálculo dos parâmetros térmicos dos diferentes elementos construtivos.

O cálculo das resistências térmicas superficiais, para cada elemento  $i$  da envolvente é feito com recurso à Fig. 13 e às equações:

$$R_{si} = \frac{R_{si}}{A_i} \quad (2)$$

$$R_{se_i} = \frac{R_{se}}{A_i} \quad (3)$$

Onde:

$R_{si}$  – Resistência térmica superficial interior em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ .

$R_{se}$  – Resistência térmica superficial exterior em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ .

$R_{si_i}$  – Resistência térmica superficial interior do elemento  $i$  da envolvente em  $^\circ C/W$ .

$R_{se_i}$  – Resistência térmica superficial exterior do elemento  $i$  da envolvente em  $^\circ C/W$ .

$A_i$  – Área opaca do elemento  $i$  da envolvente em  $m^2$ .

No que diz respeito ao cálculo dos diferentes parâmetros térmicos para cada camada  $k$ , de cada elemento  $i$  da envolvente utilizam-se as seguintes equações:

$$R_{k_i} = \frac{e_{k_i}}{\lambda_{k_i} \cdot A_i} \quad (4)$$

$$C_{k_i} = e_{k_i} \cdot \rho_{k_i} \cdot Cp_{k_i} \cdot A_i \quad (5)$$

Onde:

$R_{k_i}$  – Resistência térmica da camada k para o elemento i da envolvente em  $^{\circ}C/W$ .

$C_{k_i}$  – Capacidade térmica da camada k para o elemento i da envolvente em  $J/K$ .

$\lambda_{k_i}$  – Condutibilidade térmica da camada k para o elemento i da envolvente  $W/(m \cdot K)$ .

$e_{k_i}$  – Espessura da camada k do elemento i da envolvente em  $m$ .

$\rho_{k_i}$  – Massa volúmica da camada k do elemento i da envolvente em  $Kg/m^3$ .

$Cp_{k_i}$  – Capacidade térmica mássica da camada k para o elemento i da envolvente em  $J/(Kg \cdot K)$ .

$A_i$  – Área opaca do elemento i da envolvente em  $m^2$ .

Como já foi referido, cada camada dos elementos construtivos da envolvente (com exceção da porta e das janelas) são representadas através de um esquema 2R1C. Tendo em conta isto, foi adotada a seguinte nomenclatura para as temperaturas nestes elementos:

$T_{k_i}$  – Temperatura no nó central da camada k do elemento i da envolvente em  $^{\circ}C$ .

$T_{kj_i}$  – Temperatura nó da interface entre a camada k e j do elemento i da envolvente em  $^{\circ}C$ .

$T_x$  – Temperatura no compartimento ao lado da parede interior D em  $^{\circ}C$ .

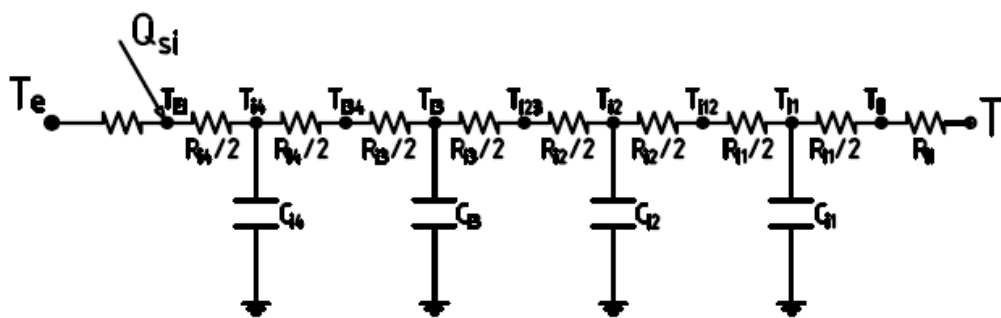
$T_y$  – Temperatura no compartimento ao lado da parede interior E em  $^{\circ}C$ .

$T_z$  – Temperatura no compartimento em baixo do pavimento F em  $^{\circ}C$ .

O modelo térmico proposto considera que  $T_x$ ,  $T_y$  e  $T_z$  tomam o valor de  $T_i$  calculado para o instante anterior.

#### 3.3.1.1. Paredes externas A e B

A Fig. 14 ilustra o esquema RC adotado na modelação do comportamento térmico das paredes exteriores, A e B, da envolvente. Foi adotado um esquema 2R1C para cada camada.



## Paredes Exteriores-A,B

Figura 14 – Ilustração do esquema RC das paredes exteriores.

Foi considerado que as paredes externas são constituídas por quatro camadas que vão ser nomeadas por ordem de proximidade ao ar interior. Assim:

### 1. Reboco interior

Tabela 2 – Características do reboco interior nas paredes exteriores.

| Material  | $e$ [m] | $\rho$ [ $kg/m^3$ ] | $\lambda$ [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ] | $C_p$ [ $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ] |
|-----------|---------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Argamassa | 0,02    | 1900                | 1,3                                  | 837                               |

### 2. Alvenaria

Tabela 3 - Características do alvenaria nas paredes exteriores.

| Material        | $e$ [m] | $\rho$ [ $kg/m^3$ ] | $\lambda$ [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ] | $C_p$ [ $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ] |
|-----------------|---------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Tijolo cerâmico | 0,15    | 1000                | 0,3                                  | 936                               |

### 3. Isolamento

Tabela 4 – Características do isolamento nas paredes exteriores.

| Material | $e$ [m] | $\rho$ [ $kg/m^3$ ] | $\lambda$ [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ] | $C_p$ [ $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ] |
|----------|---------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| EPS      | 0,02    | 15                  | 0,04                                 | 1210                              |

### 4. Reboco exterior

Tabela 5 – Características do reboco exterior nas paredes exteriores.

| Material  | $e$ [m] | $\rho$ [ $kg/m^3$ ] | $\lambda$ [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ] | $C_p$ [ $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ] |
|-----------|---------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Argamassa | 0,02    | 1900                | 1,3                                  | 837                               |

➤ Parede A

Importa constar que se considera que a parede A está virada para a sul e que a sua área opaca é  $A_i = 9,2 \text{ m}^2$ . Nas tabelas 6 e 7 estão representados os parâmetros térmicos calculados com recurso às equações (2)(3)(4)(5).

Tabela 6 – Resistências térmicas calculadas para a parede A.

|                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| $R_{siA} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$ | 1,41E-02 |
| $R_{1A} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$  | 1,67E-03 |
| $R_{2A} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$  | 4,24E-02 |
| $R_{3A} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$  | 5,44E-02 |
| $R_{4A} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$  | 1,67E-03 |
| $R_{seA} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$ | 4,35E-03 |

Tabela 7 – Capacidades térmicas calculadas para a parede A.

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| $C_{1A} \text{ [J/}^\circ\text{C]}$ | 2,93E+05 |
| $C_{2A} \text{ [J/}^\circ\text{C]}$ | 1,29E+06 |
| $C_{3A} \text{ [J/}^\circ\text{C]}$ | 3,35E+03 |
| $C_{4A} \text{ [J/}^\circ\text{C]}$ | 2,93E+05 |

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a parede A são as seguintes:

$$\frac{T_{ext} - T_{eA}}{R_{seA}} + a \cdot A_A \cdot Q_{SA} = \frac{T_{eA} - T_{4A}}{R_{4A}/2} \quad (6)$$

$$\frac{dT_{4A}}{dt} = \frac{T_{eA} - T_{4A}}{R_{4A}/2 \cdot C_{4A}} + \frac{T_{34A} - T_{4A}}{R_{4A}/2 \cdot C_{4A}} \quad (7)$$

$$\frac{T_{4A} - T_{34A}}{R_{4A}/2} = \frac{T_{34A} - T_{3A}}{R_{3A}/2} \quad (8)$$

$$\frac{dT_{3A}}{dt} = \frac{T_{34A} - T_{3A}}{R_{3A}/2 \cdot C_{3A}} + \frac{T_{23A} - T_{3A}}{R_{3A}/2 \cdot C_{3A}} \quad (9)$$

$$\frac{T_{3A} - T_{23A}}{R_{3A}/2} = \frac{T_{23A} - T_{2A}}{R_{2A}/2} \quad (10)$$

$$\frac{dT_{2A}}{dt} = \frac{T_{23A} - T_{2A}}{R_{2A}/2 \cdot C_{2A}} + \frac{T_{12A} - T_{2A}}{R_{2A}/2 \cdot C_{2A}} \quad (11)$$

$$\frac{T_{2A} - T_{12A}}{R_{2A}/2} = \frac{T_{12A} - T_{1A}}{R_{1A}/2} \quad (12)$$

$$\frac{dT_{1A}}{dt} = \frac{T_{12A} - T_{1A}}{R_{1A}/2 \cdot C_{1A}} + \frac{T_{iA} - T_{1A}}{R_{1A}/2 \cdot C_{1A}} \quad (13)$$

$$\frac{T_{1A} - T_{iA}}{R_{1A}/2} = \frac{T_{iA} - T_i}{R_{siA}} \quad (14)$$

➤ Parede B

Importa constar que se considera que a parede B está virada para a sul e que a sua área opaca é  $A_i = 9,2 \text{ m}^2$ . Nas tabelas 8 e 9 estão representados os parâmetros térmicos calculados com recurso às equações (2)(3)(4)(5).

Tabela 8 - Resistências térmicas calculadas para a parede B.

|  |          |
|--|----------|
| $R_{si_B}$ [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ] | 1,43E-02 |
| $R_{1_B}$ [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]  | 1,69E-03 |
| $R_{2_B}$ [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]  | 4,29E-02 |
| $R_{3_B}$ [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]  | 5,50E-02 |
| $R_{4_B}$ [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]  | 1,69E-03 |
| $R_{se_B}$ [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ] | 4,40E-03 |

Tabela 9 - Capacidades térmicas calculadas para a parede B.

|   |          |
|---|----------|
| $C_{1_B}$ [ $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ] | 2,89E+05 |
| $C_{2_B}$ [ $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ] | 1,28E+06 |
| $C_{3_B}$ [ $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ] | 3,30E+03 |
| $C_{4_B}$ [ $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ] | 2,89E+05 |

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a parede B são as seguintes:

$$\frac{T_{ext} - T_{e_B}}{R_{se_B}} + a \cdot A_B \cdot Q_{SB} = \frac{T_{e_B} - T_{4_B}}{R_{4_B}/2} \quad (15)$$

$$\frac{dT_{4_B}}{dt} = \frac{T_{e_B} - T_{4_B}}{R_{4_B}/2 \cdot C_{4_B}} + \frac{T_{34_B} - T_{4_B}}{R_{4_B}/2 \cdot C_{4_B}} \quad (16)$$

$$\frac{T_{4_B} - T_{34_B}}{R_{4_B}/2} = \frac{T_{34_B} - T_{3_B}}{R_{3_B}/2} \quad (17)$$

$$\frac{dT_{3_B}}{dt} = \frac{T_{34_B} - T_{3_B}}{R_{3_B}/2 \cdot C_{3_B}} + \frac{T_{23_B} - T_{3_B}}{R_{3_B}/2 \cdot C_{3_B}} \quad (18)$$

$$\frac{T_{3_B} - T_{23_B}}{R_{3_B}/2} = \frac{T_{23_B} - T_{2_B}}{R_{2_B}/2} \quad (19)$$

$$\frac{dT_{2_B}}{dt} = \frac{T_{23_B} - T_{2_B}}{R_{2_B}/2 \cdot C_{2_B}} + \frac{T_{12_B} - T_{2_B}}{R_{2_B}/2 \cdot C_{2_B}} \quad (20)$$

$$\frac{T_{2_B} - T_{12_B}}{R_{2_B}/2} = \frac{T_{12_B} - T_{1_B}}{R_{1_B}/2} \quad (21)$$

$$\frac{dT_{1_B}}{dt} = \frac{T_{12_B} - T_{1_B}}{R_{1_B}/2 \cdot C_{1_B}} + \frac{T_{i_B} - T_{1_B}}{R_{1_B}/2 \cdot C_{1_B}} \quad (22)$$

$$\frac{T_{1B} - T_{iB}}{R_{1B}/2} = \frac{T_{iB} - T_i}{R_{siB}} \quad (23)$$

### 3.3.1.2. Cobertura C

A Fig.15 ilustra o esquema RC adotado na modelação do comportamento térmico da cobertura C da envolvente. Foi adotado um esquema 2R1C para cada camada.

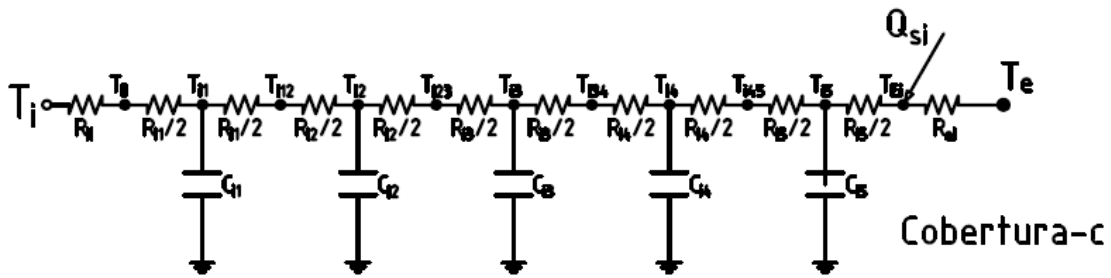


Figura 15 - Ilustração do esquema RC da cobertura.

Como se pode verificar com recurso à Fig. 15, considera-se que a cobertura é composta por cinco camadas, sendo estas:

#### 1. Reboco interior

Tabela 10 – Características do reboco interior na cobertura.

| Material  | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|-----------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Argamassa | 0,02    | 1900                        | 1,3                  | 837               |

#### 2. Estrutura resistente

Tabela 11 – Características da estrutura resistente na cobertura.

| Material        | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|-----------------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Laje aligeirada | 0,15    | 1200                        | 0,53                 | 965               |

#### 3. Camada de forma

Tabela 12 – Características da camadas de forma na cobertura.

| Material        | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|-----------------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Betão cavernoso | 0,05    | 700                         | 0,25                 | 1000              |



#### 4. Isolamento

Tabela 13 – Características da camada de forma na cobertura.

| Material | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|----------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| EPS      | 0,03    | 20                          | 0,04                 | 1210              |

#### 5. Proteção exterior

Tabela 14 – Características da proteção exterior na cobertura.

| Material | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|----------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Inertes  | 0,05    | 2000                        | 2                    | 500               |

A cobertura C, a tem uma área opaca de  $A_i = 14 \text{ m}^2$ . Nas tabelas 15 e 16 estão representados os parâmetros térmicos calculados com recurso às equações (2)(3)(4)(5).

Tabela 15 - Resistências térmicas calculadas para a cobertura.

|                  |          |
|------------------|----------|
| $R_{siC}$ [°C/W] | 1,21E-02 |
| $R_{1C}$ [°C/W]  | 1,10E-03 |
| $R_{2C}$ [°C/W]  | 2,14E-02 |
| $R_{3C}$ [°C/W]  | 1,43E-02 |
| $R_{4C}$ [°C/W]  | 5,36E-02 |
| $R_{5C}$ [°C/W]  | 1,79E-03 |
| $R_{seC}$ [°C/W] | 2,86E-03 |

Tabela 16 – Capacidades térmicas calculadas para cobertura.

|                 |          |
|-----------------|----------|
| $C_{1C}$ [J/°C] | 4,45E+05 |
| $C_{2C}$ [J/°C] | 2,43E+06 |
| $C_{3C}$ [J/°C] | 4,90E+05 |
| $C_{4C}$ [J/°C] | 1,02E+04 |
| $C_{5C}$ [J/°C] | 7,00E+05 |

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a cobertura C são as seguintes:

$$\frac{T_{ext} - T_{ec}}{R_{sec}} + a \cdot A_c \cdot Q_{sc} = \frac{T_{ec} - T_{5c}}{R_{5c}/2} \quad (24)$$

$$\frac{dT_{5c}}{dt} = \frac{T_{ec} - T_{5c}}{R_{5c}/2 \cdot C_{5c}} + \frac{T_{45c} - T_{5c}}{R_{5c}/2 \cdot C_{5c}} \quad (25)$$

$$\frac{T_{5c} - T_{45c}}{R_{5c}/2} = \frac{T_{45c} - T_{4c}}{R_{4c}/2} \quad (26)$$

$$\frac{dT_{4c}}{dt} = \frac{T_{45c} - T_{4c}}{R_{4c}/2 \cdot C_{4c}} + \frac{T_{34c} - T_{4c}}{R_{4c}/2 \cdot C_{4c}} \quad (27)$$

$$\frac{T_{4c} - T_{34c}}{R_{4c}/2} = \frac{T_{34c} - T_{3c}}{R_{3c}/2} \quad (28)$$

$$\frac{dT_{3c}}{dt} = \frac{T_{34c} - T_{3c}}{R_{3c}/2 \cdot C_{3c}} + \frac{T_{23c} - T_{3c}}{R_{3c}/2 \cdot C_{3c}} \quad (29)$$

$$\frac{T_{3c} - T_{23c}}{R_{3c}/2} = \frac{T_{23c} - T_{2c}}{R_{2c}/2} \quad (30)$$

$$\frac{dT_{2c}}{dt} = \frac{T_{23c} - T_{2c}}{R_{2c}/2 \cdot C_{2c}} + \frac{T_{12c} - T_{2c}}{R_{2c}/2 \cdot C_{2c}} \quad (31)$$

$$\frac{T_{2c} - T_{12c}}{R_{2c}/2} = \frac{T_{12c} - T_{1c}}{R_{1c}/2} \quad (32)$$

$$\frac{dT_{1c}}{dt} = \frac{T_{12c} - T_{1c}}{R_{1c}/2 \cdot C_{1c}} + \frac{T_{ic} - T_{1c}}{R_{1c}/2 \cdot C_{1c}} \quad (33)$$

$$\frac{T_{1c} - T_{ic}}{R_{1c}/2} = \frac{T_{ic} - T_i}{R_{sic}} \quad (34)$$

### 3.3.1.3. Paredes interiores D e E

A Fig. 16 ilustra o esquema RC adotado na modelação do comportamento térmico das paredes interiores, D e E, da envolvente. Foi adotado um esquema 2R1C para cada camada.

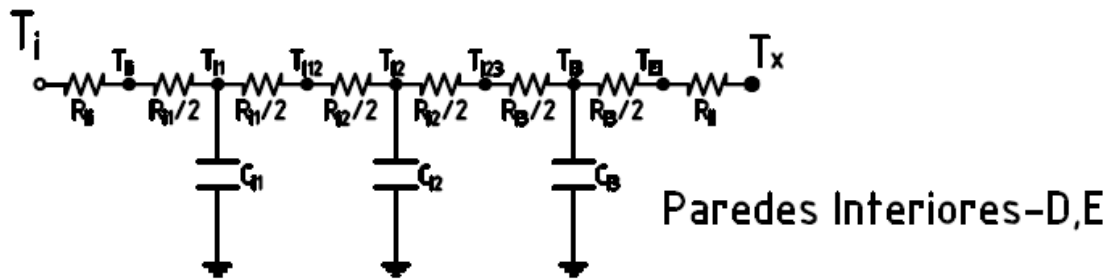


Figura 16 - Ilustração do esquema RC das paredes interiores.

Como se pode ver por consulta da Fig.16 considerou-se, no caso das paredes interiores, que estas são compostas por três camadas:

#### 1. Reboco Interior

Tabela 17 – Características do reboco interior nas paredes interiores.

| Material  | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|-----------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Argamassa | 0,02    | 1900                        | 1,3                  | 837               |

## 2. Alvenaria

Tabela 18 - Características do reboco interior nas paredes interiores.

| Material        | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|-----------------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Tijolo cerâmico | 0,11    | 900                         | 0,3                  | 936               |

## 3. Reboco exterior

Tabela 19 - Características do reboco interior nas paredes interiores.

| Material  | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|-----------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Argamassa | 0,02    | 1900                        | 1,3                  | 837               |

### ➤ Parede D

A parede D contém uma porta, assim a área usada para os cálculos terá de ser, a área total da parede menos a área da porta, sendo esta  $A_i = 10,5 \text{ m}^2$ . Nas tabelas 20 e 21 estão representados os parâmetros térmicos calculados com recurso às equações (2)(3)(4)(5).

Tabela 20 - Resistências térmicas calculadas para a parede D.

|                  |          |
|------------------|----------|
| $R_{siD}$ [°C/W] | 1,44E-02 |
| $R_{1D}$ [°C/W]  | 1,71E-03 |
| $R_{2D}$ [°C/W]  | 3,00E-02 |
| $R_{3D}$ [°C/W]  | 1,71E-03 |
| $R_{seD}$ [°C/W] | 1,44E-02 |

Tabela 21 - Capacidades térmicas calculadas para a parede D.

|                 |          |
|-----------------|----------|
| $C_{1D}$ [J/°C] | 2,86E+05 |
| $C_{2D}$ [J/°C] | 8,34E+05 |
| $C_{3D}$ [J/°C] | 2,86E+05 |

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a parede D são as seguintes:

$$\frac{T_x - T_{eD}}{R_{seD}} = \frac{T_{eD} - T_{3D}}{R_{3D}/2} \quad (35)$$

$$\frac{dT_{3C}}{dt} = \frac{T_{eD} - T_{3D}}{R_{3D}/2 \cdot C_{3D}} + \frac{T_{23D} - T_{3D}}{R_{3D}/2 \cdot C_{3D}} \quad (36)$$

$$\frac{T_{3D} - T_{23D}}{R_{3D}/2} = \frac{T_{23D} - T_{2D}}{R_{2D}/2} \quad (37)$$

$$\frac{dT_{2D}}{dt} = \frac{T_{23D} - T_{2D}}{R_{2D}/2 \cdot C_{2D}} + \frac{T_{12D} - T_{2D}}{R_{2D}/2 \cdot C_{2D}} \quad (38)$$

$$\frac{T_{2D} - T_{12D}}{R_{2D}/2} = \frac{T_{12D} - T_{1D}}{R_{1D}/2} \quad (39)$$

$$\frac{dT_{1D}}{dt} = \frac{T_{12D} - T_{1D}}{R_{1D}/2 \cdot C_{1D}} + \frac{T_{iD} - T_{1D}}{R_{1D}/2 \cdot C_{1D}} \quad (40)$$

$$\frac{T_{1D} - T_{iD}}{R_{1D}/2} = \frac{T_{iD} - T_i}{R_{siD}} \quad (41)$$

➤ Parede E

A área da parede E é de  $A_i = 10,5 \text{ m}^2$ . Nas tabelas 22 e 23 estão representados os parâmetros térmicos calculados com recurso às equações (2)(3)(4)(5).

Tabela 22 - Resistências térmicas calculadas para a parede E.

|                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| $R_{siE} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$ | 1,24E-02 |
| $R_{1E} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$  | 1,47E-03 |
| $R_{2E} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$  | 2,57E-02 |
| $R_{3E} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$  | 1,47E-03 |
| $R_{seE} \text{ [}^\circ\text{C/W]}$ | 1,24E-02 |

Tabela 23 - Capacidades térmicas calculadas para a parede E.

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| $C_{1E} \text{ [J/}^\circ\text{C]}$ | 3,34E+05 |
| $C_{2E} \text{ [J/}^\circ\text{C]}$ | 9,73E+05 |
| $C_{3E} \text{ [J/}^\circ\text{C]}$ | 3,34E+05 |

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a parede E são as seguintes:

$$\frac{T_y - T_{eE}}{R_{seE}} = \frac{T_{eE} - T_{3E}}{R_{3E}/2} \quad (42)$$

$$\frac{dT_{3E}}{dt} = \frac{T_{eE} - T_{3E}}{R_{3E}/2 \cdot C_{3E}} + \frac{T_{23E} - T_{3E}}{R_{3E}/2 \cdot C_{3E}} \quad (44)$$

$$\frac{T_{3E} - T_{23E}}{R_{3E}/2} = \frac{T_{23E} - T_{2E}}{R_{2E}/2} \quad (45)$$

$$\frac{dT_{2E}}{dt} = \frac{T_{23E} - T_{2E}}{R_{2E}/2 \cdot C_{2E}} + \frac{T_{12E} - T_{2E}}{R_{2E}/2 \cdot C_{2E}} \quad (46)$$

$$\frac{T_{2E} - T_{12E}}{R_{2E}/2} = \frac{T_{12E} - T_{1E}}{R_{1E}/2} \quad (47)$$

$$\frac{dT_{1E}}{dt} = \frac{T_{12E} - T_{1E}}{R_{1E}/2 \cdot C_{1E}} + \frac{T_{iE} - T_{1E}}{R_{1E}/2 \cdot C_{1E}} \quad (48)$$

$$\frac{T_{1E} - T_{iE}}{R_{1E}/2} = \frac{T_{iE} - T_i}{R_{siE}} \quad (49)$$

### 3.3.1.4. Pavimento F

A Fig. 17 ilustra o esquema RC adotado na modelação do comportamento térmico do pavimento F da envolvente. Foi adotado um esquema 2R1C para cada camada.

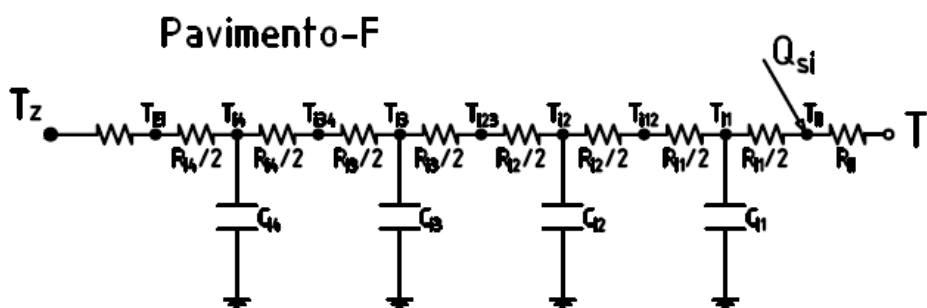


Figura 17 - Ilustração do esquema RC da cobertura.

Considera-se que o pavimento é constituído por quatro camadas, como se pode observar por consulta da Fig.17, sendo estas:

#### 1. Pavimento

Tabela 24 – Características do pavimento.

| Material    | e [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | C <sub>p</sub> [J/(kg.°C)] |
|-------------|-------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| Madeira Oak | 0,01  | 750                         | 0,17                 | 2400                       |

#### 2. Betonilha

Tabela 25 - Características da betonilha

| Material  | e [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | C <sub>p</sub> [J/(kg.°C)] |
|-----------|-------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| Betonilha | 0,04  | 1000                        | 1,3                  | 1000                       |

### 3. Laje aligeirada

Tabela 26 - Características da laje aligeirada

| Material        | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|-----------------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Laje aligeirada | 0,15    | 1320                        | 0,3                  | 965               |

### 4. Reboco exterior

Tabela 27 – Características do reboco exterior.

| Material  | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|-----------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Argamassa | 0,02    | 1900                        | 1,3                  | 837               |

O pavimento tem  $A_i = 14 \text{ m}^2$  de área. Nas tabelas 28 e 29 estão representados os parâmetros térmicos calculados com recurso às equações (2)(3)(4)(5).

Tabela 28 - Resistências térmicas calculadas para a Pavimento F.

|                   |          |
|-------------------|----------|
| $R_{si_F}$ [°C/W] | 1,21E-02 |
| $R_{1_F}$ [°C/W]  | 4,20E-03 |
| $R_{2_F}$ [°C/W]  | 2,20E-03 |
| $R_{3_F}$ [°C/W]  | 2,00E-02 |
| $R_{4_F}$ [°C/W]  | 1,00E-03 |
| $R_{se_F}$ [°C/W] | 1,21E-02 |

Tabela 29 - Capacidades térmicas calculadas para a Pavimento F.

|                  |          |
|------------------|----------|
| $C_{1_F}$ [J/°C] | 2,52E+04 |
| $C_{2_F}$ [J/°C] | 5,60E+05 |
| $C_{3_F}$ [J/°C] | 2,67E+06 |
| $C_{4_F}$ [J/°C] | 4,45E+05 |

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem o pavimento F são as seguintes:

$$\frac{T_Z - T_{e_F}}{R_{se_F}} = \frac{T_{e_F} - T_{4_F}}{R_{4_F}/2} \quad (50)$$

$$\frac{dT_{4_F}}{dt} = \frac{T_{e_F} - T_{4_F}}{R_{4_F}/2 \cdot C_{4_F}} + \frac{T_{34_F} - T_{4_F}}{R_{4_F}/2 \cdot C_{4_F}} \quad (51)$$

$$\frac{T_{4_F} - T_{34_F}}{R_{4_F}/2} = \frac{T_{34_F} - T_{3_F}}{R_{3_F}/2} \quad (52)$$

$$\frac{dT_{3_F}}{dt} = \frac{T_{34_F} - T_{3_F}}{R_{3_F}/2 \cdot C_{3_F}} + \frac{T_{23_F} - T_{3_F}}{R_{3_F}/2 \cdot C_{3_F}} \quad (53)$$

$$\frac{T_{3F} - T_{23F}}{R_{3F}/2} = \frac{T_{23F} - T_{2F}}{R_{2F}/2} \quad (54)$$

$$\frac{dT_{2F}}{dt} = \frac{T_{23F} - T_{2F}}{R_{2F}/2 \cdot C_{2F}} + \frac{T_{12F} - T_{2F}}{R_{2F}/2 \cdot C_{2F}} \quad (55)$$

$$\frac{T_{2F} - T_{12F}}{R_{2F}/2} = \frac{T_{12F} - T_{1F}}{R_{1F}/2} \quad (56)$$

$$\frac{dT_{1F}}{dt} = \frac{T_{12F} - T_{1F}}{R_{1F}/2 \cdot C_{1F}} + \frac{T_{iF} - T_{1F}}{R_{1F}/2 \cdot C_{1F}} \quad (57)$$

$$\frac{T_{1F} - T_{iF}}{R_{1F}/2} + x_b \cdot A_{JB} \cdot Q_{SB} + x_a \cdot A_{JA} \cdot Q_{SA} = \frac{T_{iF} - T_i}{R_{siF}} \quad (58)$$

Onde:

$x_A$  – Fração de radiação solar proveniente da Janela A absorvida pelo pavimento.

$x_B$  – Fração de radiação solar proveniente da Janela B absorvida pelo pavimento.

Os valores relativos a  $x_A$  e  $x_B$  foram valores arbitrados, e foi considerado que ambos tomam o valor de 0,6.

### 3.3.1.5. Janelas A e B

A Fig.18 ilustra o esquema RC adotado na modelação do comportamento térmico das janelas inseridas nas paredes exteriores, A e B, da envolvente.

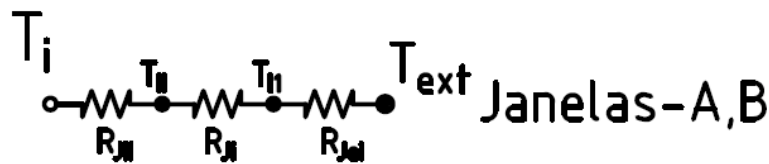


Figura 18 - Ilustração do esquema RC das janelas.

Para o balanço térmico no interior do quarto em estudo, é necessário contabilizar os ganhos solares através dos vãos envidraçados. Segundo RCCTE e para uma estação de arrefecimento:

$$Q_s = \sum_j \left[ I r_j \sum_n (A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g)_{nj} \right] \quad (59)$$

Onde:

$I_{rj}$  – Radiação solar incidente.

$A$  – Área de vão envidraçado.

$F_h$  - Fator de sombreamento do horizonte.

$F_o$  – Fator de sombreamento por elementos horizontais adjacentes ao vão envidraçado.

$F_f$  - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado.

$F_g$  – Fração envidraçada.

$F_w$  – Fator de correção da seletividade angular do tipo envidraçado utilizado.

$g$  – Fator solar envidraçado.

