

CONFORTO DE VERÃO EM EDIFÍCIOS – ARQUITETURA TRADICIONAL VS ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA

ANA FRANCISCA FÉLIX SOARES TORRES DA SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-5081446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-5081440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de mais, aos meus pais pelo empenho em me proporcionarem as melhores condições de formação possíveis, pelas palavras de força e carinho nos momentos mais difíceis e pelo apoio incondicional durante a minha vida.

À minha orientadora, Professora Doutora Maria Helena Corvacho, pela disponibilidade demonstrada desde o início, pela contribuição e apoio ao longo deste trabalho.

Ao João, pelos conselhos de um irmão mais velho e ao Miguel, pelo companheirismo de um irmão gémeo.

À minha família e amigos que me acompanharam e apoiaram dentro e fora da vida académica.

RESUMO

Os consumos energéticos têm vindo a aumentar no setor da construção, no qual se destaca o setor de edifícios e como tal deve ser uma preocupação atual diminuir estes consumos e dotar os edifícios de meios quer de aquecimento, quer de arrefecimento que requeiram o mínimo de custos de energia possíveis, sem que para isso se comprometa o bem-estar do utilizador.

Com o intuito de diminuir os gastos energéticos em edifícios durante o verão propõe-se o estudo do contributo da arquitetura tradicional portuguesa e da arquitetura contemporânea para se atingirem condições de conforto, bem como a influência da implementação de estratégias passivas de arrefecimento na temperatura no interior de edifícios.

Realizou-se, por isso, um estudo paramétrico onde fosse possível avaliar as condições de conforto em três casos de estudo: um de arquitetura tradicional Transmontana, um de arquitetura Algarvia e um de arquitetura contemporânea. Posto isto são contabilizados os efeitos que as alterações de certos parâmetros provocam nesses mesmos casos. Para isso tem-se como auxílio o software Design Builder onde são modelados os edifícios e feitas simulações térmicas dinâmicas.

A análise dos resultados da alteração de cada parâmetro será feita pela temperatura operativa atingida no interior de cada modelo, assim como pelos graus-hora de desconforto acumulados durante o período em análise.

Após este estudo são tiradas conclusões que ajudam à criação de conforto de verão em edifícios recorrendo a estratégias passivas e que promovam a poupança de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico de verão, Arquitetura Tradicional, Arquitetura Contemporânea, Estratégias de Arrefecimento Passivo, Graus-Hora de desconforto.

ABSTRACT

Energy consumptions have been increasing in the construction sector, which emphasizes the sector of buildings and as such must be a current concern narrow down these consumption, as well as provide means to the buildings, either for heating or cooling, that require the minimal energy costs as possible, without undermining the well-being of their users.

In order to decrease the energy costs in buildings during the summer, it is proposed a study about the contribute of traditional Portuguese architecture and contemporaneous architecture to achieve comfort conditions, as well as the influence of implementation of passive cooling strategies on indoor temperature in buildings.

Therefore was made a parametric study where is possible to evaluate the comfort conditions in three case studies: one of traditional architecture of Trás-os-Montes, other of traditional architecture of Algarve and other of contemporaneous architecture. That said the effects that changes in certain parameters cause in those cases are analyzed. For that purpose is used the Design Builder software where are modeled the buildings and made dynamic thermal simulations.

The results of the change of each parameter will be analysed by the operative temperature reached in the indoor environment of each model and also by the discomfort degrees-hour accumulated during the period of analysis.

After this study will be taken conclusions that will help the creation of comfort during summer in buildings provided by passive strategies and, at the same time, promote energy savings.

KEYWORDS: Thermal Comfort in summer, Traditional Architecture, Contemporaneous Architecture, Passive Cooling Strategies, Discomfort Degrees-Hour.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO DO TEMA	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. CONFORTO EM EDIFÍCIOS	5
2.1. CONFORTO TÉRMICO	5
2.2. QUALIDADE DO AR INTERIOR	6
2.3. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O CONFORTO EM EDIFÍCIOS	7
2.3.1. ORIENTAÇÃO E RADIAÇÃO SOLAR	7
2.3.2. SOMBREAMENTO	8
2.3.3. GANHOS SOLARES	10
2.3.4. INÉRCIA TÉRMICA	11
2.3.5. VENTILAÇÃO.....	11
2.4. ESTRATÉGIAS PASSIVAS DE ARREFECIMENTO	13
3. METODOLOGIA	15
3.1. ÂMBITO.....	15
3.2. PROGRAMA DESIGN BUILDER	15
3.2.1. INTRODUÇÃO.....	15
3.2.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROGRAMA.....	16
3.3. CARACTERIZAÇÃO DA ARQUITETURA TRADICIONAL PORTUGUESA	18
3.3.1. ARQUITETURA TRANSMONTANA.....	18
3.3.2. ARQUITETURA ALGARVIA	19
3.4. ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA.....	20
4. SIMULAÇÕES: CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO	21
4.1. INTRODUÇÃO.....	21
4.2. CASOS DE ESTUDO	22

4.2.1. MODELO DE ARQUITETURA TRANSMONTANA.....	22
4.2.2. MODELO DE ARQUITETURA ALGARVIA.....	25
4.2.3. MODELO DE ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA	28
5. SIMULAÇÕES: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	33
5.1. ANÁLISE DE RESULTADOS PARA O CONCELHO DE BRAGANÇA.....	33
5.1.1. ANÁLISE DOS MODELOS BASE.....	33
5.1.2. ANÁLISE DOS MODELOS ALTERADOS.....	35
5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS PARA A CONCELHO DE FARO	42
5.2.1. ANÁLISE DOS MODELOS BASE.....	42
5.2.2. ANÁLISE DOS MODELOS ALTERADOS.....	45
5.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA A CONCELHO DO PORTO.....	51
5.3.1. ANÁLISE DOS MODELOS BASE	51
5.3.2. ANÁLISE DO MODELO DE ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA ALTERADO	54
6. CONCLUSÕES	61
6.1. CONCLUSÕES FINAIS	61
6.2. PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Evolução da altura solar de acordo com os equinócios e solstícios [14].....	7
Fig. 2.2. Radiação solar ao longo do dia [14].....	8
Fig. 2.3 - Dispositivos de sombreamento [16].....	9
Fig. 2.4. - Sombreamento com vegetação [3].....	10
Fig. 2.5. - Ganhos solares por envidraçados	10
Fig. 2.6. - Ganhos solares diretos[3]	11
Fig. 2.7. - Ganhos solares indiretos [3]	11
Fig. 2.8. - Ventilação por ação do vento [18]	12
Fig. 2.9. - Ventilação devido à temperatura [18]	12
Fig. 2.10. - Efeito conjunto da inércia térmica com ventilação natural para arrefecimento [20]	13
Fig. 3.1. Design Builder	16
Fig. 3.2. - Esquema de separadores do Design Builder	17
Fig. 3.3. Arquitetura Transmontana [1]	19
Fig. 3.4. - Parede interior em tabique [2].....	19
Fig. 3.5. - Cobertura algarvia vista pelo interior[4]	20
Fig. 3.6. - Arquitetura algarvia [4].....	20
Fig. 4.1. -Esquema das simulações	21
Fig. 4.2. - Modelo base de Arquitetura Transmontana.....	23
Fig. 4.3. - Piso 0 modelo base transmontano	23
Fig. 4.4. - Piso 1 modelo base transmontano	23
Fig. 4.5. - Modelo de Arquitetura Transmontana Alterado – Sombreamento	25
Fig. 4.6. - Modelo base de Arquitetura Algarvia.....	26
Fig. 4.7. - Piso 0 Modelo de Arquitetura Algarvio.....	26
Fig. 4.8. - Piso 1 Modelo de Arquitetura Algarvio.....	26
Fig. 4.9. - Modelo de Arquitetura Algarvia Alterada – Sombreamento	28
Fig. 4.10. - Modelo base de Arquitetura Contemporânea.....	29
Fig. 4.11. - Piso 0 modelo base de arquitetura contemporânea	29
Fig. 4.12. - Piso 1 modelo base de arquitetura contemporânea	29
Fig. 4.13. - Modelo Alterado de Arquitetura Contemporânea	32
Fig. 5.1 - Temperaturas operativas dos Modelos Base Transmontano e Algarvio no concelho de Bragança	34
Fig. 5.2 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Base Transmontano e Algarvio no Concelho de Bragança.....	34

Fig. 5.3 - Temperaturas operativas do Modelo Base Contemporâneo - Concelho de Bragança	35
Fig. 5.4 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Base Contemporâneo - Concelho de Bragança	35
Fig. 5.5 - Temperaturas operativas dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Ventilação) - Concelho de Bragança	36
Fig. 5.6 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Ventilação) - Concelho de Bragança	36
Fig. 5.7 - Temperaturas operativas do Modelo Contemporâneo Alterado (Ventilação) - Concelho de Bragança	37
Fig. 5.8 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Contemporâneo Alterado (Ventilação) - Concelho de Bragança	37
Fig. 5.9 - Temperaturas operativas dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Sombreamento) – Concelho de Bragança	38
Fig. 5.10 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Sombreamento) – Concelho de Bragança	38
Fig. 5.11 - Temperaturas operativas do Modelo Contemporâneo Alterado (Sombreamento) – Concelho de Bragança	39
Fig. 5.12 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Contemporâneo Alterado (Sombreamento) – Concelho de Bragança	39
Fig. 5.13 - Temperaturas operativas dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Bragança	40
Fig. 5.14 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Bragança	40
Fig. 5.15 - Temperaturas operativas do Modelo Contemporâneo Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Bragança	41
Fig. 5.16 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Contemporâneo Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Bragança	41
Fig. 5.17 - Temperaturas operativas do Modelo Base Transmontano – Concelho de Faro	43
Fig. 5.18 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Base Transmontano – Concelho de Faro	43
Fig. 5.19 - Temperaturas operativas dos Modelos Base Algarvio e Contemporâneo – Concelho de Faro	44
Fig. 5.20 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Base Algarvio e Contemporâneo – Concelho de Faro	44
Fig. 5.21 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação) – Concelho de Faro	45
Fig. 5.22 - Graus-hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação) – Concelho de Faro	45

Fig. 5.23 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação) – Concelho de Faro.....	46
Fig. 5.24 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação) – Concelho de Faro.....	46
Fig. 5.25 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Sombreamento) – Concelho de Faro	47
Fig. 5.26 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Sombreamento) – Concelho de Faro.....	47
Fig. 5.27 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Sombreamento) – Concelho de Faro.....	48
Fig. 5.28 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Sombreamento) – Concelho de Faro.....	48
Fig. 5.29 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Faro.....	49
Fig. 5.30 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Faro.....	49
Fig. 5.31 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Faro.....	50
Fig. 5.32 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Faro.....	50
Fig. 5.33 - Temperaturas Operativas do Modelo Base Transmontano – Concelho do Porto.....	52
Fig. 5.34 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Base Transmontano – Concelho do Porto	52
Fig. 5.35 - Temperaturas operativas dos Modelo Base Algarvio e Transmontano – Concelho do Porto	53
Fig. 5.36 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelo Base Algarvio e Transmontano – Concelho do Porto.....	53
Fig. 5.37 - Temperatura operativas do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação) – Concelho do Porto	54
Fig. 5.38 - - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação) – Concelho do Porto.....	54
Fig. 5.39 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação) – Concelho do Porto.....	55
Fig. 5.40 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação) – Concelho do Porto	55
Fig. 5.41 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Sombreamento) – Concelho do Porto	56
Fig. 5.42 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Sombreamento) – Concelho do Porto.....	56

Fig. 5.43 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Sombreamento) – Concelho do Porto	57
Fig. 5.44 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Sombreamento) – Concelho do Porto	57
Fig. 5.45 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho do Porto.....	58
Fig. 5.46 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho do Porto.....	58
Fig. 5.47 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho do Porto.....	59
Fig. 5.48 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho do Porto.....	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. - Níveis de metabolismo de acordo com atividades físicas	6
Tabela 2.2 - Valores de Resistência térmica consoante o vestuário	6
Tabela 4.1. - Propriedades térmicas dos materiais usados no modelo transmontana [14, 24].....	24
Tabela 4.2. - Características dos Elementos Construtivos – Modelo Trasnmontano.....	24
Tabela 4.3. - Propriedades Térmicas dos Materiais usados no modelo algarvio [14, 24]	27
Tabela 4.4. - Caracterização dos elementos construtivos – Modelo Algarvio	27
Tabela 4.5. - Propriedades Térmicas dos Materiais usados no modelo Contemporânea[14, 24].....	30
Tabela 4.6. - Caracterização dos elementos construtivos – Modelo Contemporâneo	30
Tabela 5.1 - Comparação dos valores do Modelo base com os Modelos Alterados - Concelho de Bragança	42
Tabela 5.2 - Comparação dos valores do Modelo base com os Modelos Alterados - Concelho de Faro	51
Tabela 5.3 - Comparação dos valores do Modelo base com os Modelos Alterados - Concelho do Porto	60

1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO DO TEMA

O conforto em edifícios tem assumido cada vez mais uma maior importância pois a utilização dos mesmos é cada vez maior, ou seja, torna-se cada vez mais importante construir edifícios com maior qualidade, de forma a não comprometer o bem-estar dos seus utilizadores.

Para atingir esse conforto foram sendo adotadas diversas tecnologias de acordo com a evolução da construção e dos estudos das propriedades dos diferentes materiais de construção, levando assim a um consenso generalizado dos processos a utilizar para a construção de novos edifícios, quer pela facilidade e rapidez das soluções, quer pela economia que essa generalização acarreta. No entanto, há que ter em atenção que as soluções construtivas devem atender a diversos fatores como, por exemplo, o clima onde será implementado o edifício, porque um mesmo modelo de edifício comportar-se-á de maneira diferente em climas mais amenos ou em climas mais severos.

No caso do edifício estar integrado num clima com a estação de aquecimento mais severa como é o caso dos países do norte da Europa, será de todo o interesse que este responda melhor no inverno onde é sempre necessário um reforço por parte de sistemas de aquecimento para que o conforto seja atingido. O contrário se passa nos países do sul da Europa, em que no verão se atingem temperaturas muito altas, o que leva a que seja necessário manter temperaturas mais baixas dentro dos edifícios para garantir o conforto e, como atualmente esta capacidade não tem sido verificada, o utilizador tem aderido cada vez mais ao uso de sistemas de refrigeração que levam a um maior consumo de energia.