Considerou-se que ambas as janelas, não dispõe de quaisquer palas e sombreamento horizontal e vertical. Assim:

$$F_o \cdot F_f = 0,9 \quad (60)$$

Tendo em conta que se está a fazer um modelo para um clima de verão, a estação de arrefecimento  $F_f = 1$ . As janelas são de vidro simples incolor e tem caixilharia e janelas de alumínio. Desta forma:

$$F_g = 0,7 \quad (61)$$

Como a janela A está virada para sul e a janela B para Este, então:

$$F_{wJA} = 0,75 \quad (62)$$

$$F_{wJB} = 0,85 \quad (63)$$

Ainda segundo a mesma fonte:

$$g = 0,7g' + 0,3g_v \quad (64)$$

O vidro tem uma espessura de 4mm, e tem uma proteção de cor média feita por cortinas ligeiramente transparentes. Com isto:

$$g' = 0,88 \quad (65)$$

$$g_v = 0,46 \quad (66)$$



A área total das janelas, vidro mais caixilharia toma os seguintes valores:

$$A_{t_{JA}} = 4 \text{ m}^2 \quad (67)$$

$$A_{t_{JB}} = 2 \text{ m}^2 \quad (68)$$

A radiação solar que atravessa as janelas para depois incidir nos diferentes elementos da envolvente depende da área de passagem de radiação, esta calcula-se através da seguinte equação:

$$A_{Ji} = (A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g)_i \quad (69)$$

$$A_{JA} = 1,18 \text{ m}^2 \quad (70)$$

$$A_{JB} = 0,66 \text{ m}^2 \quad (71)$$

Na tabela 30, encontram-se representados os valores das propriedades físicas do vidro das janelas.

Tabela 30 – Características das janelas A e B.

| Material      | $e$ [m] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/(m.°C)] | $C_p$ [J/(kg.°C)] |
|---------------|---------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Vidro simples | 0,004   | 2500                        | 1                    | 800               |

Em seguida serão mostrados os valores calculados para os parâmetros térmicos das janelas e as respetivas equações usadas no modelo térmico. Importa referir que para o cálculo desses parâmetros a área usada é a área envidraçada e que os mesmos que calculam de forma igual aos restantes elementos da envolvente. Assim:

$$A_{v_{Ji}} = A_{t_{Ji}} \cdot F_{g_i} \quad (72)$$

$$A_{v_{JA}} = 2,8 \text{ m}^2 \quad (73)$$

$$A_{v_{JB}} = 1,4 \text{ m}^2 \quad (74)$$

➤ Janela da parede A

Na Tabela 31 estão representados os parâmetros térmicos calculados para a janela da parede A.

Tabela 31 - Resistências térmicas calculadas para a janela da parede A.

|                     |          |
|---------------------|----------|
| $R_{i_{JA}}$ [°C/W] | 4,64E-02 |
| $R_{JA}$ [°C/W]     | 1,43E-03 |
| $R_{e_{JA}}$ [°C/W] | 1,43E-02 |

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a janela da parede A são as seguintes:

$$\frac{T_{ext} - T_{eJA}}{R_{eJA}} = \frac{T_{eJA} - T_{iJA}}{R_{JA}} \quad (75)$$

$$\frac{T_{eJA} - T_{iJA}}{R_{JA}} = \frac{T_{iJA} - T_i}{R_{iJA}} \quad (76)$$

➤ Janela da parede B

Na Tabela 32 estão representados os parâmetros térmicos calculados para a janela B.

Tabela 32 - Resistências térmicas calculadas para a janela da parede B.

|                             |          |
|-----------------------------|----------|
| $R_{iJB}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | 9,29E-02 |
| $R_{JB}$ [ $^{\circ}C/W$ ]  | 2,86E-03 |
| $R_{eJB}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | 2,86E-02 |

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a janela da parede B são as seguintes:

$$\frac{T_{ext} - T_{eJB}}{R_{eJB}} = \frac{T_{eJB} - T_{iJB}}{R_{JB}} \quad (77)$$

$$\frac{T_{eJB} - T_{iJB}}{R_{JB}} = \frac{T_{iJB} - T_i}{R_{iJB}} \quad (78)$$

3.3.1.6. Porta P

A Figura 19 ilustra o esquema RC adotado na modelação do comportamento térmico da Porta P, da envolvente.

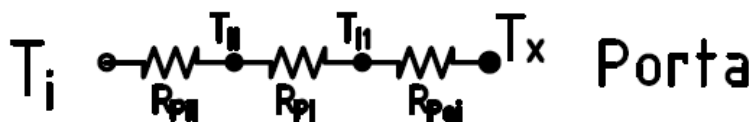


Figura 19 - Ilustração do esquema RC da cobertura.

Tabela 33 – Propriedades da porta P.

| Material      | $e$ [m] | $\rho$ [ $kg/m^3$ ] | $\lambda$ [ $W/(m \cdot ^{\circ}C)$ ] | $C_p$ [ $J/(kg \cdot ^{\circ}C)$ ] |
|---------------|---------|---------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Madeira Densa | 0,03    | 500                 | 0,15                                  | 1500                               |

Na Tabela 34 estão representados os parâmetros térmicos calculados para a porta P.

Tabela 34 – Valores dos parâmetros térmicos da porta P.

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| $R_{si_p}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | 4,30E-03 |
| $R_p$ [ $^{\circ}C/W$ ]      | 6,67E-02 |
| $R_{sep}$ [ $^{\circ}C/W$ ]  | 4,30E-03 |
| $C_p$ [ $J/^{\circ}C$ ]      | 6,75E+04 |

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a porta P são as seguintes:

$$\frac{T_{ext} - T_{e_{JB}}}{R_{e_{JB}}} = \frac{T_{e_{JB}} - T_{i_{JB}}}{R_{JB}} \quad (79)$$

$$\frac{T_{e_{JB}} - T_{i_{JB}}}{R_{JB}} = \frac{T_{i_{JB}} - T_i}{R_{i_{JB}}} \quad (80)$$

### 3.2.3. Ganhos Internos

O cálculo dos ganhos de calor de fontes internas é obtido com recurso à seguinte equação:

$$Q_{GI} = q_{int} \cdot P \quad (81)$$

Onde:

$q_{int}$  – Ganhos internos médios.

P – Número de pessoas no compartimento.

O modelo considera que os ganhos internos médios de calor são variáveis durante o dia, isto deve-se ao facto de o modelo considerar que o quarto apenas está ocupado por uma pessoa entre as 19h e as 8h. Assim considerou-se que nos períodos do dia entre as 8h e as 19h  $q_{int}$  toma o valor de 4, durante as restantes horas do dia,  $q_{int}$  tem o valor de 80. A variabilidade do  $q_{int}$  ao longo do dia foi feita com a implementação de uma função no programa EES, isto pode ser verificado no anexo A.

### 3.2.4. Renovação de Ar

A metodologia seguida para o cálculo das perdas de calor por unidade de tempo que correspondem à renovação do ar interior foi obtida com recurso ao RCCTE("Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios," 2005). Assim:

$$Q_I = \frac{\rho_{ar} \cdot C_{par} \cdot R_{ph} \cdot V \cdot (T_i - T_{ext})}{3600} \quad (82)$$

Onde:

$\rho_{ar}$  – Massa volúmica do ar (em  $Kg/m^3$ ).

$C_{par}$  – Calor específico do ar (em  $J/(Kg \cdot ^\circ C)$ ).

$R_{ph}$  - Número de renovações de ar por hora.

$V$  – Volume de interior do quarto (em  $m^3$ ).

$T_i$  – Temperatura do ar interior (em  $^\circ C$ ).

$T_{ext}$  – Temperatura do ar exterior (em  $^\circ C$ ).

O termo  $\frac{\rho_{ar} \cdot C_{par}}{3600}$  toma o valor de  $0,34 W/(m^3 \cdot ^\circ C)$ . No que concerne ao termo  $R_{ph}$ , o modelo considera que este é variável, tomando o 0,6 para os períodos do dia entre as 8h e as 19h e de 25 para as restantes horas do dia. O valor de  $R_{ph}$  de  $0,6 h^{-1}$  diz respeito à taxa de renovação de ar mínima, o valor  $25 h^{-1}$  foi um valor arbitrado. A variação do valor  $R_{ph}$  é devida ao modelo considerar que à noite se há abertura das janelas para ventilação noturna. Esta variação, é obtida com a incorporação de uma função condicional no programa EES, isto pode ser visto no Anexo A.

### 3.2.5. Mobiliário

A Fig. 20 ilustra o esquema RC adotado na modelação do comportamento térmico do mobiliário.

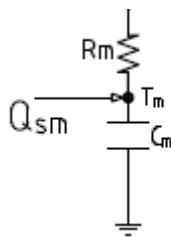


Figura 20 - Ilustração do esquema RC da mobiliário.

O modelo considera que o mobiliário troca calor com o ar interior e que recebe radiação que atravessa as janelas existentes nas paredes A e B.

A temperatura do mobiliário,  $T_m$ , é dada pela seguinte equação:

$$\frac{dT_m}{dt} = \frac{T_i - T_m}{R_m \cdot C_m} + (1 - x_A) \cdot \frac{A_{JA} \cdot Q_{SA}}{C_m} + (1 - x_B) \cdot \frac{A_{JB} \cdot Q_{SB}}{C_m} \quad (83)$$

Onde:

$R_m$  – Resistência térmica do mobiliário (em  $^{\circ}C/W$ ).

$C_m$  – Capacidade térmica do mobiliário (em  $J/K$ ).

Considerou-se que havia dentro do quarto mobiliário que ocupava uma área de  $40 m^2$  e que a sua massa era 200 kg. Considerou-se também que toda a mobília era em contraplacado.

Tabela 35 – Propriedades físicas do contraplacado.

| Material      | $\rho [kg/m^3]$ | $\lambda [W/(m \cdot ^{\circ}C)]$ | $C_p [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$ |
|---------------|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Contraplacado | 540             | 0,12                              | 1210                           |

Tabela 36 – Parâmetros térmicos do mobiliário.

|                     |          |
|---------------------|----------|
| $R_m [^{\circ}C/W]$ | 3,00E-03 |
| $C_m [J/^{\circ}C]$ | 3,60E+05 |

### 3.4. Temperatura interior

Como já foi referido, e pode ser visto através da consulta da Fig.6, o balanço térmico dentro do quarto em estudo é função de diferentes trocas de calor feitas com o ar interior.

A equação (84), é a equação principal deste modelo térmico, uma vez que representa a variação da temperatura interior  $T_i$  para cada instante  $t$ , e é função de todas as trocas de calor descritas nos subcapítulos anteriores.

$$\begin{aligned} \frac{dT_i}{dt} = & \frac{T_{iA} - T_i}{R_{iA} \cdot C_i} + \frac{T_{iB} - T_i}{R_{iB} \cdot C_i} + \frac{T_{iC} - T_i}{R_{iC} \cdot C_i} + \frac{T_{iD} - T_i}{R_{iD} \cdot C_i} + \frac{T_{iE} - T_i}{R_{iE} \cdot C_i} + \frac{T_{iF} - T_i}{R_{iF} \cdot C_i} + \frac{T_m - T_i}{R_m \cdot C_i} + \frac{T_{JAi} - T_i}{R_{JAi} \cdot C_i} \\ & + \frac{T_{JBi} - T_i}{R_{JBi} \cdot C_i} + \frac{T_{Pi} - T_i}{R_{Pi} \cdot C_i} + \frac{\dot{Q}_{GI}}{C_i} + \frac{\dot{Q}_I}{C_i} \end{aligned} \quad (84)$$

$$C_i = \rho_{ar} V_{quarto} C_{par} \quad (85)$$

Tabela 37 - Capacidade térmica do ar.

|              |          |
|--------------|----------|
| $G_i$ [J/°C] | 4,67E+04 |
|--------------|----------|

### 3.5. Resultados

A Fig. 21 mostra a evolução da temperatura exterior e interior em função do tempo para dois dias. Os resultados obtidos são fruto da implementação as equações em cima descritas no programa EES. A simulação foi feita para um intervalo de tempo de 10 dias por forma a estabilizar os valores iniciais impostos no modelo térmico em estudo, estando apenas representados na Fig. 21 os dados entre o dia 6 e 8. Importa mencionar que a resolução das equações diferenciais ordinárias foi feita com recurso ao método de Euler explícito.

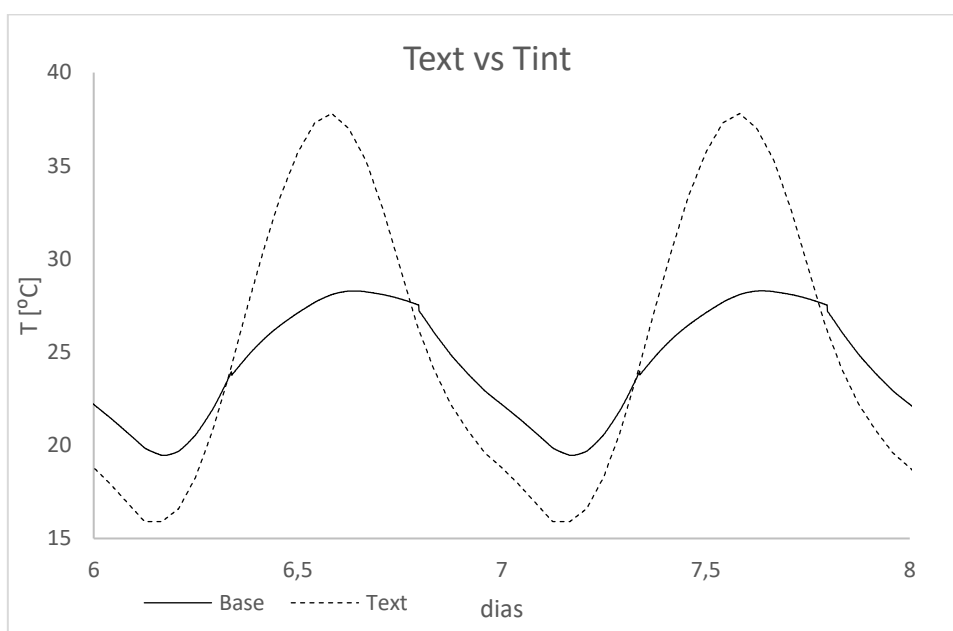


Figura 21 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior no modelo base.

A simulação do modelo base descrito neste capítulo, feita com recurso ao programa EES teve um  $t_{comp} = 527$  s.

## 4. Estudo de variantes de modelação

Este capítulo, tem como propósito estudar de que forma diferentes variantes de modelação tem efeito tanto na evolução da temperatura interior do compartimento bem como no tempo de simulação que o software precisa para simular o modelo. Assim, pretende-se nas próximas secções descrever o estudo feito relativo às alterações e simplificações feitas ao modelo base descrito no capítulo 3. Sendo todas as variantes em estudo derivadas do modelo base, apenas se apresentarão as diferenças entre as diferentes variantes de modelação e o modelo base. Serão também apresentados os métodos de simplificação usados.

### 4.1. Alteração da resistência térmica superficial

#### 4.1.1. Contextualização

Como já foi referido, o modelo base tem em consideração a transferência de calor por infiltração no interior do compartimento. No entanto, apesar de o modelo considerar que o número de renovações de ar por hora se altera em função da hora durante o dia, considera também que, a resistência térmica superficial interior,  $R_{si}$ , se mantém constante.

Pretende-se assim nesta secção, avaliar o impacto que terá, na diferença entre a temperatura exterior e interior, a implementação no modelo de uma resistência térmica interior alternativa, quando o número de renovações de ar no interior do compartimento varia.

A justificação para este estudo prende-se ao facto de a resistência térmica interior, se relacionar com o coeficiente de transferência de calor interior,  $h_{int_i}$ , este por sua vez depende da velocidade de circulação do ar no interior do compartimento,  $V$ , e consequentemente do número de renovações por hora,  $R_{ph}$ . As relações entre as variáveis supramencionadas podem ser verificadas através das seguintes equações:

$$R_{si} = \frac{1}{A_i \cdot h_{i_i}} \quad (86)$$

$$h_{int_i} = h_{conv_i} + h_{rad} \quad (88)$$

$$\dot{V} = \frac{R_{ph} * Volume}{3600} \quad (89)$$

$$V = \frac{\dot{V}}{A_s} \quad (90)$$

Como se pode verificar através da equação (88), o coeficiente de transferência de calor interior é função da soma entre o coeficiente de convecção interno,  $h_{conv_i}$ , e o coeficiente de radiação,  $h_{rad}$ .

Para o presente estudo é considerado que o coeficiente de transferência de calor por radiação constante, isto porque  $h_{rad}$  não depende do número de renovações de ar por hora. Optou-se por um  $h_{rad} = 5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$ .

De acordo com a fonte (Clarke, 2007) o coeficiente de transferência de calor por convecção interno,  $h_{conv_i}$ , é função da velocidade,  $V$ , e das variáveis a, b e n que são valores empíricos (Fig. 22). Este coeficiente pode ser calculado pela seguinte equação:

$$h_{conv_i} = 5.678 \left[ a + b \left( \frac{V}{0.3048} \right)^n \right] \quad (91)$$

| Nature of surface | $v < 4.88 \text{ ms}^{-1}$ |      |   | $4.88 \leq v < 30.48 \text{ ms}^{-1}$ |      |      |
|-------------------|----------------------------|------|---|---------------------------------------|------|------|
|                   | a                          | b    | n | a                                     | b    | n    |
| Smooth            | 0.99                       | 0.21 | 1 | 0                                     | 0.50 | 0.78 |
| Rough             | 1.09                       | 0.23 | 1 | 0                                     | 0.53 | 0.78 |

Figura 22 – Valores empíricos (Clarke, 2007)

Assim, para o cálculo de  $h_{conv_i}$ , o primeiro passo consiste no estabelecimento de um dado  $R_{ph}$ , posteriormente e com recurso às equações (89) e (90), um valor de velocidade será calculado. Tendo sido calculada  $V$ , e por observação da Fig. 22, chegam-se aos valores empíricos necessários para o cálculo do valor de  $h_{conv_i}$ .

Como foi estabelecido no modelo base, o  $R_{ph}$  toma o valor de 0,6 durante o dia, e 25 durante a noite. Sendo que o volume do compartimento toma o valor de  $37.8 \text{ m}^3$  e que para o cálculo da velocidade  $A_s = A_A = 10,8 \text{ m}^2$ . Pode então calcular-se o valor de,  $h_{conv_i}$ , na Tabela 38 são apresentados os valores das variáveis calculados:

Tabela 38 – Valores das variáveis calculadas para  $R_{ph}$ .

| $R_{ph}$ | $\dot{V} [\text{m}^3/\text{s}]$ | $V [\text{m}/\text{s}]$ | $h_{conv_i} [\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})]$ | $h_{int_i} [\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})]$ |
|----------|---------------------------------|-------------------------|---|--|
| 25       | 0.2625                          | 0.02431                 | 5.7163  | 10.7163                                      |

Calculado o valor do coeficiente de transferência de calor no interior,  $h_{i_i}$ , e com recurso à equação (86) pode então chegar-se ao valor das resistências térmicas interiores para as diferentes paredes do compartimento. Os valores são expostos na Tabela 39.



Tabela 39 – Resistências térmicas interiores das diferentes paredes.

| $R_{si_A}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | $R_{si_B}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | $R_{si_C}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | $R_{si_D}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | $R_{si_E}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | $R_{si_F}$ [ $^{\circ}C/W$ ] |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1,01E-02                     | 1,03E-02                     | 6,67E-03                     | 1,01E-01                     | 1,03E-02                     | 6,67E-03                     |

Uma vez estabelecidos os valores de  $R_{si_i}$ , o passo seguinte é implementar esses valores no modelo no EES. Não haverá nenhum tipo de alterações nas equações em si, apenas será implementado no modelo uma função de condição, que fará com que a resistência térmica superficial interior varie quando  $R_{ph}$  variar também.

#### 4.1.2. Resultados e conclusões

Na Fig. 23 encontram-se expostos os resultados da simulação realizada no EES, da evolução da temperatura interior do quarto do modelo base em relação ao modelo com  $R_{si_i}$  variável.

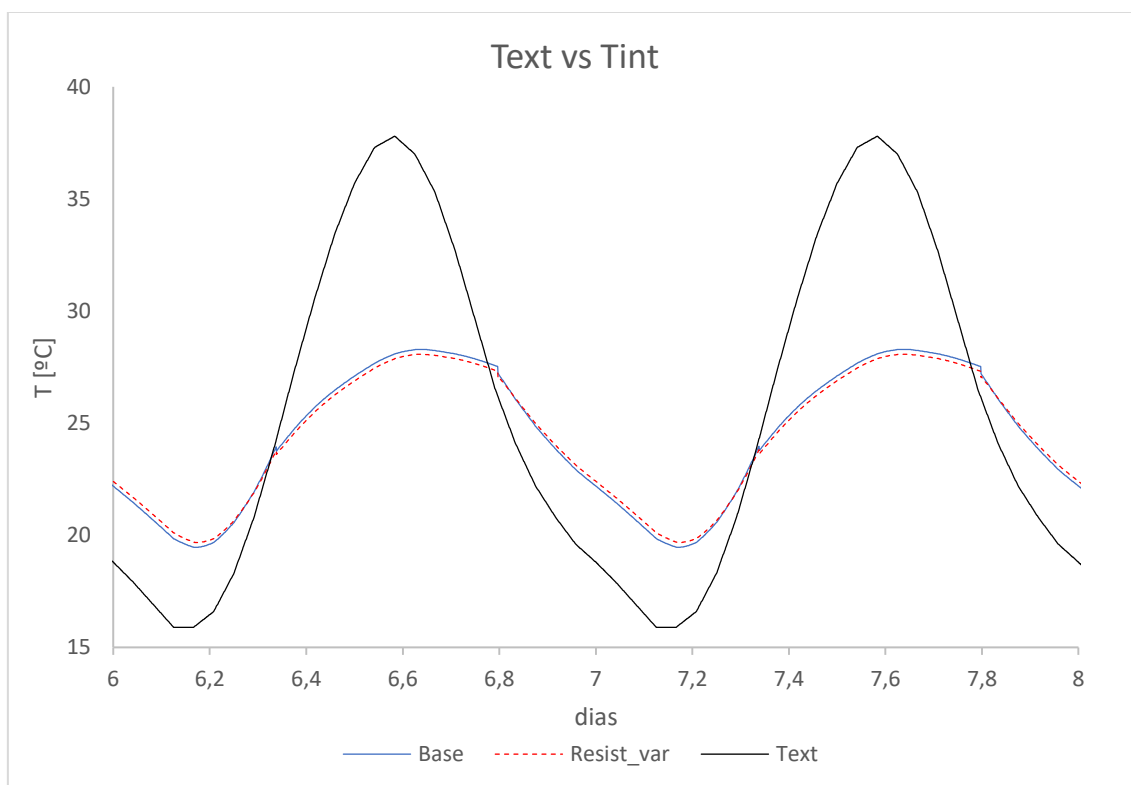


Figura 23 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior.

Após análise dos resultados expostos na Fig. 23, verifica-se que o facto de se adicionar ao modelo  $R_{si_i}$  variáveis com o número de renovações de ar por hora, produz pouca diferença na evolução da temperatura interior do compartimento. A diferença entre a temperatura interior entre o modelo base e modelo alternativo, é da ordem dos 0,2 °C. No entanto, o  $t_{simulação}$  aumentou  $\approx 1\%$ . Assim e tendo em conta que a complexidade do modelo base aumentou com a adição de uma nova função, e que a diferença de temperatura não é muito significativa não se incorpora esta alteração no modelo.

#### 4.1.3. Estudo de sensibilidade do $h_{conv_i}$ em função de $R_{ph}$

Considerando que as alterações implementadas ao modelo base descritas em cima não produziram alterações substanciais na evolução da temperatura interior do compartimento para um  $R_{ph}$  de 25, achou-se pertinente nesta secção fazer um estudo de sensibilidade da temperatura interior para várias  $R_{ph}$ . Este estudo prende-se com o facto de se pretender analisar de que forma é que  $T_i$  varia em função de  $R_{ph}$ .

O método utilizado tanto para o cálculo dos  $h_{int_i}$ , como para o cálculo é exatamente igual ao utilizado na secção 4.1., a única diferença é na variável que se pretende estudar,  $R_{ph}$ . Nas tabelas 40 e 41 encontram-se expostos os valores calculados para as variáveis em causa.

Tabela 40 - Valores das variáveis calculadas em função de  $R_{ph}$ .

| $RPH$ | $\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /s] | $V$ [m/s] | $h_{conv_i}$ [W/(m <sup>2</sup> °C)] | $h_{int_i}$ [W/(m <sup>2</sup> °C)] |
|-------|-------------------------------|-----------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 10    | 0.105                         | 0.0097    | 5.6                                  | 10.6                                |
| 25    | 0.26                          | 0.024     | 5.7                                  | 10.7                                |
| 100   | 1.05                          | 0.09      | 6.0                                  | 11.0                                |
| 600   | 6.3                           | 0.58      | 7.9                                  | 12.9                                |
| 2000  | 21                            | 1.94      | 13.2                                 | 18.2                                |

Tabela 41 – Resistências térmicas superficiais em função do RPH.

| $RPH$ | $R_{si_A}$ [°C/W] | $R_{si_B}$ [°C/W] | $R_{si_C}$ [°C/W] | $R_{si_D}$ [°C/W] | $R_{si_E}$ [°C/W] | $R_{si_F}$ [°C/W] |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 10    | 1,02E-02          | 1,02E-02          | 6,70E-03          | 1,02E-02          | 1,03E-02          | 6,70E-03          |
| 25    | 1,41E-02          | 1,43E-02          | 1,21E-02          | 1,44E-02          | 1,24E-02          | 1,21E-02          |
| 100   | 9,88E-03          | 9,99E-03          | 6,49E-03          | 9,88E-03          | 9,99E-03          | 6,49E-03          |
| 600   | 8,42E-03          | 8,52E-03          | 5,54E-03          | 8,42E-03          | 8,52E-03          | 5,54E-03          |
| 2000  | 5,96E-03          | 6,03E-03          | 3,92E-03          | 5,96E-03          | 6,03E-03          | 3,92E-03          |

Na Fig. 24 encontram-se representadas os diferentes resultados das simulações de evolução da temperatura interior. A cada curva corresponde um dado  $R_{ph}$ .

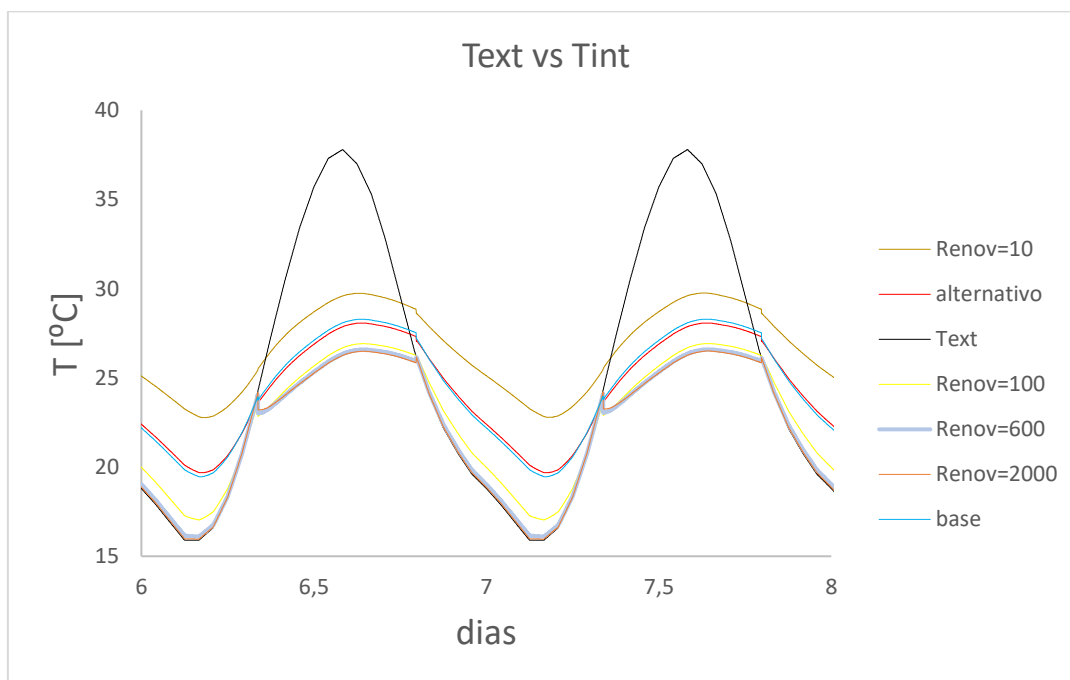


Figura 24 – Resultados obtidos através do EES, dos valores da temperatura interior em função RPH.

Com recurso aos resultados ilustrados na Fig. 24, pode-se verificar que apenas para valores de  $R_{ph}$  muito elevados é que a temperatura interior do compartimento fica próxima da temperatura exterior, isto para os períodos mais frios do dia. Esta ocorrência leva a um aumento da confiança nos resultados da temperatura interior, obtidos através do caso base.

#### 4.2. Introdução de temperatura ar-sol no modelo

Nesta secção, será em primeiro lugar apresentado o conceito de temperatura ar-sol, conceito este que permite, em certa forma simplificar o modelo. A simplificação ocorre porque a temperatura ar-sol engloba em si informação tanto do ar como da radiação. A segunda parte desta secção irá consistir na explicação da forma como esta temperatura foi implementada no modelo base, bem como a análise dos resultados obtidos.

##### 4.2.1. Temperatura Ar-Sol

A temperatura ar-sol pode definir-se como a temperatura exterior que conduziria, na ausência de radiação, à mesma transferência de calor para a superfície exterior da parede do que aquela que se verifica na realidade devido aos efeitos combinados da radiação e convecção. A temperatura ar-sol calcula-se através da seguinte equação:

$$T_{as} = T_{ext} + \frac{a \cdot I_t - \varepsilon \cdot \delta R}{h_{ext}} \quad (92)$$

Onde:

$T_{as}$  – Temperatura ar-sol em °C.

$T_{ext}$  – Temperatura exterior em °C.

$a$  – Absorvidade da superfície para a radiação solar.

$I_t$  – Radiação solar total incidente na superfície em  $W/m^2$

$\varepsilon$  – Emissividade hemisférica da superfície.

$h_{ext}$  – Coeficiente de transferência de calor por convecção e radiação de longo comprimento de onda na superfície exterior em  $W/m^2K$ .

$\delta R$  – Diferença entre a radiação de longo comprimento de onda incidente na superfície e a radiação emitida por um corpo negro à temperatura exterior em  $W/m^2$ .

Para os cálculos da  $T_{as}$  optou-se por considerar um valor constante para o coeficiente de transferência combinado,  $h_{ext}$ , este é de  $17 W/m^2K$ .  $\delta R = 0$  para superfícies verticais e  $\delta R = 63 W/m^2$  para superfícies horizontais (Leal, 1998). Considerou-se que a emissividade  $\varepsilon=0,9$ .

#### 4.2.2. Implementação da temperatura ar-sol no modelo

A implementação da temperatura ar-sol no modelo implica que se deixem de considerar as transferências de calor por radiação nas superfícies expostas a radiação solar. Esta alteração no modelo pode ser observada na Fig. 25 para as paredes expostas ao sol. Na Fig. 26 podemos observar modelo completo, já com a temperatura ar-sol implementada.

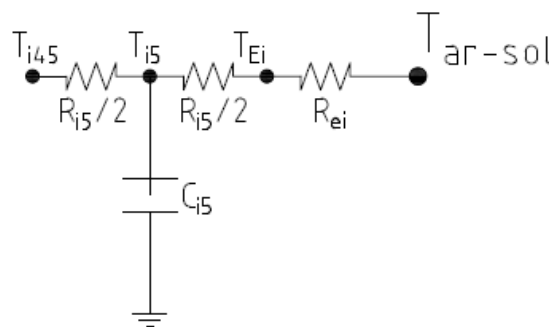


Figura 25 - Figura ilustrativa da temperatura ar-sol no modelo.

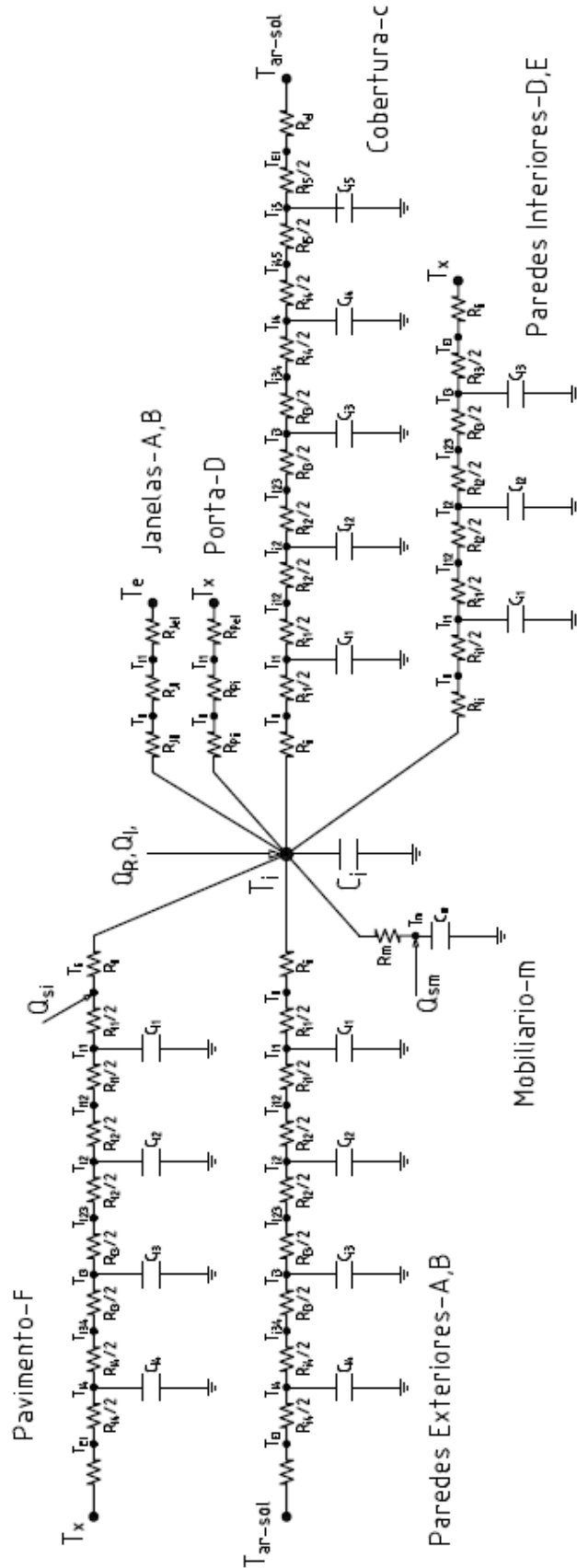


Figura 26 - Ilustração do modelo térmico RC em análise.

Sabendo que a temperatura ar-sol é função da radiação solar incidente nas superfícies e que o compartimento em estudo tem três superfícies expostas à mesma, as paredes A, B e cobertura C. O primeiro passo na implementação da temperatura ar-sol no modelo passa por escrever as equações relativas as  $T_{as}$  correspondentes às três superfícies expostas à radiação solar. Como as paredes A e B são verticais  $\delta R = 0$ . Assim:

$$T_{as_A} = T_{ext} + \frac{a \cdot Q_{SA}}{h_{ext}} \quad (93)$$

$$T_{as_B} = T_{ext} + \frac{a \cdot Q_{SB}}{h_{ext}} \quad (94)$$

$$T_{as_C} = T_{ext} + \frac{a \cdot Q_{SC} - \varepsilon \cdot \delta R}{h_{ext}} \quad (95)$$

Ao implementar a temperatura ar-sol no modelo térmico, e como se pode ver através da Fig. 26, o modelo deixa de considerar que o nó exterior da envolvente,  $T_{e_i}$ , recebe calor sob a forma de radiação solar. Assim, surge a necessidade de alterar equações no modelo base. Assim, no modelo base foram substituídas as equações (15)(20)(24) pelas equações (96)(97)(98) em baixo representadas.

$$\frac{T_{as_A} - T_{e_A}}{R_{se_A}} = \frac{T_{e_A} - T_{4_A}}{R_{4_A}/2} \quad (96)$$

$$\frac{T_{as_B} - T_{e_B}}{R_{se_B}} = \frac{T_{e_B} - T_{4_B}}{R_{4_B}/2} \quad (97)$$

$$\frac{T_{as_C} - T_{e_C}}{R_{se_C}} = \frac{T_{e_C} - T_{4_C}}{R_{4_C}/2} \quad (98)$$

#### 4.2.3. Resultados e conclusões

Na Fig. 27, pode-se observar a evolução da temperatura interior no interior do compartimento, para um intervalo de tempo de dois dias, tanto relativo ao modelo base como ao modelo alternativo discutido nesta secção. Ainda na Fig.27 pode-se observar também a evolução da temperatura exterior. A simulação da evolução da temperatura interior foi obtida com recurso ao programa EES.

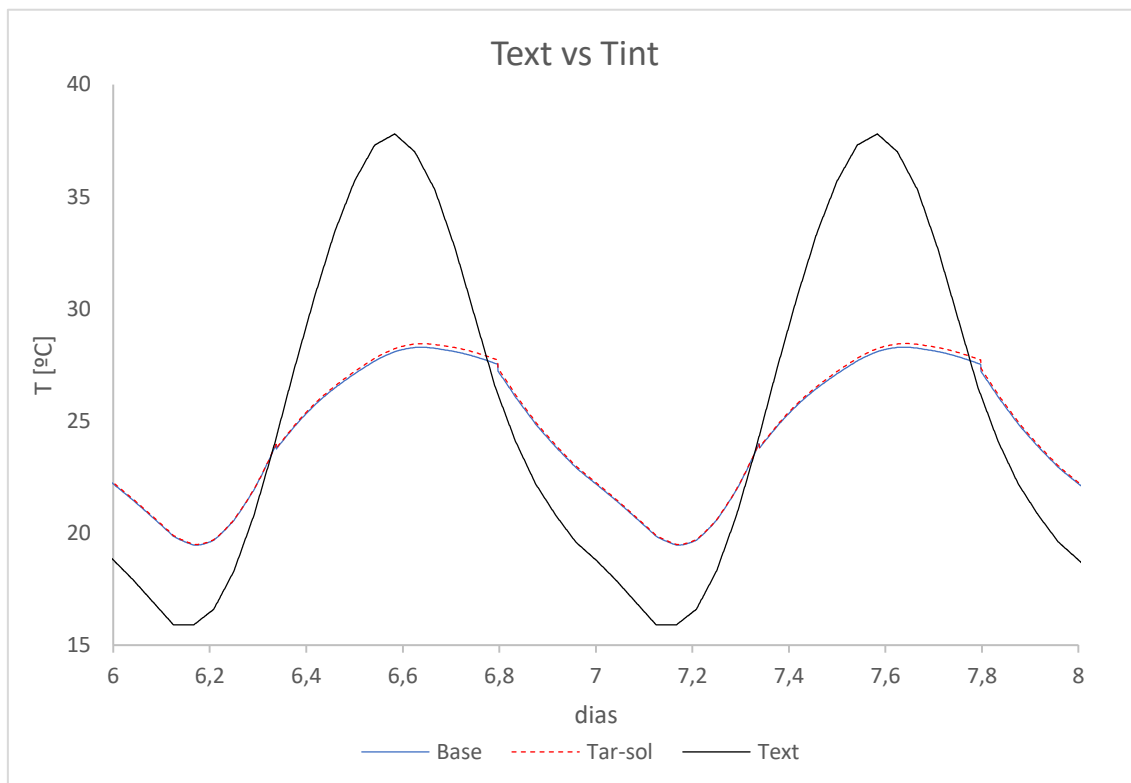


Figura 27 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior.

Com recurso à Fig. 27, pode-se verificar que as  $T_i$  obtidas através da simulação, tanto para o modelo base, como para o modelo alternativo com temperatura ar-sol, são iguais em quase todo o tempo em estudo. Esta observação confirma assim que a temperatura ar-sol é uma boa aproximação. Relativamente ao  $t_{simulação}$ , este tem o valor de 527 s, existe assim uma redução de 2 s,  $\approx 0,4 \%$ , quando comparado com o caso base. Assim podemos concluir que a introdução desta simplificação ao modelo base não provoca alterações substanciais no tempo de simulação e na evolução da temperatura interior, não sendo assim incorporada no modelo base.

#### 4.3. Modelação mais detalhada da camada principal das paredes

Pretende-se nesta secção estudar um modelo alternativo ao caso base que descreva com mais detalhe a camada principal das paredes do compartimento. A justificação para este estudo prende-se ao facto de a camada principal, que corresponde à camada de tijolo, ter uma capacidade térmica substancialmente maior que todas as outras camadas. Este facto pode ser observado em todas as paredes.

O propósito deste estudo é avaliar, em primeiro lugar, o impacto que uma maior descrição da camada principal tem na evolução da temperatura interior, em segundo lugar, no tempo necessário para o programa fazer a simulação.

Na Fig.28 pode observar-se como o modelo base descreve a camada principal de todos os elementos construtivos da envolvente. Na Fig.29 estão representadas as alterações ao modelo base que se pretendem implementar no detalhe da camada de tijolo em todo o compartimento.

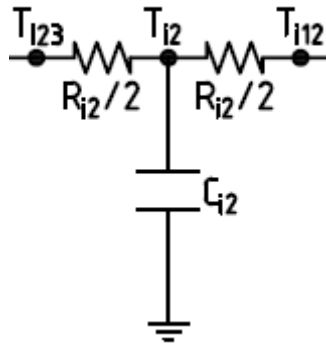


Figura 28 - Esquema RC das da camada principal no modelo base.

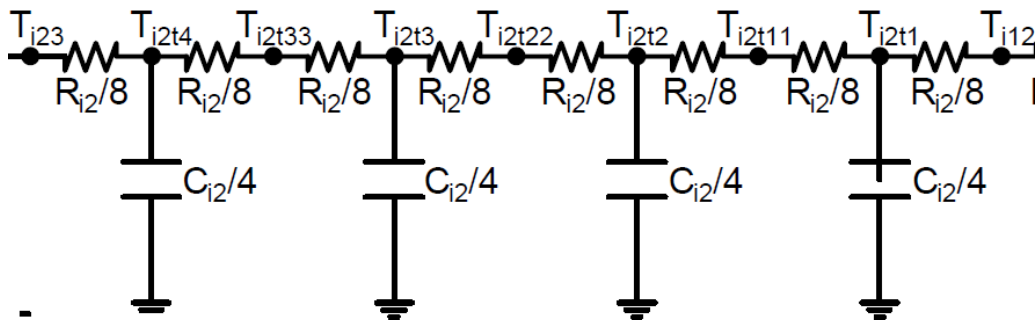


Figura 29 – Esquema RC das da camada principal no modelo em estudo.

Como já foi referido, as alterações feitas ao modelo base, observáveis na Fig. 29 nesta secção serão feitas a todo o compartimento. Estas consistem na divisão da camada principal, em quatro subcamadas deixando esta de ser representada por um esquema 2R1C para um esquema 8R4C. As modificações feitas introduziram no modelo novas equações e alteraram outras existentes. A Fig. 30 representa na integra o modelo alternativo proposto.

Assim, pretende-se em seguida mostrar em detalhe quais as alterações feitas nas equações e nos valores das resistências e das capacidades térmicas, isto relativamente ao modelo descrito no capítulo 3. para cada caso em particular.



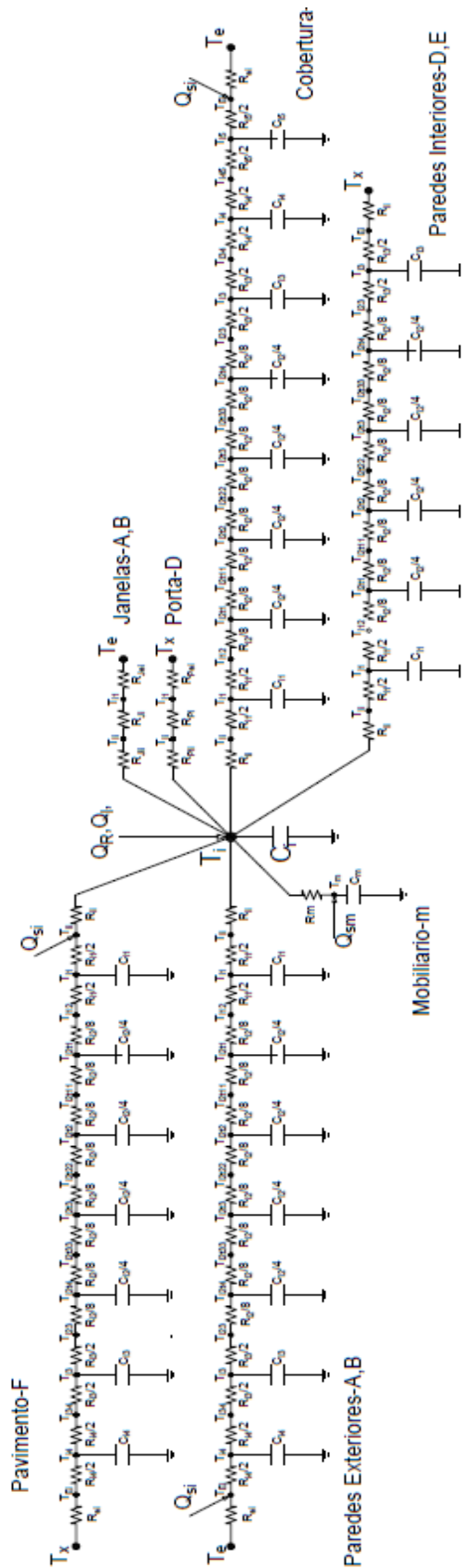


Figura 30 - Ilustração integral do modelo térmico RC em análise.

4.3.1. Paredes exteriores A, B

A Fig.31 ilustra o esquema RC adotado na modelação do comportamento térmico das paredes exteriores, A e B da envolvente. A camada principal (tijolo) tem um esquema 8R4C.

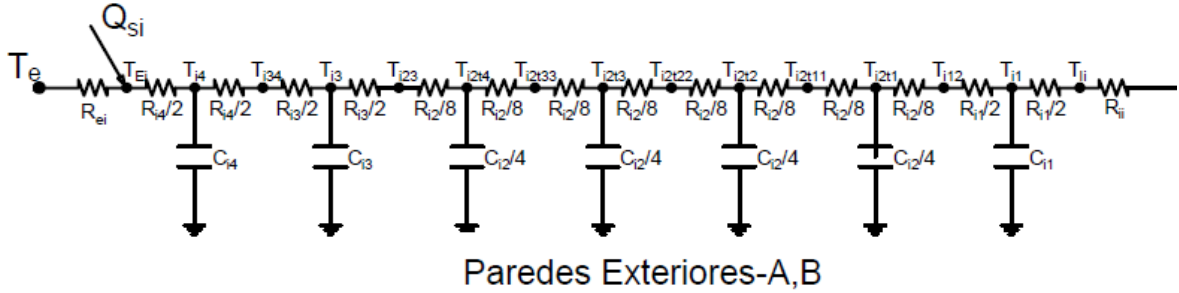


Figura 31 - Ilustração do esquema RC das paredes exteriores.

Serão agora expostas as equações implementadas no software que permitem descrever o comportamento térmico das paredes exteriores A e B da envolvente.

➤ Parede A

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a parede A são as seguintes:

$$\frac{T_{t1A} - T_{12A}}{\frac{R_{2A}}{8}} = \frac{T_{12A} - T_{1A}}{\frac{R_{1A}}{2}} \quad (99)$$

$$\frac{dT_{t1A}}{dt} = \frac{T_{t11A} - T_{t1A}}{\frac{R_{2A}}{8} \cdot \frac{C_{2A}}{4}} - \frac{T_{12A} - T_{t1A}}{\frac{R_{2A}}{8} \cdot \frac{C_{2A}}{4}} \quad (100)$$

$$\frac{T_{t2A} - T_{t11A}}{\frac{R_{2A}}{8}} = \frac{T_{t11A} - T_{t1A}}{\frac{R_{2A}}{8}} \quad (101)$$

$$\frac{dT_{t2A}}{dt} = \frac{T_{t22A} - T_{t2A}}{\frac{R_{2A}}{8} \cdot \frac{C_{2A}}{4}} - \frac{T_{t11A} - T_{t2A}}{\frac{R_{2A}}{8} \cdot \frac{C_{2A}}{4}} \quad (102)$$

$$\frac{T_{t3A} - T_{t22A}}{\frac{R_{2A}}{8}} = \frac{T_{t22A} - T_{t2A}}{\frac{R_{2A}}{8}} \quad (103)$$

$$\frac{dT_{t3A}}{dt} = \frac{T_{t33A} - T_{t3A}}{\frac{R_{2A}}{8} \cdot \frac{C_{2A}}{4}} - \frac{T_{t22A} - T_{t3A}}{\frac{R_{2A}}{8} \cdot \frac{C_{2A}}{4}} \quad (104)$$

$$\frac{T_{t4A} - T_{t33A}}{\frac{R_{2A}}{8}} = \frac{T_{t33A} - T_{t3A}}{\frac{R_{2A}}{8}} \quad (105)$$

$$\frac{dT_{t4A}}{dt} = \frac{T_{23A} - T_{t4A}}{\frac{R_{2A}}{8} \cdot \frac{C_{2A}}{4}} - \frac{T_{t33A} - T_{t4A}}{\frac{R_{2A}}{8} \cdot \frac{C_{2A}}{4}} \quad (106)$$

$$\frac{T_{3A} - T_{23A}}{\frac{R_{3A}}{2}} = \frac{T_{23A} - T_{t4A}}{\frac{R_{2A}}{8}} \quad (107)$$

➤ Parede B

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a parede B são as seguintes:

$$\frac{T_{t1B} - T_{12B}}{\frac{R_{2B}}{8}} = \frac{T_{12B} - T_{1B}}{\frac{R_{1B}}{2}} \quad (108)$$

$$\frac{dT_{t1B}}{dt} = \frac{T_{t11B} - T_{t1B}}{\frac{R_{2B}}{8} \cdot \frac{C_{2B}}{4}} - \frac{T_{12B} - T_{t1B}}{\frac{R_{2B}}{8} \cdot \frac{C_{2B}}{4}} \quad (109)$$

$$\frac{T_{t2B} - T_{t11B}}{\frac{R_{2B}}{8}} = \frac{T_{t11B} - T_{t1B}}{\frac{R_{2B}}{8}} \quad (110)$$

$$\frac{dT_{t2B}}{dt} = \frac{T_{t22B} - T_{t2B}}{\frac{R_{2B}}{8} \cdot \frac{C_{2B}}{4}} - \frac{T_{t11B} - T_{t2B}}{\frac{R_{2B}}{8} \cdot \frac{C_{2B}}{4}} \quad (111)$$

$$\frac{T_{t3B} - T_{t22B}}{\frac{R_{2B}}{8}} = \frac{T_{t22B} - T_{t2B}}{\frac{R_{2B}}{8}} \quad (112)$$

$$\frac{dT_{t3B}}{dt} = \frac{T_{t33B} - T_{t3B}}{\frac{R_{2B}}{8} \cdot \frac{C_{2B}}{4}} - \frac{T_{t22B} - T_{t3B}}{\frac{R_{2B}}{8} \cdot \frac{C_{2B}}{4}} \quad (113)$$

$$\frac{T_{t4B} - T_{t33B}}{\frac{R_{2B}}{8}} = \frac{T_{t33B} - T_{t3B}}{\frac{R_{2B}}{8}} \quad (114)$$

$$\frac{dT_{t4B}}{dt} = \frac{T_{23B} - T_{t4B}}{\frac{R_{2B}}{8} \cdot \frac{C_{2A}}{4}} - \frac{T_{t33B} - T_{t4B}}{\frac{R_{2B}}{8} \cdot \frac{C_{2B}}{4}} \quad (115)$$

$$\frac{T_{3B} - T_{23B}}{\frac{R_{3B}}{2}} = \frac{T_{23B} - T_{t4B}}{\frac{R_{2B}}{8}} \quad (116)$$



$$\frac{T_{t4D} - T_{t33D}}{\frac{R_{2D}}{8}} = \frac{T_{t33D} - T_{t3D}}{\frac{R_{2D}}{8}} \quad (123)$$

$$\frac{dT_{t4D}}{dt} = \frac{T_{23D} - T_{t4D}}{\frac{R_{2D}}{8} \cdot \frac{C_{2D}}{4}} - \frac{T_{t33D} - T_{t4D}}{\frac{R_{2D}}{8} \cdot \frac{C_{2D}}{4}} \quad (124)$$

$$\frac{T_{3D} - T_{23D}}{\frac{R_{3D}}{2}} = \frac{T_{23D} - T_{t4D}}{\frac{R_{2D}}{8}} \quad (125)$$

➤ Parede E

As equações que serão implementadas ao modelo e que descrevem a parede E são as seguintes:

$$\frac{T_{t1E} - T_{12E}}{\frac{R_{2E}}{8}} = \frac{T_{12E} - T_{1E}}{\frac{R_{1E}}{2}} \quad (126)$$

$$\frac{dT_{t1E}}{dt} = \frac{T_{t11E} - T_{t1E}}{\frac{R_{2E}}{8} \cdot \frac{C_{2E}}{4}} - \frac{T_{12E} - T_{t1E}}{\frac{R_{2E}}{8} \cdot \frac{C_{2E}}{4}} \quad (127)$$

$$\frac{T_{t2E} - T_{t11E}}{\frac{R_{2E}}{8}} = \frac{T_{t11E} - T_{t1E}}{\frac{R_{2E}}{8}} \quad (128)$$

$$\frac{dT_{t2E}}{dt} = \frac{T_{t22E} - T_{t2E}}{\frac{R_{2E}}{8} \cdot \frac{C_{2E}}{4}} - \frac{T_{t11E} - T_{t2E}}{\frac{R_{2E}}{8} \cdot \frac{C_{2E}}{4}} \quad (129)$$

$$\frac{T_{t3E} - T_{t22E}}{\frac{R_{2E}}{8}} = \frac{T_{t22E} - T_{t2E}}{\frac{R_{2E}}{8}} \quad (130)$$

$$\frac{dT_{t3E}}{dt} = \frac{T_{t33E} - T_{t3E}}{\frac{R_{2E}}{8} \cdot \frac{C_{2E}}{4}} - \frac{T_{t22E} - T_{t3E}}{\frac{R_{2E}}{8} \cdot \frac{C_{2E}}{4}} \quad (131)$$

$$\frac{T_{t4E} - T_{t33E}}{\frac{R_{2E}}{8}} = \frac{T_{t33E} - T_{t3E}}{\frac{R_{2E}}{8}} \quad (132)$$

$$\frac{dT_{t4E}}{dt} = \frac{T_{23E} - T_{t4E}}{\frac{R_{2E}}{8} \cdot \frac{C_{2E}}{4}} - \frac{T_{t33E} - T_{t4E}}{\frac{R_{2E}}{8} \cdot \frac{C_{2E}}{4}} \quad (133)$$

$$\frac{T_{3E} - T_{23E}}{\frac{R_{3E}}{2}} = \frac{T_{23E} - T_{t4E}}{\frac{R_{2E}}{8}} \quad (134)$$



$$\frac{dT_{t4F}}{dt} = \frac{T_{23F} - T_{t4F}}{\frac{R_{2F}}{8} \cdot \frac{C_{2F}}{4}} - \frac{T_{t33F} - T_{t4F}}{\frac{R_{2F}}{8} \cdot \frac{C_{2F}}{4}} \quad (142)$$

$$\frac{T_{3F} - T_{23F}}{\frac{R_{3F}}{2}} = \frac{T_{23F} - T_{t4F}}{\frac{R_{2F}}{8}} \quad (143)$$

#### 4.3.4. Cobertura C

A Fig. 34 ilustra o esquema RC adotado na modelação do comportamento térmico da cobertura C. A camada principal (tijolo) tem um esquema 8R4C.

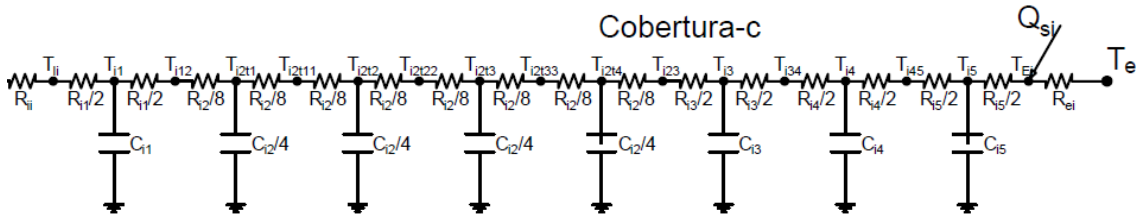


Figura 34 - Ilustração do esquema RC das paredes cobertura.

As equações implementadas no modelo térmico proposto nesta secção, relativas a cobertura C são as seguintes:

$$\frac{T_{t1C} - T_{12C}}{\frac{R_{2C}}{8}} = \frac{T_{12C} - T_{1C}}{\frac{R_{1C}}{2}} \quad (144)$$

$$\frac{dT_{t1C}}{dt} = \frac{T_{t11C} - T_{t1C}}{\frac{R_{2C}}{8} \cdot \frac{C_{2C}}{4}} - \frac{T_{12C} - T_{t1C}}{\frac{R_{2C}}{8} \cdot \frac{C_{2C}}{4}} \quad (145)$$

$$\frac{T_{t2C} - T_{t11C}}{\frac{R_{2C}}{8}} = \frac{T_{t11C} - T_{t1C}}{\frac{R_{2C}}{8}} \quad (146)$$

$$\frac{dT_{t2C}}{dt} = \frac{T_{t22C} - T_{t2C}}{\frac{R_{2C}}{8} \cdot \frac{C_{2C}}{4}} - \frac{T_{t11C} - T_{t2C}}{\frac{R_{2C}}{8} \cdot \frac{C_{2C}}{4}} \quad (147)$$

$$\frac{T_{t3C} - T_{t22C}}{\frac{R_{2C}}{8}} = \frac{T_{t22C} - T_{t2C}}{\frac{R_{2C}}{8}} \quad (148)$$

$$\frac{dT_{t3C}}{dt} = \frac{T_{t33C} - T_{t3C}}{\frac{R_{2C}}{8} \cdot \frac{C_{2C}}{4}} - \frac{T_{t22C} - T_{t3C}}{\frac{R_{2C}}{8} \cdot \frac{C_{2C}}{4}} \quad (149)$$

$$\frac{T_{t4c} - T_{t33c}}{\frac{R_{2c}}{8}} = \frac{T_{t33c} - T_{t3c}}{\frac{R_{2c}}{8}} \quad (150)$$

$$\frac{dT_{t4c}}{dt} = \frac{T_{23c} - T_{t4c}}{\frac{R_{2c}}{8} \cdot \frac{C_{2c}}{4}} - \frac{T_{t33c} - T_{t4c}}{\frac{R_{2c}}{8} \cdot \frac{C_{2c}}{4}} \quad (151)$$

$$\frac{T_{3c} - T_{23c}}{\frac{R_{3c}}{2}} = \frac{T_{23c} - T_{t4c}}{\frac{R_{2c}}{8}} \quad (152)$$

#### 4.3.5. Resultados e Conclusões

Na Fig. 35 encontram-se representados os resultados da simulação feita, onde se pode observar as evoluções da  $T_{ext}$  e da  $T_i$ . A  $T_i$  encontra-se representada tanto para o modelo base, como para o modelo com alterações.

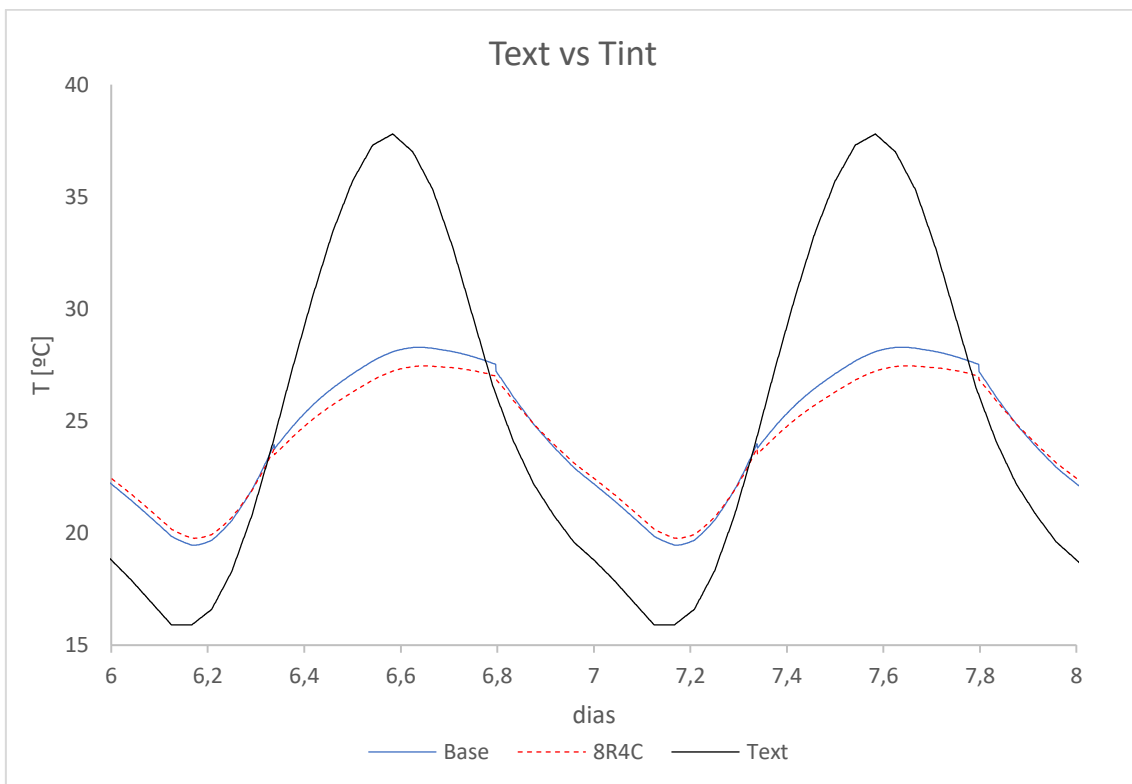


Figura 35 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior.



Como se pode verificar através da consulta da Fig. 35, as alterações feitas no modelo base não produzem alterações muito significativas na evolução da temperatura interior, relativamente à evolução homologa no modelo base, sendo a  $\Delta T_{max} \approx 1,5^\circ$ . No entanto o tempo de computação necessário para a simulação,  $t_{simulação} = 828$  s. Isto corresponde a um aumento no  $t_{simulação}$  de 57%. Sendo a variação de temperatura não muito significativa esta alteração não será incorporada no modelo base

Pretende-se nas próximas secções secção a implementação de diferentes formas de simplificar a envolvente do compartimento e avaliar qual o impacto que essas simplificações têm na evolução da temperatura interior relativamente ao modelo base. Isto no sentido de tentar simplificar o modelo e diminuir o tempo necessário para cada simulação.

#### 4.4. Variante de Lorenz & Masy

A primeira simplificação que se pretende estudar trata-se de um método proposto por Lorenz & Masy (Masy, 1982).

##### 4.4.1. Método Lorenz & Masy

O método Lorenz & Masy(Masy, 1982) permite a um elemento construtivo com n camadas de material ser combinado para formar duas resistências térmicas ( $R_{ea}$  e  $R_{ie}$ ) e uma capacidade térmica ( $C_e$ ). (Gouda, Danaher, & Underwood, 2002)

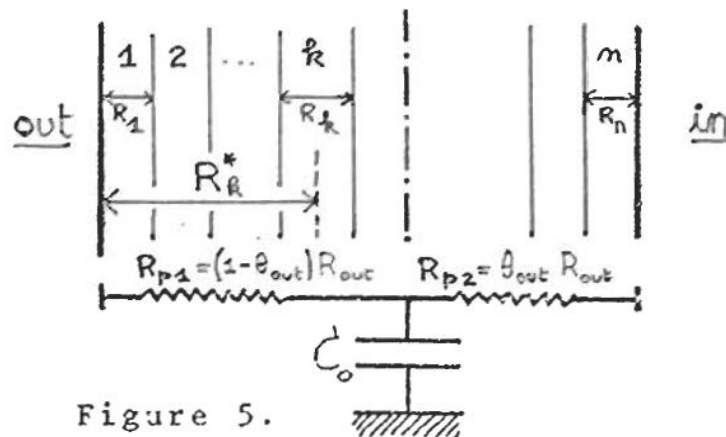


Figura 36 - (Masy, 1982)

As equações propostas pelos autores para o cálculo das resistências térmicas  $R_{ea}$  e  $R_{ie}$  são as seguintes:

$$R_k^* = \sum_{i=1}^{k-1} \left( R_i + \frac{R_k}{2} \right) \quad (153)$$

$$\theta = 1 - \left( \frac{\sum_{k=1}^n C_k R_k^*}{C_e R_e} \right) \quad (154)$$

$$R_{ie} = \theta R_e \quad (155)$$

$$R_{ea} = (1 - \theta) R_e \quad (156)$$

Onde:

$R_k^*$  - É a resistência entre o meio da camada k da envolvente e o ar exterior em  $m^2 \cdot \frac{^\circ C}{W}$ .