Em consequência, o gasto de energia com edifícios representa uma parcela muito significativa no balanço energético da Europa, cerca de 40%, contabilizando também cerca de 36% das emissões de CO₂. Em Portugal, no ano de 2005, 30% do consumo total de energia primária do país é representada pelos edifícios assim como 62% do consumo de eletricidade. Destes consumos, o sector residencial é responsável por 17% do consumo de energia primária e 29% da fatura da eletricidade. [5] [6]

Para combater estes elevados consumos energéticos foi assinado um protocolo, protocolo de Quioto, onde foram estabelecidas metas para que sejam então reduzidas as percentagens de CO₂, o que levou a União Europeia e os estados membros a criarem novos regulamentos e diretivas que devem ser seguidas como, por exemplo, a Diretiva 2010/31 EU [7] que garante requisitos mínimos ao nível de desempenho energético dos edifícios. Em Portugal foi revista recentemente a regulamentação relativa ao desempenho energético, estando agora em vigor o Decreto-Lei 118/2013 onde é especificado o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) [8], o Regulamento de Desempenho Energéticos de Edifícios de Habitação (REH) [9] e o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [10].

Toda esta preocupação mostra que é necessário atuar ao nível do consumo energético dos edifícios por forma a diminuir os seus gastos, recorrendo para isso a estratégias eficientes, sem que para isso se comprometa o conforto dos utilizadores.

Ao longo da evolução dos tempos, os povos foram adaptando as suas construções aos recursos disponíveis e também às condições características do lugar onde habitavam, de forma a criar técnicas de construção que levassem a uma melhor qualidade e conforto, caracterizando assim arquiteturas típicas de cada região.

Em Portugal, como todos os países, existem arquiteturas características de cada região do país, sempre de acordo com os materiais abundantes de cada zona. No caso do Norte do país, verifica-se uma grande abundância de jazigos de pedras naturais, como o granito e o xisto, sendo então a arquitetura desta região caracterizada pela alvenaria de pedra. Já para o Sul verificam-se construções em adobe e taipa, onde as fachadas são maioritariamente rebocadas e caiadas para combater os períodos quentes do verão. Esta situação é comum em outros países do Sul da Europa, como Espanha, Itália e Grécia, países que possuem verões muito quentes e secos, onde se atingem temperaturas muito altas e elevadas incidências de radiação solar que provocam o sobreaquecimento dos edifícios, e invernos menos agressivos, sendo a arquitetura forçosamente diferente do norte do continente europeu, ou seja, as estratégias passivas mais utilizadas serão a existência mínima de envidraçados para evitar ganhos solares excessivos, dispositivos de sombreamento, ventilação natural noturna, entre outras.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

A construção de edifícios residenciais, hoje em dia, tende a dar preferência a arquiteturas modernas com conceitos importados principalmente dos países do Norte da Europa sem que antes haja um estudo sobre uma correta adaptação dessas diretrizes ao clima do nosso país. Há necessariamente diferenças que devem ser tidas em conta entre o tipo de construção do Norte do continente e o Sul, uma vez que o clima no Norte é muito mais frio, com invernos muito rigorosos e verões amenos e mais curtos, o que leva a preocupações em relação ao conforto no interior dos edifícios diferentes.

Tendo em conta que Portugal é um país do sul da Europa, caracterizado por invernos amenos e verões quentes e secos, pretende-se descrever, analisar e comparar as condições de conforto de verão de três casos de estudo que representam dois modelos de arquitetura tradicional portuguesa e um modelo de arquitetura contemporânea e proceder à alteração de certos parâmetros, de modo a verificar qual a influência dessas alterações no conforto dos edifícios. As alterações serão feitas de acordo com a implementação de estratégias passivas de arrefecimento, promovendo assim a poupança dos gastos energéticos. Por fim serão analisados os resultados da comparação entre modelos e da aplicação de medidas de arrefecimento passivo e tiradas conclusões deste estudo paramétrico que possibilitem recomendações práticas para o auxílio da conceção de novos projetos.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 7 capítulos.

No Capítulo 1 é feita uma pequena introdução à motivação da escrita deste trabalho e expostos os objetivos.

No Capítulo 2 são esclarecidos alguns conceitos teóricos que são importantes para a percepção da problemática em volta do tema.

No Capítulo 3 é apresentada a descrição da metodologia a ser utilizada neste estudo, assim como a apresentação da ferramenta de cálculo usada para a modelação e a simulação dos casos de estudo e também uma caracterização das arquiteturas tradicional portuguesa e contemporânea.

No Capítulo 4 são apresentados e descritos os casos de estudo que serão simulados posteriormente.

No Capítulo 5 são expostos os resultados das simulações realizados no software de cálculo, analisados e comparados os casos de estudo entre si.

No Capítulo 6 são tiradas as conclusões do estudo e feitas algumas recomendações de projeto. Também são sugeridos trabalhos futuros.

2

CONFORTO EM EDIFÍCIOS

O conceito de conforto é bastante difícil de ser perfeitamente definido, uma vez que o mesmo depende de vários fatores como, por exemplo, térmicos, acústicos, qualidade do ar interior, organização do espaço e até mesmo de condições de carácter social. Estes fatores são responsáveis pelo bem-estar do utente num edifício e por isso a conceção de um modelo que satisfaça ao máximo as exigências mínimas de conforto é muito importante, logo deve-se ter em atenção desde início que utilidade irá ter o edifício. Por exemplo, se estiver a ser realizado um projeto que vise a construção de um infantário é essencial adaptar o modelo às exigências de conforto ideais para que crianças se adaptem facilmente às condições existentes, ou seja, é importante ter em atenção a idade, o sexo, as condições sociais para promover o conforto, sem que para isso seja necessário o uso de mecanismos que envolvem consumo energético, preferencialmente.

No entanto, apesar do conforto depender de vários fatores, apenas se irão focar dois deles:

- Conforto Térmico;
- Qualidade do ar interior.

2.1. CONFORTO TÉRMICO

De acordo com o ASHRAE [11] o conforto térmico define-se como “a condição da mente que expressa satisfação com o seu ambiente térmico”, o que remete à grande subjetividade deste tema, sendo que para cada individuo as condições de conforto térmico são diferentes consoante o seu metabolismo, a sua idade e sexo, ou até mesmo o tipo de vestuário que usa e a sua atividade

O corpo humano trabalha sempre no sentido de atingir o conforto, balanceando as perdas e os ganhos de calor que sofre ao longo do dia. Muitos estudos têm sido feitos em relação ao conforto térmico e o comportamento humano e estes mostram que uma pessoa termicamente satisfeita é mais produtiva e portanto é de todo conveniente que o bem-estar dos utentes seja uma prioridade.

A equação seguinte, sugerida por Fanger em 1970 [12], representa a relação entre o corpo humano e o ambiente em que se encontra:

$$S = (M - W) - (Q_{sk} + Q_{res}) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Em que:

S – Taxa de calor acumulado no corpo em W/m²

M – taxa de metabolismo em W/m²

W – taxa de trabalho mecânico realizado em W/m^2

Qsk – taxa total de calor perdido pela pele em W/m^2

Qresp – taxa de calor perdido pela respiração em W/m^2

A título de exemplo em seguida apresentam-se duas tabelas a primeira (Tabela 2.1) que relaciona o nível de metabolismo com a atividade física em prática e a segunda (Tabela 2.2) os valores da resistência térmica consoante o vestuário usado:

Tabela 2.1. - Níveis de metabolismo de acordo com atividades físicas

Atividade	W	Met
Em repouso	80-100	0,8-1,0
Trabalho leve	140-180	1,4-1,8
Desporto	400-600	4,0-6,0

Sendo que $1\text{met} = 58,15\text{ W/m}^2$ e a área média do corpo humano $A = 1,75\text{m}^2$.

Tabela 2.2 - Valores de Resistência térmica consoante o vestuário

Tipo de vestuário	Resistência térmica	Clo
Sem roupa	0	0
Vestuário leve, de verão	0,078	0,5
Vestuário de inverno	0,155	1,0

Sendo que $1\text{ clo} = 0,155\text{ m}^2\cdot\text{C}^\circ/\text{W}$

Além dos parâmetros anteriormente descritos, para que a taxa de calor acumulado no corpo tenda para 0 (S), também a temperatura do ar, temperatura radiante, a velocidade e humidade relativa do ar devem atingir valores aceitáveis de forma a conseguir que o corpo humano esteja num estado de equilíbrio. Caso contrário, o corpo responde através de mecanismos naturais para combater esse desequilíbrio, com transpiração quando está com calor ou com arrepios quando está com frio.

Em termos de avaliação da temperatura do ambiente interior, no âmbito deste trabalho, será feita através da temperatura operativa que se designa pela temperatura uniforme de um contorno radiante negro com o qual um ocupante trocava a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que troca com o ambiente não uniforme em que está inserido. Para casos práticos esta temperatura define-se pela média entre a temperatura radiante do compartimento e a temperatura do ar no interior do mesmo compartimento. De acordo com o atual regulamento em vigor em Portugal, REH, a temperatura de conforto durante a estação de arrefecimento é de cerca de 25°C , o que, num clima como o de Portugal, nem sempre é facilmente atingido.

2.2. QUALIDADE DO AR INTERIOR

Com a crescente estanquidade dos edifícios a qualidade do ar no interior dos edifícios tem-se degradado ao longo do tempo e a isso também se alia o facto de o modo de vida da população ter-se alterado no sentido em que passam menos tempo em casa. É através da ventilação, natural, mista ou mecânica, que

a renovação do ar no interior dos edifícios é feita, no entanto os hábitos e estratégias utilizadas atualmente não têm sido as melhores, o que leva a que as renovações feitas não sejam suficientes para que o ar no interior tenha uma qualidade satisfatória. Estas deficiências nos sistemas de ventilação causam diversos problemas, quer para o utente quer para o edifício como, por exemplo, problemas respiratórios e de concentração e condensações em elementos construtivos.

Nas construções das últimas décadas o tipo de ventilação usada tem sido maioritariamente mecânica ou mista mas o rigor da implementação deste tipo de sistemas deve ser máximo, caso contrário serão pouco eficientes criando refluxos de ar no interior. A ventilação mecânica ou mista pode ser usada em ambientes onde as condições não são favoráveis mas também tem um outro aspeto negativo que é o facto de envolver gastos de energia. Logo, com as preocupações atuais de diminuir o consumo de energia em edifícios, deve dar-se, sempre que possível, preferência à ventilação natural que, utilizando as estratégias certas pode ter resultados bastante favoráveis aos utentes, principalmente durante o verão, possibilitando a diminuição da temperatura interior e a circulação do ar no interior do edifício.

A ventilação natural é conseguida através de infiltração do ar por fendas e fissuras na envolvente do edifício, o que não é controlável, e através de aberturas de portas e janelas conforme a vontade do utilizador. Para que este tipo de ventilação seja eficaz é necessário que a arquitetura do edifício seja propícia à utilização deste sistema (nomeadamente através do dimensionamento de aberturas específicas para ventilação) e o utente tenha um bom conhecimento de como e quando agir no que toca à abertura das portas e janelas porque demasiadas aberturas podem causar correntes de ar desagradáveis e poucas aberturas podem fazer com que o caudal de ar renovado não seja suficiente.[13]

2.3. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O CONFORTO EM EDIFÍCIOS

2.3.1. ORIENTAÇÃO E RADIAÇÃO SOLAR

A orientação do Sol é de extrema importância no que toca ao conforto em edifícios uma vez que, consoante a orientação, a quantidade de radiação solar incidente é diferente, podendo ser aproveitada para ganhos solares durante o inverno e durante o verão procurar mecanismos que impeçam a sua incidência, de forma a evitar sobreaquecimento no interior do edifício.

A distância entre o Sol e a Terra varia durante o ano, atingindo a sua distância máxima e mínima nos solstícios de verão e inverno, respetivamente, o que influencia também a radiação e a altura do Sol (Fig. 2.1)[14].

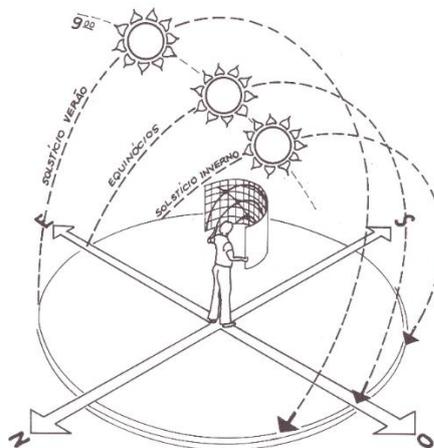


Fig. 2.1. Evolução da altura solar de acordo com os equinócios e solstícios [14]

A altura solar varia de acordo com as várias declinações do Sol, que são medidas pelo ângulo que este astro faz com o equador celeste, alterando assim os dias e as temperaturas durante as diferentes estações do ano.

No solstício de verão a declinação é de +23° e no solstício de inverno é de -23°, tomando assim valores positivos entre 22 de Março e 22 de setembro e valores negativos de 22 de setembro a 22 de Março [14].

A radiação solar pode ser direta, difusa ou refletida e estes fenômenos ocorrem quando a radiação entra na atmosfera terrestre, sendo que 47% é absorvida pela Terra. Quanto mais espessa for a camada de atmosfera atravessada pela radiação e quanto menor for o ângulo que a radiação solar faz com a superfície de incidência menos potência energética esta terá. Esta espessura depende da temperatura do ar, do grau de poluição atmosférica, da quantidade de vapor de água e da altitude do lugar onde está implantado o edifício, mais um motivo pelo qual se deve fazer um estudo detalhado do local onde se irá construir. A sua intensidade cresce, de acordo com a orientação solar, de nascente até sul e decresce de sul até poente, atingindo o seu expoente máximo a Sul e varia também ao longo do dia como sugere a Fig. 2.2[14].