$R_k$  - É resistência da camada k da envolvente  $m^2 \cdot \frac{^\circ C}{W}$ .

$R_i$  - É a resistência entre a camada k da envolvente e o ar exterior  $m^2 \cdot \frac{^\circ C}{W}$ .

$R_e$  - É a resistência total da envolvente  $m^2 \cdot \frac{^\circ C}{W}$ .

$C_e$  - É a capacidade térmica total da envolvente  $\frac{Wh}{^\circ C}$ .

$C_k$  - É a capacidade térmica da camada k da envolvente  $\frac{Wh}{^\circ C}$ .

$R_{ea}$  - É a resistência entre o nó da envolvente e o nó do ar interior  $m^2 \cdot \frac{^\circ C}{W}$ .

$R_{ie}$  - É a resistência entre o nó da envolvente e o nó do ar exterior  $m^2 \cdot \frac{^\circ C}{W}$ .

#### 4.4.2. Integração com o modelo base

Sumariamente, este método consiste em considerar que cada elemento construtivo da envolvente pode ser representado por três nós de temperatura, duas resistências térmicas e uma capacidade térmica, Fig.37. Isto é feito com recurso ao método apresentado na secção 4.4.1. que permite combinar as diferentes camadas dos diferentes elementos construtivos.

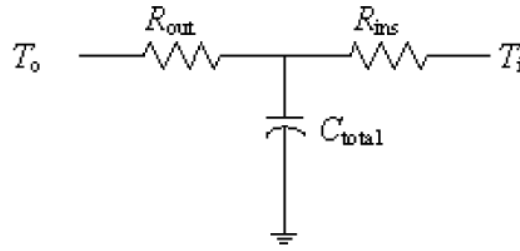


Figura 37 – Esquema RC proposto por Lorenz&Masy.

A Fig.38 mostra uma representação integral do modelo térmico proposto e em estudo nesta secção após aplicação do método de Lorenz & Masy.

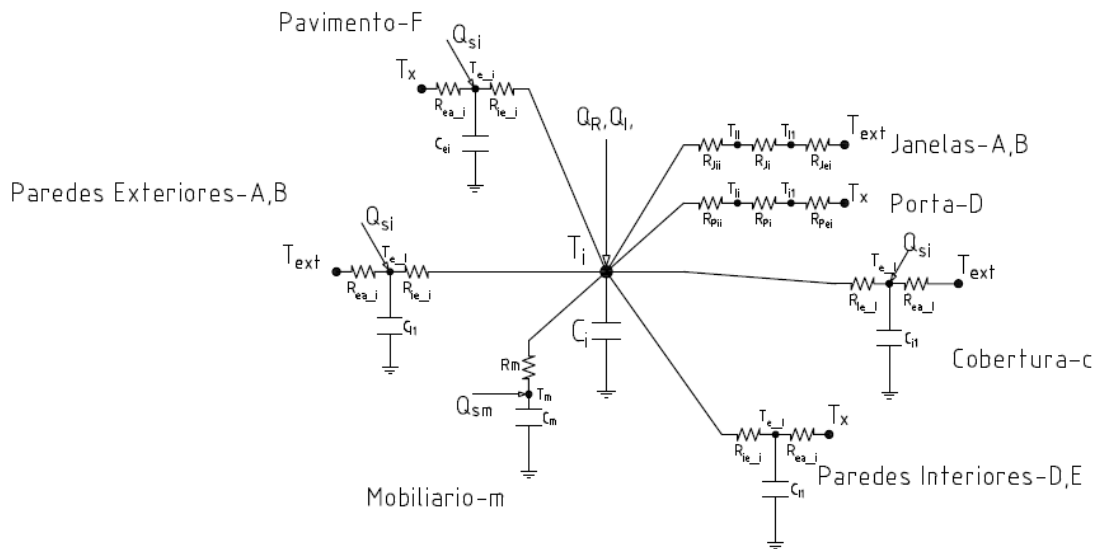


Figura 38 - Ilustração do modelo térmico RC em análise.

Ao considerar que, todas as camadas  $n$  de cada elemento construtivo  $i$ , neste modelo alternativo, se combinam em apenas um ponto, só será necessária uma equação para descrever cada um destes elementos. Assim apresentam-se em baixo as equações relativas aos diferentes elementos construtivos aos quais foi aplicado o método proposto.

$$\frac{dT_{eA}}{dt} = \frac{T_i - T_{eA}}{R_{ieA} \cdot C_{eA}} + \frac{T_{ext} - T_{eA}}{R_{eaA} \cdot C_{eA}} + \frac{a \cdot A_A \cdot Q_{SA}}{C_{eA}} \quad (157)$$

$$\frac{dT_{eB}}{dt} = \frac{T_i - T_{eB}}{R_{ieB} \cdot C_{eB}} + \frac{T_{ext} - T_{eB}}{R_{eaB} \cdot C_{eB}} + \frac{a \cdot A_B \cdot Q_{SB}}{C_{eB}} \quad (158)$$

$$\frac{dT_{eC}}{dt} = \frac{T_i - T_{eC}}{R_{ieC} \cdot C_{eC}} + \frac{T_{ext} - T_{eC}}{R_{eaC} \cdot C_{eC}} + \frac{a \cdot A_C \cdot Q_{SC}}{C_{eC}} \quad (159)$$

$$\frac{dT_{eD}}{dt} = \frac{T_i - T_{eD}}{R_{ieD} \cdot C_{eD}} + \frac{T_{ext} - T_{eD}}{R_{eaD} \cdot C_{eD}} \quad (160)$$

$$\frac{dT_{eE}}{dt} = \frac{T_i - T_{eE}}{R_{ieE} \cdot C_{eE}} + \frac{T_{ext} - T_{eE}}{R_{eaE} \cdot C_{eE}} \quad (161)$$

$$\frac{dT_{eF}}{dt} = \frac{T_i - T_{eF}}{R_{ieF} \cdot C_{eF}} + \frac{T_{ext} - T_{eF}}{R_{eaF} \cdot C_{eF}} + \frac{x_A \cdot A_{JA} \cdot Q_{SA}}{C_{eF}} + \frac{x_B \cdot A_{JB} \cdot Q_{SB}}{C_{eF}} \quad (162)$$

A equação principal que descreve a temperatura interior também se alterou. Assim:

$$\begin{aligned} \frac{dT_i}{dt} = & \frac{T_{eA} - T_i}{R_{ieA} \cdot C_i} + \frac{T_{eB} - T_i}{R_{ieB} \cdot C_i} + \frac{T_{eC} - T_i}{R_{ieC} \cdot C_i} + \frac{T_{eD} - T_i}{R_{ieD} \cdot C_i} + \frac{T_{eE} - T_i}{R_{ieE} \cdot C_i} + \frac{T_{eF} - T_i}{R_{ieF} \cdot C_i} + \frac{T_m - T_i}{R_m \cdot C_i} + \frac{T_{JAI} - T_i}{R_{JAI} \cdot C_i} \\ & + \frac{T_{JBI} - T_i}{R_{JBI} \cdot C_i} + \frac{T_{pi} - T_i}{R_{pi} \cdot C_i} + \frac{\dot{Q}_{GI}}{C_i} + \frac{\dot{Q}_I}{C_i} \end{aligned} \quad (163)$$

#### 4.4.3. Resultados e conclusões

Na Tabela 42 são apresentados os resultados das resistências térmicas calculas pelo método de Lorenz & Masy(Masy, 1982).

Tabela 42 – Parâmetros térmicos calculados através do método Lorenz&Masy.

|             | $R_{ea}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | $R_{ie}$ [ $^{\circ}C/W$ ] | $C_e$ [ $J/^{\circ}C$ ] |
|-------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Parede A    | 7,94E-03                   | 2,87E-02                   | 1,88E+06                |
| Parede B    | 8,11E-03                   | 2,94E-02                   | 1,86E+06                |
| Cobertura C | 5,72E-03                   | 2,74E-02                   | 4,08E+06                |
| Parede D    | 3,55E-03                   | 1,38E-02                   | 1,41E+06                |
| Parede E    | 2,60E-03                   | 1,00E-02                   | 1,64E+06                |
| Pavimento F | 2,67E-03                   | 1,47E-02                   | 3,93E+06                |

Na Figura 39 podem-se observar os resultados da evolução da temperatura interior obtidos após simulação no programa EES, para o modelo proposto nesta secção. Na mesma figura, encontram-se também representados os resultados homólogos da simulação do modelo base, como forma de comparação.

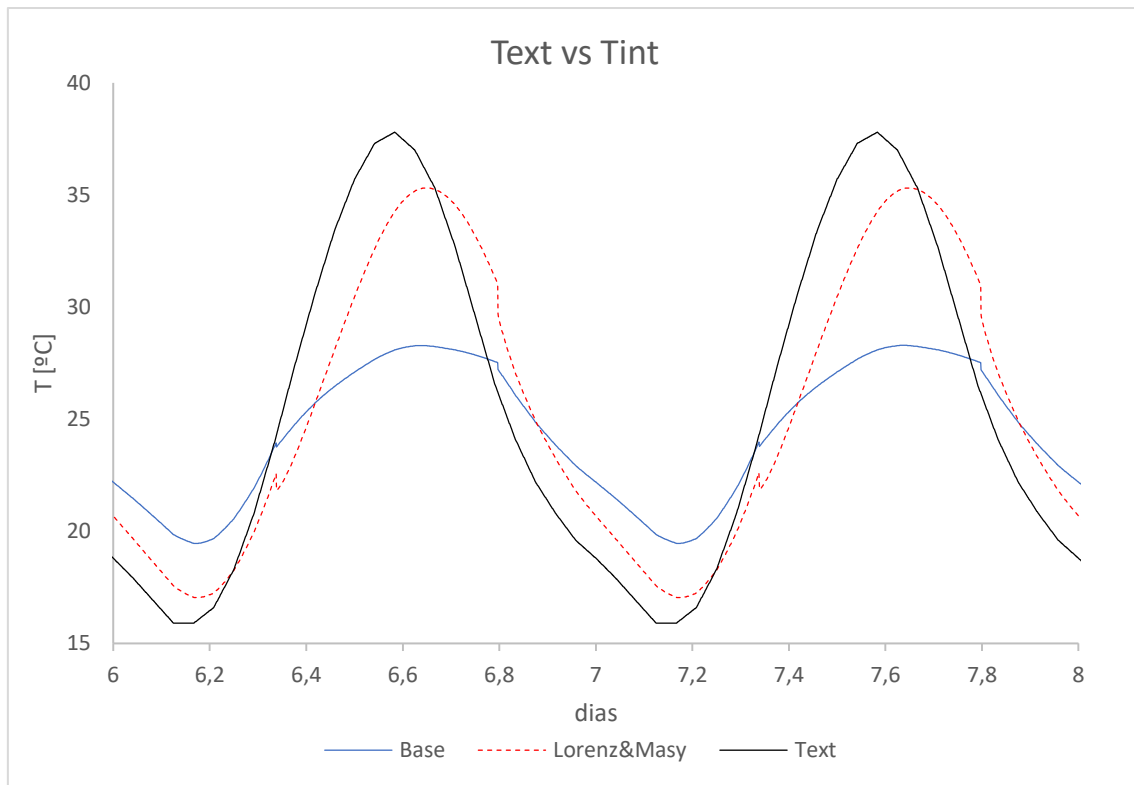


Figura 39 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior.

O tempo que o programa demorou a efetuar a simulação deste modelo alternativo,  $t_{simulação} = 168 s$ . Como já foi antes referenciado,  $t_{simulação} = 527 s$  no caso base. Assim pode-se concluir que com o modelo proposto por Lorenz & Masy,  $t_{simulação}$  passa a ser  $\approx 32 \%$  do tempo necessário para o programa efetuar a simulação do modelo base. No entanto, apesar desta diminuição enorme no tempo de simulação, os valores da evolução da temperatura interior obtidos são muito diferentes dos conseguidos através do modelo base, sendo  $\Delta T_{max} \approx 8^\circ$ . Esta diferença nas temperaturas interiores, corrobora a informação encontrada na literatura, onde se refere que esta simplificação proposta por Lorenz & Masy não é aconselhável a elementos construtivos onde haja elevadas trocas de calor por radiação e onde haja elementos com elevada capacidade térmica. (Gouda et al., 2002; Underwood Reader & Yik, 2008)

#### 4.5. Variante Tang & Wang

Pretende-se nesta próxima secção analisar um modelo térmico baseado em (Tang & Wang, 2019). No artigo citado, os autores usam um modelo térmico que representa cada um dos elementos construtivos da envolvente por apenas uma resistência térmica,  $R_w$ , e duas capacidades térmicas,  $C_1$  e  $C_2$ . Na Fig.40 encontra-se representado o modelo térmico alternativo alvo de estudo.

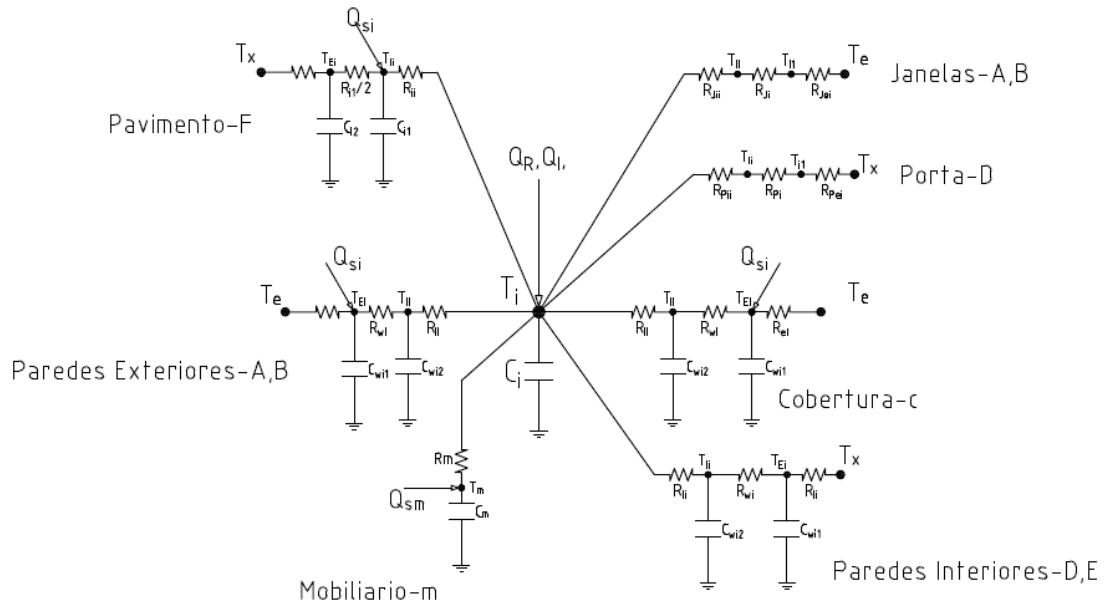


Figura 40 - Ilustração do modelo térmico RC em análise.

As equações usadas para cálculo dos diferentes parâmetros térmicos  $R_{w_i}$ ,  $C_{1_i}$  e  $C_{2_i}$  são as seguintes:

$$R_{w_i} = \sum_{k=1}^k R_{k_i} \quad (164)$$

$$C_{1_i} = \frac{\sum_{k=1}^k C_{k_i}}{2} \quad (165)$$

$$C_{2_i} = \frac{\sum_{k=1}^k C_{k_i}}{2} \quad (166)$$

Na Tabela 43 encontram-se representados os valores dos parâmetros térmicos usados no modelo e calculados com a através das equações em cima escritas.

Tabela 43 – Valores dos parâmetros térmicos.

|             | $R_w$ [ $^{\circ}C/W$ ] | $C_1$ [ $^{\circ}C/W$ ] | $C_2$ [ $^{\circ}C/W$ ] |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Parede A    | 1,00E-01                | 9,40E+05                | 9,40E+05                |
| Parede B    | 1,01E-01                | 9,30E+05                | 9,30E+05                |
| Cobertura C | 9,22E-02                | 2,04E+06                | 2,04E+06                |
| Parede D    | 3,34E-02                | 7,03E+05                | 7,03E+05                |
| Parede E    | 2,87E-02                | 8,20E+05                | 8,20E+05                |
| Pavimento F | 2,75E-02                | 1,97E+06                | 1,97E+06                |

Como o modelo proposto nesta secção considera que cada elemento construtivo da envolvente é representado por dois nós, Fig. 40. Tendo em conta este facto, serão apenas necessárias duas equações para descrever cada um destes elementos construtivos. Em baixo serão apresentadas as diferentes equações usadas neste modelo alternativo para cada um destes elementos.

➤ Parede A

$$\frac{dT_{e_A}}{dt} = \frac{T_{ext} - T_{e_A}}{R_{se_A} \cdot C_{1A}} - \frac{T_{e_A} - T_{i_A}}{R_{w_A} \cdot C_{1A}} + \frac{a \cdot A_A \cdot Q_{SA}}{C_{1A}} \quad (167)$$

$$\frac{dT_{i_A}}{dt} = \frac{T_{e_A} - T_{i_A}}{R_{w_A} \cdot C_{2A}} - \frac{T_{i_A} - T_i}{R_{si_A} \cdot C_{2A}} \quad (168)$$

➤ Parede B

$$\frac{dT_{e_B}}{dt} = \frac{T_{ext} - T_{e_B}}{R_{se_A} \cdot C_{1B}} - \frac{T_{e_B} - T_{i_B}}{R_{w_A} \cdot C_{1B}} + \frac{a \cdot A_B \cdot Q_{SB}}{C_{1B}} \quad (169)$$

$$\frac{dT_{i_B}}{dt} = \frac{T_{e_B} - T_{i_B}}{R_{w_B} \cdot C_{2B}} - \frac{T_{i_B} - T_i}{R_{si_B} \cdot C_{2B}} \quad (170)$$

➤ Cobertura C

$$\frac{dT_{e_C}}{dt} = \frac{T_{ext} - T_{e_C}}{R_{se_C} \cdot C_{1C}} - \frac{T_{e_C} - T_{i_C}}{R_{w_C} \cdot C_{1C}} + \frac{a \cdot A_C \cdot Q_{SC}}{C_{1C}} \quad (171)$$

$$\frac{\partial T_{i_C}}{dt} = \frac{T_{e_C} - T_{i_C}}{R_{w_C} \cdot C_{2C}} - \frac{T_{i_C} - T_i}{R_{si_C} \cdot C_{2C}} \quad (172)$$

➤ Parede D

$$\frac{dT_{eD}}{dt} = \frac{T_x - T_{eD}}{R_{seD} \cdot C_{1D}} - \frac{T_{eD} - T_{iD}}{R_{wD} \cdot C_{1D}} \quad (173)$$

$$\frac{dT_{iD}}{dt} = \frac{T_{eD} - T_{iD}}{R_{wD} \cdot C_{2D}} - \frac{T_{iD} - T_i}{R_{siD} \cdot C_{2D}} \quad (174)$$

➤ Parede E

$$\frac{dT_{eE}}{\partial t} = \frac{T_y - T_{eE}}{R_{seE} \cdot C_{1E}} - \frac{T_{eE} - T_{iE}}{R_{wE} \cdot C_{1E}} \quad (175)$$

$$\frac{dT_{iE}}{\partial t} = \frac{T_{eE} - T_{iE}}{R_{wE} \cdot C_{2E}} - \frac{T_{iE} - T_i}{R_{siE} \cdot C_{2E}} \quad (176)$$

➤ Pavimento F

$$\frac{dT_{eF}}{dt} = \frac{T_z - T_{eF}}{R_{seF} \cdot C_{1F}} - \frac{T_{eF} - T_{iF}}{R_{wC} \cdot C_{1F}} + \frac{x_a \cdot A_{JA} \cdot Q_{SA}}{C_{1F}} + \frac{x_B \cdot A_{JB} \cdot Q_{SB}}{C_{1F}} \quad (177)$$

$$\frac{dT_{iF}}{dt} = \frac{T_{eF} - T_{iF}}{R_{wF} \cdot C_{2F}} + \frac{T_{iF} - T_i}{R_{siF} \cdot C_{2F}} \quad (178)$$



#### 4.5.1. Resultados e conclusões

Na Fig. 41 estão representados os resultados obtidos da simulação da evolução da temperatura interior, tanto para o modelo alternativo em estudo nesta secção, como para o modelo base descrito em 4.1.

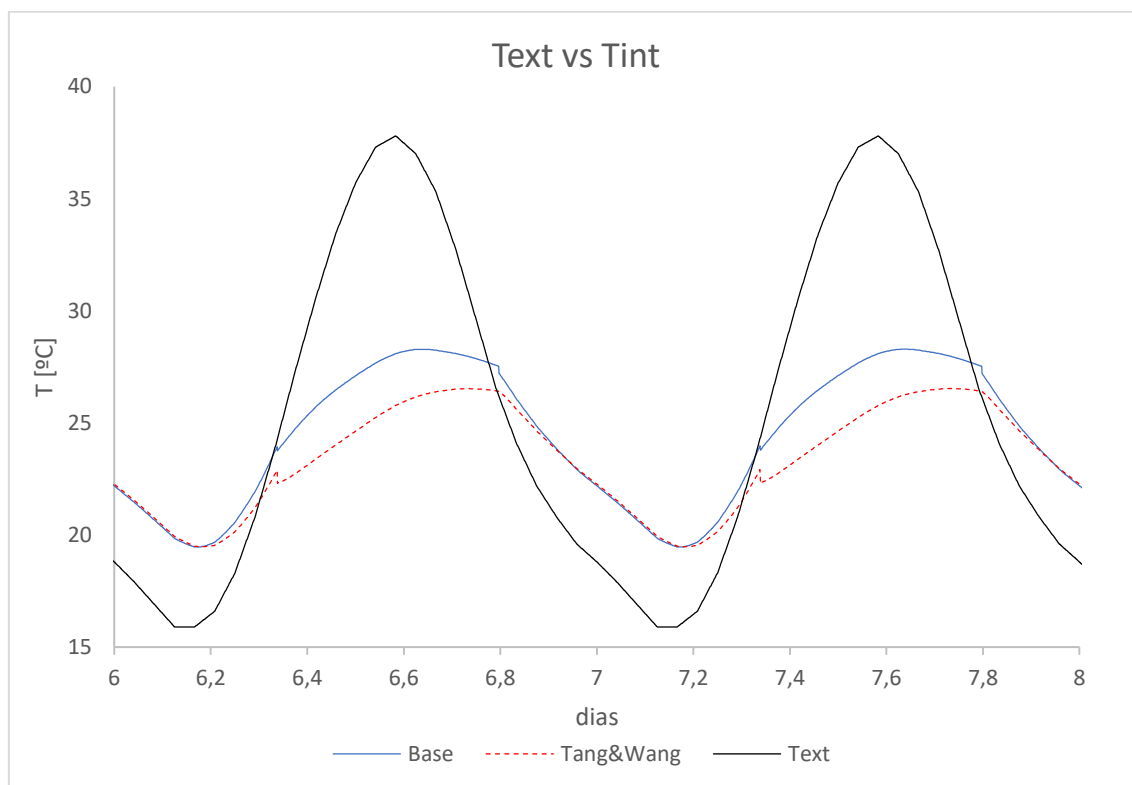


Figura 41 - Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior.

Em relação ao tempo de simulação, neste modelo,  $t_{simulação} = 205 s$ . Comparativamente com o tempo homólogo no modelo base, é uma diminuição considerável de  $\approx 61 \%$ . Sendo a este nível uma opção vantajosa. No entanto, e como se pode observar com recurso à Fig. 41, a  $\Delta T_{max} \approx 2,5^\circ$  entre os dois modelos em comparação. Este  $\Delta T_{max}$  é elevado relativo à ordem de grandeza de temperaturas que estão em causa, o que implica um erro elevado  $\approx 10\%$ . Assim, pode-se concluir que esta simplificação ao modelo base não é vantajosa, pois apesar de uma diminuição muito substancial do  $t_{simulação}$ , esta simplificação incorre num de erro elevado relativo ao modelo base.

#### 4.6. Variante 3ISOL

Pretende-se nesta secção implementar ao modelo base alterações na descrição dos elementos construtivos, que têm isolamento na sua constituição. Essencialmente, este modelo alternativo vai considerar que os elementos construtivos A, B, C são compostos por três camadas. Uma camada representa o isolamento, a camada interior representa uma combinação das camadas interiores ao isolamento, e a camada exterior representa uma combinação das camadas exteriores ao isolamento. Na Fig. 42, pode ser observada uma representação deste modelo alternativo.

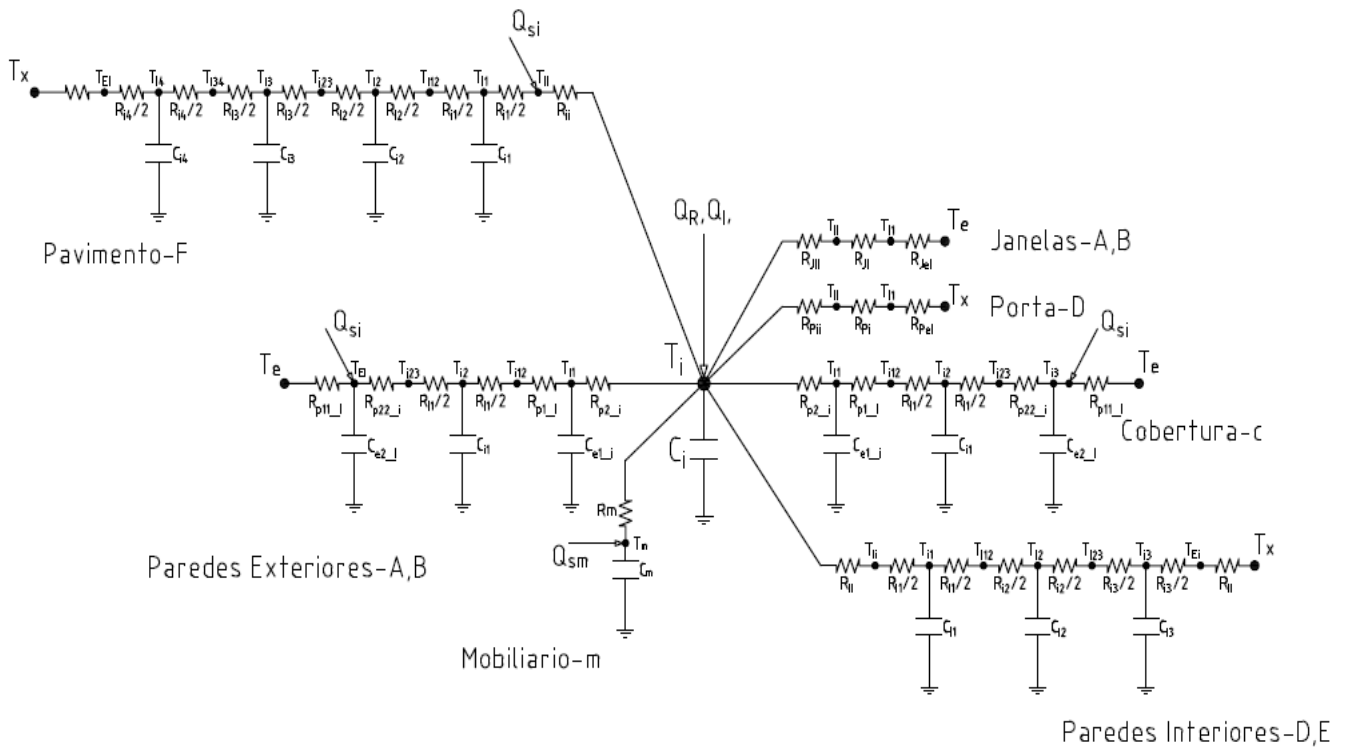


Figura 42 - Ilustração do modelo térmico RC em análise.

Como se pode observar, o modelo em estudo propõe que os elementos da envolvente A, B e C sejam definidos por três capacidades térmicas,  $C$ , e seis resistências térmicas  $R$ .

Para a combinação das resistências térmicas e respetivas capacidades térmicas, foi usado o método baseado em Lorenz & Masy (Masy, 1982), já exposto em 4.4.1. Diz-se que é baseado porque na aplicação deste método, consideramos todas as camadas que estavam no exterior como sendo uma envolvente. Esta consideração foi também feita para as camadas que estavam no interior.

Como já foi referido, as alterações propostas ao modelo base que serão implementadas ao modelo serão exclusivamente feitas aos elementos construtivos A, B e C. Assim apresentam-se em baixo as novas equações que o modelo irá usar para descrever os elementos em cima mencionados.

Nestas equações,  $R_{p11_i}$ ,  $R_{p22_i}$  e  $C_{e2_i}$  representam os valores das resistências térmicas e capacidade térmica obtidos pelo método Lorenz & Masy para o lado exterior do isolamento.  $R_{p1_i}$ ,  $R_{p2_i}$  e  $C_{e1_i}$  são valores homólogos mas correspondentes ao lado interior do isolamento. Finalmente,  $R_{1_i}$  e  $C_{1_i}$  correspondem ao valor da resistência térmica do isolamento e ao respetivo valor da capacidade térmica para cada elemento  $i$  da envolvente.

- Parede A

$$\frac{dT_{3A}}{dt} = \frac{T_{ext} - T_{3A}}{R_{p11A} \cdot C_{e2A}} + \frac{T_{23A} - T_{3A}}{R_{p22A} \cdot C_{e2A}} + \frac{a \cdot A_A \cdot Q_{SA}}{C_{e2A}} \quad (179)$$

$$\frac{T_{3A} - T_{23A}}{R_{p22A}} = \frac{T_{23A} - T_{2A}}{R_{1A}/2} \quad (180)$$

$$\frac{dT_{2A}}{dt} = \frac{T_{23A} - T_{2A}}{R_{1A}/2 \cdot C_{1A}} + \frac{T_{12A} - T_{2A}}{R_{1A}/2 \cdot C_{1A}} \quad (181)$$

$$\frac{T_{2A} - T_{12A}}{R_{1A}/2} = \frac{T_{12A} - T_{1A}}{R_{p1A}} \quad (182)$$

$$\frac{dT_{1A}}{dt} = \frac{T_{12A} - T_{1A}}{R_{p1A} \cdot C_{e1A}} + \frac{T_i - T_{1A}}{R_{p2A} \cdot C_{e1A}} \quad (183)$$

- Parede B

$$\frac{dT_{3B}}{dt} = \frac{T_{ext} - T_{3B}}{R_{p11B} \cdot C_{e2B}} + \frac{T_{23B} - T_{3B}}{R_{p22B} \cdot C_{e2B}} + \frac{a \cdot A_B \cdot Q_{SB}}{C_{e2B}} \quad (184)$$

$$\frac{T_{3B} - T_{23B}}{R_{p22B}} = \frac{T_{23B} - T_{2B}}{R_{1B}/2} \quad (185)$$

$$\frac{dT_{2B}}{dt} = \frac{T_{23B} - T_{2B}}{R_{1B}/2 \cdot C_{1B}} + \frac{T_{12B} - T_{2B}}{R_{1B}/2 \cdot C_{1B}} \quad (186)$$

$$\frac{T_{2B} - T_{12B}}{R_{1B}/2} = \frac{T_{12B} - T_{1B}}{R_{p1B}} \quad (187)$$

$$\frac{dT_{1B}}{dt} = \frac{T_{12B} - T_{1B}}{R_{p1B} \cdot C_{e1B}} + \frac{T_i - T_{1B}}{R_{p2B} \cdot C_{e1B}} \quad (188)$$

- Cobertura C

$$\frac{dT_{3c}}{dt} = \frac{T_{ext} - T_{3c}}{R_{p11c} \cdot C_{e2c}} + \frac{T_{23c} - T_{3c}}{R_{p22c} \cdot C_{e2c}} + \frac{a \cdot A_c \cdot Q_{sc}}{C_{e2c}} \quad (189)$$

$$\frac{T_{3c} - T_{23c}}{R_{p22c}} = \frac{T_{23c} - T_{2c}}{R_{1c}/2} \quad (190)$$

$$\frac{dT_{2c}}{dt} = \frac{T_{23c} - T_{2c}}{R_{1c}/2 \cdot C_{1c}} + \frac{T_{12c} - T_{2c}}{R_{1c}/2 \cdot C_{1c}} \quad (191)$$

$$\frac{T_{2c} - T_{12c}}{R_{1c}/2} = \frac{T_{12c} - T_{1c}}{R_{p1c}} \quad (192)$$

$$\frac{dT_{1c}}{dt} = \frac{T_{12c} - T_{1c}}{R_{p1c} \cdot C_{e1c}} + \frac{T_i - T_{1c}}{R_{p2c} \cdot C_{e1c}} \quad (193)$$

#### 4.6.1. Resultados e Conclusões

Os resultados das resistências e capacidades térmicas obtidos através do método de Lorenz & Masy, e que foram implementadas no novo modelo que em estudo, encontram-se representadas na Tabela 44.

Tabela 44 – Valores dos parâmetros térmicos calculados.

|   | $R_{p1}$ [°C/W] | $R_{p2}$ [°C/W] | $C_{e1}$ [J/°C] | $R_{p11}$ [°C/W] | $R_{p22}$ [°C/W] | $C_{e2}$ [J/°C] |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| A | 5,20E-02        | 3,30E-02        | 1,58E+06        | 5,00E-03         | 2,80E-02         | 2,93E+05        |
| B | 5,30E-02        | 3,30E-02        | 1,57E+06        | 5,00E-03         | 2,80E-02         | 2,89E+05        |
| C | 5,10E-02        | 2,50E-02        | 3,37E+06        | 4,00E-03         | 2,80E-02         | 7,00E+05        |

Na Figura 43, podem ser observados os resultados obtidos na simulação da evolução da temperatura, com recurso ao EES, para um período de dois dias. Na mesma figura, encontram-se representados como forma de comparação os resultados da evolução da temperatura interior para o modelo base descrito no capítulo 3.

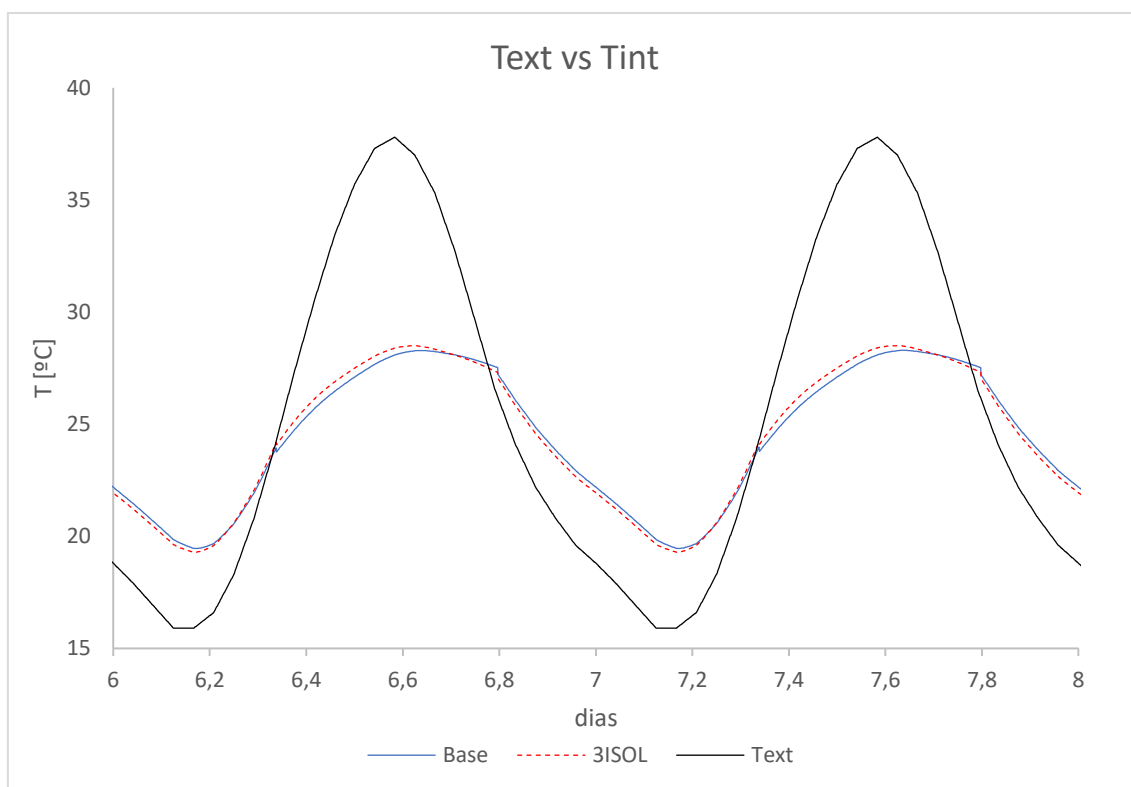


Figura 43 – Resultados obtidos através do EES para a evolução da temperatura interior, no modelo em estudo e no caso base, bem como a evolução da temperatura exterior.

No que diz respeito ao  $t_{simulação}$ , neste modelo alternativo toma o valor de 420 s. Assim, comparativamente com o tempo homólogo no modelo base existe uma redução de  $\approx 20\%$ . Já no que diz respeito ao outro aspeto em avaliação, a temperatura interior, verifica-se que tem uma evolução no modelo alternativo, quase igual à do modelo base. As discrepâncias máximas que se verificam são de  $\Delta T_{max} \approx 0,3^\circ$ , como se pode verificar com consulta à Fig. 43. Para  $\Delta T_{max} \approx 0,3^\circ$  corresponde um erro  $\approx 1\%$ , este é um valor baixo e aceitável.

Tendo em conta as considerações feitas no parágrafo anterior, é possível concluir que a alternativa ao modelo base proposta nesta secção deve adotada.

## 5. Sumário de Conclusões

No capítulo 4., foram apresentadas as diferentes variantes de modelação aplicadas ao modelo base descrito no capítulo 3.; foram também apresentados os resultados e conclusões retiradas a partir das simulações feitas com recurso ao software EES. As conclusões são obtidas através da análise comparativa entre as diferentes variantes de modelação e o modelo base, tendo em conta os resultados do tempo de computação necessário para fazer a simulação ( $t_{simulação}$ ) e a perda de precisão na temperatura interior máxima calculada ( $\Delta T_{max}$ ). A Tabela 45 mostra, em sumário, os resultados obtidos para as diferentes variantes de modelação

Tabela 45 - Tabela sumária de resultados das simulações efetuadas para os diferentes modelos expostos.

| Variante modelação     | $t_{simulação}$ [s] | $\Delta t_{simulação}$ [%] | $\Delta T_{max}$ [°C] | Erro $T_i$ [%] |
|------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------|----------------|
| Modelo Base            | 527                 | -                          | -                     | -              |
| Alteração da $R_{si}$  | 538                 | $\approx +1$               | $\approx 0,2$         | $\approx 0,8$  |
| Introdução de $T_{as}$ | 525                 | $\approx -0,4$             | $\approx 0$           | $\approx 0$    |
| Camada principal 8R4C  | 828                 | $\approx +57$              | $\approx 1,5$         | $\approx 6$    |
| Lorenz&Masy            | 168                 | $\approx -68$              | $\approx 8$           | $\approx 32$   |
| Tang&Wang              | 205                 | $\approx -61$              | $\approx 2,5$         | $\approx 10$   |
| 3ISOL                  | 420                 | $\approx -20$              | $\approx 0,3$         | $\approx 1$    |

A análise comparativa dos resultados da variante de modelação descrita na secção 4.1. (onde é considerado que as resistências térmicas superficiais interiores são variáveis em função da hora do dia), relativamente aos resultados do modelo base (capítulo 3.), permite concluir que as alterações ao modelo base têm pouco impacto tanto no tempo de computação como na temperatura interior.

A variante de modelação descrita em 4.2. introduz o conceito temperatura ar-sol ao modelo base. A implementação desta simplificação no modelo base, não produz alterações substanciais no tempo de computação necessário para a simulação desta variante. No que concerne à curva evolução da temperatura interior, esta é essencialmente coincidente com a curva homóloga do modelo base.

Na variante de modelação descrita em 4.3., há uma alteração na modelação da camada principal (tijolo) dos diferentes elementos construtivos da envolvente opaca. Enquanto que no modelo base esta camada é representada esquema 2R1C, nesta variante é representado por um esquema 8R4C. Este aumento no número de nós de temperatura necessários para caracterizar a camada principal leva à introdução de mais equações no modelo, o que vai levar a um aumento do tempo de computação necessário para o software fazer a simulação. Como se pode observar por consulta da Tabela 45, houve um aumento substancial no tempo de computação. A este facto não correspondeu uma variação significativa na curva de evolução da temperatura ao longo do tempo. Assim conclui-se que para um modelo térmico com estas características o aumento da descrição da camada principal não é vantajoso.

A variante de modelação descrita em 4.4., corresponde a uma simplificação do modelo base com recurso ao método de Lorenz & Masy. Como se pode observar na Tabela 45, esta simplificação tem um impacto significativo no tempo de computação. No entanto, a esta redução no tempo de computação está associada uma discrepância grande entre as curvas de evolução da temperatura interior do modelo base e da variante em causa. Por estes motivos, conclui-se que esta variante de modelação introduzida ao modelo base não é vantajosa para um edifício com as características deste.

A variante de modelação descrita em 4.5. corresponde a uma outra simplificação na modelação de diferentes elementos construtivos da envolvente baseado em (Tang & Wang, 2019). A esta variante corresponde um esquema 1R2C para todos os elementos construtivos da envolvente (exceto portas e janelas). Esta simplificação ao modelo reduz o tempo de computação em 61 % (relativamente ao modelo base). Apesar desta redução no tempo de computação, a diferença entre as curvas da evolução da temperatura interior é elevada. Tendo por base os factos apresentados conclui-se que esta variante de modelação para o edifício em causa, não é vantajosa.

A variante de modelação descrita em 4.5. corresponde a uma nova proposta de simplificação. Nesta simplificação, considera-se que a camada de isolamento se mantém descrita por um esquema 2R1C, no entanto, combinam-se todas as camadas para dentro e para fora do isolamento com recurso ao método de Lorenz & Masy. Esta simplificação faz com que o tempo de computação tenha uma redução de  $\approx 20\%$ . A curva de evolução da temperatura interior desta variante é muito semelhante à do modelo base  $\Delta T_{max} \approx 0,3^{\circ}C$ . A este  $\Delta T_{max}$  corresponde um erro de  $\approx 1\%$ . Tendo em conta os argumentos apresentados anteriormente conclui-se que esta variante de modelação é vantajosa, pois introduz uma redução substancial no tempo de computação não incorrendo em erros significativos.

## Referências

- Association, E. E. (2018). GHG emissions by sector in the EU-28, 1990-2016. Retrieved from [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/ghg-emissions-by-sector-in#tab-chart\\_1](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/ghg-emissions-by-sector-in#tab-chart_1)
- Camelo, S., dos Santos, C. P., Ramalho, Á., Horta, C., Gonçalves, H., & Maldonado, E. (2006). Manual de apoio à aplicação do RCCTE. *ADENE, LNEC, INETI, IPQ, versão*.
- Clarke, J. (2007). *Energy simulation in building design*: Routledge.
- Crabtree, G., Misewich, J., Ambrosio, R., Clay, K., DeMartini, P., James, R., . . . Lieberman, J. (2011). *Integrating Renewable Electricity on the Grid* (Vol. 1401).
- de Comportamento Térmico, R. d. C. (2006). dos Edifícios (RCCTE). *Capítulo III, Artigo 7º*.
- Dimitriou, V. (2016). *Lumped parameter thermal modelling for UK domestic buildings based on measured operational data*. Loughborough University Institutional Repository,
- Earth, B. (2019). Global Temperature Report for 2018. Retrieved from <http://berkeleyearth.org/2018-temperatures/>
- Eurostat. (2018). Greenhouse gas emission statistics - emission inventories.
- Fouquier, A., Robert, S., Suard, F., Stéphan, L., & Jay, A. (2013). State of the art in building modelling and energy performances prediction: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 272-288. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.004>
- Gouda, M. M., Danaher, S., & Underwood, C. P. (2002). Building thermal model reduction using nonlinear constrained optimization. *Building and Environment*, 37(12), 1255-1265. doi:[https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00121-4](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00121-4)
- Incropera, F. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass transfer*.
- Leal, V. (1998). *Factores de resposta para pontes térmicas em edifícios*. FEUP,
- Masy, G. (1982). *Methodes d'évaluation de l'économie d'énergie apportée par le chauffage intermittent"*.
- Ramallo-González, A. P., Eames, M. E., & Coley, D. A. (2013). Lumped parameter models for building thermal modelling: An analytic approach to simplifying complex multi-layered constructions. *Energy and Buildings*, 60, 174-184. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.014>
- Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios, (2005).
- Santos, C., & Matias, L. (2006). Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. *LNEC, Lisboa*.
- Tang, R., & Wang, S. (2019). Model predictive control for thermal energy storage and thermal comfort optimization of building demand response in smart grids. *Applied Energy*, 242, 873-882. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.038>
- Underwood Reader, C. P., & Yik, F. W. H. (2008). Modelling Methods for Energy in Buildings. In (pp. i-x).
- Wang, Z., Chen, Y., & Li, Y. (2019). Development of RC model for thermal dynamic analysis of buildings through model structure simplification. *Energy and Buildings*, 195, 51-67. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.042>



## Anexo A

Em anexo seguem os modelos no programa EES descritos nos capítulos 3. e 4.

### Modelo Base no software EES descrito em 3.

"-----Funções-----"

```
FUNCTION RENOV(horario_ant) "Renovações de Ar em função de um horario"
```

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  RENOV=0,6
ELSE
  RENOV=25
ENDIF
END
```

```
FUNCTION INTERNO(horario_ant) "Calor Interno em função de um horario"
```

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  INTERNO=4
ELSE
  INTERNO=80
ENDIF
END
```

"Constantes - Resistencias, Capacidades Térmicas, Áreas"

"-----Resistencias-----"

```
R_iA=0,01413
R_A1=0,00167
R_A2=0,04239
R_A3=0,05435
R_A4=0,00167
R_eA=0,00435
```

```
R_iB=0,01429
R_B1=0,00169
R_B2=0,04286
R_B3=0,05495
R_B4=0,00169
R_eB=0,00440
```

```
R_iC=0,01214
R_C1=0,00110
R_C2=0,02143
R_C3=0,01429
R_C4=0,05357
R_C5=0,00179
R_eC=0,00286
```

```
R_iD=0,01444
R_D1=0,00171
R_D2=0,03
```

R\_D3=0,00171  
R\_eD=0,01444

R\_iE=0,01238  
R\_E1=0,00147  
R\_E2=0,02571  
R\_E3=0,00147  
R\_eE=0,01238

R\_iF=0,01214  
R\_F1=0,00420  
R\_F2=0,00220  
R\_F3=0,02  
R\_F4=0,00110  
R\_eF=0,01214

"Janelas"

R\_JA=0,00143  
R\_JAe=0,01429  
R\_JAi=0,04643

R\_JB=0,00286  
R\_JBe=0,02857  
R\_JBi=0,09286

"Porta"

R\_PD=0,06667  
R\_PDe=0,04333  
R\_PDi=0,04333

"Meio"

R\_im=0,003

"-----Capacidade Térmica-----"

C\_A1=292615,2  
C\_A2=1291680  
C\_A3=3339,6  
C\_A4=292615,2

C\_B1=289434,6  
C\_B2=1277640  
C\_B3=3303,3  
C\_B4=289434,6

C\_C1=445284  
C\_C2=2431800  
C\_C3=490000  
C\_C4=10164  
C\_C5=700000

C\_D1=286254  
C\_D2=833976  
C\_D3=286254

C\_E1=333963  
C\_E2=972972

C\_E3=333963

C\_F1=252000

C\_F2=560000

C\_F3=2674680

C\_F4=445284

"Interior e meio"

C\_i=46726,47

C\_m=360000

"-----Dimensões-----"

"Areas Opacas"

A\_A=9,2

A\_B=9,1

A\_C=14

A\_F=14

"Áreas ajustadas com fatores solares"

A\_JA = 1,18138

A\_JB = 0,664524

"-----Temperaturas outras divisões-----"

T\_x=T\_ant\_i

T\_y=T\_ant\_i

T\_z=T\_ant\_i

"-----Ganhos Térmicos-----"

"Ganhos Internos"

q\_gint=INTERNO(horario\_ant)

Q\_GI= q\_gint \* P

"Infiltrações"

N=RENOV(horario\_ant)

Q\_R=1005\*1,2\*(N/3600)\*V\*(T\_e-T\_i)

"-----Fatores-----"

a=0,4 "Absorção de Radiação solar nos elementos opacos"

x\_A = 0,6 "Percentagem de Radiação solar A incidente no Pavimento F"

$x_B = 0,6$  "Percentagem de Radiação solar B incidente no Pavimento F"

$P=1$  "Numero de Pessoas na Divisão"

$\Delta t=60$  "Intervalo de tempo"

$V=37,8$  "Volume da divisão"

"-----Equações-----"

"Equações Parede A"

$$(T_e - T_{eA}) / R_{eA} + (a * A_A * Q_{SA}) = (T_{eA} - T_{A4}) / (R_{A4}/2)$$

$$(T_{A4} - T_{ant_{A4}}) / \Delta t = (T_{ant_{eA}} - 2 * T_{ant_{A4}} + T_{ant_{A34}}) / (R_{A4} / 2 * C_{A4})$$

$$(T_{A4} - T_{A34}) / (R_{A4}/2) = (T_{A34} - T_{A3}) / (R_{A3}/2)$$

$$(T_{A3} - T_{ant_{A3}}) / \Delta t = (T_{ant_{A34}} - 2 * T_{ant_{A3}} + T_{ant_{A23}}) / (R_{A3} / 2 * C_{A3})$$

$$(T_{A3} - T_{A23}) / (R_{A3}/2) = (T_{A23} - T_{A2}) / (R_{A2}/2)$$

$$(T_{A2} - T_{ant_{A2}}) / \Delta t = (T_{ant_{A23}} - 2 * T_{ant_{A2}} + T_{ant_{A12}}) / (R_{A2} / 2 * C_{A2})$$

$$(T_{A2} - T_{A12}) / (R_{A2}/2) = (T_{A12} - T_{A1}) / (R_{A1}/2)$$

$$(T_{A1} - T_{ant_{A1}}) / \Delta t = (T_{ant_{A12}} - 2 * T_{ant_{A1}} + T_{ant_{iA}}) / (R_{A1} / 2 * C_{A1})$$

$$(T_{A1} - T_{iA}) / (R_{A1}/2) = (T_{iA} - T_i) / (R_{iA})$$

"Equações Parede B"

$$(T_e - T_{eB}) / R_{eB} + (a * A_B * Q_{SB}) = (T_{eB} - T_{B4}) / (R_{B4}/2)$$

$$(T_{B4} - T_{ant_{B4}}) / \Delta t = (T_{ant_{eB}} - 2 * T_{ant_{B4}} + T_{ant_{B34}}) / (R_{B4} / 2 * C_{B4})$$

$$(T_{B4} - T_{B34}) / (R_{B4}/2) = (T_{B34} - T_{B3}) / (R_{B3}/2)$$

$$(T_{B3} - T_{ant_{B3}}) / \Delta t = (T_{ant_{B34}} - 2 * T_{ant_{B3}} + T_{ant_{B23}}) / (R_{B3} / 2 * C_{B3})$$

$$(T_{B3} - T_{B23}) / (R_{B3}/2) = (T_{B23} - T_{B2}) / (R_{B2}/2)$$

$$(T_{B2} - T_{ant_{B2}}) / \Delta t = (T_{ant_{B23}} - 2 * T_{ant_{B2}} + T_{ant_{B12}}) / (R_{B2} / 2 * C_{B2})$$

$$(T_{B2} - T_{B12}) / (R_{B2}/2) = (T_{B12} - T_{B1}) / (R_{B1}/2)$$

$$(T_{B1} - T_{ant_{B1}}) / \Delta t = (T_{ant_{B12}} - 2 * T_{ant_{B1}} + T_{ant_{iB}}) / (R_{B1} / 2 * C_{B1})$$

$$(T_{B1} - T_{iB}) / (R_{B1}/2) = (T_{iB} - T_i) / (R_{iB})$$

"Equações Cobertura C"

$$(T_e - T_{eC}) / R_{eC} + (a * A_C * Q_{SC}) = (T_{eC} - T_{C5}) / (R_{C5}/2)$$

$$(T_{C5} - T_{ant\_C5}) / \Delta t = (T_{ant\_eC} - 2 * T_{ant\_C5} + T_{ant\_C45}) / (R_{C5} / 2 * C_{C5})$$

$$(T_{C5} - T_{C45}) / (R_{C5} / 2) = (T_{C45} - T_{C4}) / (R_{C4} / 2)$$

$$(T_{C4} - T_{ant\_C4}) / \Delta t = (T_{ant\_C45} - 2 * T_{ant\_C4} + T_{ant\_C34}) / (R_{C4} / 2 * C_{C4})$$

$$(T_{C4} - T_{C34}) / (R_{C4} / 2) = (T_{C34} - T_{C3}) / (R_{C3} / 2)$$

$$(T_{C3} - T_{ant\_C3}) / \Delta t = (T_{ant\_C34} - 2 * T_{ant\_C3} + T_{ant\_C23}) / (R_{C3} / 2 * C_{C3})$$

$$(T_{C3} - T_{C23}) / (R_{C3} / 2) = (T_{C23} - T_{C2}) / (R_{C2} / 2)$$

$$(T_{C2} - T_{ant\_C2}) / \Delta t = (T_{ant\_C23} - 2 * T_{ant\_C2} + T_{ant\_C12}) / (R_{C2} / 2 * C_{C2})$$

$$(T_{C2} - T_{C12}) / (R_{C2} / 2) = (T_{C12} - T_{C1}) / (R_{C1} / 2)$$

$$(T_{C1} - T_{ant\_C1}) / \Delta t = (T_{ant\_C12} - 2 * T_{ant\_C1} + T_{ant\_iC}) / (R_{C1} / 2 * C_{C1})$$

$$(T_{C1} - T_{iC}) / (R_{C1} / 2) = (T_{iC} - T_i) / (R_{iC})$$

#### "Equações Parede Interna D"

$$(T_x - T_{eD}) / (R_{eD}) = (T_{eD} - T_{D3}) / (R_{D3} / 2)$$

$$(T_{D3} - T_{ant\_D3}) / \Delta t = (T_{ant\_eD} - 2 * T_{ant\_D3} + T_{ant\_D23}) / (R_{D3} / 2 * C_{D3})$$

$$(T_{D3} - T_{D23}) / (R_{D3} / 2) = (T_{D23} - T_{D2}) / (R_{D2} / 2)$$

$$(T_{D2} - T_{ant\_D2}) / \Delta t = (T_{ant\_D23} - 2 * T_{ant\_D2} + T_{ant\_D12}) / (R_{D2} / 2 * C_{D2})$$

$$(T_{D2} - T_{D12}) / (R_{D2} / 2) = (T_{D12} - T_{D1}) / (R_{D1} / 2)$$

$$(T_{D1} - T_{ant\_D1}) / \Delta t = (T_{ant\_D12} - 2 * T_{ant\_D1} + T_{ant\_iD}) / (R_{D1} / 2 * C_{D1})$$

$$(T_{D1} - T_{iD}) / (R_{D1} / 2) = (T_{iD} - T_i) / (R_{iD})$$

#### "Equações Parede Interna E"

$$(T_y - T_{eE}) / (R_{eE}) = (T_{eE} - T_{E3}) / (R_{E3} / 2)$$

$$(T_{E3} - T_{ant\_E3}) / \Delta t = (T_{ant\_eE} - 2 * T_{ant\_E3} + T_{ant\_E23}) / (R_{E3} / 2 * C_{E3})$$

$$(T_{E3} - T_{E23}) / (R_{E3} / 2) = (T_{E23} - T_{E2}) / (R_{E2} / 2)$$

$$(T_{E2} - T_{ant\_E2}) / \Delta t = (T_{ant\_E23} - 2 * T_{ant\_E2} + T_{ant\_E12}) / (R_{E2} / 2 * C_{E2})$$

$$(T_{E2} - T_{E12}) / (R_{E2} / 2) = (T_{E12} - T_{E1}) / (R_{E1} / 2)$$

$$(T_{E1} - T_{ant\_E1}) / \Delta t = (T_{ant\_E12} - 2 * T_{ant\_E1} + T_{ant\_iE}) / (R_{E1} / 2 * C_{E1})$$

$$(T_{E1} - T_{iE}) / (R_{E1} / 2) = (T_{iE} - T_i) / (R_{iE})$$

#### "Equações Pavimento F"

$$(T_z - T_{eF}) / R_{eF} = (T_{eF} - T_{F4}) / (R_{F4} / 2)$$

$$(T_{F4}-T_{ant\_F4}) / \Delta t = (T_{ant\_eF} - 2*T_{ant\_F4} + T_{ant\_F34}) / (R_{F4} / 2 * C_{F4})$$

$$(T_{F4}-T_{F34}) / (R_{F4}/2) = (T_{F34}-T_{F3}) / (R_{F3}/2)$$

$$(T_{F3}-T_{ant\_F3}) / \Delta t = (T_{ant\_eF} - 2*T_{ant\_F3} + T_{ant\_F23}) / (R_{F3} / 2 * C_{F3})$$

$$(T_{F3}-T_{F23}) / (R_{F3}/2) = (T_{F23}-T_{F2}) / (R_{F2}/2)$$

$$(T_{F2}-T_{ant\_F2}) / \Delta t = (T_{ant\_F23} - 2*T_{ant\_F2} + T_{ant\_F12}) / (R_{F2} / 2 * C_{F2})$$

$$(T_{F2}-T_{F12}) / (R_{F2}/2) = (T_{F12}-T_{F1}) / (R_{F1}/2)$$

$$(T_{F1}-T_{ant\_F1}) / \Delta t = (T_{ant\_F12} - 2*T_{ant\_F1} + T_{ant\_iF}) / (R_{F1} / 2 * C_{F1})$$

$$(T_{F1}-T_{iF}) / (R_{F1}/2) + (x_A * A_{JA} * Q_{SA}) + (x_B * A_{JB} * Q_{SB}) = (T_{iF}-T_i) / (R_{iF})$$

#### "Equações Janela A"

$$(T_e-T_{JAe}) / R_{JAe} = (T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA}$$

$$(T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA} = (T_{JAI}-T_i)/R_{JAI}$$

#### "Equações Janela B"

$$(T_e-T_{JBe}) / R_{JBe} = (T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB}$$

$$(T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB} = (T_{JBi}-T_i)/R_{JBi}$$

#### "Equações Porta D"

$$(T_x-T_{PDe}) / R_{PDe} = (T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD}$$

$$(T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD} = (T_{PDi}-T_i)/R_{PDi}$$

#### "Equações de fluxo de calor"

$$Q_A=(T_{iA}-T_i)/R_{iA}$$

$$Q_B=(T_{iB}-T_i)/R_{iB}$$

$$Q_C=(T_{iC}-T_i)/R_{iC}$$

$$Q_D=(T_{iD}-T_i)/R_{iD}$$

$$Q_E=(T_{iE}-T_i)/R_{iE}$$

$$Q_F=(T_{iF}-T_i)/R_{iF}$$

#### "Equações Principais"

$$(T_i-T_{ant\_i}) / \Delta t = (T_{ant\_m} - T_{ant\_i}) / (R_{im} * C_i) + (T_{ant\_iA} - T_{ant\_i}) / (R_{iA} * C_i) + (T_{ant\_iB} - T_{ant\_i}) / (R_{iB} * C_i) + (T_{ant\_iC} - T_{ant\_i}) / (R_{iC} * C_i) + (T_{ant\_iD} - T_{ant\_i}) / (R_{iD} * C_i) + (T_{ant\_iE} - T_{ant\_i}) / (R_{iE} * C_i) + (T_{ant\_iF} - T_{ant\_i}) / (R_{iF} * C_i) + (T_{ant\_JAI} - T_{ant\_i}) / (R_{JAI} * C_i) + (T_{ant\_JBi} - T_{ant\_i}) / (R_{JBi} * C_i) + (T_{ant\_PDi} - T_{ant\_i}) / (R_{PDi} * C_i) + (T_e-T_i)*1005*1,2*(N/3600)*V / C_i + Q_{GI}/C_i$$

$$(T_m - T_{ant_m}) / \Delta t = (T_{ant_i} - T_{ant_m}) / (R_{im} * C_m) + (1 - x_A) * A_{JA} * Q_{ant_SA} / C_m + (1 - x_B) * A_{JB} * Q_{ant_SB} / C_m$$

"-----Dados no instante anterior-----"

T\_ant\_eA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eA)  
T\_ant\_A4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A4)  
T\_ant\_A34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A34)  
T\_ant\_A3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A3)  
T\_ant\_A23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A23)  
T\_ant\_A2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A2)  
T\_ant\_A12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A12)  
T\_ant\_A1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A1)  
T\_ant\_iA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iA)

T\_ant\_eB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eB)  
T\_ant\_B4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B4)  
T\_ant\_B34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B34)  
T\_ant\_B3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B3)  
T\_ant\_B23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B23)  
T\_ant\_B2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B2)  
T\_ant\_B12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B12)  
T\_ant\_B1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B1)  
T\_ant\_iB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iB)

T\_ant\_eC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eC)  
T\_ant\_C5=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C5)  
T\_ant\_C45=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C45)  
T\_ant\_C4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C4)  
T\_ant\_C34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C34)  
T\_ant\_C3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C3)  
T\_ant\_C23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C23)  
T\_ant\_C2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C2)  
T\_ant\_C12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C12)  
T\_ant\_C1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C1)  
T\_ant\_iC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iC)

T\_ant\_eD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eD)  
T\_ant\_D3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D3)  
T\_ant\_D23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D23)  
T\_ant\_D2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D2)  
T\_ant\_D12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D12)  
T\_ant\_D1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D1)  
T\_ant\_iD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iD)

T\_ant\_eE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eE)  
T\_ant\_E3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E3)  
T\_ant\_E23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E23)  
T\_ant\_E2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E2)  
T\_ant\_E12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E12)  
T\_ant\_E1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E1)  
T\_ant\_iE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iE)

T\_ant\_eF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eF)

T\_ant\_F4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F4)  
T\_ant\_F34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F34)  
T\_ant\_F3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F3)  
T\_ant\_F23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F23)  
T\_ant\_F2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F2)  
T\_ant\_F12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F12)  
T\_ant\_F1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F1)  
T\_ant\_iF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iF)

T\_ant\_JAe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAe)  
T\_ant\_JAi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAi)

T\_ant\_JBe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBe)  
T\_ant\_JBi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBi)

T\_ant\_PDe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDe)  
T\_ant\_PDi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDi)

Q\_ant\_SA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SA)  
Q\_ant\_SB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SB)  
Q\_ant\_SC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SC)

T\_ant\_e=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_e)  
T\_ant\_i=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_i)  
T\_ant\_m=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_m)

horario\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#horario)

N\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#N)

linha=1+tempo/DELTA<sub>t</sub>  
horas=tempo/3600  
dias=horas/24

{ $\$T\$OFF$ }



## Modelo software EES com resistência superficial térmica interior variável descrito em 4.1.

"-----Funções-----"

FUNCTION RENOV(horario\_ant) "Renovações de Ar em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  RENOV=0,6
ELSE
  RENOV=25
ENDIF
END
```

PROCEDURE RESIS\_INT(horario\_ant:R\_iA;R\_iB;R\_iC;R\_iD;R\_iE;R\_iF)

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
```

```
R_iA=0,01413
R_iB=0,01429
R_iC=0,01214
R_iD=0,01444
R_iE=0,01238
R_iF=0,01214
```

```
ELSE
```

```
R_iA=0,01014
R_iB=0,01025
R_iC=0,00667
R_iD=0,01014
R_iE=0,01025
R_iF=0,00667
```

```
ENDIF
END
```