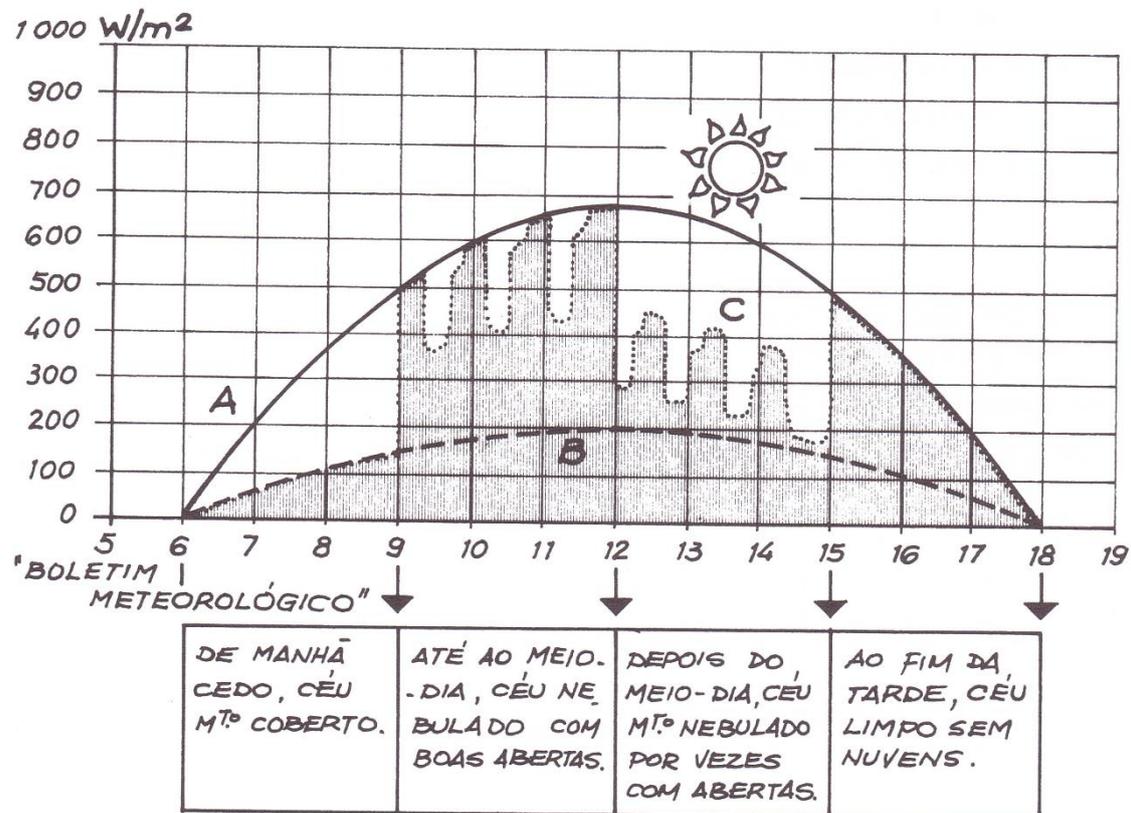


Fig. 2.2. Radiação solar ao longo do dia [14]

2.3.2. SOMBREAMENTO

O sombreamento dos edifícios torna-se cada vez mais essencial fazer-se logo desde as fases iniciais do projeto, por forma a controlar quer a radiação solar incidente quer a luminosidade no interior. Esta área tem assumido um papel de grande aliado das estratégias passivas de arrefecimento, uma vez que, atualmente, a percentagem de envidraçados nos edifícios tem aumentado cada vez mais, aumentando assim o risco de sobreaquecimento[13].

A quantidade de sombreamento deve ser dimensionada de maneira a que durante o inverno possibilite ganhos solares e durante o verão atenuar o excesso de radiação, sem que para isso comprometa a luminosidade no interior do edifício.

As técnicas de sombreamento podem ir desde simples proteções interiores e exteriores como, por exemplo, estores e cortinas, elementos do próprio edifício como palas e varandas que influenciam a sua arquitetura ou até mesmo vegetação[14].

Em seguida referem-se algumas técnicas de controlo solar[15]:

- **Orientação:**
A orientação do edifício pode ser de grande ajuda no que toca ao sombreamento, principalmente nos países quentes. O tamanho das aberturas consoante a sua orientação pode auxiliar o controlo da quantidade de luminosidade e ganhos solares no interior assim como Inclinação das aberturas influenciam as quantidades de radiação incidente[15].
- **Dispositivos de sombreamento:**
Podem ser fixos ou móveis e podem ser colocados pelo interior ou pelo exterior, no entanto deve dar-se preferência aos dispositivos colocados pelo exterior (Fig. 2.4.), dado que os interiores podem contribuir para um aquecimento suplementar do ambiente por efeito de convecção [15] e, para todos os efeitos, não impedem que a radiação solar entre no edifício através do vidro.

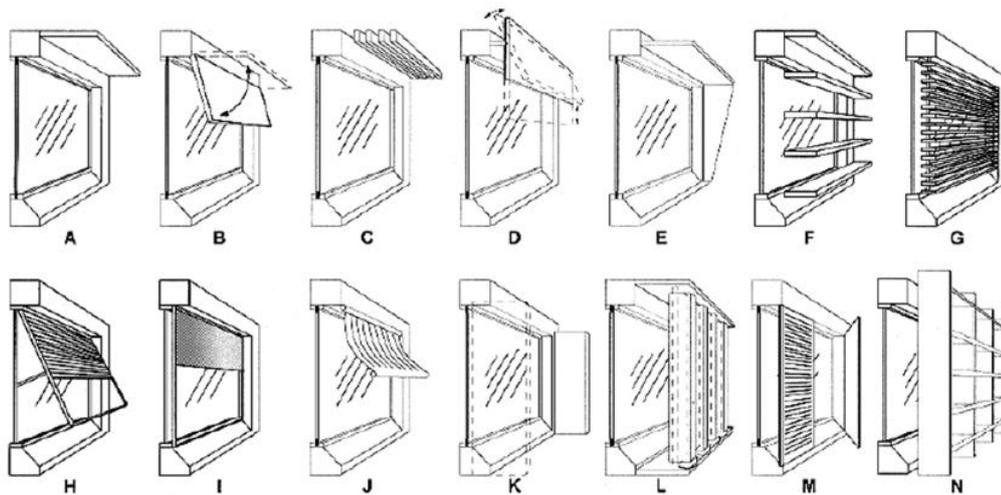


Fig. 2.3 - Dispositivos de sombreamento [16]

- **Vegetação:**
O contributo da vegetação para o sombreamento de edifícios tem sido um pouco desprezada. A utilização de árvores de folha caduca e o uso de vegetação trepadeira em pérgulas (Fig. 2.4.) pode ser bastante eficaz principalmente em edifícios baixos[15].



Fig. 2.4. - Sombreamento com vegetação [3]

- Tipo de vidros

A quantidade de luz no interior de um edifício afeta bastante o conforto, assim como a concentração do utente. O tipo de vidros utilizado influencia muito a quantidade de luminosidade no interior. Um vidro mais claro deixa entrar uma maior claridade, enquanto um vidro mais escuro difunde a luminosidade [15].

2.3.3. GANHOS SOLARES

Os ganhos solares afetam o conforto em edifícios e são efetuados através da envolvente exterior. Durante o inverno, os ganhos solares são favoráveis no sentido em que fornecem energia para aquecimento do interior, o que contribui para uma poupança nos gastos de aquecimento. No verão os ganhos solares são desfavoráveis ao conforto pois causam aumento de temperatura de ar interior (Fig. 2.5.), situação que deve ser controlada através das técnicas mencionadas no tópico anterior[17].

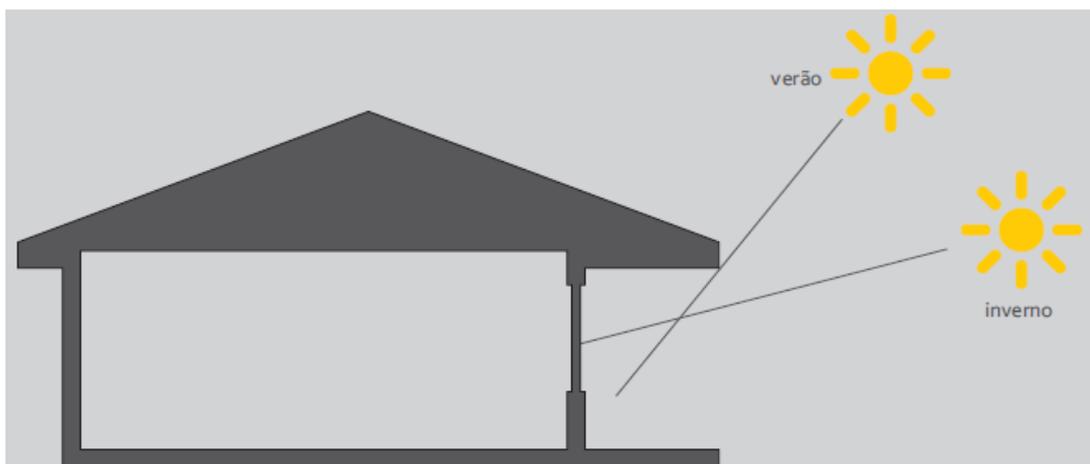


Fig. 2.5. - Ganhos solares por envidraçados

Estes ganhos podem ser ganhos diretos (Fig. 2.6.), através de aberturas na envolvente exterior como, por exemplo, os envidraçados, ou podem ser ganhos solares indiretos (Fig. 2.7.) através de paredes de trombe ou estufas contíguas ao edifício, por exemplo.

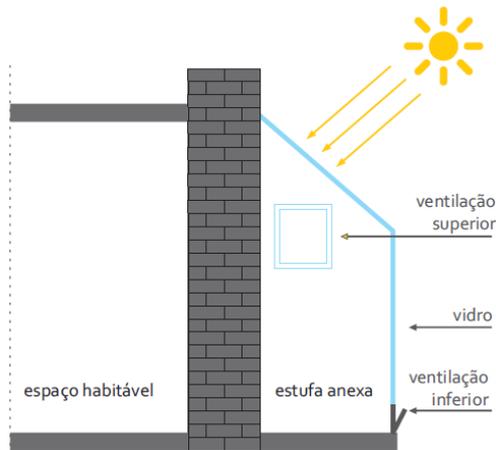


Fig. 2.7. - Ganhos solares indiretos [3]

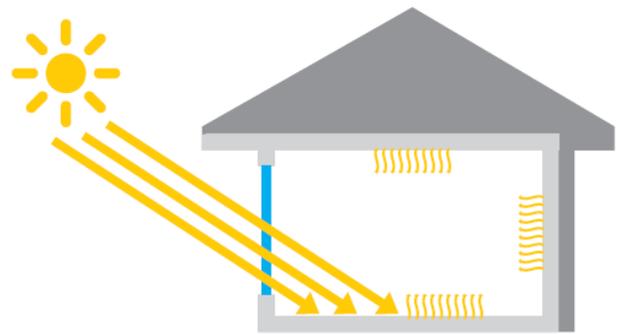


Fig. 2.6. - Ganhos solares diretos[3]

2.3.4. INÉRCIA TÉRMICA

O contributo da inércia térmica de um edifício tem sido de grande valia ao longo do tempo para que as condições de conforto sejam asseguradas e assume uma maior importância em climas com grandes amplitudes térmicas, como o de Portugal.

A tendência atual é muito a de construir fácil e rápido recorrendo assim a materiais mais leves como estruturas em madeira ou metálicas, o que diminui em muito a massa térmica dos edifícios.

É então de todo o interesse que as construções possuam elementos pesados para que o calor se acumule durante as horas de maior incidência solar e se vá libertando no interior ao longo do tempo, sendo que, se o edifício for bem isolado, esse calor manter-se-á por mais tempo, o que promove poupanças de energia para aquecimento. Claro que durante o verão este efeito não será desejável, no entanto, aliada a outras estratégias, como a ventilação natural noturna, uma inércia térmica elevada terá os seus benefícios, ou seja, durante o dia o calor é acumulado nos elementos pesados, mantendo o interior fresco, e durante a noite, com a ajuda da ventilação, o calor é dissipado, sendo restabelecida a capacidade de armazenamento de calor durante o dia[13].

2.3.5. VENTILAÇÃO

A ventilação é um parâmetro muito importante para o conforto num edifício, não só pela renovação da qualidade do ar interior mas também por ser uma ferramenta essencial na redução da humidade relativa do ar interior e da temperatura durante o verão.

Como já foi mencionado anteriormente a ventilação pode ser natural, mista ou mecânica, no entanto dar-se-á ênfase à ventilação natural por ser uma estratégia de baixo custo e sustentável.

A ventilação deriva de dois processos espontâneos, diferenças de pressão entre fachadas opostas causadas pela ação do vento e diferença entre temperaturas do exterior e do interior. No primeiro processo a deslocação do vento contra a envolvente do edifício provoca pressões positivas na fachada onde este incide e pressões negativas na fachada oposta, promovendo assim a deslocação de ar no sentido das pressões positivas para as negativas (Fig. 2.8)[18].

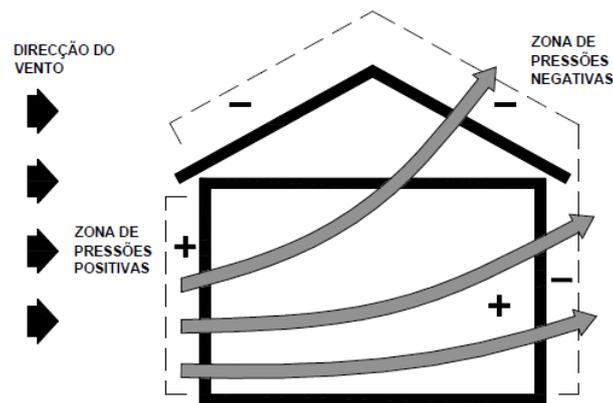


Fig. 2.8. - Ventilação por ação do vento [18]

O segundo processo decorre pelo facto do ar quente e húmido ser mais leve que o ar frio e seco, provocando assim um fluxo de ar de baixo para cima, ou seja, o ar frio entra a uma cota inferior e o ar quente sai a uma cota superior (Fig. 2.9.).

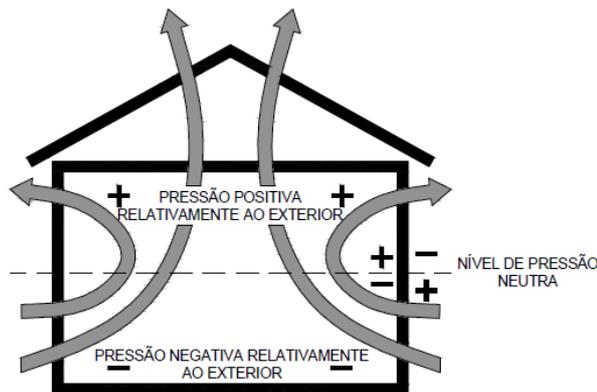


Fig. 2.9. - Ventilação devido à temperatura [18]

As admissões de ar no interior do edifício devem ser consideradas não só para assegurar o bem-estar do utente mas também pelas seguintes razões[19]:

- Diluição dos poluentes presentes no ar interior provocados, por exemplo, pelo metabolismo humano, produção de vapor de água através das tarefas domésticas;
- Renovação das quantidades de oxigénio;
- Baixar a humidade relativa do ar interior;
- Diminuir a temperatura no verão;
- Provisão de ar para os aparelhos de combustão.

A ventilação torna-se por isso um elemento fundamental para garantir o conforto, no entanto, atualmente as casas possuem diversas patologias derivadas essencialmente por um deficiente sistema de ventilação. A tendência tem sido a de conferir elevada estanquidade aos edifícios para reduzir a fatura do aquecimento no inverno mas há que encontrar um equilíbrio entre o gasto de aquecimento e as condições de ventilação para assim garantir uma boa qualidade do ar interior. Já durante o verão a ventilação natural poderá levar a uma poupança na energia de arrefecimento pois será um processo importante para a diminuição da temperatura interior, mas apenas se forem proporcionadas as melhores condições[19].

2.4. ESTRATÉGIAS PASSIVAS DE ARREFECIMENTO

Os países com grandes amplitudes térmicas são ideais para implementar estratégias passivas quer de aquecimento, quer de arrefecimento como é o caso de Portugal, de forma a reduzir os gastos de energia no inverno e no verão, sem que para isso seja comprometido o conforto dos utentes do edifício.

Neste capítulo apenas se irão referir estratégias referentes ao arrefecimento passivo.

Pode-se atuar a três níveis para evitar o sobreaquecimento e criar condições de conforto térmico no interior[15]:

- Prevenção de ganhos de calor;
- Moldar os ganhos de calor;
- Rejeição do calor do interior.

A prevenção dos ganhos de calor deve ser o primeiro passo a ser tomado pois estes são responsáveis pelo aumento descontrolado da temperatura interior durante o verão causando um enorme desconforto.

Os ganhos de calor devem-se essencialmente à incidência da radiação solar, à entrada de ar quente dentro do edifício, ao metabolismo humano, ao funcionamento da iluminação artificial e aparelhos elétricos e a atividades domésticas, como cozinhar e tomar banho.

As estratégias mais comuns para prevenir os ganhos de calor são[15]:

- Sombreamento: através de palas, toldos, plantação de árvores de grande porte;
- Colocação de fontes de água perto da envolvente como chafariz e piscinas;
- Isolamento da envolvente exterior;
- Superfícies com baixo índice de absorção solar (pinturas claras);
- Utilização de aparelhos energeticamente eficientes;
- Estudo do local de implantação do edifício para otimizar a sua posição de acordo com a envolvente local.

Moldar os ganhos de calor pode ser conseguido através da implementação de elementos construtivos de grande armazenamento, como o betão ou o tijolo, e evitar o uso de elementos leves como tetos falsos e alcatifas. Aqueles elementos têm uma elevada inércia térmica que permitem que o calor seja armazenado no seu interior durante o dia, impedindo que o calor seja sentido no interior do edifício, e libertado durante a noite (Fig. 2.10) [15].



Fig. 2.10. - Efeito conjunto da inércia térmica com ventilação natural para arrefecimento [20]

A conceção do edifício deve assegurar que este é provido de meios para que seja possível expulsar o calor do interior. As principais técnicas de rejeição de calor passam por [15]:

- Arrefecimento através de ventilação;
- Arrefecimento radiativo;
- Arrefecimento através de evaporação.

O arrefecimento por ventilação, principalmente a noturna, permite que o ar quente acumulado durante o dia nos elementos pesados seja expulso durante a noite.

Os outros dois tipos de arrefecimento têm por base a acumulação de calor durante o dia e a libertação do mesmo durante a noite proporcionando a sensação de frescura no espaço envolvente [15]:

- Camas de pedras
- Terra
- Água
- Materiais de mudança de fase

3

METODOLOGIA

3.1. ÂMBITO

Para avaliar o conforto de verão em edifícios optou-se por uma metodologia que permitisse apreciar o impacto causado pela alteração de parâmetros que influenciam as condições de conforto, sendo esses parâmetros alguns dos mencionados no Capítulo 2.

A maneira mais intuitiva de avaliar esses impactos é através de simulações computacionais com o auxílio de programas de simulação energética que permitem criar modelos de edifícios bastante realistas, assim como as condições ambientais envolventes. Permitem definir modelos base e posteriormente simular o mesmo modelo fazendo alterar vários parâmetros, facilitando a comparação entre os diferentes resultados de modo a avaliar com algum rigor a implicação dessas alterações no conforto do edifício.

Propõe-se, por isso, a realização de um estudo paramétrico onde se irá simular, através do software de simulação térmica *Design Builder*, o conforto de verão em três modelos de edifícios diferentes em três concelhos diferentes, Bragança, Faro e Porto, em que os modelos escolhidos caracterizam a arquitetura típica dos dois primeiros concelhos (transmontana e algarvia) e a arquitetura de tendência atual. Com isto pretende-se verificar a sensibilidade de certos parâmetros e quais as consequências no conforto durante a estação de arrefecimento.

3.2. PROGRAMA DESIGN BUILDER

3.2.1. INTRODUÇÃO

Para a realização deste estudo paramétrico foi utilizado o Software Design Builder (Fig. 3.1.) sendo este uma interface de um programa de simulação térmica dinâmica, o Energy Plus, e permite uma modelação 3D rápida e intuitiva dos edifícios que se pretendem analisar, assim como uma simulação energética dinâmica. Permite também detalhar com rigor as características do modelo em análise como, por exemplo, espessura das diferentes camadas dos elementos constituintes, características dos materiais utilizados, propriedades térmicas, condições de ocupação do edifício, estratégias de ventilação[21].

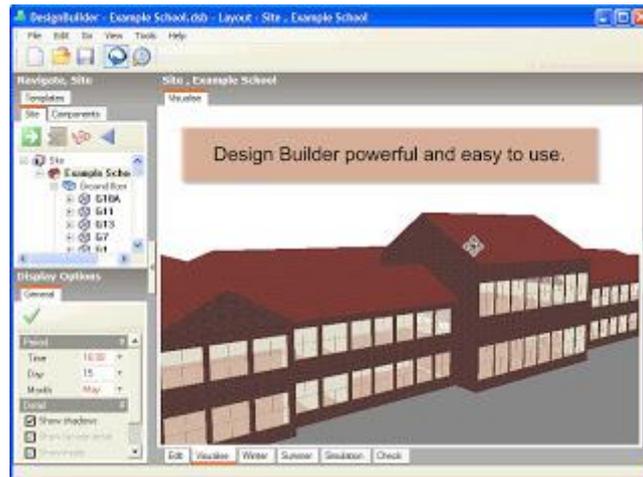


Fig. 3.1. Design Builder

As principais capacidades do Design Builder são em seguida descritas[21]:

- Apresenta uma grande variedade de dados climáticos sem necessidade de correr programas externos ou importar dados;
- Disponibiliza análises detalhadas dos sistemas de aquecimento e arrefecimento AVAC;
- Possibilita criar modelos de Ventilação Natural;
- Analisa o consumo de eletricidade juntamente com a possibilidade de poupança do mesmo com o uso da luz natural disponível;
- Colocação de dispositivos de sombreamento como palas verticais e horizontais, bem como proteção solar pelo interior;
- Os resultados das simulações podem ser vistos em termos anuais, mensais, diários, horários ou em pequenos períodos de tempos pretendidos;
- Através das simulações também é possível analisar temperaturas interiores, gastos energéticos dos sistemas utilizados, consumo de eletricidade, calor transmitido através dos diferentes elementos do edifício, perdas ou ganhos solares, ventilação;
- Gráficos que permitem uma análise rápida e intuitiva dos parâmetros envolvidos de forma a identificar facilmente em quais se poderá atuar para melhorar a performance do modelo;
- Gera ficheiros Energy Plus IDF, possibilitando a exportação dos mesmos para o software Energy Plus.

3.2.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROGRAMA

O programa Design Builder apresenta três áreas de trabalho principais: nível de visualização, separadores de caracterização do edifício e separadores de simulação.

Na área de nível de visualização pode-se escolher o grau de pormenorização com o qual se está a trabalhar, desde o local onde está implantado o edifício, passando por vista do edifício por blocos ou até apenas uma superfície específica de um compartimento. Durante a evolução da construção do edifício será possível visualizar o número de elementos que o modelo possui como, por exemplo, onde e quantas portas determinado compartimento tem.

Nos separadores de caracterização (Fig. 3.2.) do edifício é possível pormenorizar a natureza das atividades que são praticadas e a densidade de ocupação, assim como a composição dos elementos

construtivos (paredes exteriores, cobertura, pavimento), aberturas (janelas, portas, grelhas de ventilação), condições de iluminação, sistemas AVAC, os Outputs que serão apresentados nos resultados das simulações e CFD (Computational Fluid Dynamics) onde se define as condições de fronteira para o funcionamento desta opção. Estes separadores dividem-se em:

- “Layout” – criação do modelo;
- “Activity” – definição das atividades;
- “Construction” – definição dos materiais e elementos construtivos;
- “Openings” – definição de janelas, portas e grelhas;
- “Lighting” – definição do consumo de luz artificial;
- “HVAC” – definição dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação;
- “Outputs” – definição dos elementos de saída das simulações;
- “CFD” – definição das condições fronteira;

A área referente às simulações possui várias opções de escolha, dentro das quais a opção de visualização do aspeto final do edifício. Possui uma opção de simulação que permite determinar as condições que serão necessárias para atingir o conforto durante a estação de inverno, *Heating Design*, e o mesmo poderá ser calculado para a estação de verão através do *Cooling Design*. Com o separador *Simulation* o programa calcula de forma detalhada o desempenho do edifício nas condições climáticas a que está sujeito durante o período de tempo escolhido, fornecendo dados das temperaturas internas, ganhos solares, consumos energéticos entre outros. Também podem ser selecionadas as opções *CFD* e *Daylighting* onde se pode consultar informação acerca da distribuição da velocidade do ar e temperaturas do edifício no caso da primeira e níveis de iluminação no caso da segunda.

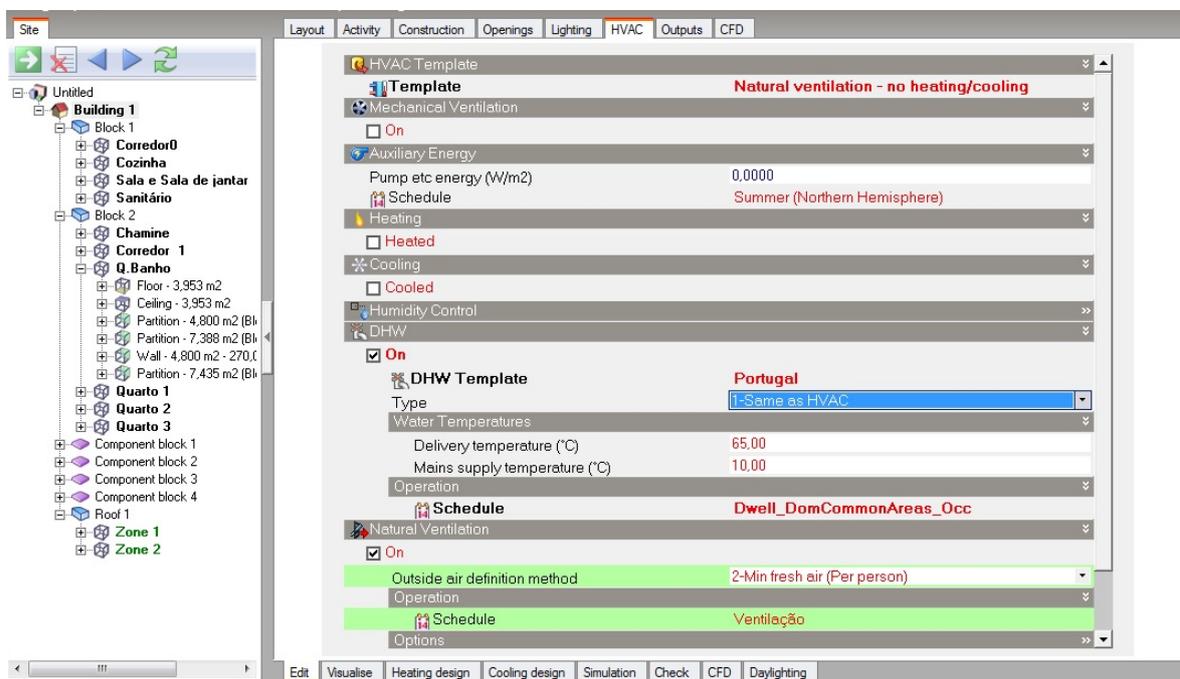


Fig. 3.2. - Esquema de separadores do Design Builder

Todos os resultados das diferentes simulações podem ser obtidos em forma de gráfico, tabela ou grelhas de valores, por períodos de tempo que podem variar entre anuais a sub-horários.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DA ARQUITETURA TRADICIONAL PORTUGUESA

Cada região do país possui uma arquitetura característica que lhe confere uma identidade única.

Na região do Minho, Douro e Beira Litoral é frequente encontrar-se grandes solares com alpendres e casa de lavoura com alvenaria de pedra aparelhada à vista ou rebocada com apontamentos de pedra à vista nos cunhais e ombreiras de portas e janelas. Nas paredes divisórias é usual utilizar-se paredes de tabique. As coberturas são em telha canudo cozida ou em placas de xisto [4, 22].

Em Trás-os-Montes a maioria das habitações são de carácter rural com paredes exteriores em pedra de granito ou xisto, sendo que o xisto também é utilizado para a cobertura mas é também usual ver telha cerâmica. Esta arquitetura irá ser detalhada num capítulo seguinte [22].

Na Beira Interior verificam-se propriedades semelhantes às regiões anteriormente referidas, no entanto são utilizados muitos pormenores em madeira e aberturas de maior dimensão [22].

Na Estremadura e Ribatejo o clima é mais seco por isso a construção é mais leve e é corrente a utilização de alvenaria ordinária e algumas zonas construções em madeira, taipa e adobe e as coberturas são praticamente todas em telha canudo cozida [22].

As regiões do Alentejo e Algarve são zonas mais secas e portanto a utilização de adobe e taipa são muito típicas assim como a caiação das paredes para melhor resistir ao calor. Na cobertura é frequentemente usada a telha cozida e por vezes colocadas sobre uma esteia de canas ou palha. A região do Algarve será melhor descrita em seguida [4, 22].

As ilhas da Madeira e Açores possuem climas bastante mais amenos do que o continente. Tratam-se de paisagens rurais e de terreno acidentado devido à sua origem vulcânica. Na ilha da Madeira as construções de alvenaria de pedras soltas são muito comuns assim como as construções de madeira, as coberturas têm estrutura também em madeira sendo que as casas mais modestas são revestidas a palha e as restantes com telha cerâmica. É muito comum também ver-se pérgulas revestidas com plantas trepadeiras e a inexistência de aberturas nas fachadas mais expostas ao vento [22].

Na ilha dos Açores predominam as construções em alvenaria de pedra solta, rebocada e caiada, com cobertura em telha cerâmica [22].