FUNCTION INTERNO(horario\_ant) "Calor Interno em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  INTERNO=4
ELSE
  INTERNO=80
ENDIF
END
```

"Constantes - Resistencias, Capacidades Térmicas, Áreas"

"-----Resistencias-----"

```
R_A1=0,00167
R_A2=0,04239
R_A3=0,05435
```

R\_A4=0,00167  
R\_eA=0,00435

R\_B1=0,00169  
R\_B2=0,04286  
R\_B3=0,05495  
R\_B4=0,00169  
R\_eB=0,00440

R\_C1=0,00110  
R\_C2=0,02143  
R\_C3=0,01429  
R\_C4=0,05357  
R\_C5=0,00179  
R\_eC=0,00286

R\_D1=0,00171  
R\_D2=0,03  
R\_D3=0,00171  
R\_eD=0,01444

R\_E1=0,00147  
R\_E2=0,02571  
R\_E3=0,00147  
R\_eE=0,01238

R\_F1=0,00420  
R\_F2=0,00220  
R\_F3=0,02  
R\_F4=0,00110  
R\_eF=0,01214

"Janelas"

R\_JA=0,00143  
R\_JAe=0,01429  
R\_JAi=0,04643

R\_JB=0,00286  
R\_JBe=0,02857  
R\_JBi=0,09286

"Porta"

R\_PD=0,06667  
R\_PDe=0,04333  
R\_PDi=0,04333

"Meio"

R\_im=0,003

"-----Capacidade Térmica-----"

C\_A1=292615,2  
C\_A2=1291680  
C\_A3=3339,6  
C\_A4=292615,2

C\_B1=289434,6

C\_B2=1277640  
C\_B3=3303,3  
C\_B4=289434,6

C\_C1=445284  
C\_C2=2431800  
C\_C3=490000  
C\_C4=10164  
C\_C5=700000

C\_D1=286254  
C\_D2=833976  
C\_D3=286254

C\_E1=333963  
C\_E2=972972  
C\_E3=333963

C\_F1=252000  
C\_F2=560000  
C\_F3=2674680  
C\_F4=445284

"Interior e meio"

C\_i=46726,47

C\_m=360000

"-----Dimensões-----"

"Áreas Opacas"

A\_A=9,2

A\_B=9,1

A\_C=14

A\_D=9,2

A\_E=9,1

A\_F=14

"Áreas ajustadas com fatores solares"

A\_JA = 1,18138

A\_JB = 0,664524

"-----Temperaturas outras divisões-----"

T\_x=T\_ant\_i

T\_y=T\_ant\_i

T\_z=T\_ant\_i

"-----Ganhos Térmicos-----"

"Ganhos Internos"

$q_{gint} = \text{INTERNO}(\text{horario\_ant})$

$Q_{GI} = q_{gint} * P$

"Infiltrações"

$N = \text{RENOV}(\text{horario\_ant})$

$Q_R = 1005 * 1,2 * (N/3600) * V * (T_e - T_i)$

"-----Fatores-----"

$a = 0,4$  "Absorção de Radiação solar nos elementos opacos"

$x_A = 0,6$  "Percentagem de Radiação solar A incidente no Pavimento F"

$x_B = 0,6$  "Percentagem de Radiação solar B incidente no Pavimento F"

$P = 1$  " Numero de Pessoas na Divisão"

$\Delta t = 60$  "Intervalo de tempo"

$V = 37,8$  "Volume da divisão"

$\text{CALL RESIS\_INT}(\text{horario\_ant}; R_{iA}; R_{iB}; R_{iC}; R_{iD}; R_{iE}; R_{iF})$

"-----Equações-----"

"Equações Parede A"

$$(T_e - T_{eA}) / R_{eA} + (a * A_A * Q_{SA}) = (T_{eA} - T_{A4}) / (R_{A4}/2)$$

$$(T_{A4} - T_{ant\_A4}) / \Delta t = (T_{ant\_eA} - 2 * T_{ant\_A4} + T_{ant\_A34}) / (R_{A4} / 2 * C_{A4})$$

$$(T_{A4} - T_{A34}) / (R_{A4}/2) = (T_{A34} - T_{A3}) / (R_{A3}/2)$$

$$(T_{A3} - T_{ant\_A3}) / \Delta t = (T_{ant\_A34} - 2 * T_{ant\_A3} + T_{ant\_A23}) / (R_{A3} / 2 * C_{A3})$$

$$(T_{A3} - T_{A23}) / (R_{A3}/2) = (T_{A23} - T_{A2}) / (R_{A2}/2)$$

$$(T_{A2} - T_{ant\_A2}) / \Delta t = (T_{ant\_A23} - 2 * T_{ant\_A2} + T_{ant\_A12}) / (R_{A2} / 2 * C_{A2})$$

$$(T_{A2} - T_{A12}) / (R_{A2}/2) = (T_{A12} - T_{A1}) / (R_{A1}/2)$$

$$(T_{A1} - T_{ant\_A1}) / \Delta t = (T_{ant\_A12} - 2 * T_{ant\_A1} + T_{ant\_iA}) / (R_{A1} / 2 * C_{A1})$$

$$(T_{A1} - T_{iA}) / (R_{A1}/2) = (T_{iA} - T_i) / (R_{iA})$$

"Equações Parede B"

$$(T_e - T_{eB}) / R_{eB} + (a * A_B * Q_{SB}) = (T_{eB} - T_{B4}) / (R_{B4}/2)$$

$$(T_{B4}-T_{ant\_B4}) / DELTA_t = (T_{ant\_eB} - 2*T_{ant\_B4} + T_{ant\_B34}) / (R_{B4} / 2 * C_{B4})$$

$$(T_{B4}-T_{B34}) / (R_{B4}/2) = (T_{B34}-T_{B3}) / (R_{B3}/2)$$

$$(T_{B3}-T_{ant\_B3}) / DELTA_t = (T_{ant\_B34} - 2*T_{ant\_B3} + T_{ant\_B23}) / (R_{B3} / 2 * C_{B3})$$

$$(T_{B3}-T_{B23}) / (R_{B3}/2) = (T_{B23}-T_{B2}) / (R_{B2}/2)$$

$$(T_{B2}-T_{ant\_B2}) / DELTA_t = (T_{ant\_B23} - 2*T_{ant\_B2} + T_{ant\_B12}) / (R_{B2} / 2 * C_{B2})$$

$$(T_{B2}-T_{B12}) / (R_{B2}/2) = (T_{B12}-T_{B1}) / (R_{B1}/2)$$

$$(T_{B1}-T_{ant\_B1}) / DELTA_t = (T_{ant\_B12} - 2*T_{ant\_B1} + T_{ant\_iB}) / (R_{B1} / 2 * C_{B1})$$

$$(T_{B1}-T_{iB}) / (R_{B1}/2) = (T_{iB}-T_i) / (R_{iB})$$

### "Equações Cobertura C"

$$(T_{eC}-T_{eC}) / R_{eC} + (a * A_C * Q_{SC}) = (T_{eC}-T_{C5}) / (R_{C5}/2)$$

$$(T_{C5}-T_{ant\_C5}) / DELTA_t = (T_{ant\_eC} - 2*T_{ant\_C5} + T_{ant\_C45}) / (R_{C5} / 2 * C_{C5})$$

$$(T_{C5}-T_{C45}) / (R_{C5}/2) = (T_{C45}-T_{C4}) / (R_{C4}/2)$$

$$(T_{C4}-T_{ant\_C4}) / DELTA_t = (T_{ant\_C45} - 2*T_{ant\_C4} + T_{ant\_C34}) / (R_{C4} / 2 * C_{C4})$$

$$(T_{C4}-T_{C34}) / (R_{C4}/2) = (T_{C34}-T_{C3}) / (R_{C3}/2)$$

$$(T_{C3}-T_{ant\_C3}) / DELTA_t = (T_{ant\_C34} - 2*T_{ant\_C3} + T_{ant\_C23}) / (R_{C3} / 2 * C_{C3})$$

$$(T_{C3}-T_{C23}) / (R_{C3}/2) = (T_{C23}-T_{C2}) / (R_{C2}/2)$$

$$(T_{C2}-T_{ant\_C2}) / DELTA_t = (T_{ant\_C23} - 2*T_{ant\_C2} + T_{ant\_C12}) / (R_{C2} / 2 * C_{C2})$$

$$(T_{C2}-T_{C12}) / (R_{C2}/2) = (T_{C12}-T_{C1}) / (R_{C1}/2)$$

$$(T_{C1}-T_{ant\_C1}) / DELTA_t = (T_{ant\_C12} - 2*T_{ant\_C1} + T_{ant\_iC}) / (R_{C1} / 2 * C_{C1})$$

$$(T_{C1}-T_{iC}) / (R_{C1}/2) = (T_{iC}-T_i) / (R_{iC})$$

### "Equações Parede Interna D"

$$(T_x-T_{eD}) / (R_{eD}) = (T_{eD}-T_{D3}) / (R_{D3}/2)$$

$$(T_{D3}-T_{ant\_D3}) / DELTA_t = (T_{ant\_eD} - 2*T_{ant\_D3} + T_{ant\_D23}) / (R_{D3} / 2 * C_{D3})$$

$$(T_{D3}-T_{D23}) / (R_{D3}/2) = (T_{D23}-T_{D2}) / (R_{D2}/2)$$

$$(T_{D2}-T_{ant\_D2}) / DELTA_t = (T_{ant\_D23} - 2*T_{ant\_D2} + T_{ant\_D12}) / (R_{D2} / 2 * C_{D2})$$

$$(T_{D2}-T_{D12}) / (R_{D2}/2) = (T_{D12}-T_{D1}) / (R_{D1}/2)$$

$$(T_{D1}-T_{ant\_D1}) / DELTA_t = (T_{ant\_D12} - 2*T_{ant\_D1} + T_{ant\_iD}) / (R_{D1} / 2 * C_{D1})$$

$$(T_{D1}-T_{iD}) / (R_{D1}/2) = (T_{iD}-T_i) / (R_{iD})$$

"Equações Parede Interna E"

$$(T_y - T_{eE}) / (R_{eE}) = (T_{eE} - T_{E3}) / (R_{E3}/2)$$

$$(T_{E3} - T_{ant_{E3}}) / \Delta t = (T_{ant_{eE}} - 2 * T_{ant_{E3}} + T_{ant_{E23}}) / (R_{E3} / 2 * C_{E3})$$

$$(T_{E3} - T_{E23}) / (R_{E3}/2) = (T_{E23} - T_{E2}) / (R_{E2}/2)$$

$$(T_{E2} - T_{ant_{E2}}) / \Delta t = (T_{ant_{E23}} - 2 * T_{ant_{E2}} + T_{ant_{E12}}) / (R_{E2} / 2 * C_{E2})$$

$$(T_{E2} - T_{E12}) / (R_{E2}/2) = (T_{E12} - T_{E1}) / (R_{E1}/2)$$

$$(T_{E1} - T_{ant_{E1}}) / \Delta t = (T_{ant_{E12}} - 2 * T_{ant_{E1}} + T_{ant_{iE}}) / (R_{E1} / 2 * C_{E1})$$

$$(T_{E1} - T_{iE}) / (R_{E1}/2) = (T_{iE} - T_i) / (R_{iD})$$

"Equações Pavimento F"

$$(T_z - T_{eF}) / R_{eF} = (T_{eF} - T_{F4}) / (R_{F4}/2)$$

$$(T_{F4} - T_{ant_{F4}}) / \Delta t = (T_{ant_{eF}} - 2 * T_{ant_{F4}} + T_{ant_{F34}}) / (R_{F4} / 2 * C_{F4})$$

$$(T_{F4} - T_{F34}) / (R_{F4}/2) = (T_{F34} - T_{F3}) / (R_{F3}/2)$$

$$(T_{F3} - T_{ant_{F3}}) / \Delta t = (T_{ant_{eF}} - 2 * T_{ant_{F3}} + T_{ant_{F23}}) / (R_{F3} / 2 * C_{F3})$$

$$(T_{F3} - T_{F23}) / (R_{F3}/2) = (T_{F23} - T_{F2}) / (R_{F2}/2)$$

$$(T_{F2} - T_{ant_{F2}}) / \Delta t = (T_{ant_{F23}} - 2 * T_{ant_{F2}} + T_{ant_{F12}}) / (R_{F2} / 2 * C_{F2})$$

$$(T_{F2} - T_{F12}) / (R_{F2}/2) = (T_{F12} - T_{F1}) / (R_{F1}/2)$$

$$(T_{F1} - T_{ant_{F1}}) / \Delta t = (T_{ant_{F12}} - 2 * T_{ant_{F1}} + T_{ant_{iF}}) / (R_{F1} / 2 * C_{F1})$$

$$(T_{F1} - T_{iF}) / (R_{F1}/2) + (x_A * A_{JA} * Q_{SA}) + (x_B * A_{JB} * Q_{SB}) = (T_{iF} - T_i) / (R_{iF})$$

"Equações Janela A"

$$(T_e - T_{JAe}) / R_{JAe} = (T_{JAe} - T_{JAI}) / R_{JA}$$

$$(T_{JAe} - T_{JAI}) / R_{JA} = (T_{JAI} - T_i) / R_{JAI}$$

"Equações Janela B"

$$(T_e - T_{JBe}) / R_{JBe} = (T_{JBe} - T_{JBi}) / R_{JB}$$

$$(T_{JBe} - T_{JBi}) / R_{JB} = (T_{JBi} - T_i) / R_{JBi}$$

"Equações Porta D"

$$(T_x - T_{PDe}) / R_{PDe} = (T_{PDe} - T_{PDi}) / R_{PD}$$

$$(T_{PDe} - T_{PDi}) / R_{PD} = (T_{PDi} - T_i) / R_{PDi}$$

"Equações de fluxo de calor"

$$Q_A=(T_{iA}-T_i)/R_{iA}$$

$$Q_B=(T_{iB}-T_i)/R_{iB}$$

$$Q_C=(T_{iC}-T_i)/R_{iC}$$

$$Q_D=(T_{iD}-T_i)/R_{iD}$$

$$Q_E=(T_{iE}-T_i)/R_{iE}$$

$$Q_F=(T_{iF}-T_i)/R_{iF}$$

### "Equações Principais"

$$(T_i-T_{ant_i}) / \Delta t = (T_{ant_m} - T_{ant_i}) / (R_{im} * C_i) + (T_{ant_{iA}} - T_{ant_i}) / (R_{iA} * C_i) + (T_{ant_{iB}} - T_{ant_i}) / (R_{iB} * C_i) + (T_{ant_{iC}} - T_{ant_i}) / (R_{iC} * C_i) + (T_{ant_{iD}} - T_{ant_i}) / (R_{iD} * C_i) + (T_{ant_{iE}} - T_{ant_i}) / (R_{iE} * C_i) + (T_{ant_{iF}} - T_{ant_i}) / (R_{iF} * C_i) + (T_{ant_{JAI}} - T_{ant_i}) / (R_{JAI} * C_i) + (T_{ant_{JBI}} - T_{ant_i}) / (R_{JBI} * C_i) + (T_{ant_{PDi}} - T_{ant_i}) / (R_{PDi} * C_i) + (T_e-T_i)*1005*1,2*(N/3600)*V / C_i + Q_{GI}/C_i$$

$$(T_m-T_{ant_m}) / \Delta t = (T_{ant_i} - T_{ant_m}) / (R_{im} * C_m) + (1 - x_A) * A_{JA} * Q_{ant_{SA}} / C_m + (1 - x_B) * A_{JB} * Q_{ant_{SB}} / C_m$$

### "-----Dados no instante anterior-----"

T\_ant\_eA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eA)  
 T\_ant\_A4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A4)  
 T\_ant\_A34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A34)  
 T\_ant\_A3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A3)  
 T\_ant\_A23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A23)  
 T\_ant\_A2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A2)  
 T\_ant\_A12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A12)  
 T\_ant\_A1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A1)  
 T\_ant\_iA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iA)

T\_ant\_eB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eB)  
 T\_ant\_B4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B4)  
 T\_ant\_B34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B34)  
 T\_ant\_B3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B3)  
 T\_ant\_B23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B23)  
 T\_ant\_B2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B2)  
 T\_ant\_B12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B12)  
 T\_ant\_B1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B1)  
 T\_ant\_iB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iB)

T\_ant\_eC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eC)  
 T\_ant\_C5=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C5)  
 T\_ant\_C45=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C45)  
 T\_ant\_C4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C4)  
 T\_ant\_C34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C34)  
 T\_ant\_C3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C3)  
 T\_ant\_C23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C23)  
 T\_ant\_C2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C2)  
 T\_ant\_C12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C12)  
 T\_ant\_C1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C1)  
 T\_ant\_iC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iC)

T\_ant\_eD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eD)  
T\_ant\_D3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D3)  
T\_ant\_D23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D23)  
T\_ant\_D2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D2)  
T\_ant\_D12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D12)  
T\_ant\_D1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D1)  
T\_ant\_iD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iD)

T\_ant\_eE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eE)  
T\_ant\_E3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E3)  
T\_ant\_E23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E23)  
T\_ant\_E2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E2)  
T\_ant\_E12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E12)  
T\_ant\_E1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E1)  
T\_ant\_iE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iE)

T\_ant\_eF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eF)  
T\_ant\_F4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F4)  
T\_ant\_F34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F34)  
T\_ant\_F3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F3)  
T\_ant\_F23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F23)  
T\_ant\_F2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F2)  
T\_ant\_F12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F12)  
T\_ant\_F1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F1)  
T\_ant\_iF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iF)

T\_ant\_JAe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAe)  
T\_ant\_JAi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAi)

T\_ant\_JBe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBe)  
T\_ant\_JBi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBi)

T\_ant\_PDe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDe)  
T\_ant\_PDi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDi)

Q\_ant\_SA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SA)  
Q\_ant\_SB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SB)  
Q\_ant\_SC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SC)

T\_ant\_e=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_e)  
T\_ant\_i=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_i)  
T\_ant\_m=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_m)

horario\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#horario)

N\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#N)

linha=1+tempo/DELTA  
horas=tempo/3600  
dias=horas/24

{ST\$OFF}



## Modelo temperatura ar-sol descrito em 4.2.

"-----Funções-----"

FUNCTION RENOVO(horario\_ant) "Renovações de Ar em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  RENOVO=0,6
ELSE
  RENOVO=25
ENDIF
END
```

FUNCTION INTERNO(horario\_ant) "Calor Interno em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  INTERNO=4
ELSE
  INTERNO=80
ENDIF
END
```

"Constantes - Resistencias, Capacidades Térmicas, Áreas"

"-----Resistencias-----"

```
R_iA=0,01413
R_A1=0,00167
R_A2=0,04239
R_A3=0,05435
R_A4=0,00167
R_eA=0,00435
```

```
R_iB=0,01429
R_B1=0,00169
R_B2=0,04286
R_B3=0,05495
R_B4=0,00169
R_eB=0,00440
```

```
R_iC=0,01214
R_C1=0,00110
R_C2=0,02143
R_C3=0,01429
R_C4=0,05357
R_C5=0,00179
R_eC=0,00286
```

```
R_iD=0,01444
R_D1=0,00171
R_D2=0,03
R_D3=0,00171
R_eD=0,01444
```

```
R_iE=0,01238
R_E1=0,00147
```

R\_E2=0,02571  
R\_E3=0,00147  
R\_eE=0,01238

R\_iF=0,01214  
R\_F1=0,00420  
R\_F2=0,00220  
R\_F3=0,02  
R\_F4=0,00110  
R\_eF=0,01214

"Janelas"

R\_JA=0,00143  
R\_JAe=0,01429  
R\_JAi=0,04643

R\_JB=0,00286  
R\_JBe=0,02857  
R\_JBi=0,09286

"Porta"

R\_PD=0,06667  
R\_PDe=0,04333  
R\_PDi=0,04333

"Meio"

R\_im=0,003

"-----Capacidade Térmica-----"

C\_A1=292615,2  
C\_A2=1291680  
C\_A3=3339,6  
C\_A4=292615,2

C\_B1=289434,6  
C\_B2=1277640  
C\_B3=3303,3  
C\_B4=289434,6

C\_C1=445284  
C\_C2=2431800  
C\_C3=490000  
C\_C4=10164  
C\_C5=700000

C\_D1=286254  
C\_D2=833976  
C\_D3=286254

C\_E1=333963  
C\_E2=972972  
C\_E3=333963

C\_F1=252000  
C\_F2=560000  
C\_F3=2674680

C\_F4=445284

"Interior e meio"

C\_i=46726,47

C\_m=360000

"-----Dimensões-----"

"Areas Opacas"

A\_A=9,2

A\_B=9,1

A\_C=14

A\_F=14

"Áreas ajustadas com fatores solares"

A\_JA = 1,18138

A\_JB = 0,664524

"-----Temperaturas outras divisões-----"

T\_x=T\_ant\_i

T\_y=T\_ant\_i

T\_z=T\_ant\_i

"-----Ganhos Térmicos-----"

"Ganhos Internos"

q\_gint=INTERNO(horario\_ant)

Q\_GI= q\_gint \* P

"Infiltrações"

N=RENOV(horario\_ant)

Q\_R=1005\*1,2\*(N/3600)\*V\*(T\_e-T\_i)

"-----Fatores-----"

a=0,4 "Absorção de Radiação solar nos elementos opacos"

x\_A = 0,6 "Percentagem de Radiação solar A incidente no Pavimento F"

x\_B = 0,6 "Percentagem de Radiação solar B incidente no Pavimento F"

P=1 " Numero de Pessoas na Divisão"

DELTA<sub>t</sub>=60 "Intervalo de tempo"

V=37,8 "Volume da divisão"

"-----Temperatura Ar-Sol-----"

h<sub>ext</sub>=17

deltaR=63

epsilon=0,9

T<sub>as\_A</sub>=T<sub>e</sub>+(a\*Q<sub>SA</sub>)/h<sub>ext</sub>

T<sub>as\_B</sub>=T<sub>e</sub>+(a\*Q<sub>SB</sub>)/h<sub>ext</sub>

T<sub>as\_C</sub>=T<sub>e</sub>+(a\*Q<sub>SC</sub>-epsilon\*deltaR)/h<sub>ext</sub>

"-----Equações-----"

"Equações Parede A"

$$(T_{as\_A} - T_{eA}) / R_{eA} = (T_{eA} - T_{A4}) / (R_{A4}/2)$$

$$(T_{A4} - T_{ant\_A4}) / \Delta t = (T_{ant\_eA} - 2 * T_{ant\_A4} + T_{ant\_A34}) / (R_{A4} / 2 * C_{A4})$$

$$(T_{A4} - T_{A34}) / (R_{A4}/2) = (T_{A34} - T_{A3}) / (R_{A3}/2)$$

$$(T_{A3} - T_{ant\_A3}) / \Delta t = (T_{ant\_A34} - 2 * T_{ant\_A3} + T_{ant\_A23}) / (R_{A3} / 2 * C_{A3})$$

$$(T_{A3} - T_{A23}) / (R_{A3}/2) = (T_{A23} - T_{A2}) / (R_{A2}/2)$$

$$(T_{A2} - T_{ant\_A2}) / \Delta t = (T_{ant\_A23} - 2 * T_{ant\_A2} + T_{ant\_A12}) / (R_{A2} / 2 * C_{A2})$$

$$(T_{A2} - T_{A12}) / (R_{A2}/2) = (T_{A12} - T_{A1}) / (R_{A1}/2)$$

$$(T_{A1} - T_{ant\_A1}) / \Delta t = (T_{ant\_A12} - 2 * T_{ant\_A1} + T_{ant\_iA}) / (R_{A1} / 2 * C_{A1})$$

$$(T_{A1} - T_{iA}) / (R_{A1}/2) = (T_{iA} - T_i) / (R_{iA})$$

"Equações Parede B"

$$(T_{as\_B} - T_{eB}) / R_{eB} = (T_{eB} - T_{B4}) / (R_{B4}/2)$$

$$(T_{B4} - T_{ant\_B4}) / \Delta t = (T_{ant\_eB} - 2 * T_{ant\_B4} + T_{ant\_B34}) / (R_{B4} / 2 * C_{B4})$$

$$(T_{B4} - T_{B34}) / (R_{B4}/2) = (T_{B34} - T_{B3}) / (R_{B3}/2)$$

$$(T_{B3} - T_{ant\_B3}) / \Delta t = (T_{ant\_B34} - 2 * T_{ant\_B3} + T_{ant\_B23}) / (R_{B3} / 2 * C_{B3})$$

$$(T_{B3} - T_{B23}) / (R_{B3}/2) = (T_{B23} - T_{B2}) / (R_{B2}/2)$$

$$(T_{B2} - T_{ant\_B2}) / \Delta t = (T_{ant\_B23} - 2 * T_{ant\_B2} + T_{ant\_B12}) / (R_{B2} / 2 * C_{B2})$$

$$(T_{B2} - T_{B12}) / (R_{B2}/2) = (T_{B12} - T_{B1}) / (R_{B1}/2)$$

$$(T_{B1} - T_{ant\_B1}) / \Delta t = (T_{ant\_B12} - 2 * T_{ant\_B1} + T_{ant\_iB}) / (R_{B1} / 2 * C_{B1})$$

$$(T_{B1}-T_{iB}) / (R_{B1}/2) = (T_{iB}-T_i) / (R_{iB})$$

#### "Equações Cobertura C"

$$(T_{as\_C}-T_{eC}) / R_{eC} = (T_{eC}-T_{C5}) / (R_{C5}/2)$$

$$(T_{C5}-T_{ant\_C5}) / \Delta t = (T_{ant\_eC} - 2*T_{ant\_C5} + T_{ant\_C45}) / (R_{C5} / 2 * C_{C5})$$

$$(T_{C5}-T_{C45}) / (R_{C5}/2) = (T_{C45}-T_{C4}) / (R_{C4}/2)$$

$$(T_{C4}-T_{ant\_C4}) / \Delta t = (T_{ant\_C45} - 2*T_{ant\_C4} + T_{ant\_C34}) / (R_{C4} / 2 * C_{C4})$$

$$(T_{C4}-T_{C34}) / (R_{C4}/2) = (T_{C34}-T_{C3}) / (R_{C3}/2)$$

$$(T_{C3}-T_{ant\_C3}) / \Delta t = (T_{ant\_C34} - 2*T_{ant\_C3} + T_{ant\_C23}) / (R_{C3} / 2 * C_{C3})$$

$$(T_{C3}-T_{C23}) / (R_{C3}/2) = (T_{C23}-T_{C2}) / (R_{C2}/2)$$

$$(T_{C2}-T_{ant\_C2}) / \Delta t = (T_{ant\_C23} - 2*T_{ant\_C2} + T_{ant\_C12}) / (R_{C2} / 2 * C_{C2})$$

$$(T_{C2}-T_{C12}) / (R_{C2}/2) = (T_{C12}-T_{C1}) / (R_{C1}/2)$$

$$(T_{C1}-T_{ant\_C1}) / \Delta t = (T_{ant\_C12} - 2*T_{ant\_C1} + T_{ant\_iC}) / (R_{C1} / 2 * C_{C1})$$

$$(T_{C1}-T_{iC}) / (R_{C1}/2) = (T_{iC}-T_i) / (R_{iC})$$

#### "Equações Parede Interna D"

$$(T_{x}-T_{eD}) / (R_{eD}) = (T_{eD}-T_{D3}) / (R_{D3}/2)$$

$$(T_{D3}-T_{ant\_D3}) / \Delta t = (T_{ant\_eD} - 2*T_{ant\_D3} + T_{ant\_D23}) / (R_{D3} / 2 * C_{D3})$$

$$(T_{D3}-T_{D23}) / (R_{D3}/2) = (T_{D23}-T_{D2}) / (R_{D2}/2)$$

$$(T_{D2}-T_{ant\_D2}) / \Delta t = (T_{ant\_D23} - 2*T_{ant\_D2} + T_{ant\_D12}) / (R_{D2} / 2 * C_{D2})$$

$$(T_{D2}-T_{D12}) / (R_{D2}/2) = (T_{D12}-T_{D1}) / (R_{D1}/2)$$

$$(T_{D1}-T_{ant\_D1}) / \Delta t = (T_{ant\_D12} - 2*T_{ant\_D1} + T_{ant\_iD}) / (R_{D1} / 2 * C_{D1})$$

$$(T_{D1}-T_{iD}) / (R_{D1}/2) = (T_{iD}-T_i) / (R_{iD})$$

#### "Equações Parede Interna E"

$$(T_{y}-T_{eE}) / (R_{eE}) = (T_{eE}-T_{E3}) / (R_{E3}/2)$$

$$(T_{E3}-T_{ant\_E3}) / \Delta t = (T_{ant\_eE} - 2*T_{ant\_E3} + T_{ant\_E23}) / (R_{E3} / 2 * C_{E3})$$

$$(T_{E3}-T_{E23}) / (R_{E3}/2) = (T_{E23}-T_{E2}) / (R_{E2}/2)$$

$$(T_{E2}-T_{ant\_E2}) / \Delta t = (T_{ant\_E23} - 2*T_{ant\_E2} + T_{ant\_E12}) / (R_{E2} / 2 * C_{E2})$$

$$(T_{E2}-T_{E12}) / (R_{E2}/2) = (T_{E12}-T_{E1}) / (R_{E1}/2)$$

$$(T_{E1}-T_{ant\_E1}) / \Delta t = (T_{ant\_E12} - 2*T_{ant\_E1} + T_{ant\_iE}) / (R_{E1} / 2 * C_{E1})$$

$$(T_{E1}-T_{iE}) / (R_{E1}/2) = (T_{iE}-T_i) / (R_{iE})$$

"Equações Pavimento F"

$$(T_z - T_{eF}) / R_{eF} = (T_{eF} - T_{F4}) / (R_{F4}/2)$$

$$(T_{F4} - T_{ant\_F4}) / \Delta t = (T_{ant\_eF} - 2 * T_{ant\_F4} + T_{ant\_F34}) / (R_{F4} / 2 * C_{F4})$$

$$(T_{F4} - T_{F34}) / (R_{F4}/2) = (T_{F34} - T_{F3}) / (R_{F3}/2)$$

$$(T_{F3} - T_{ant\_F3}) / \Delta t = (T_{ant\_eF} - 2 * T_{ant\_F3} + T_{ant\_F23}) / (R_{F3} / 2 * C_{F3})$$

$$(T_{F3} - T_{F23}) / (R_{F3}/2) = (T_{F23} - T_{F2}) / (R_{F2}/2)$$

$$(T_{F2} - T_{ant\_F2}) / \Delta t = (T_{ant\_F23} - 2 * T_{ant\_F2} + T_{ant\_F12}) / (R_{F2} / 2 * C_{F2})$$

$$(T_{F2} - T_{F12}) / (R_{F2}/2) = (T_{F12} - T_{F1}) / (R_{F1}/2)$$

$$(T_{F1} - T_{ant\_F1}) / \Delta t = (T_{ant\_F12} - 2 * T_{ant\_F1} + T_{ant\_iF}) / (R_{F1} / 2 * C_{F1})$$

$$(T_{F1} - T_{iF}) / (R_{F1}/2) + (x_A * A_{JA} * Q_{SA}) + (x_B * A_{JB} * Q_{SB}) = (T_{iF} - T_i) / (R_{iF})$$

"Equações Janela A"

$$(T_e - T_{JAe}) / R_{JAe} = (T_{JAe} - T_{JAI}) / R_{JA}$$

$$(T_{JAe} - T_{JAI}) / R_{JA} = (T_{JAI} - T_i) / R_{JAI}$$

"Equações Janela B"

$$(T_e - T_{JBe}) / R_{JBe} = (T_{JBe} - T_{JBi}) / R_{JB}$$

$$(T_{JBe} - T_{JBi}) / R_{JB} = (T_{JBi} - T_i) / R_{JBi}$$

"Equações Porta D"

$$(T_x - T_{PDe}) / R_{PDe} = (T_{PDe} - T_{PDi}) / R_{PD}$$

$$(T_{PDe} - T_{PDi}) / R_{PD} = (T_{PDi} - T_i) / R_{PDi}$$

"Equações de fluxo de calor"

$$Q_A = (T_{iA} - T_i) / R_{iA}$$

$$Q_B = (T_{iB} - T_i) / R_{iB}$$

$$Q_C = (T_{iC} - T_i) / R_{iC}$$

$$Q_D = (T_{iD} - T_i) / R_{iD}$$

$$Q_E = (T_{iE} - T_i) / R_{iE}$$

$$Q_F = (T_{iF} - T_i) / R_{iF}$$

"Equações Principais"

$$(T_{i-t_{ant_i}}) / \Delta t = (T_{ant_m} - T_{ant_i}) / (R_{im} * C_i) + (T_{ant_{iA}} - T_{ant_i}) / (R_{iA} * C_i) + (T_{ant_{iB}} - T_{ant_i}) / (R_{iB} * C_i) + (T_{ant_{iC}} - T_{ant_i}) / (R_{iC} * C_i) + (T_{ant_{iD}} - T_{ant_i}) / (R_{iD} * C_i) + (T_{ant_{iE}} - T_{ant_i}) / (R_{iE} * C_i) + (T_{ant_{iF}} - T_{ant_i}) / (R_{iF} * C_i) + (T_{ant_{JAI}} - T_{ant_i}) / (R_{JAI} * C_i) + (T_{ant_{JBI}} - T_{ant_i}) / (R_{JBI} * C_i) + (T_{ant_{PDi}} - T_{ant_i}) / (R_{PDi} * C_i) + (T_{e-T_i}) * 1005 * 1,2 * (N/3600) * V / C_i + Q_{GI} / C_i$$

$$(T_m - T_{ant_m}) / \Delta t = (T_{ant_i} - T_{ant_m}) / (R_{im} * C_m) + (1 - x_A) * A_{JA} * Q_{ant_{SA}} / C_m + (1 - x_B) * A_{JB} * Q_{ant_{SB}} / C_m$$

"-----Dados no instante anterior-----"

T\_ant\_eA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eA)  
 T\_ant\_A4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A4)  
 T\_ant\_A34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A34)  
 T\_ant\_A3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A3)  
 T\_ant\_A23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A23)  
 T\_ant\_A2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A2)  
 T\_ant\_A12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A12)  
 T\_ant\_A1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A1)  
 T\_ant\_iA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iA)

T\_ant\_eB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eB)  
 T\_ant\_B4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B4)  
 T\_ant\_B34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B34)  
 T\_ant\_B3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B3)  
 T\_ant\_B23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B23)  
 T\_ant\_B2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B2)  
 T\_ant\_B12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B12)  
 T\_ant\_B1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B1)  
 T\_ant\_iB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iB)

T\_ant\_eC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eC)  
 T\_ant\_C5=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C5)  
 T\_ant\_C45=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C45)  
 T\_ant\_C4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C4)  
 T\_ant\_C34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C34)  
 T\_ant\_C3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C3)  
 T\_ant\_C23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C23)  
 T\_ant\_C2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C2)  
 T\_ant\_C12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C12)  
 T\_ant\_C1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C1)  
 T\_ant\_iC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iC)

T\_ant\_eD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eD)  
 T\_ant\_D3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D3)  
 T\_ant\_D23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D23)  
 T\_ant\_D2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D2)  
 T\_ant\_D12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D12)  
 T\_ant\_D1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D1)  
 T\_ant\_iD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iD)

T\_ant\_eE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eE)  
 T\_ant\_E3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E3)

T\_ant\_E23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E23)  
T\_ant\_E2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E2)  
T\_ant\_E12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E12)  
T\_ant\_E1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E1)  
T\_ant\_iE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iE)

T\_ant\_eF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eF)  
T\_ant\_F4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F4)  
T\_ant\_F34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F34)  
T\_ant\_F3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F3)  
T\_ant\_F23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F23)  
T\_ant\_F2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F2)  
T\_ant\_F12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F12)  
T\_ant\_F1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F1)  
T\_ant\_iF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iF)

T\_ant\_JAe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAe)  
T\_ant\_JAi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAi)

T\_ant\_JBe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBe)  
T\_ant\_JBi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBi)

T\_ant\_PDe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDe)  
T\_ant\_PDi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDi)

Q\_ant\_SA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SA)  
Q\_ant\_SB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SB)  
Q\_ant\_SC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SC)

T\_ant\_e=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_e)  
T\_ant\_i=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_i)  
T\_ant\_m=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_m)

horario\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#horario)

N\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#N)

linha=1+tempo/DELTA  
horas=tempo/3600  
dias=horas/24

{**\$ST\$OFF**}



## Modelo 8R4C na camada principal da envolvente descrito em 4.3.

"-----Funções-----"

FUNCTION RENOVO(horario\_ant) "Renovações de Ar em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  RENOVO=0,6
ELSE
  RENOVO=25
ENDIF
END
```