3.3.1. ARQUITETURA TRANSMONTANA

A região de Trás-os-Montes é caracterizada pelos seus invernos rigorosos com períodos de chuvas intensas, neve e geadas, mas também pelos verões quentes e secos. Devido às suas condições topográficas acidentadas, as construções desta zona têm por costume possuir dois pisos, sendo que antigamente o piso inferior era ocupado por gado, no entanto atualmente essa prática não é muito utilizada, aproveitando essa área para alargamento da habitação. O uso de varandas também era muito frequente, uma vez que era o local escolhido para realizar tarefas domésticas e para socialização com a população vizinha [22].

Nesta região apesar de no verão serem atingidas temperaturas elevadas e o inverno ser bastante frio, esta discrepância leva a que exista uma tendência para que as casas tenham poucas aberturas, o que beneficia a situação de inverno pois minimiza as perdas de calor, e no verão reduz os ganhos solares.

Os materiais mais característicos desta região são as pedras naturais de granito e xisto que levam ao uso de alvenaria de pedra para a construção da envolvente (Fig. 3.3.), assim como a madeira, que levou à

aplicação de paredes de tabique (Fig. 3.4.) para a divisão dos compartimentos interiores e a telha cerâmica para a colocação nas coberturas [4].



Fig. 3.3. Arquitetura Transmontana [1]



Fig. 3.4. - Parede interior em tabique [2]

3.3.2. ARQUITETURA ALGARVIA

O clima da região algarvia é um clima com grandes influências marítimas, tanto por parte do Atlântico como do mar Mediterrâneo mas com maior enfoque no segundo. Possui um resguardo dos ventos fortes do norte uma vez que a zona central do Algarve é definida por vales e serras, o que torna a faixa costeira única.

As casas, na sua maioria, estão orientadas preferencialmente a sul, para que durante o inverno os ganhos solares sejam favoráveis, já que a radiação solar incidente nesta região assim o permite e no verão é utilizada a parreira para proporcionar sombreamento. Para poder ultrapassar os verões quentes estas habitações também são geralmente dotadas de poucos vãos envidraçados e de varandas ou alpendres, pátios e açoteias (Fig. 3.6.), que têm simultaneamente o propósito de secar a colheita de frutos e cereais[22].

Periodicamente a envolvente do edifício é caiada para que o calor transmitido pela radiação excessiva incidente no verão seja reduzido e a taipa ou adobe são escolhidos como materiais constituintes das paredes exteriores e interiores, as coberturas inclinadas são feitas com canas ou palha (Fig. 3.5.) e argamassa para conferir algum isolamento de forma a reduzir os ganhos de calor Para a construção das açoteias era usual a colocação de duas camadas intercaladas de blocos cerâmicos de maneira a prevenir a entrada de água da chuva e também a colocação de canas ou palha na última camada. Para revestimentos, quer de pavimento quer na cobertura é bastante comum a utilização de material cerâmico, sendo o trabalho cerâmico muito característico desta zona do país [4, 22].

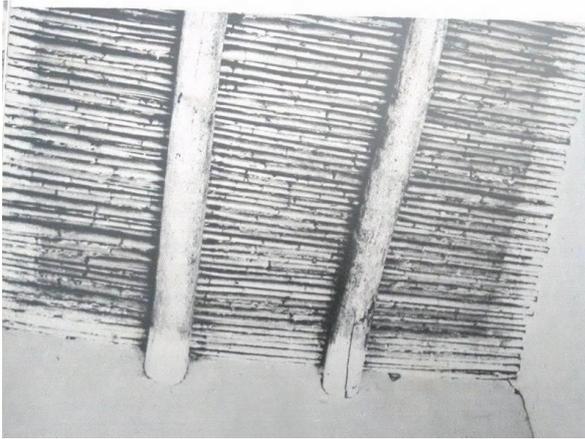


Fig. 3.5. - Cobertura algarvia vista pelo interior[4]

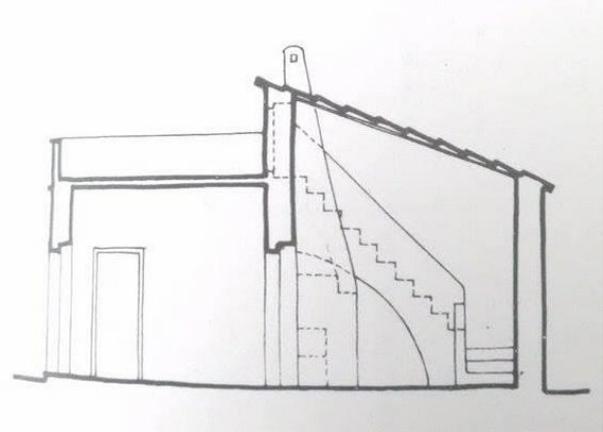


Fig. 3.6. - Arquitetura algarvia [4]

3.4. ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA

A arquitetura de tendência atual tem como característica principal a criação de edifícios com grandes vãos envidraçados, de maneira a ter maiores ganhos solares, e linhas direitas, com construções em betão armado, muito por influência da forma como os países do Norte da Europa constroem.

Desde os anos 80 que na construção tem-se optado pelo uso de paredes duplas com caixa-de-ar parcialmente ou totalmente preenchida com isolamento para desta forma poupar no gasto de energia para aquecimento. No entanto a banalização deste processo construtivo fez com que a sua execução fosse muitas vezes descuidada provocando anomalias no edifício como, por exemplo, pontes térmicas[23].

Hoje em dia uma das opções mais usadas são os sistemas de isolamento pelo exterior como, por exemplo, o sistema ETICS., sistemas estes que além de permitirem aumentar a durabilidade as fachadas e desempenho térmico, conferem ao edifício uma boa qualidade estética.

Uma outra opção escolhida nos dias de hoje são as fachadas ventiladas que são constituídas por 3 subsistemas principais[23]:

- Revestimento ou camada exterior;
- Estrutura auxiliar de suporte ao revestimento;
- Cavidade ou caixa-de-ar incorporando eventualmente o isolamento térmico.

Este sistema pretende melhorar o desempenho térmico do edifício e evitar a penetração da humidade, sem que para isso se comprometa a parte estética.

4

**SIMULAÇÕES:
CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS
DE ESTUDO****4.1. INTRODUÇÃO**

De maneira a estudar de que forma a arquitetura tradicional e a arquitetura contemporânea influenciam as condições de conforto no verão foram propostos três casos de estudo de três modelos de arquitetura diferentes colocados em três concelhos diferentes, como foi referido anteriormente, e simulados no software Design Builder para que seja feita uma análise acerca do conforto nos edifícios e estudado o contributo da implementação de medidas passivas de arrefecimento para uma otimização do comportamento térmico dos edifícios.

Criaram-se três modelos base que caracterizam cada uma das arquiteturas mencionadas no capítulo 3 e simularam-se em cada concelho (Bragança, Faro e Porto) cada um dos três modelos, perfazendo um total de 9 simulações, como sugere o esquema representado na Fig. 4.1., durante o período de tempo correspondente à estação de verão, de 21 de junho a 21 de setembro. Os dados climáticos disponíveis pelo programa são referentes a valores do ano de 2002.

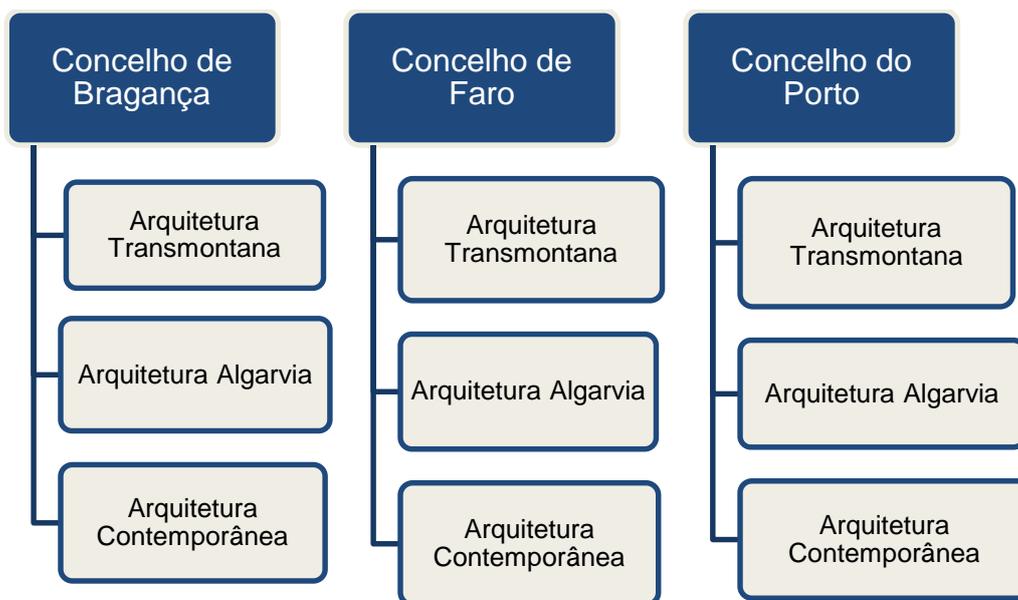


Fig. 4.1. -Esquema das simulações

Numa fase posterior procederam-se às alterações no modelo base de cada arquitetura aplicando-se estratégias passivas de arrefecimento e repetiram-se as simulações de cada modelo nos três concelhos.

Para melhor comparar os resultados obtidos tentou-se manter certos parâmetros aproximadamente iguais como:

- A área útil de pavimento cerca de 110 m²;
- Moradia de tipologia T3 com dois pisos,
- Consumo doméstico de água quente cerca de 1,475 l/m².dia;
- Densidade populacional de 0,04 pessoas/m²;
- Nenhuma possui sistemas de refrigeração para, arrefecimento;
- Não possuem obstáculos ou edifícios vizinhos;
- Área de envidraçados abertos igual a 0,5735 m²;
- Horário de abertura de janelas das 00h00-08h00;
- Consumo energético da luminosidade artificial é de 3,40W/m²-100 lux.

A escolha da área de envidraçado aberto igual 0,5735m² foi feita de maneira a que todos os modelos base tivessem a mesma área de envidraçado aberto, pela razão de que as áreas de envidraçados variam de modelo para modelo e esta é uma forma de garantir que todos os casos de estudo têm a mesma área de ventilação. O valor da área foi calculado pelo modelo com maior área de envidraçado e admitiu-se que este teria o mínimo de abertura possível, 1 %, uma vez que o programa trabalha com valores de percentagens inteiras. Como o valor da maior área de envidraçados é 57,35m² justifica-se a área de abertura ser de 0,5735m².

Foi escolhido também para todos os casos de estudo o template referente a Portugal, ou seja, o programa tem em conta os consumos energéticos com luz e sistema de aquecimento de água quente para consumo doméstico, bem como os dados climáticos de Portugal.

4.2. CASOS DE ESTUDO

4.2.1. MODELO DE ARQUITETURA TRANSMONTANA

O primeiro caso localiza-se no concelho de Bragança e foi selecionado a partir das vastas opções de que o programa Design Builder dispõe e este assume os seguintes dados para esta localização:

- Latitude: 41,80° N;
- Longitude: 6,73° W;
- Altitude: 692 m;
- Pressão: 93,3 kPa;
- Temperatura máxima bolbo seco no verão: 33,3°C;
- Temperatura mínima bolbo seco de verão: 19,7°C;
- Exposição normal ao vento;

O edifício residencial simulado tem uma área útil de 108,5 m², 3 quartos, 2 quartos de banho, uma sala e uma cozinha.

As figuras Fig. 4.2, Fig. 4.3 e Fig. 4.4. seguintes representam o modelo base utilizado para efetuar as simulações.



Fig. 4.2. - Modelo base de Arquitetura Transmontana

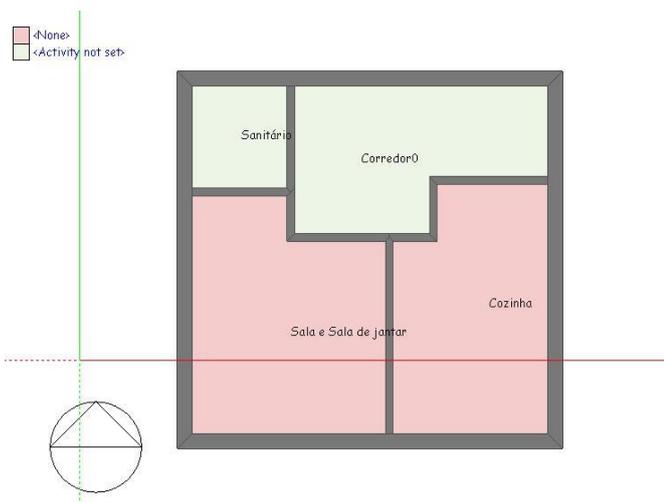


Fig. 4.3. - Piso 0 modelo base transmontano

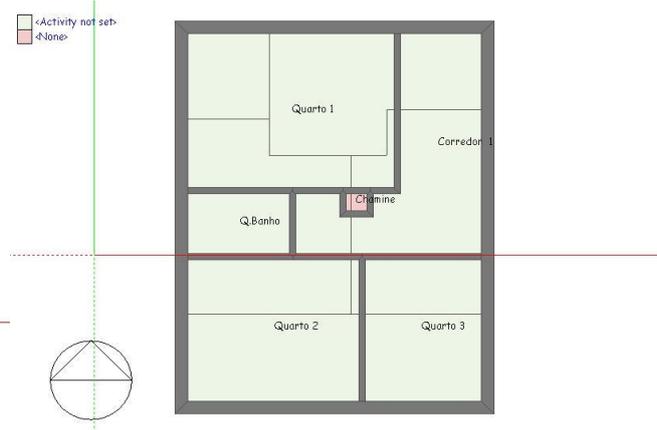


Fig. 4.4. - Piso 1 modelo base transmontano

Apesar do programa possuir uma biblioteca com diversos materiais, este permite inserir as características que são pretendidas dos materiais e também acrescentar ou alterar as camadas e espessuras dos elementos construtivos.

A Tabela 2.1 a seguir exposta apresenta os materiais inseridos no programa no separador “Construction”, assim como as suas características.

Tabela 4.1. - Propriedades térmicas dos materiais usados no modelo transmontana [14, 24]

Materiais	Condutibilidade térmica λ (W/m.K)	Densidade (kg/m³)	Calor Específico (J/kg.K)
Granito	2,8	2600	1000
Terra crua	1,05	1800	1000
Argamassa de cal	0,8	1600	792
Argamassa de reboco	1,3	1800	1044
Pinho	0,14	600	2102
Madeira	0,17	700	1880
Soalho de madeira	0,19	700	2390
Telha	0,8	1890	880

De seguida na Tabela 4.2 estão representados os elementos construtivos constituintes do edifício, como também os materiais dos mesmos.