FUNCTION INTERNO(horario\_ant) "Calor Interno em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  INTERNO=4
ELSE
  INTERNO=80
ENDIF
END
```

"Constantes - Resistencias, Capacidades Térmicas, Áreas"

"-----Resistencias-----"

R\_iA=0,01413  
R\_A1=0,00167  
R\_A2=0,04239  
R\_A3=0,05435  
R\_A4=0,00167  
R\_eA=0,00435

R\_iB=0,01429  
R\_B1=0,00169  
R\_B2=0,04286  
R\_B3=0,05495  
R\_B4=0,00169  
R\_eB=0,00440

R\_iC=0,01214  
R\_C1=0,00110  
R\_C2=0,02143  
R\_C3=0,01429  
R\_C4=0,05357  
R\_C5=0,00179  
R\_eC=0,00286

R\_iD=0,01444  
R\_D1=0,00171  
R\_D2=0,03  
R\_D3=0,00171  
R\_eD=0,01444

R\_iE=0,01238  
R\_E1=0,00147  
R\_E2=0,02571  
R\_E3=0,00147  
R\_eE=0,01238

R\_iF=0,01214  
R\_F1=0,00420  
R\_F2=0,00220  
R\_F3=0,02  
R\_F4=0,00110  
R\_eF=0,01214

"Janelas"

R\_JA=0,00143  
R\_JAe=0,01429  
R\_JAi=0,04643

R\_JB=0,00286  
R\_JBe=0,02857  
R\_JBi=0,09286

"Porta"

R\_PD=0,06667  
R\_PDe=0,04333  
R\_PDi=0,04333

"Meio"

R\_im=0,003

"-----Capacidade Térmica-----"

C\_A1=292615,2  
C\_A2=1291680  
C\_A3=3339,6  
C\_A4=292615,2

C\_B1=289434,6  
C\_B2=1277640  
C\_B3=3303,3  
C\_B4=289434,6

C\_C1=445284  
C\_C2=2431800  
C\_C3=490000  
C\_C4=10164  
C\_C5=700000

C\_D1=286254  
C\_D2=833976  
C\_D3=286254

C\_E1=333963  
C\_E2=972972  
C\_E3=333963

C\_F1=252000

C\_F2=560000  
C\_F3=2674680  
C\_F4=445284

"Interior e meio"

C\_i=46726,47

C\_m=360000

"-----Dimensões-----"

"Areas Opacas"

A\_A=9,2

A\_B=9,1

A\_C=14

A\_F=14

"Áreas ajustadas com fatores solares"

A\_JA = 1,18138

A\_JB = 0,664524

"-----Temperaturas outras divisões-----"

T\_x=T\_ant\_i

T\_y=T\_ant\_i

T\_z=T\_ant\_i

"-----Ganhos Térmicos-----"

"Ganhos Internos"

q\_gint=INTERNO(horario\_ant)

Q\_GI= q\_gint \* P

"Infiltrações"

N=RENOV(horario\_ant)

Q\_R=1005\*1,2\*(N/3600)\*V\*(T\_e-T\_i)

"-----Fatores-----"

a=0,4 "Absorção de Radiação solar nos elementos opacos"

x\_A = 0,6 "Percentagem de Radiação solar A incidente no Pavimento F"

x\_B = 0,6 "Percentagem de Radiação solar B incidente no Pavimento F"

P=1 "Numero de Pessoas na Divisão"

DELTA<sub>t</sub>=60 "Intervalo de tempo"

V=37,8 "Volume da divisão"

"-----Equações-----"

"Equações Parede A"

$$(T_e - T_{eA}) / R_{eA} + (a * A_A * Q_{SA}) = (T_{eA} - T_{A4}) / (R_{A4}/2)$$

$$(T_{A4} - T_{ant\_A4}) / \Delta t = (T_{ant\_eA} - 2 * T_{ant\_A4} + T_{ant\_A34}) / (R_{A4} / 2 * C_{A4})$$

$$(T_{A4} - T_{A34}) / (R_{A4}/2) = (T_{A34} - T_{A3}) / (R_{A3}/2)$$

$$(T_{A3} - T_{ant\_A3}) / \Delta t = (T_{ant\_A34} - 2 * T_{ant\_A3} + T_{ant\_A23}) / (R_{A3} / 2 * C_{A3})$$

$$(T_{A3} - T_{A23}) / (R_{A3}/2) = (T_{A23} - T_{At4}) / (R_{A2}/8)$$

$$(T_{At4} - T_{ant\_At4}) / \Delta t = (T_{ant\_A23} - 2 * T_{ant\_At4} + T_{ant\_At33}) / (R_{A2} / 8 * C_{A2}/4)$$

$$(T_{At4} - T_{At33}) / (R_{A2}/8) = (T_{At33} - T_{At3}) / (R_{A2}/8)$$

$$(T_{At3} - T_{ant\_At3}) / \Delta t = (T_{ant\_At33} - 2 * T_{ant\_At3} + T_{ant\_At22}) / (R_{A2} / 8 * C_{A2}/4)$$

$$(T_{At3} - T_{At22}) / (R_{A2}/8) = (T_{At22} - T_{At2}) / (R_{A2}/8)$$

$$(T_{At2} - T_{ant\_At2}) / \Delta t = (T_{ant\_At22} - 2 * T_{ant\_At2} + T_{ant\_At11}) / (R_{A2} / 8 * C_{A2}/4)$$

$$(T_{At2} - T_{At11}) / (R_{A2}/8) = (T_{At11} - T_{At1}) / (R_{A2}/8)$$

$$(T_{At1} - T_{ant\_At1}) / \Delta t = (T_{ant\_At11} - 2 * T_{ant\_At1} + T_{ant\_A12}) / (R_{A2} / 8 * C_{A2}/4)$$

$$(T_{At1} - T_{A12}) / (R_{A2}/8) = (T_{A12} - T_{A1}) / (R_{A1}/2)$$

$$(T_{A1} - T_{ant\_A1}) / \Delta t = (T_{ant\_A12} - 2 * T_{ant\_A1} + T_{ant\_iA}) / (R_{A1} / 2 * C_{A1})$$

$$(T_{A1} - T_{iA}) / (R_{A1}/2) = (T_{iA} - T_i) / (R_{iA})$$

"Equações Parede B"

$$(T_e - T_{eB}) / R_{eB} + (a * A_B * Q_{SB}) = (T_{eB} - T_{B4}) / (R_{B4}/2)$$

$$(T_{B4} - T_{ant\_B4}) / \Delta t = (T_{ant\_eB} - 2 * T_{ant\_B4} + T_{ant\_B34}) / (R_{B4} / 2 * C_{B4})$$

$$(T_{B4} - T_{B34}) / (R_{B4}/2) = (T_{B34} - T_{B3}) / (R_{B3}/2)$$

$$(T_{B3} - T_{ant\_B3}) / \Delta t = (T_{ant\_B34} - 2 * T_{ant\_B3} + T_{ant\_B23}) / (R_{B3} / 2 * C_{B3})$$

$$(T_{B3} - T_{B23}) / (R_{B3}/2) = (T_{B23} - T_{Bt4}) / (R_{B2}/8)$$

$$(T_{Bt4} - T_{ant\_Bt4}) / \Delta t = (T_{ant\_B23} - 2 * T_{ant\_Bt4} + T_{ant\_Bt33}) / (R_{B2} / 8 * C_{B2}/4)$$

$$(T_{Bt4} - T_{Bt33}) / (R_{A2}/8) = (T_{Bt33} - T_{Bt3}) / (R_{B2}/8)$$

$$(T_{Bt3} - T_{ant\_Bt3}) / \Delta t = (T_{ant\_Bt33} - 2 * T_{ant\_Bt3} + T_{ant\_Bt22}) / (R_{B2} / 8 * C_{B2}/4)$$

$$(T_{Bt3}-T_{Bt22}) / (R_{B2}/8) = (T_{Bt22}-T_{Bt2}) / (R_{B2}/8)$$

$$(T_{Bt2}-T_{ant\_Bt2}) / DELTA_t = (T_{ant\_Bt22} - 2*T_{ant\_Bt2} + T_{ant\_Bt11}) / (R_{B2} / 8 * C_{B2}/4)$$

$$(T_{Bt2}-T_{Bt11}) / (R_{B2}/8) = (T_{Bt11}-T_{Bt1}) / (R_{B2}/8)$$

$$(T_{Bt1}-T_{ant\_Bt1}) / DELTA_t = (T_{ant\_Bt11} - 2*T_{ant\_Bt1} + T_{ant\_B12}) / (R_{B2} / 8 * C_{B2}/4)$$

$$(T_{Bt1}-T_{B12})/(R_{B2}/8)=(T_{B12}-T_{B1})/(R_{B1}/2)$$

$$(T_{B1}-T_{ant\_B1}) / DELTA_t = (T_{ant\_B12} - 2*T_{ant\_B1} + T_{ant\_iB}) / (R_{B1} / 2 * C_{B1})$$

$$(T_{B1}-T_{iB}) / (R_{B1}/2) = (T_{iB}-T_i) / (R_{iB})$$

### "Equações Cobertura C"

$$(T_e-T_{eC}) / R_{eC} + (a * A_C * Q_{SC}) = (T_{eC}-T_{C5}) / (R_{C5}/2)$$

$$(T_{C5}-T_{ant\_C5}) / DELTA_t = (T_{ant\_eC} - 2*T_{ant\_C5} + T_{ant\_C45}) / (R_{C5} / 2 * C_{C5})$$

$$(T_{C5}-T_{C45}) / (R_{C5}/2) = (T_{C45}-T_{C4}) / (R_{C4}/2)$$

$$(T_{C4}-T_{ant\_C4}) / DELTA_t = (T_{ant\_C45} - 2*T_{ant\_C4} + T_{ant\_C34}) / (R_{C4} / 2 * C_{C4})$$

$$(T_{C4}-T_{C34}) / (R_{C4}/2) = (T_{C34}-T_{C3}) / (R_{C3}/2)$$

$$(T_{C3}-T_{ant\_C3}) / DELTA_t = (T_{ant\_C34} - 2*T_{ant\_C3} + T_{ant\_C23}) / (R_{C3} / 2 * C_{C3})$$

$$(T_{C3}-T_{C23}) / (R_{C3}/2) = (T_{C23}-T_{Ct4}) / (R_{C2}/8)$$

$$(T_{Ct4}-T_{ant\_Ct4}) / DELTA_t = (T_{ant\_C23} - 2*T_{ant\_Ct4} + T_{ant\_Ct33}) / (R_{C2} / 8 * C_{C2}/4)$$

$$(T_{Ct4}-T_{Ct33}) / (R_{C2}/8) = (T_{Ct33}-T_{Ct3}) / (R_{C2}/8)$$

$$(T_{Ct3}-T_{ant\_Ct3}) / DELTA_t = (T_{ant\_Ct33} - 2*T_{ant\_Ct3} + T_{ant\_Ct22}) / (R_{B2} / 8 * C_{B2}/4)$$

$$(T_{Ct3}-T_{Ct22}) / (R_{C2}/8) = (T_{Ct22}-T_{Ct2}) / (R_{C2}/8)$$

$$(T_{Ct2}-T_{ant\_Ct2}) / DELTA_t = (T_{ant\_Ct22} - 2*T_{ant\_Ct2} + T_{ant\_Ct11}) / (R_{C2} / 8 * C_{C2}/4)$$

$$(T_{Ct2}-T_{Ct11}) / (R_{C2}/8) = (T_{Ct11}-T_{Ct1}) / (R_{C2}/8)$$

$$(T_{Ct1}-T_{ant\_Ct1}) / DELTA_t = (T_{ant\_Ct11} - 2*T_{ant\_Ct1} + T_{ant\_C12}) / (R_{C2} / 8 * C_{C2}/4)$$

$$(T_{Ct1}-T_{C12}) / (R_{C2}/8) = (T_{C12}-T_{C1}) / (R_{C1}/2)$$

$$(T_{C1}-T_{ant\_C1}) / DELTA_t = (T_{ant\_C12} - 2*T_{ant\_C1} + T_{ant\_iC}) / (R_{C1} / 2 * C_{C1})$$

$$(T_{C1}-T_{iC}) / (R_{C1}/2) = (T_{iC}-T_i) / (R_{iC})$$

### "Equações Parede Interna D"

$$(T_x-T_{eD}) / (R_{eD}) = (T_{eD}-T_{D3}) / (R_{D3}/2)$$

$$(T_{D3}-T_{ant\_D3}) / DELTA_t = (T_{ant\_eD} - 2*T_{ant\_D3} + T_{ant\_D23}) / (R_{D3} / 2 * C_{D3})$$

$$(T_{D3}-T_{D23}) / (R_{D3}/2) = (T_{D23}-T_{Dt4}) / (R_{D2}/8)$$

$$(T_{Dt4} - T_{ant\_Dt4}) / \Delta t = (T_{ant\_D23} - 2 * T_{ant\_Dt4} + T_{ant\_Dt33}) / (R_{D2} / 8 * C_{D2} / 4)$$

$$(T_{Dt4} - T_{Dt33}) / (R_{A2} / 8) = (T_{Dt33} - T_{Dt3}) / (R_{D2} / 8)$$

$$(T_{Dt3} - T_{ant\_Dt3}) / \Delta t = (T_{ant\_Dt33} - 2 * T_{ant\_Dt3} + T_{ant\_Dt22}) / (R_{D2} / 8 * C_{D2} / 4)$$

$$(T_{Dt3} - T_{Dt22}) / (R_{D2} / 8) = (T_{Dt22} - T_{Dt2}) / (R_{D2} / 8)$$

$$(T_{Dt2} - T_{ant\_Dt2}) / \Delta t = (T_{ant\_Dt22} - 2 * T_{ant\_Dt2} + T_{ant\_Dt11}) / (R_{D2} / 8 * C_{D2} / 4)$$

$$(T_{Dt2} - T_{Dt11}) / (R_{D2} / 8) = (T_{Dt11} - T_{Dt1}) / (R_{D2} / 8)$$

$$(T_{Dt1} - T_{ant\_Dt1}) / \Delta t = (T_{ant\_Dt11} - 2 * T_{ant\_Dt1} + T_{ant\_D12}) / (R_{D2} / 8 * C_{D2} / 4)$$

$$(T_{Dt1} - T_{D12}) / (R_{D2} / 8) = (T_{D12} - T_{D1}) / (R_{D1} / 2)$$

$$(T_{D1} - T_{ant\_D1}) / \Delta t = (T_{ant\_D12} - 2 * T_{ant\_D1} + T_{ant\_iD}) / (R_{D1} / 2 * C_{D1})$$

$$(T_{D1} - T_{iD}) / (R_{D1} / 2) = (T_{iD} - T_i) / (R_{iD})$$

#### "Equações Parede Interna E"

$$(T_y - T_{eE}) / (R_{eE}) = (T_{eE} - T_{E3}) / (R_{E3} / 2)$$

$$(T_{E3} - T_{ant\_E3}) / \Delta t = (T_{ant\_eE} - 2 * T_{ant\_E3} + T_{ant\_E23}) / (R_{E3} / 2 * C_{E3})$$

$$(T_{E3} - T_{E23}) / (R_{E3} / 2) = (T_{E23} - T_{Et4}) / (R_{E2} / 8)$$

$$(T_{Et4} - T_{ant\_Et4}) / \Delta t = (T_{ant\_E23} - 2 * T_{ant\_Et4} + T_{ant\_Et33}) / (R_{E2} / 8 * C_{E2} / 4)$$

$$(T_{Et4} - T_{Et33}) / (R_{E2} / 8) = (T_{Et33} - T_{Et3}) / (R_{E2} / 8)$$

$$(T_{Et3} - T_{ant\_Et3}) / \Delta t = (T_{ant\_Et33} - 2 * T_{ant\_Et3} + T_{ant\_Et22}) / (R_{E2} / 8 * C_{E2} / 4)$$

$$(T_{Et3} - T_{Et22}) / (R_{E2} / 8) = (T_{Et22} - T_{Et2}) / (R_{E2} / 8)$$

$$(T_{Et2} - T_{ant\_Et2}) / \Delta t = (T_{ant\_Et22} - 2 * T_{ant\_Et2} + T_{ant\_Et11}) / (R_{E2} / 8 * C_{E2} / 4)$$

$$(T_{Et2} - T_{Et11}) / (R_{E2} / 8) = (T_{Et11} - T_{Et1}) / (R_{E2} / 8)$$

$$(T_{Et1} - T_{ant\_Et1}) / \Delta t = (T_{ant\_Et11} - 2 * T_{ant\_Et1} + T_{ant\_E12}) / (R_{E2} / 8 * C_{E2} / 4)$$

$$(T_{Et1} - T_{E12}) / (R_{E2} / 8) = (T_{E12} - T_{E1}) / (R_{E1} / 2)$$

$$(T_{E1} - T_{ant\_E1}) / \Delta t = (T_{ant\_E12} - 2 * T_{ant\_E1} + T_{ant\_iE}) / (R_{E1} / 2 * C_{E1})$$

$$(T_{E1} - T_{iE}) / (R_{E1} / 2) = (T_{iE} - T_i) / (R_{iD})$$

#### "Equações Pavimento F"

$$(T_z - T_{eF}) / R_{eF} = (T_{eF} - T_{F4}) / (R_{F4} / 2)$$

$$(T_{F4} - T_{ant\_F4}) / \Delta t = (T_{ant\_eF} - 2 * T_{ant\_F4} + T_{ant\_F34}) / (R_{F4} / 2 * C_{F4})$$

$$(T_{F4} - T_{F34}) / (R_{F4} / 2) = (T_{F34} - T_{Ft4}) / (R_{F3} / 8)$$

$$(T_{Ft4} - T_{ant\_Ft4}) / \Delta t = (T_{ant\_F34} - 2 * T_{ant\_Ft4} + T_{ant\_Ft33}) / (R_{F3} / 8 * C_{F3} / 4)$$

$$(T_{Ft4}-T_{Ft33}) / (R_{F3}/8) = (T_{Ft33}-T_{Ft3}) / (R_{F3}/8)$$

$$(T_{Ft3}-T_{ant\_Ft3}) / DELTAt = (T_{ant\_Ft33} - 2*T_{ant\_Ft3} + T_{ant\_Ft22}) / (R_{F3} /8 * C_{F3}/4)$$

$$(T_{Ft3}-T_{Ft22}) / (R_{F3}/8) = (T_{Ft22}-T_{Ft2}) / (R_{F3}/8)$$

$$(T_{Ft2}-T_{ant\_Ft2}) / DELTAt = (T_{ant\_Ft22} - 2*T_{ant\_Ft2} + T_{ant\_Ft11}) / (R_{F3} /8 * C_{F3}/4)$$

$$(T_{Ft2}-T_{Ft11}) / (R_{F2}/8) = (T_{Ft11}-T_{Ft1}) / (R_{F2}/8)$$

$$(T_{Ft1}-T_{ant\_Ft1}) / DELTAt = (T_{ant\_Ft11} - 2*T_{ant\_Ft1} + T_{ant\_F23}) / (R_{F3} /8 * C_{F3}/4)$$

$$(T_{Ft1}-T_{F23})/(R_{F3}/8)=(T_{F23}-T_{F2})/(R_{F2}/2)$$

$$(T_{F2}-T_{ant\_F2}) / DELTAt = (T_{ant\_F23} - 2*T_{ant\_F2} + T_{ant\_F12}) / (R_{F2} /2 * C_{F2})$$

$$(T_{F2}-T_{F12}) / (R_{F2}/2) = (T_{F12}-T_{F1}) / (R_{F1}/2)$$

$$(T_{F1}-T_{ant\_F1}) / DELTAt = (T_{ant\_F12} - 2*T_{ant\_F1} + T_{ant\_iF}) / (R_{F1} /2 * C_{F1})$$

$$(T_{F1}-T_{iF}) / (R_{F1}/2) + (x_A * A_{JA} * Q_{SA}) + (x_B * A_{JB} * Q_{SB}) = (T_{iF}-T_i) / (R_{iF})$$

#### "Equações Janela A"

$$(T_e-T_{JAe}) / R_{JAe} = (T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA}$$

$$(T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA} = (T_{JAI}-T_i)/R_{JAI}$$

#### "Equações Janela B"

$$(T_e-T_{JBe}) / R_{JBe} = (T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB}$$

$$(T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB} = (T_{JBi}-T_i)/R_{JBi}$$

#### "Equações Porta D"

$$(T_x-T_{PDe}) / R_{PDe} = (T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD}$$

$$(T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD} = (T_{PDi}-T_i)/R_{PDi}$$

#### "Equações de fluxo de calor"

$$Q_A=(T_{iA}-T_i)/R_{iA}$$

$$Q_B=(T_{iB}-T_i)/R_{iB}$$

$$Q_C=(T_{iC}-T_i)/R_{iC}$$

$$Q_D=(T_{iD}-T_i)/R_{iD}$$

$$Q_E=(T_{iE}-T_i)/R_{iE}$$

$$Q_F=(T_{iF}-T_i)/R_{iF}$$

#### "Equações Principais"

$$(T_i - T_{ant_i}) / \Delta t = (T_{ant_m} - T_{ant_i}) / (R_{im} * C_i) + (T_{ant_{iA}} - T_{ant_i}) / (R_{iA} * C_i) + (T_{ant_{iB}} - T_{ant_i}) / (R_{iB} * C_i) + (T_{ant_{iC}} - T_{ant_i}) / (R_{iC} * C_i) + (T_{ant_{iD}} - T_{ant_i}) / (R_{iD} * C_i) + (T_{ant_{iE}} - T_{ant_i}) / (R_{iE} * C_i) + (T_{ant_{iF}} - T_{ant_i}) / (R_{iF} * C_i) + (T_{ant_{JAI}} - T_{ant_i}) / (R_{JAI} * C_i) + (T_{ant_{JBI}} - T_{ant_i}) / (R_{JBI} * C_i) + (T_{ant_{PDi}} - T_{ant_i}) / (R_{PDi} * C_i) + (T_e - T_i) * 1005 * 1,2 * (N/3600) * V / C_i + Q_{GI} / C_i$$

$$(T_m - T_{ant_m}) / \Delta t = (T_{ant_i} - T_{ant_m}) / (R_{im} * C_m) + (1 - x_A) * A_{JA} * Q_{ant_{SA}} / C_m + (1 - x_B) * A_{JB} * Q_{ant_{SB}} / C_m$$

"-----Dados no instante anterior-----"

T\_ant\_eA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eA)  
 T\_ant\_A4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A4)  
 T\_ant\_A34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A34)  
 T\_ant\_A3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A3)  
 T\_ant\_A23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A23)

T\_ant\_At1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_At1)  
 T\_ant\_At2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_At2)  
 T\_ant\_At3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_At3)  
 T\_ant\_At4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_At4)

T\_ant\_At11=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_At11)  
 T\_ant\_At22=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_At22)  
 T\_ant\_At33=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_At33)

T\_ant\_A12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A12)  
 T\_ant\_A1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A1)  
 T\_ant\_iA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iA)

T\_ant\_eB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eB)  
 T\_ant\_B4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B4)  
 T\_ant\_B34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B34)  
 T\_ant\_B3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B3)  
 T\_ant\_B23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B23)

T\_ant\_Bt1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Bt1)  
 T\_ant\_Bt2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Bt2)  
 T\_ant\_Bt3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Bt3)  
 T\_ant\_Bt4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Bt4)

T\_ant\_Bt11=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Bt11)  
 T\_ant\_Bt22=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Bt22)  
 T\_ant\_Bt33=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Bt33)

T\_ant\_B12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B12)  
 T\_ant\_B1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B1)  
 T\_ant\_iB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iB)

T\_ant\_eC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eC)  
 T\_ant\_C5=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C5)  
 T\_ant\_C45=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C45)  
 T\_ant\_C4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C4)



T\_ant\_C34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C34)  
T\_ant\_C3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C3)  
T\_ant\_C23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C23)

T\_ant\_Ct1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ct1)  
T\_ant\_Ct2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ct2)  
T\_ant\_Ct3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ct3)  
T\_ant\_Ct4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ct4)

T\_ant\_Ct11=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ct11)  
T\_ant\_Ct22=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ct22)  
T\_ant\_Ct33=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ct33)

T\_ant\_C12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C12)  
T\_ant\_C1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C1)  
T\_ant\_iC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iC)

T\_ant\_eD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eD)  
T\_ant\_D3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D3)  
T\_ant\_D23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D23)

T\_ant\_Dt1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Dt1)  
T\_ant\_Dt2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Dt2)  
T\_ant\_Dt3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Dt3)  
T\_ant\_Dt4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Dt4)

T\_ant\_Dt11=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Dt11)  
T\_ant\_Dt22=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Dt22)  
T\_ant\_Dt33=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Dt33)

T\_ant\_D12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D12)  
T\_ant\_D1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D1)  
T\_ant\_iD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iD)

T\_ant\_eE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eE)  
T\_ant\_E3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E3)  
T\_ant\_E23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E23)

T\_ant\_Et1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Et1)  
T\_ant\_Et2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Et2)  
T\_ant\_Et3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Et3)  
T\_ant\_Et4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Et4)

T\_ant\_Et11=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Et11)  
T\_ant\_Et22=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Et22)  
T\_ant\_Et33=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Et33)

T\_ant\_E12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E12)  
T\_ant\_E1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E1)  
T\_ant\_iE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iE)

T\_ant\_eF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eF)  
T\_ant\_F4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F4)  
T\_ant\_F34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F34)

T\_ant\_Ft1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ft1)  
T\_ant\_Ft2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ft2)  
T\_ant\_Ft3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ft3)

T\_ant\_Ft4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ft4)

T\_ant\_Ft11=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ft11)

T\_ant\_Ft22=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ft22)

T\_ant\_Ft33=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_Ft33)

T\_ant\_F23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F23)

T\_ant\_F2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F2)

T\_ant\_F12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F12)

T\_ant\_F1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F1)

T\_ant\_iF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iF)

T\_ant\_JAe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAe)

T\_ant\_JAi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAi)

T\_ant\_JBe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBe)

T\_ant\_JBi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBi)

T\_ant\_PDe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDe)

T\_ant\_PDi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDi)

Q\_ant\_SA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SA)

Q\_ant\_SB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SB)

Q\_ant\_SC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SC)

T\_ant\_e=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_e)

T\_ant\_i=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_i)

T\_ant\_m=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_m)

horario\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#horario)

N\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#N)

linha=1+tempo/DELTA<sub>t</sub>

horas=tempo/3600

dias=horas/24

{**\$ST\$OFF**}

## Modelo Lorenz&Masy descrito em 4.4.

"-----Funções-----"

FUNCTION RENOV(horario\_ant) "Renovações de Ar em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  RENOV=0,6
ELSE
  RENOV=25
ENDIF
END
```