Tabela 4.2. - Características dos Elementos Construtivos – Modelo Transmontano

Elemento construtivo	Materiais utilizados	Espessura (m)	Coefficiente de Condutibilidade Térmica (W/m².K)
Paredes exteriores	Blocos de Granito	e=0,30	U=3,608
Paredes interiores	Tabique	e= 0,11	U=1,330
Cobertura	Telha cerâmica	e=0,16	U=1,350
	Barrotes de madeira		
Pavimento em soalho	Soalho	e= 0,22	U=1,961
	Barrotes de madeira		
	Argamassa		

*Coeficiente de condutibilidade térmica calculada pelo software Design Builder.

A inércia térmica do modelo arquitetónico em análise é forte.

No que toca a aberturas no edifício (Separador “Openings”), os envidraçados são compostos por vidro simples com caixilho em madeira e proteção solar pelo exterior ativa para arrefecimento durante o dia e tem no seu conjunto 9,5 m², possui duas portas com acesso ao exterior e sete portas interiores e em

termos de sistemas de ventilação apenas existe ventilação através das portas e janelas e por uma chaminé com ligação desde a cozinha até à cobertura.

A ventilação natural é feita durante a noite, entre a meia-noite e as 8h00 da manhã, todos os dias entre 21 de junho e 21 de setembro e assume-se que apenas 6% da área de envidraçados está aberta durante este período, de modo a perfazer a área de 0,5735m².

O controlo da luminosidade artificial é feito de acordo com o horário de ocupação de cada compartimento, ou seja, o consumo varia consoante se está num quarto ou na cozinha. Estes horários foram escolhidos a partir dos horários que estão disponibilizados pelo Design Builder.

No separador “HVAC”, como foi mencionado anteriormente, não se optou por nenhum sistema de arrefecimento artificial, selecionando para isso a opção “Natural ventilation – no heating/cooling” disponível na biblioteca de templates do software. Esta opção assume logo que não existe consumo de energia para aquecimento ou arrefecimento e seleciona a opção de ventilação natural onde é necessário escolher o horário de operação deste sistema, que é o mesmo referido anteriormente. Neste separador é também possível escolher o sistema de aquecimento das águas domésticas e foi escolhido o template referente a Portugal de forma a ajustar o consumo de acordo com o país.

Como foi previamente mencionado depois da simulação do modelo base e a obtenção dos resultados, procedeu-se à implementação de estratégias passivas de forma a otimizar o seu comportamento, sem que para isso se comprometam as características da arquitetura tradicional da região de Trás-os-Montes.

A primeira estratégia foi aumentar o caudal de ventilação natural durante a noite aumentando a percentagem de abertura de envidraçados de 6% para 50 % e a segunda estratégia foi colocar obstáculos que simulam a sombra de árvores de grande porte (Fig. 4.5), muito frequentes na região de Bragança.



Fig. 4.5. - Modelo de Arquitetura Transmontana Alterado – Sombreamento

4.2.2. MODELO DE ARQUITETURA ALGARVIA

O segundo caso de estudo localiza-se na região do Algarve, no concelho de Faro e este assume os seguintes dados para esta localização:

- Latitude: 37,02° N
- Longitude: 7,97° W
- Altitude: 4 m
- Pressão: 101,3 kPa
- Temperatura máxima bolbo seco no verão : 31,7°C
- Temperatura mínima bolbo seco de verão:22,7°C
- Exposição normal ao vento

O edifício residencial simulado possui uma área útil de 112,7 m², 3 quartos, 2 quartos de banho, uma sala e uma cozinha (Fig. 4.6Fig. 4.7Fig. 4.8).

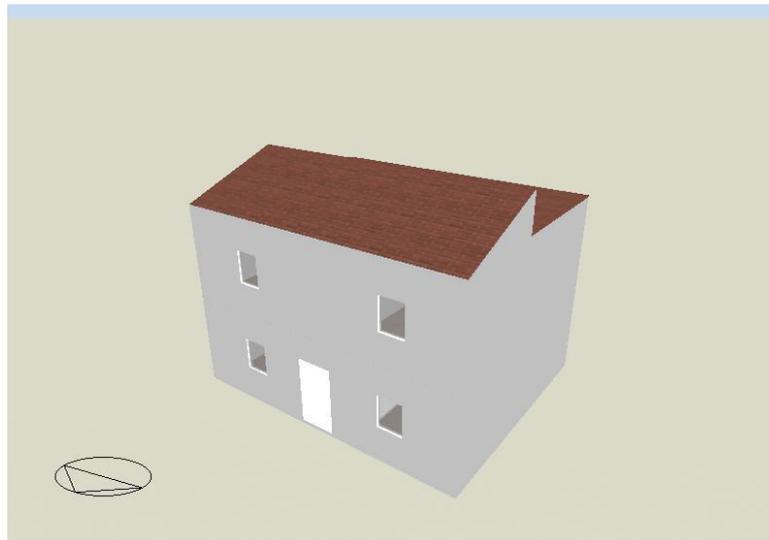


Fig. 4.6. - Modelo base de Arquitetura Algarvia

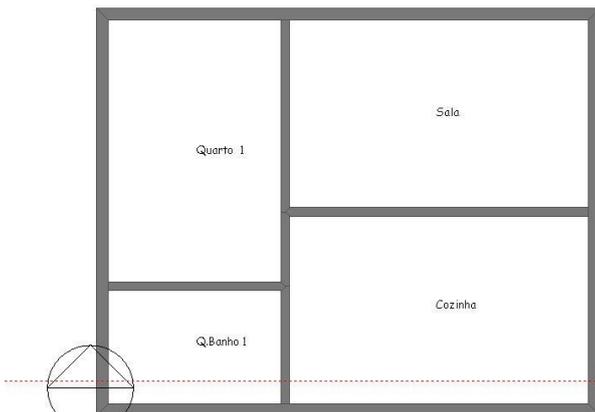


Fig. 4.7. - Piso 0 Modelo de Arquitetura Algarvio



Fig. 4.8. - Piso 1 Modelo de Arquitetura Algarvio

Os materiais usados na construção deste edifício são os expostos na Tabela 4.3:

Tabela 4.3. - Propriedades Térmicas dos Materiais usados no modelo algarvio [14, 24]

Materiais	Condutibilidade térmica λ (W/m.K)	Densidade (kg/m³)	Calor Específico (J/kg.K)
Taipa	1,1	2000	1476
Argamassa de cimento	1,4	2000	1044
Argamassa de reboco	1,3	1800	1044
Cerâmico	0,8	1890	880
Madeira	0,17	700	1880
Palha	0,07	240	180
Cerâmico de porcelana	1,4	2500	840
Telha	0,8	1890	880

Os elementos construtivos são constituídos pelas seguintes camadas descritas na Tabela 4.4:

Tabela 4.4. - Caracterização dos elementos construtivos – Modelo Algarvio

Elemento construtivo	Materiais utilizados	Espessura (m)	Coefficiente de transmissão Térmica (W/m².K)
Paredes exteriores	Argamassa de reboco	e=0,53	U=1,544
	Taipa 50cm		
Paredes interiores	Argamassa de reboco	e= 0,43	U=1,546
	Taipa 50cm		
Cobertura inclinada	Telha cerâmica	e=0,25	U=1,132
	Barrotes de madeira		
	Palha		
	Barrotes de madeira		
Cobertura em terraço	Blocos cerâmicos	e=0,25	U=1,252
	Argamassa de cimento		

	Bloco Cerâmicos		
	Argamassa de cimento		
	Palha		
	Barrotes de madeira		
Pavimento em soalho	Soalho de madeira	e=0,25	U=1,145
	Barrotes de madeira		
Pavimento em cerâmico de porcelana	Cerâmico de porcelana	e=0,07	U=3,390
	Argamassa		

*Coeficiente de condutibilidade térmica calculada pelo software Design Builder.

De acordo com a constituição deste modelo arquitetónico a sua inércia térmica é média.

Em paralelo com o caso de estudo anterior as aberturas da arquitetura algarvia são constituídas por 8 janelas de vidro simples de 3mm e de caixilharia de madeira com 0,8 m² cada uma, perfazendo um total de 6,4m² de área total de envidraçados, todos com proteção solar pelo exterior. Possui ainda uma porta de ligação ao exterior e 6 portas no interior. Os dois quartos de banho contêm uma abertura para o exterior para ventilação natural e ainda existe uma chaminé com ligação da cozinha até à cobertura.

De igual forma na segunda fase deste estudo aplicaram-se alterações de maneira a otimizar o comportamento da arquitetura algarvia. A primeira alteração foi também o aumento da área de ventilação noturna, permitindo que as janelas estejam abertas em 50% da sua área, em vez de apenas 9%. A segunda medida aplicada foi a colocação de um pórtico que simulasse uma pérgula (Fig. 4.9.), estratégia muito usada nesta região para criar sombreamento. Escolheram-se estas medidas pois estas não comprometem as características arquitetónicas algarvias.

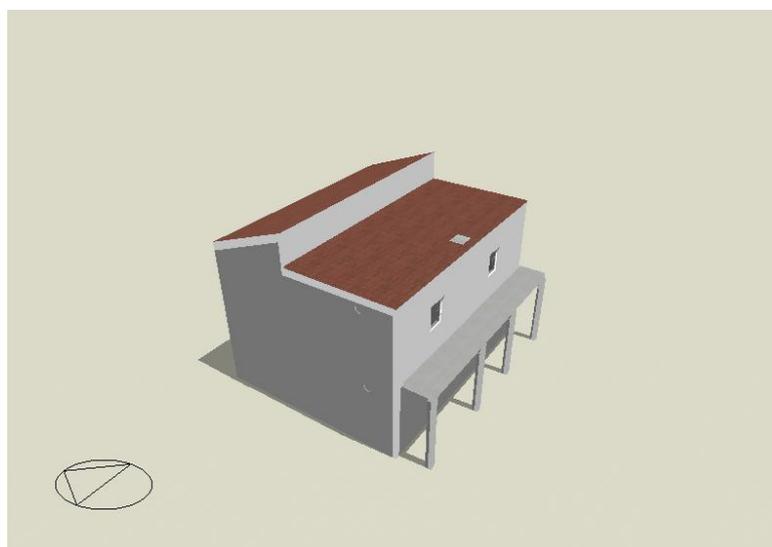


Fig. 4.9. - Modelo de Arquitetura Algarvia Alterada – Sombreamento

4.2.3. MODELO DE ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA

O terceiro caso de estudo encontra-se no distrito do Porto, na localidade de Pedras Rubras e este assume os seguintes dados para este caso:

- Latitude: 41,23° N
- Longitude: 8,68° W
- Altitude: 73 m
- Pressão: 100,5 kPa
- Temperatura máxima bolbo seco no verão : 29,9°C
- Temperatura mínima bolbo seco de verão:21,1°C
- Exposição normal ao vento

O edifício residencial simulado com uma área útil de 108,5 m², 3 quartos, 2 quartos de banho, uma sala, uma cozinha, um sanitário e um escritório (Fig. 4.10Fig. 4.11Fig. 4.12.).

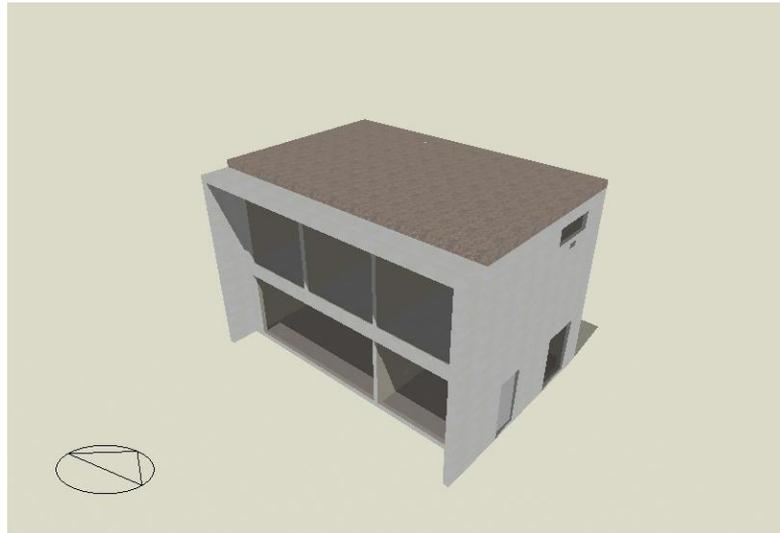


Fig. 4.10. - Modelo base de Arquitetura Contemporânea

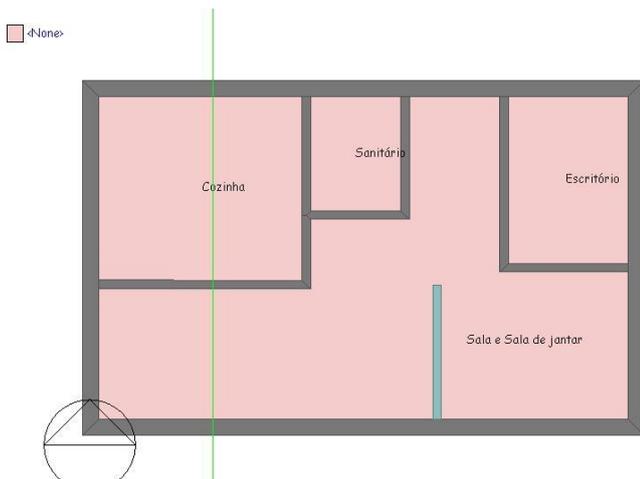


Fig. 4.12. - Piso 1 modelo base de arquitetura contemporânea

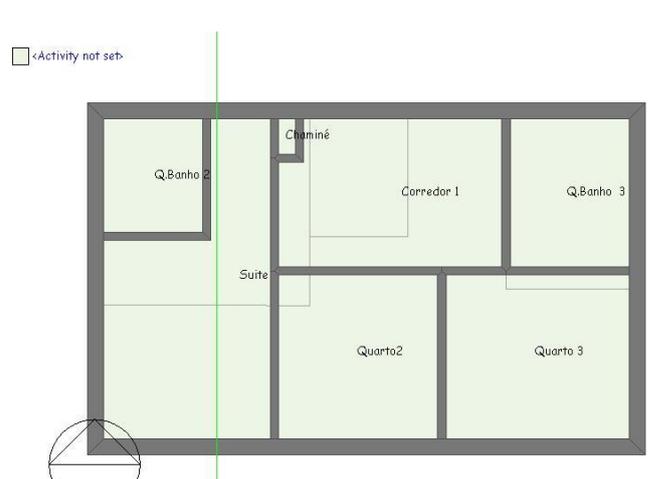


Fig. 4.11. - Piso 0 modelo base de arquitetura contemporânea

Para a construção deste modelo escolheram-se os materiais presentes na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. - Propriedades Térmicas dos Materiais usados no modelo Contemporânea[14, 24]

Materiais	Condutibilidade térmica λ (W/m.K)	Densidade (kg/m³)	Calor Específico (J/kg.K)
Betão	2,0	2400	1000
Argamassa de cimento	1,4	2000	1044
Argamassa de reboco	1,3	1800	1044
Isolamento EPS	0,04	15	1400
Soalho de madeira	0,19	700	2390
Isolamento XPS		240	180
Cerâmico de porcelana	1,4	2500	840
Membrana Impermeabilizante	0,23	1100	1000
Gravilha	1,8	2240	840

De seguida apresenta-se a Tabela 4.6 com a pormenorização da constituição dos elementos construtivos.

Tabela 4.6. - Caracterização dos elementos construtivos – Modelo Contemporâneo

Elemento construtivo	Materiais utilizados	Espessura (m)	Coefficiente de transmissão Térmica (W/m².K)
Paredes exteriores	Betão	e=0,38	U=0,687
	Caixa de ar		
	Isolamento de EPS		
	Tijolo 11		
	Argamassa de reboco		
Paredes interiores	Argamassa de reboco	e=0,14	U=1,896
	Tijolo 11		
	Argamassa de reboco		
	Barrotes de madeira		
	Palha		

	Barrotes de madeira		
	Gravilha		
	Membrana impermeabilizante		
Cobertura em terraço	Isolamento EPS	e=0,37	U=0,66
	Argamassa de cimento		
	Betão		
	Argamassa de reboco		
	Soalho de madeira		
	Espaço de ar		
Pavimento em soalho	Isolamento XPS	e=0,35	U=0,590
	Betão		
	Argamassa de Reboco		
	Cerâmico de porcelana		
Pavimento em cerâmico de porcelana	Argamassa de cimento	e=0,30	U=2,334
	Betão		
	Argamassa de reboco		

*Coeficiente de condutibilidade térmica calculada pelo software Design Builder.

Tendo em conta os materiais e a forma como estes estão distribuídos nos diversos elementos construtivos, a inércia térmica deste edifício é forte.

Este modelo de arquitetura é o caso de estudo que apresenta maior área de envidraçados com cerca de 57,35 m², constituídos por vidro duplo e proteção solar pelo interior de cortinas, sendo que no modelo base a percentagem de envidraçado aberta é de 1%. Estão presentes também duas portas de ligação ao exterior e sete portas interiores, cada quarto de banho e o sanitário tem grelhas de ventilação para o exterior e existe também uma chaminé.

No separador referente aos sistemas AVAC não se selecionou o uso de sistemas mecânicos de arrefecimento, privilegiando assim a utilização de ventilação natural no edifício.

Na segunda fase do estudo propuseram-se duas medidas de arrefecimento passivo e foram, então, colocados dispositivos de sombreamento horizontais com 1,5m de desenvolvimento (Fig. 4.13) de maneira a minimizar os ganhos solares através dos envidraçados e aumentou-se a área de ventilação de 1% para 20%.



Fig. 4.13. - Modelo Alterado de Arquitetura Contemporânea

5

SIMULAÇÕES: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

No âmbito deste estudo, os casos descritos no capítulo 4 foram então simulados no programa Design Builder entre o período de 21 de junho e 21 de setembro de 2002. Após as simulações dos modelos foram analisados os resultados obtidos e comparados entre si de forma a comentar o comportamento de cada tipo de arquitetura em cada concelho e observar o impacto da implementação das estratégias de arrefecimento passivo no conforto dos edifícios durante a época de verão.

Dos resultados obtidos através das simulações selecionaram-se os valores referentes às temperaturas operativas horárias e dividiram-se os resultados a cada 10 dias, para facilitar o estudo.

A análise feita para todos os casos pretende evidenciar quais os períodos de tempo em que a temperatura operativa no interior do edifício é superior à temperatura de conforto considerada pelo REH, cerca de 25°C, ou seja, tudo o que se encontra acima dessa temperatura significa que estamos numa situação de desconforto e tudo o que se encontra abaixo está numa situação de conforto.

Também foram analisados os graus-hora de desconforto acumulados durante cada conjunto de 10 dias.

Os graus hora de desconforto são determinados pela diferença entre a temperatura operativa horária e os 25°C. A acumulação deste parâmetro é feita pelo somatório das diferenças positivas durante os 10 dias.

Todos os resultados serão apresentados em forma de gráfico e serão escolhidos os conjuntos de 10 dias que sejam mais relevantes para análise e comparação.

Para cada uma dos 3 concelhos serão escolhidos os 10 dias com os piores resultados referentes ao modelo base de cada arquitetura, sendo que os piores valores para uma arquitetura podem não coincidir no mesmo conjunto de 10 dias para outra. Posteriormente será feita a comparação dos valores obtidos para esses mesmos períodos quando implementadas as estratégias passivas de arrefecimento, de forma a contabilizarem-se os seus efeitos. No final da análise de cada concelho será exposta uma tabela onde se podem comparar mais facilmente os resultados obtidos.

5.1. ANÁLISE DE RESULTADOS PARA O CONCELHO DE BRAGANÇA

5.1.1. ANÁLISE DOS MODELOS BASE

As Fig. 5.1 e Fig. 5.2 representam os gráficos com piores resultados da arquitetura Transmontana e da arquitetura Algarvia quando se encontram no concelho de Bragança entre 22 de julho e 31 de julho.

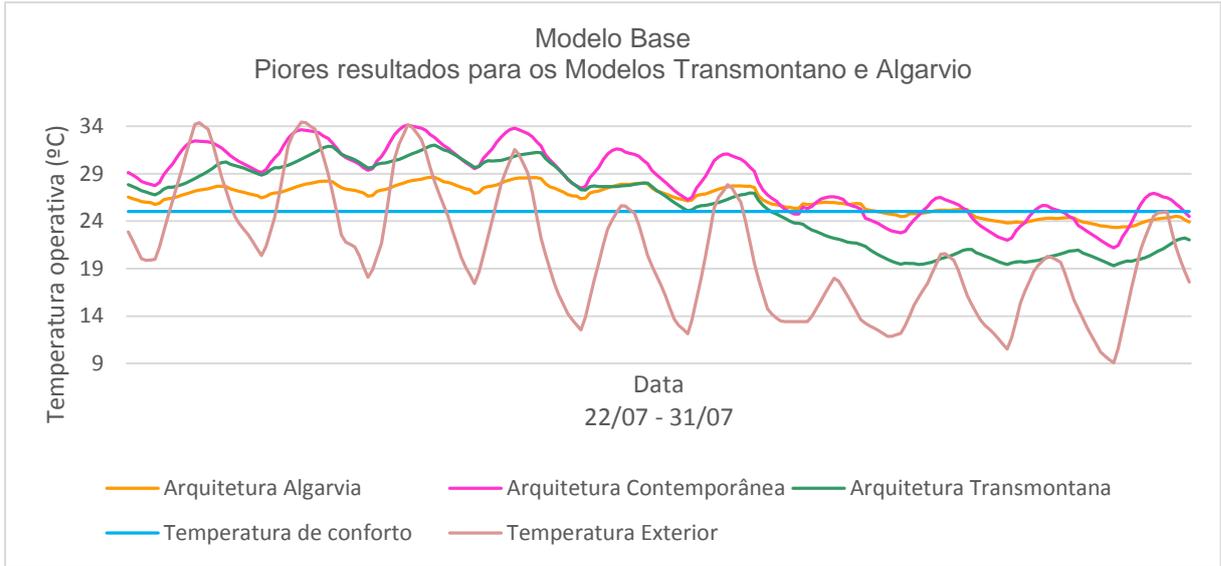


Fig. 5.1 - Temperaturas operativas dos Modelos Base Transmontano e Algarvio no concelho de Bragança

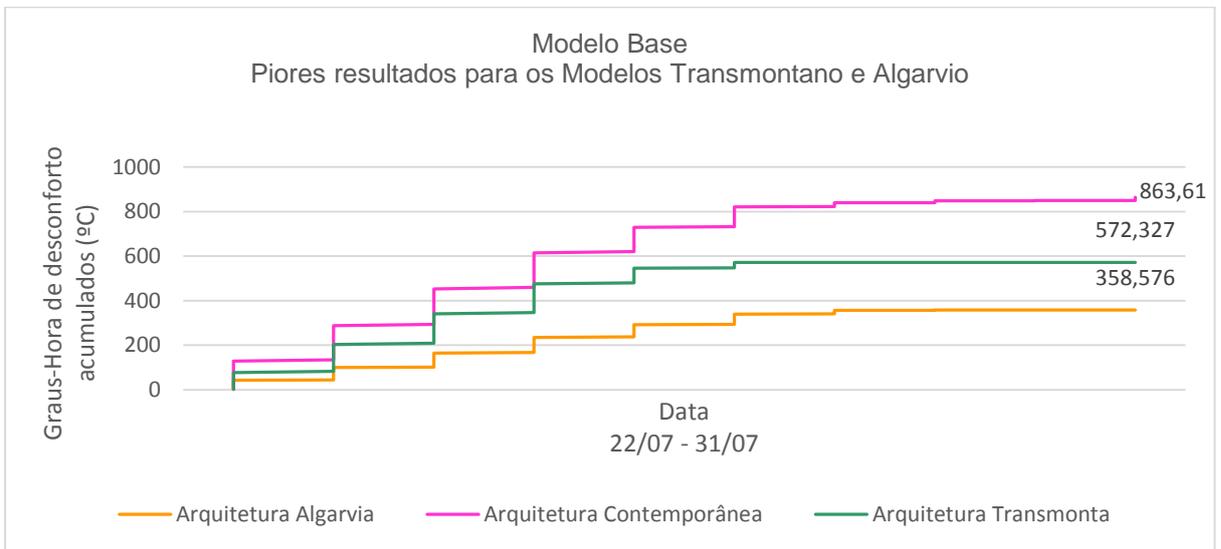


Fig. 5.2 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Base Transmontano e Algarvio no Concelho de Bragança

Pela análise dos gráficos das temperaturas operativas e dos graus-hora desconforto observa-se que, para o concelho de Bragança, os valores das temperaturas operativas das 3 arquiteturas estão grande parte do tempo acima da temperatura de conforto, o que se reflete nos números dos graus-hora de desconforto.

De referir que o modelo de arquitetura algarvia, apesar de ter uma inércia térmica média, apresenta pouca variação de temperatura devido à pouca área de envidraçado que tem e que o modelo transmontano apresenta bons resultados quando a temperatura exterior baixa, característica da sua inércia forte.

No entanto quando a arquitetura contemporânea está implementada no concelho de Bragança os piores valores obtidos não são entre 22 de julho e 31 de julho mas sim entre 12 de agosto e 31 de agosto como mostram as Fig. 5.3 e Fig. 5.4 .

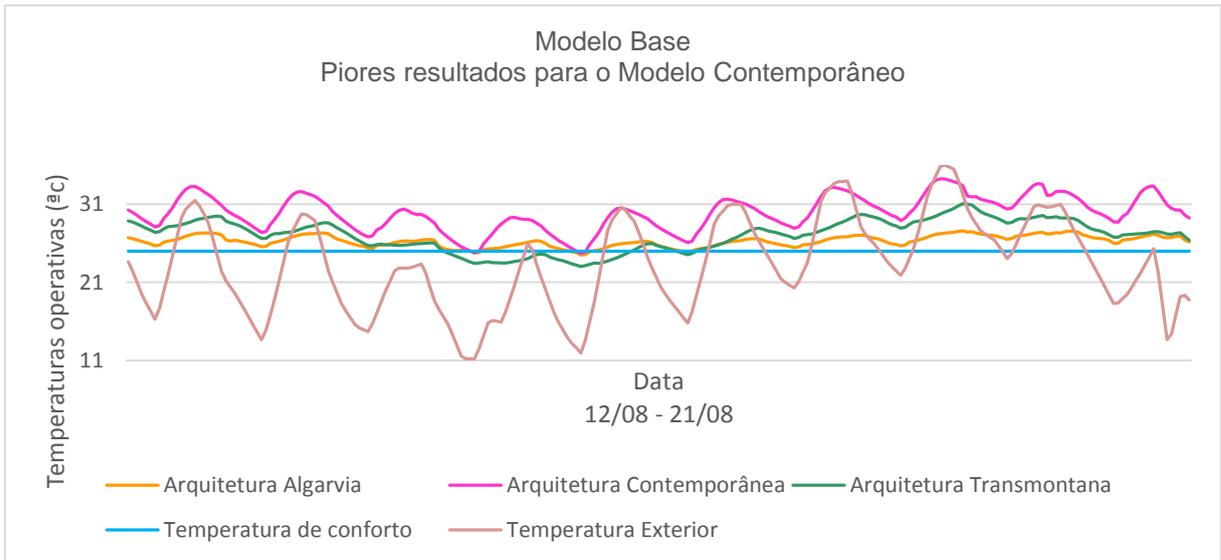


Fig. 5.3 - Temperaturas operativas do Modelo Base Contemporâneo - Concelho de Bragança

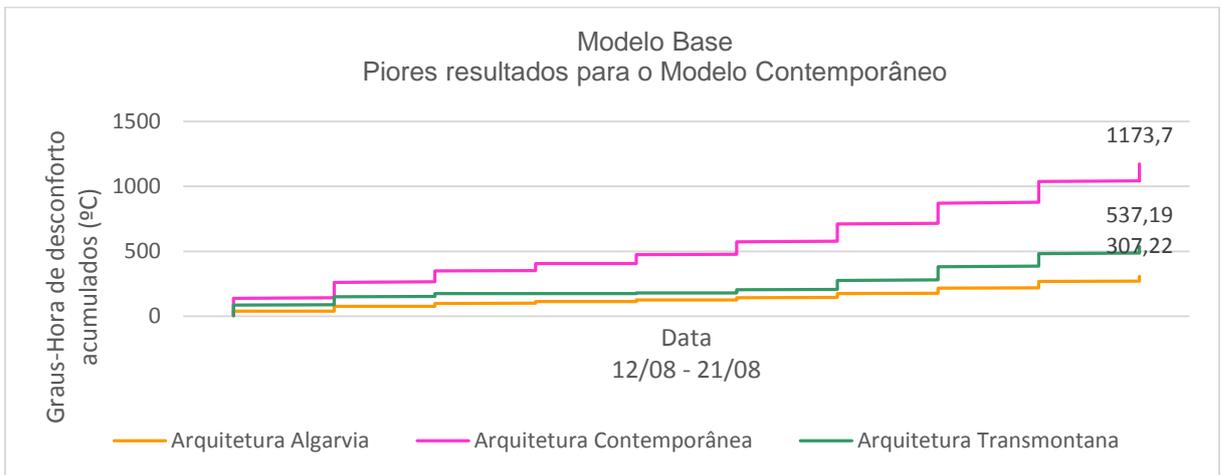


Fig. 5.4 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Base Contemporâneo - Concelho de Bragança

Pode verificar-se que a arquitetura contemporânea nos últimos dias do período de análise apresenta temperaturas no interior do edifício elevadas, o que justifica o número de graus-hora de desconforto de 1173,7 °C. Pode dizer-se também que o comportamento deste modelo apresenta muitos picos de temperatura que coincidem com os picos de temperatura exterior muito por causa da grande área de envidraçados que possui, levando a ganhos solares excessivos.