FUNCTION INTERNO(horario\_ant) "Calor Interno em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  INTERNO=4
ELSE
  INTERNO=80
ENDIF
END
```

"Constantes - Resistencias, Capacidades Térmicas, Áreas"

"-----Resistencias-----"

Rea\_A=0,007937  
Rie\_A=0,028716

Rea\_B=0,008112  
Rie\_B=0,029351

Rea\_C=0,005721  
Rie\_C=0,027371

Rea\_D=0,003547  
Rie\_D=0,013761

Rea\_E=0,002597  
Rie\_E=0,010119

Rea\_F=0,002668  
Rie\_F=0,01468

"Janelas"

R\_JA=0,00143  
R\_JAe=0,01429  
R\_JAi=0,04643

R\_JB=0,00286  
R\_JBe=0,02857  
R\_JBi=0,09286

"Porta"

R\_PD=0,06667

R\_PDe=0,04333  
R\_PDi=0,04333

"Meio"

R\_im=0,003

"-----Capacidade Térmica-----"

Ce\_A=1880250

Ce\_B=1859812,5

Ce\_C=4077248

Ce\_D=1406484

Ce\_E=1640898

Ce\_F=3932264

"Interior e meio"

C\_i=46726,47

C\_m=360000

"-----Dimensões-----"

"Areas Opacas"

A\_A=9,2

A\_B=9,1

A\_C=14

A\_F=14

"Áreas ajustadas com fatores solares"

A\_JA = 1,18138

A\_JB = 0,664524

"-----Temperaturas outras divisões-----"

T\_x=T\_ant\_i

T\_y=T\_ant\_i

T\_z=T\_ant\_i

"-----Ganhos Térmicos-----"

"Ganhos Internos"

q\_gint=INTERNO(horario\_ant)

$$Q_{GI} = q_{gint} * P$$

"Infiltrações"

$$N = \text{RENOV}(\text{horario\_ant})$$

$$Q_R = 1005 * 1,2 * (N/3600) * V * (T_e - T_i)$$

"-----Fatores-----"

a=0 "Absorção de Radiação solar nos elementos opacos"

x\_A = 0,6 "Percentagem de Radiação solar A incidente no Pavimento F"

x\_B = 0,6 "Percentagem de Radiação solar B incidente no Pavimento F"

P=1 " Numero de Pessoas na Divisão"

DELTA<sub>t</sub>=60 "Intervalo de tempo"

V=37,8 "Volume da divisão"

"-----Equações-----"

"Equações Parede A"

$$(T_{eA} - T_{ant\_eA}) / \text{DELTA}_t = (T_i - T_{eA}) / (R_{ie\_A} * C_{e\_A}) + (T_e - T_{eA}) / (R_{ea\_A} * C_{e\_A}) + (a * A_A * Q_{SA}) / C_{e\_A}$$

"Equações Parede B"

$$(T_{eB} - T_{ant\_eB}) / \text{DELTA}_t = (T_i - T_{eB}) / (R_{ie\_B} * C_{e\_B}) + (T_e - T_{eB}) / (R_{ea\_B} * C_{e\_B}) + (a * A_B * Q_{SB}) / C_{e\_B}$$

"Equações Cobertura C"

$$(T_{eC} - T_{ant\_eC}) / \text{DELTA}_t = (T_i - T_{eC}) / (R_{ie\_C} * C_{e\_C}) + (T_e - T_{eC}) / (R_{ea\_C} * C_{e\_C}) + (a * A_C * Q_{SC}) / C_{e\_C}$$

"Equações Parede Interna D"

$$(T_{eD} - T_{ant\_eD}) / \text{DELTA}_t = (T_i - T_{eD}) / (R_{ie\_D} * C_{e\_D}) + (T_e - T_{eD}) / (R_{ea\_D} * C_{e\_D})$$

"Equações Parede Interna E"

$$(T_{eE} - T_{ant\_eE}) / \text{DELTA}_t = (T_i - T_{eE}) / (R_{ie\_E} * C_{e\_E}) + (T_e - T_{eE}) / (R_{ea\_E} * C_{e\_E})$$

"Equações Pavimento F"

$$(T_{eF} - T_{ant\_eF}) / \text{DELTA}_t = (T_i - T_{eF}) / (R_{ie\_F} * C_{e\_F}) + (T_e - T_{eF}) / (R_{ea\_F} * C_{e\_F}) + (x_A * A_{JA} * Q_{SA}) / C_{e\_F} + (x_B * A_{JB} * Q_{SB}) / C_{e\_F}$$

"Equações Janela A"

$$(T_{eA}-T_{JAe}) / R_{JAe} = (T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA}$$

$$(T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA} = (T_{JAI}-T_i)/R_{JAI}$$

"Equações Janela B"

$$(T_{eB}-T_{JBe}) / R_{JBe} = (T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB}$$

$$(T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB} = (T_{JBi}-T_i)/R_{JBi}$$

"Equações Porta D"

$$(T_x-T_{PDe}) / R_{PDe} = (T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD}$$

$$(T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD} = (T_{PDi}-T_i)/R_{PDi}$$

"Equações de fluxo de calor"

$$Q_A=(T_{eA}-T_i)/Rie_A$$

$$Q_B=(T_{eB}-T_i)/Rie_B$$

$$Q_C=(T_{eC}-T_i)/Rie_C$$

$$Q_D=(T_{eD}-T_i)/Rie_D$$

$$Q_E=(T_{eE}-T_i)/Rie_E$$

$$Q_F=(T_{eF}-T_i)/Rie_F$$

"Equações Principais"

$$(T_i-T_{ant_i}) / \Delta t = (T_{ant_m} - T_{ant_i}) / (R_{im} * C_i) + (T_{ant_eA} - T_{ant_i}) / (Rie_A * C_i) + (T_{ant_eB} - T_{ant_i}) / (Rie_B * C_i) + (T_{ant_eC} - T_{ant_i}) / (Rie_C * C_i) + (T_{ant_eD} - T_{ant_i}) / (Rie_D * C_i) + (T_{ant_eE} - T_{ant_i}) / (Rie_E * C_i) + (T_{ant_eF} - T_{ant_i}) / (Rie_F * C_i) + (T_{ant_JAI} - T_{ant_i}) / (R_{JAI} * C_i) + (T_{ant_JBi} - T_{ant_i}) / (R_{JBi} * C_i) + (T_{ant_PDi} - T_{ant_i}) / (R_{PDi} * C_i) + (T_{e-T_i}) * 1005 * 1,2 * (N/3600) * V / C_i + Q_{GI}/C_i$$

$$(T_m-T_{ant_m}) / \Delta t = (T_{ant_i} - T_{ant_m}) / (R_{im} * C_m) + (1 - x_A) * A_{JA} * Q_{ant_SA} / C_m + (1 - x_B) * A_{JB} * Q_{ant_SB} / C_m$$

"-----Dados no instante anterior-----"

$$T_{ant_eA}=\text{tablevalue}(\text{'Table 1'; linha-1; \#T_{eA}})$$

$$T_{ant_eB}=\text{tablevalue}(\text{'Table 1'; linha-1; \#T_{eB}})$$

$$T_{ant_eC}=\text{tablevalue}(\text{'Table 1'; linha-1; \#T_{eC}})$$

$$T_{ant_eD}=\text{tablevalue}(\text{'Table 1'; linha-1; \#T_{eD}})$$

T\_ant\_eE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eE)

T\_ant\_eF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eF)

T\_ant\_JAe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAe)

T\_ant\_JAi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAi)

T\_ant\_JBe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBe)

T\_ant\_JBi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBi)

T\_ant\_PDe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDe)

T\_ant\_PDi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDi)

Q\_ant\_SA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SA)

Q\_ant\_SB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SB)

Q\_ant\_SC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SC)

T\_ant\_e=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_e)

T\_ant\_i=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_i)

T\_ant\_m=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_m)

horario\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#horario)

N\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#N)

linha=1+tempo/DELTA<sub>t</sub>

horas=tempo/3600

dias=horas/24

{**\$ST\$OFF**}

## Variante Tang&Wang descrito em 4.5.

"-----Funções-----"

FUNCTION RENOVO(horario\_ant) "Renovações de Ar em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  RENOVO=0,6
ELSE
  RENOVO=25
ENDIF
END
```

FUNCTION INTERNO(horario\_ant) "Calor Interno em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  INTERNO=4
ELSE
  INTERNO=80
ENDIF
END
```

"Constantes - Resistencias, Capacidades Térmicas, Áreas"

"-----Resistencias-----"

R\_iA=0,01413  
R\_wA=0,10008  
R\_eA=0,00435

R\_iB=0,01429  
R\_wB=0,10119  
R\_eB=0,00440

R\_iC=0,01214  
R\_wC=0,09218  
R\_eC=0,00286

R\_iD=0,01444  
R\_wD=0,03342  
R\_eD=0,01444

R\_iE=0,01238  
R\_wE=0,02865  
R\_eE=0,01238

R\_iF=0,01214  
R\_wF=0,0275  
R\_eF=0,01214

"Janelas"

R\_JA=0,00143  
R\_JAe=0,01429  
R\_JAi=0,04643



R\_JB=0,00286  
R\_JBe=0,02857  
R\_JBi=0,09286

"Porta"

R\_PD=0,06667  
R\_PDe=0,04333  
R\_PDi=0,04333

"Meio"

R\_im=0,003

"-----Capacidade Térmica-----"

C\_wA=1880250

C\_wB=1859813

C\_wC=4077248

C\_wD=1406484

C\_wE=1640898

C\_wF=3931964

"Interior e meio"

C\_i=46726,47

C\_m=360000

"-----Dimensões-----"

"Áreas Opacas"

A\_A=9,2

A\_B=9,1

A\_C=14

A\_F=14

"Áreas ajustadas com fatores solares"

A\_JA = 1,18138

A\_JB = 0,664524

"-----Temperaturas outras divisões-----"

T\_x=T\_ant\_i

T\_y=T\_ant\_i

T\_z=T\_ant\_i

"-----Ganhos Térmicos-----"

"Ganhos Internos"

$q_{gint} = \text{INTERNO}(\text{horario\_ant})$

$Q_{GI} = q_{gint} * P$

"Infiltrações"

$N = \text{RENOV}(\text{horario\_ant})$

$Q_R = 1005 * 1,2 * (N/3600) * V * (T_e - T_i)$

"-----Fatores-----"

$a = 0,4$  "Absorção de Radiação solar nos elementos opacos"

$x_A = 0,6$  "Percentagem de Radiação solar A incidente no Pavimento F"

$x_B = 0,6$  "Percentagem de Radiação solar B incidente no Pavimento F"

$P = 1$  " Numero de Pessoas na Divisão"

$\Delta t = 60$  "Intervalo de tempo"

$V = 37,8$  "Volume da divisão"

"-----Equações-----"

"Equações Parede A"

$(T_{eA} - T_{ant\_eA}) / \Delta t = (T_e - T_{eA}) / (R_{eA} * C_{wA} / 2) - (T_{eA} - T_{iA}) / (R_{wA} * C_{wA} / 2) + (a * A_A * Q_{SA}) / (C_{wA} / 2)$

$(T_{iA} - T_{ant\_iA}) / \Delta t = (T_{eA} - T_{iA}) / (R_{wA} * C_{wA} / 2) - (T_{iA} - T_i) / (R_{iA} * C_{wA} / 2)$

"Equações Parede B"

$(T_{eB} - T_{ant\_eB}) / \Delta t = (T_e - T_{eB}) / (R_{eB} * C_{wB} / 2) - (T_{eB} - T_{iB}) / (R_{wB} * C_{wB} / 2) + (a * A_B * Q_{SB}) / (C_{wB} / 2)$

$(T_{iB} - T_{ant\_iB}) / \Delta t = (T_{eB} - T_{iB}) / (R_{wB} * C_{wB} / 2) - (T_{iB} - T_i) / (R_{iB} * C_{wA} / 2)$

"Equações Cobertura C"

$(T_{eC} - T_{ant\_eC}) / \Delta t = (T_e - T_{eC}) / (R_{eC} * C_{wC} / 2) - (T_{eC} - T_{iC}) / (R_{wC} * C_{wC} / 2) + (a * A_C * Q_{SC}) / (C_{wC} / 2)$

$(T_{iC} - T_{ant\_iC}) / \Delta t = (T_{eC} - T_{iC}) / (R_{wC} * C_{wC} / 2) - (T_{iC} - T_i) / (R_{iC} * C_{wC} / 2)$

"Equações Parede Interna D"

$$(T_{eD}-T_{ant_{eD}})/\Delta T_{at}=(T_x-T_{eD})/(R_{eD}*C_{wD}/2)-(T_{eD}-T_{iD})/(R_{wD}*C_{wD}/2)$$

$$(T_{iD}-T_{ant_{iD}})/\Delta T_{at}=(T_{eD}-T_{iD})/(R_{wD}*C_{wD}/2)-(T_{iD}-T_i)/(R_{iD}*C_{wD}/2)$$

"Equações Parede Interna E"

$$(T_{eE}-T_{ant_{eE}})/\Delta T_{at}=(T_y-T_{eE})/(R_{eE}*C_{wE}/2)-(T_{eE}-T_{iE})/(R_{wE}*C_{wE}/2)$$

$$(T_{iE}-T_{ant_{iE}})/\Delta T_{at}=(T_{eE}-T_{iE})/(R_{wE}*C_{wE}/2)-(T_{iE}-T_i)/(R_{iE}*C_{wE}/2)$$

"Equações Pavimento F"

$$(T_{eF}-T_{ant_{eF}})/\Delta T_{at}=(T_z-T_{eF})/(R_{eF}*C_{wF}/2)-(T_{eF}-T_{iF})/(R_{wF}*C_{wF}/2)$$

$$(T_{iF}-T_{ant_{iF}})/\Delta T_{at}=(T_{eF}-T_{iF})/(R_{wF}*C_{wF}/2)-(T_{iF}-T_i)/(R_{iF}*C_{wF}/2)+(x_A * A_{JA} * Q_{SA})/C_{wF}/2 + (x_B * A_{JB} * Q_{SB})/C_{wF}/2$$

"Equações Janela A"

$$(T_{eA}-T_{JAe}) / R_{JAe} = (T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA}$$

$$(T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA} = (T_{JAI}-T_i)/R_{JAI}$$

"Equações Janela B"

$$(T_{eB}-T_{JBe}) / R_{JBe} = (T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB}$$

$$(T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB} = (T_{JBi}-T_i)/R_{JBi}$$

"Equações Porta D"

$$(T_x-T_{PDe}) / R_{PDe} = (T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD}$$

$$(T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD} = (T_{PDi}-T_i)/R_{PDi}$$

"Equações de fluxo de calor"

$$Q_A=(T_{iA}-T_i)/R_{iA}$$

$$Q_B=(T_{iB}-T_i)/R_{iB}$$

$$Q_C=(T_{iC}-T_i)/R_{iC}$$

$$Q_D=(T_{iD}-T_i)/R_{iD}$$

$$Q_E=(T_{iE}-T_i)/R_{iE}$$

$$Q_F=(T_{iF}-T_i)/R_{iF}$$

"Equações Principais"

$$(T_{i,t} - T_{ant,i}) / \Delta t = (T_{ant,m} - T_{ant,i}) / (R_{im} * C_i) + (T_{ant,iA} - T_{ant,i}) / (R_{iA} * C_i) + (T_{ant,iB} - T_{ant,i}) / (R_{iB} * C_i) + (T_{ant,iC} - T_{ant,i}) / (R_{iC} * C_i) + (T_{ant,iD} - T_{ant,i}) / (R_{iD} * C_i) + (T_{ant,iE} - T_{ant,i}) / (R_{iE} * C_i) + (T_{ant,iF} - T_{ant,i}) / (R_{iF} * C_i) + (T_{ant,JAi} - T_{ant,i}) / (R_{JAi} * C_i) + (T_{ant,JBi} - T_{ant,i}) / (R_{JBi} * C_i) + (T_{ant,PDi} - T_{ant,i}) / (R_{PDi} * C_i) + (T_e - T_i) * 1005 * 1,2 * (N/3600) * V / C_i + Q_{GI} / C_i$$

$$(T_{m,t} - T_{ant,m}) / \Delta t = (T_{ant,i} - T_{ant,m}) / (R_{im} * C_m) + (1 - x_A) * A_{JA} * Q_{ant,SA} / C_m + (1 - x_B) * A_{JB} * Q_{ant,SB} / C_m$$

"-----Dados no instante anterior-----"

T\_ant\_eA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eA)  
T\_ant\_iA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iA)

T\_ant\_eB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eB)  
T\_ant\_iB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iB)

T\_ant\_eC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eC)  
T\_ant\_iC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iC)

T\_ant\_eD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eD)  
T\_ant\_iD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iD)

T\_ant\_eE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eE)  
T\_ant\_iE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iE)

T\_ant\_eF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eF)  
T\_ant\_iF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iF)

T\_ant\_JAe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAe)  
T\_ant\_JAi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAi)

T\_ant\_JBe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBe)  
T\_ant\_JBi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBi)

T\_ant\_PDe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDe)  
T\_ant\_PDi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDi)

Q\_ant\_SA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SA)  
Q\_ant\_SB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SB)  
Q\_ant\_SC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SC)

T\_ant\_e=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_e)  
T\_ant\_i=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_i)  
T\_ant\_m=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_m)

horario\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#horario)

N\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#N)  
linha=1+tempo/DELTA  
horas=tempo/3600  
dias=horas/24  
{ST\$OFF}

## Variante 3ISOL descrito em 4.6.

"-----Funções-----"

FUNCTION RENOV(horario\_ant) "Renovações de Ar em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  RENOV=0,6
ELSE
  RENOV=25
ENDIF
END
```

FUNCTION INTERNO(horario\_ant) "Calor Interno em função de um horario"

```
IF (horario_ant>=8) AND (horario_ant<=19) THEN
  INTERNO=4
ELSE
  INTERNO=80
ENDIF
END
```

"Constantes - Resistencias, Capacidades Térmicas, Áreas"

"-----Resistencias-----"

Rp2\_A=0,032929  
Rp1\_A=0,052439  
R\_A1=0,05435  
Rp22\_A=0,02801  
Rp11\_A=0,005184

Rp2\_B=0,033291  
Rp1\_B=0,053015  
R\_B1=0,05495  
Rp22\_B=0,028318  
Rp11\_B=0,005241

Rp2\_C=0,025065  
Rp1\_C=0,050677  
R\_C1=0,05357  
Rp22\_C=0,027679  
Rp11\_C=0,00375

R\_iD=0,01444  
R\_D1=0,00171  
R\_D2=0,03  
R\_D3=0,00171  
R\_eD=0,01444

R\_iE=0,01238  
R\_E1=0,00147  
R\_E2=0,02571  
R\_E3=0,00147  
R\_eE=0,01238

R\_iF=0,01214  
R\_F1=0,00420  
R\_F2=0,00220  
R\_F3=0,02  
R\_F4=0,00110  
R\_eF=0,01214

"Janelas"

R\_JA=0,00143  
R\_JAe=0,01429  
R\_JAi=0,04643

R\_JB=0,00286  
R\_JBe=0,02857  
R\_JBi=0,09286

"Porta"

R\_PD=0,06667  
R\_PDe=0,04333  
R\_PDi=0,04333

"Meio"

R\_im=0,003

"-----Capacidade Térmica-----"

C\_eA1=1584295  
C\_A1=3339,6  
C\_eA2=292615,2

C\_eB1=1567075  
C\_B1=3303,3  
C\_eB2=289434,6

C\_eC1=3367084  
C\_C1=10164  
C\_eC2=700000

C\_D1=286254  
C\_D2=833976  
C\_D3=286254

C\_E1=333963  
C\_E2=972972  
C\_E3=333963

C\_F1=252000  
C\_F2=560000  
C\_F3=2674680  
C\_F4=445284

"Interior e meio"

C\_i=46726,47

C\_m=360000

"-----Dimensões-----"

"Áreas Opacas"

$$A_A=9,2$$

$$A_B=9,1$$

$$A_C=14$$

$$A_F=14$$

"Áreas ajustadas com fatores solares"

$$A_{JA} = 1,18138$$

$$A_{JB} = 0,664524$$

"-----Temperaturas outras divisões-----"

$$T_x=T_{ant_i}$$

$$T_y=T_{ant_i}$$

$$T_z=T_{ant_i}$$

"-----Ganhos Térmicos-----"

"Ganhos Internos"

$$q_{gint}=INTERNO(horario_{ant})$$

$$Q_{GI}= q_{gint} * P$$

"Infiltrações"

$$N=RENOV(horario_{ant})$$

$$Q_R=1005*1,2*(N/3600)*V*(T_e-T_i)$$

"-----Fatores-----"

$$a=0,4 \text{ "Absorção de Radiação solar nos elementos opacos"}$$

$$x_A = 0,6 \text{ "Percentagem de Radiação solar A incidente no Pavimento F"}$$

$$x_B = 0,6 \text{ "Percentagem de Radiação solar B incidente no Pavimento F"}$$

$$P=1 \text{ " Numero de Pessoas na Divisão"}$$

$$DELTA_t=60 \text{ "Intervalo de tempo"}$$

$$V=37,8 \text{ "Volume da divisão"}$$

"-----Equações-----"

"Equações Parede A"

$$(T_{A3}-T_{ant\_A3})/\Delta t=(T_{A23}-T_{A3})/(R_{p22\_A}*C_{eA2})+(T_e-T_{A3})/(R_{p11\_A}*C_{eA2})+(a * A_A * Q_{SA})/C_{eA2}$$

$$(T_{A3}-T_{A23}) / (R_{p22\_A}) = (T_{A23}-T_{A2}) / (R_{A1}/2)$$

$$(T_{A2}-T_{ant\_A2}) / \Delta t = (T_{ant\_A23} - 2*T_{ant\_A2} + T_{ant\_A12}) / (R_{A1} / 2 * C_{A1})$$

$$(T_{A2}-T_{A12}) / (R_{A1}/2) = (T_{A12}-T_{A1}) / (R_{p1\_A})$$

$$(T_{A1}-T_{ant\_A1}) / \Delta t = (T_{ant\_A12}-T_{ant\_A1})/(R_{p1\_A}*C_{eA1})+(T_{ant\_i-T_{ant\_A1}})/(R_{p2\_A}*C_{eA1})$$

"Equações Parede B"

$$(T_{B3}-T_{ant\_B3})/\Delta t=(T_{B23}-T_{B3})/(R_{p22\_B}*C_{eB2})+(T_e-T_{B3})/(R_{p11\_B}*C_{eB2})+(a * A_B * Q_{SB})/C_{eB2}$$

$$(T_{B3}-T_{B23}) / (R_{p22\_B}) = (T_{B23}-T_{B2}) / (R_{B1}/2)$$

$$(T_{B2}-T_{ant\_B2}) / \Delta t = (T_{ant\_B23} - 2*T_{ant\_B2} + T_{ant\_B12}) / (R_{B1} / 2 * C_{B1})$$

$$(T_{B2}-T_{B12}) / (R_{B1}/2) = (T_{B12}-T_{B1}) / (R_{p1\_B})$$

$$(T_{B1}-T_{ant\_B1}) / \Delta t = (T_{ant\_B12} - T_{ant\_B1})/(R_{p1\_B}*C_{eB1})+(T_{ant\_i-T_{ant\_B1}}) / (R_{p2\_B} * C_{eB1})$$

"Equações Cobertura C"

$$(T_{C3}-T_{ant\_C3})/\Delta t=(T_{C23}-T_{C3})/(R_{p22\_C}*C_{eC2})+(T_e-T_{C3})/(R_{p11\_C}*C_{eC2})+(a * A_C * Q_{SC})/C_{eC2}$$

$$(T_{C3}-T_{C23}) / (R_{p22\_C}) = (T_{C23}-T_{C2}) / (R_{C1}/2)$$

$$(T_{C2}-T_{ant\_C2}) / \Delta t = (T_{ant\_C23} - 2*T_{ant\_C2} + T_{ant\_C12}) / (R_{C1} / 2 * C_{C1})$$

$$(T_{C2}-T_{C12}) / (R_{C1}/2) = (T_{C12}-T_{C1}) / (R_{p1\_C})$$

$$(T_{C1}-T_{ant\_C1}) / \Delta t = (T_{ant\_C12} - T_{ant\_C1})/(R_{p1\_C}*C_{eC1})+(T_{ant\_i-T_{ant\_C1}}) / (R_{p2\_C} * C_{eC1})$$

"Equações Parede Interna D"

$$(T_x-T_{eD}) / (R_{eD}) = (T_{eD}-T_{D3}) / (R_{D3}/2)$$

$$(T_{D3}-T_{ant\_D3}) / \Delta t = (T_{ant\_eD} - 2*T_{ant\_D3} + T_{ant\_D23}) / (R_{D3} / 2 * C_{D3})$$

$$(T_{D3}-T_{D23}) / (R_{D3}/2) = (T_{D23}-T_{D2}) / (R_{D2}/2)$$

$$(T_{D2}-T_{ant\_D2}) / \Delta t = (T_{ant\_D23} - 2*T_{ant\_D2} + T_{ant\_D12}) / (R_{D2} / 2 * C_{D2})$$

$$(T_{D2}-T_{D12}) / (R_{D2}/2) = (T_{D12}-T_{D1}) / (R_{D1}/2)$$

$$(T_{D1}-T_{ant\_D1}) / \Delta t = (T_{ant\_D12} - 2*T_{ant\_D1} + T_{ant\_iD}) / (R_{D1} / 2 * C_{D1})$$



$$(T_{D1}-T_{iD}) / (R_{D1}/2) = (T_{iD}-T_i) / (R_{iD})$$

#### "Equações Parede Interna E"

$$(T_y-T_{eE}) / (R_{eE}) = (T_{eE}-T_{E3}) / (R_{E3}/2)$$

$$(T_{E3}-T_{ant_{E3}}) / \Delta t = (T_{ant_{eE}} - 2*T_{ant_{E3}} + T_{ant_{E23}}) / (R_{E3} / 2 * C_{E3})$$

$$(T_{E3}-T_{E23}) / (R_{E3}/2) = (T_{E23}-T_{E2}) / (R_{E2}/2)$$

$$(T_{E2}-T_{ant_{E2}}) / \Delta t = (T_{ant_{E23}} - 2*T_{ant_{E2}} + T_{ant_{E12}}) / (R_{E2} / 2 * C_{E2})$$

$$(T_{E2}-T_{E12}) / (R_{E2}/2) = (T_{E12}-T_{E1}) / (R_{E1}/2)$$

$$(T_{E1}-T_{ant_{E1}}) / \Delta t = (T_{ant_{E12}} - 2*T_{ant_{E1}} + T_{ant_{iE}}) / (R_{E1} / 2 * C_{E1})$$

$$(T_{E1}-T_{iE}) / (R_{E1}/2) = (T_{iE}-T_i) / (R_{iD})$$

#### "Equações Pavimento F"

$$(T_z-T_{eF}) / R_{eF} = (T_{eF}-T_{F4}) / (R_{F4}/2)$$

$$(T_{F4}-T_{ant_{F4}}) / \Delta t = (T_{ant_{eF}} - 2*T_{ant_{F4}} + T_{ant_{F34}}) / (R_{F4} / 2 * C_{F4})$$

$$(T_{F4}-T_{F34}) / (R_{F4}/2) = (T_{F34}-T_{F3}) / (R_{F3}/2)$$

$$(T_{F3}-T_{ant_{F3}}) / \Delta t = (T_{ant_{eF}} - 2*T_{ant_{F3}} + T_{ant_{F23}}) / (R_{F3} / 2 * C_{F3})$$

$$(T_{F3}-T_{F23}) / (R_{F3}/2) = (T_{F23}-T_{F2}) / (R_{F2}/2)$$

$$(T_{F2}-T_{ant_{F2}}) / \Delta t = (T_{ant_{F23}} - 2*T_{ant_{F2}} + T_{ant_{F12}}) / (R_{F2} / 2 * C_{F2})$$

$$(T_{F2}-T_{F12}) / (R_{F2}/2) = (T_{F12}-T_{F1}) / (R_{F1}/2)$$

$$(T_{F1}-T_{ant_{F1}}) / \Delta t = (T_{ant_{F12}} - 2*T_{ant_{F1}} + T_{ant_{iF}}) / (R_{F1} / 2 * C_{F1})$$

$$(T_{F1}-T_{iF}) / (R_{F1}/2) + (x_A * A_{JA} * Q_{SA}) + (x_B * A_{JB} * Q_{SB}) = (T_{iF}-T_i) / (R_{iF})$$

#### "Equações Janela A"

$$(T_e-T_{JAe}) / R_{JAe} = (T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA}$$

$$(T_{JAe}-T_{JAI}) / R_{JA} = (T_{JAI}-T_i)/R_{JAI}$$

#### "Equações Janela B"

$$(T_e-T_{JBe}) / R_{JBe} = (T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB}$$

$$(T_{JBe}-T_{JBi}) / R_{JB} = (T_{JBi}-T_i)/R_{JBi}$$

#### "Equações Porta D"

$$(T_x-T_{PDe}) / R_{PDe} = (T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD}$$

$$(T_{PDe}-T_{PDi}) / R_{PD} = (T_{PDi}-T_i)/R_{PDi}$$

"Equações de fluxo de calor"

$$Q_A=(T_{A1}-T_i)/Rp2_A$$

$$Q_B=(T_{B1}-T_i)/Rp2_B$$

$$Q_C=(T_{C1}-T_i)/Rp2_C$$

$$Q_D=(T_{iD}-T_i)/R_{iD}$$

$$Q_E=(T_{iE}-T_i)/R_{iE}$$

$$Q_F=(T_{iF}-T_i)/R_{iF}$$

"Equações Principais"

$$(T_i-T_{ant_i}) / \Delta t = (T_{ant_m} - T_{ant_i}) / (R_{im} * C_i) + (T_{ant_{A1}} - T_{ant_i}) / (Rp2_A * C_i) + (T_{ant_{B1}} - T_{ant_i}) / (Rp2_B * C_i) + (T_{ant_{C1}} - T_{ant_i}) / (Rp2_C * C_i) + (T_{ant_{iD}} - T_{ant_i}) / (R_{iD} * C_i) + (T_{ant_{iE}} - T_{ant_i}) / (R_{iE} * C_i) + (T_{ant_{iF}} - T_{ant_i}) / (R_{iF} * C_i) + (T_{ant_{JAi}} - T_{ant_i}) / (R_{JAi} * C_i) + (T_{ant_{JBi}} - T_{ant_i}) / (R_{JBi} * C_i) + (T_{ant_{PDi}} - T_{ant_i}) / (R_{PDi} * C_i) + (T_e-T_i)*1005*1,2*(N/3600)*V / C_i + Q_{GI}/C_i$$

$$(T_m-T_{ant_m}) / \Delta t = (T_{ant_i} - T_{ant_m}) / (R_{im} * C_m) + (1 - x_A) * A_{JA} * Q_{ant_{SA}} / C_m + (1 - x_B) * A_{JB} * Q_{ant_{SB}} / C_m$$

"-----Dados no instante anterior-----"

T\_ant\_A3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A3)  
 T\_ant\_A23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A23)  
 T\_ant\_A2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A2)  
 T\_ant\_A12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A12)  
 T\_ant\_A1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_A1)

T\_ant\_B3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B3)  
 T\_ant\_B23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B23)  
 T\_ant\_B2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B2)  
 T\_ant\_B12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B12)  
 T\_ant\_B1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_B1)

T\_ant\_C3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C3)  
 T\_ant\_C23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C23)  
 T\_ant\_C2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C2)  
 T\_ant\_C12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C12)  
 T\_ant\_C1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_C1)

T\_ant\_eD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eD)  
 T\_ant\_D3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D3)  
 T\_ant\_D23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D23)  
 T\_ant\_D2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D2)  
 T\_ant\_D12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D12)  
 T\_ant\_D1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_D1)

T\_ant\_iD=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iD)

T\_ant\_eE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eE)  
T\_ant\_E3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E3)  
T\_ant\_E23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E23)  
T\_ant\_E2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E2)  
T\_ant\_E12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E12)  
T\_ant\_E1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_E1)  
T\_ant\_iE=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iE)

T\_ant\_eF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_eF)  
T\_ant\_F4=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F4)  
T\_ant\_F34=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F34)  
T\_ant\_F3=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F3)  
T\_ant\_F23=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F23)  
T\_ant\_F2=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F2)  
T\_ant\_F12=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F12)  
T\_ant\_F1=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_F1)  
T\_ant\_iF=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_iF)

T\_ant\_JAe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAe)  
T\_ant\_JAi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JAi)

T\_ant\_JBe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBe)  
T\_ant\_JBi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_JBi)

T\_ant\_PDe=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDe)  
T\_ant\_PDi=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_PDi)

Q\_ant\_SA=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SA)  
Q\_ant\_SB=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SB)  
Q\_ant\_SC=tablevalue('Table 1'; linha-1;#Q\_SC)

T\_ant\_e=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_e)  
T\_ant\_i=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_i)  
T\_ant\_m=tablevalue('Table 1'; linha-1;#T\_m)

horario\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#horario)

N\_ant=tablevalue('Table 1'; linha-1;#N)

linha=1+tempo/DELTA<sub>t</sub>  
horas=tempo/3600  
dias=horas/24

{**\$ST\$OFF**}