5.1.2. ANÁLISE DOS MODELOS ALTERADOS

De seguida apresentam-se os resultados referentes à implementação das estratégias de arrefecimento passivo.

Os primeiros valores são relativos ao aumento da área de ventilação noturna de todos os modelos de arquitetura em estudo. De salientar que o aumento não foi o mesmo para todos os modelos, uma vez que as áreas de envidraçados não são as mesmas.

As Fig. 5.5 e Fig. 5.6 representam os valores obtidos para as arquiteturas transmontana e algarvia durante o período de 22 de julho a 31 de julho.

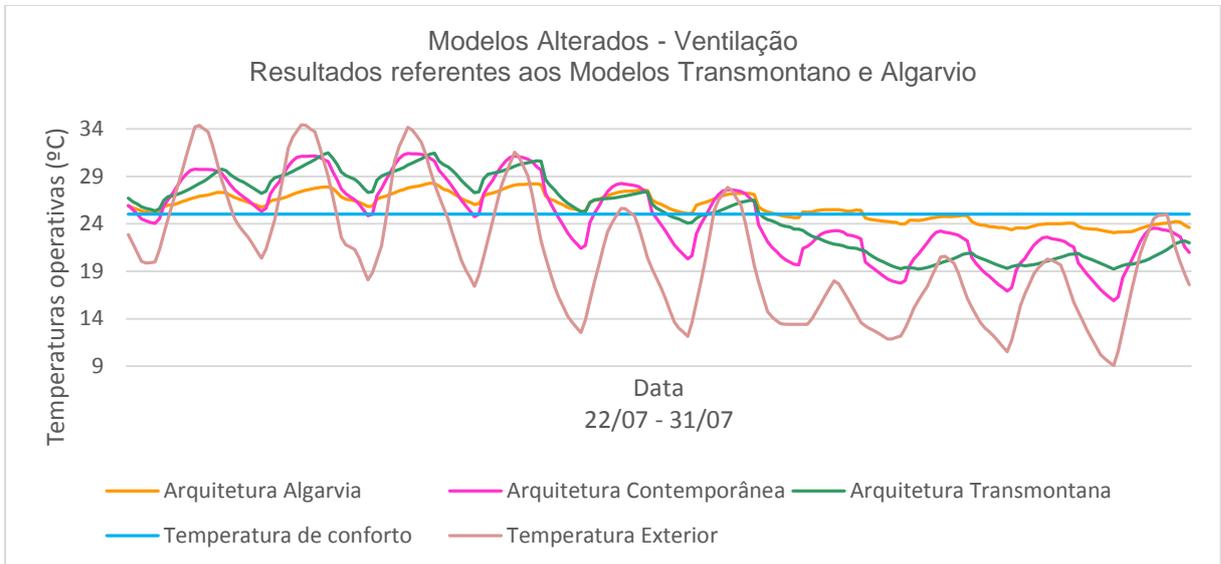


Fig. 5.5 - Temperaturas operativas dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Ventilação) - Concelho de Bragança

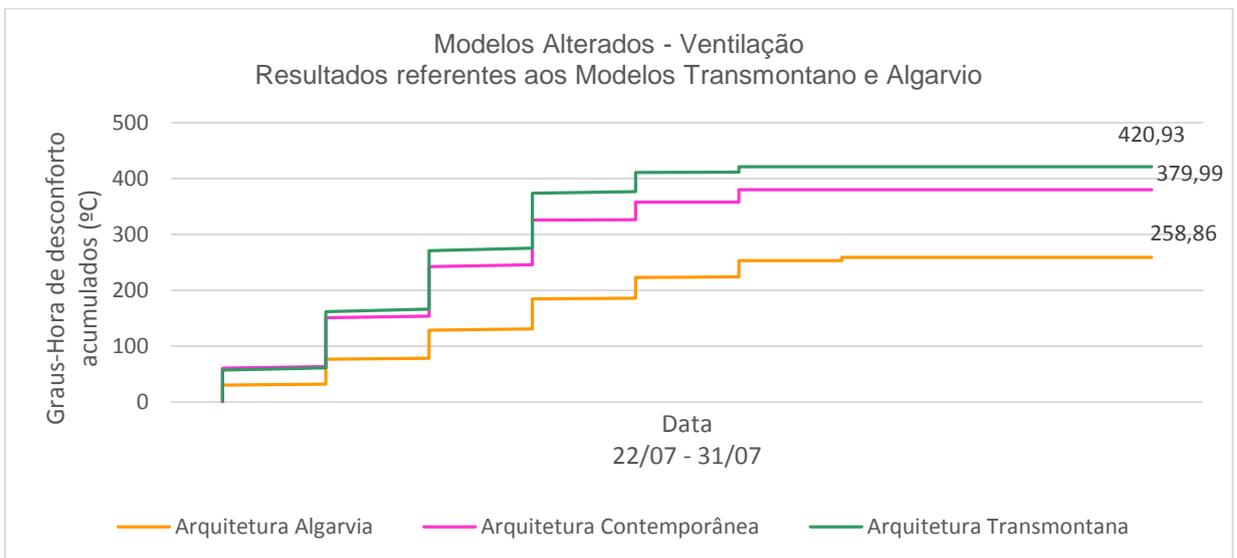


Fig. 5.6 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Ventilação) - Concelho de Bragança

Verifica-se que, em relação aos números obtidos para os modelos base, as temperaturas operativas baixaram em geral durante o período de análise o que fez diminuir significativamente os valores dos graus-hora de desconforto nas três arquitetura. No entanto o comportamento da arquitetura transmontana manteve os mesmos contornos e na arquitetura contemporânea aumenta a amplitude das temperaturas interiores.

Nas Fig. 5.7 e Fig. 5.8 apresentam –se as melhorias dos valores relativos à arquitetura contemporânea na concelho de Bragança entre 12 de agosto e 21 de agosto.

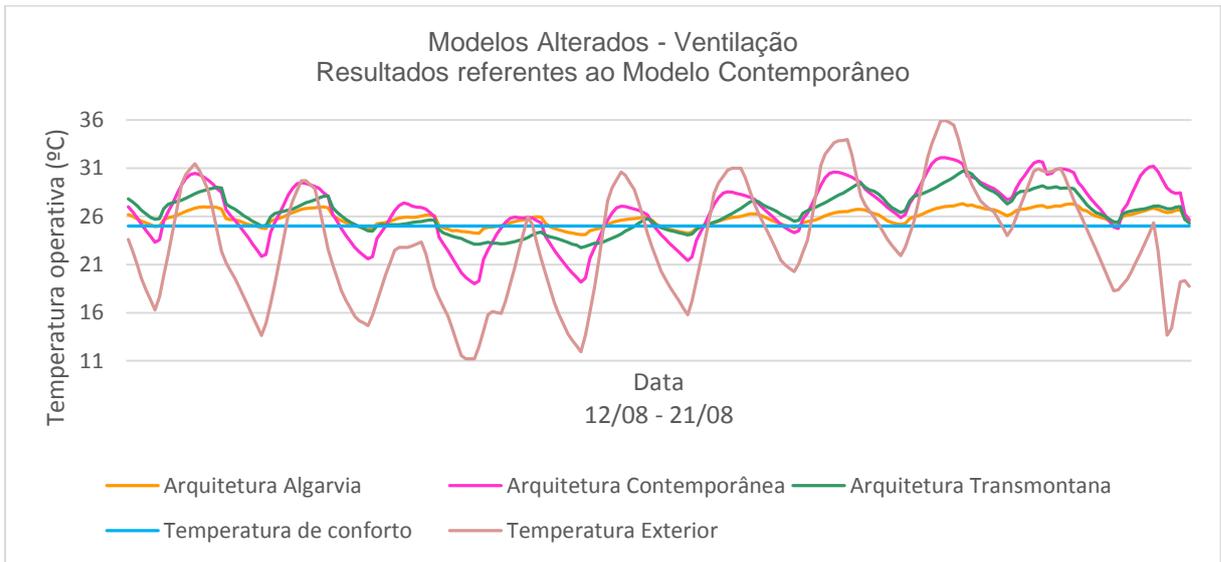


Fig. 5.7 - Temperaturas operativas do Modelo Contemporâneo Alterado (Ventilação) - Concelho de Bragança

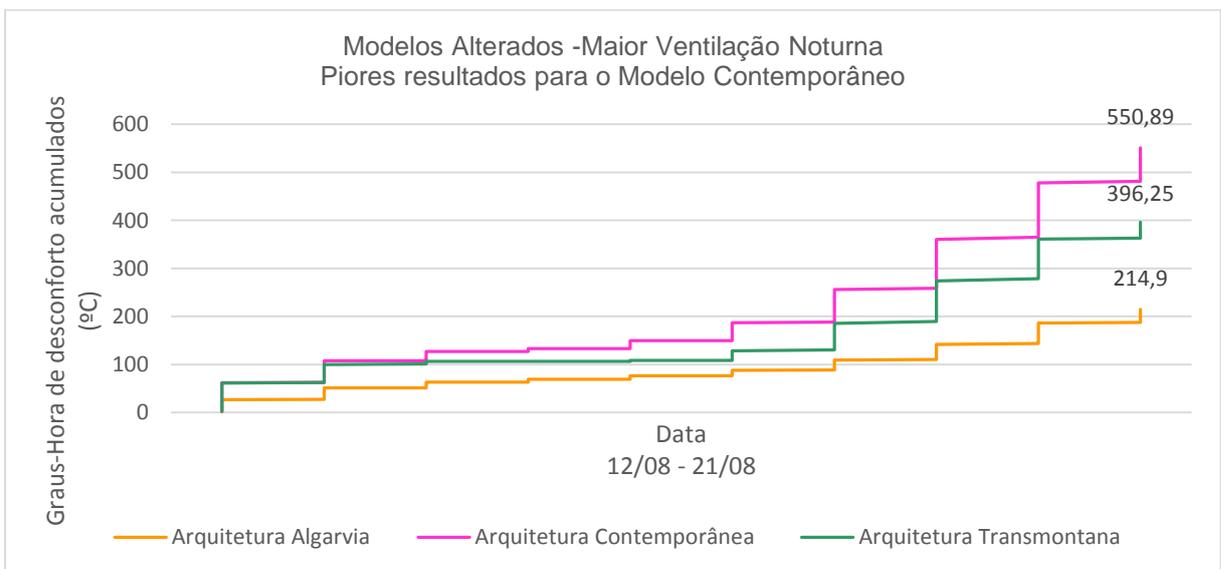


Fig. 5.8 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Contemporâneo Alterado (Ventilação) - Concelho de Bragança

À semelhança das arquiteturas transmontana e algarvia, a arquitetura contemporânea também diminuiu a temperatura operativa durante o período em estudo, assim como o valor dos graus-hora de desconforto, que eram bastante elevados anteriormente. Este modelo passou a atingir temperaturas abaixo da temperatura de conforto, no entanto continua a acompanhar os picos de temperaturas exteriores mais altas.

Abaixo estão representados os resultados alusivos à implementação de sombra em todas as arquiteturas, sendo que foram adotadas estratégias de sombreamento diferentes para cada caso de estudo de maneira

que não fosse descaracterizado nenhum modelo. As Fig. 5.9 e Fig. 5.10 representam os gráficos de valores referentes ao período de 22 de julho a 31 de julho e as Fig. 5.11 e Fig. 5.12 ao período de 12 de agosto a 31 de agosto.

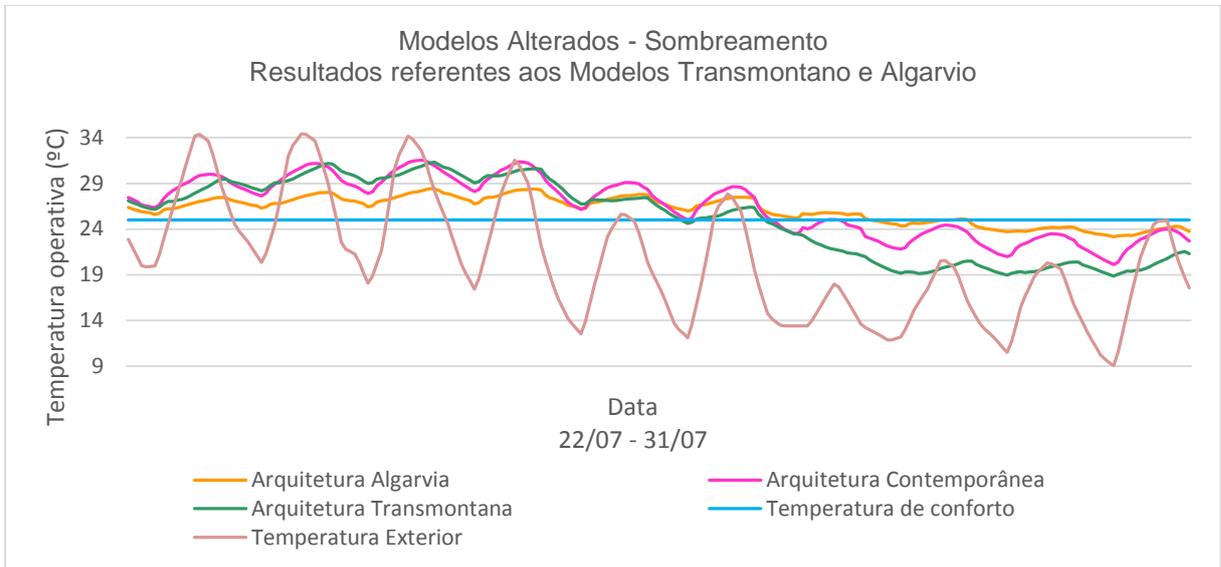


Fig. 5.9 - Temperaturas operativas dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Sombreamento) – Concelho de Bragança

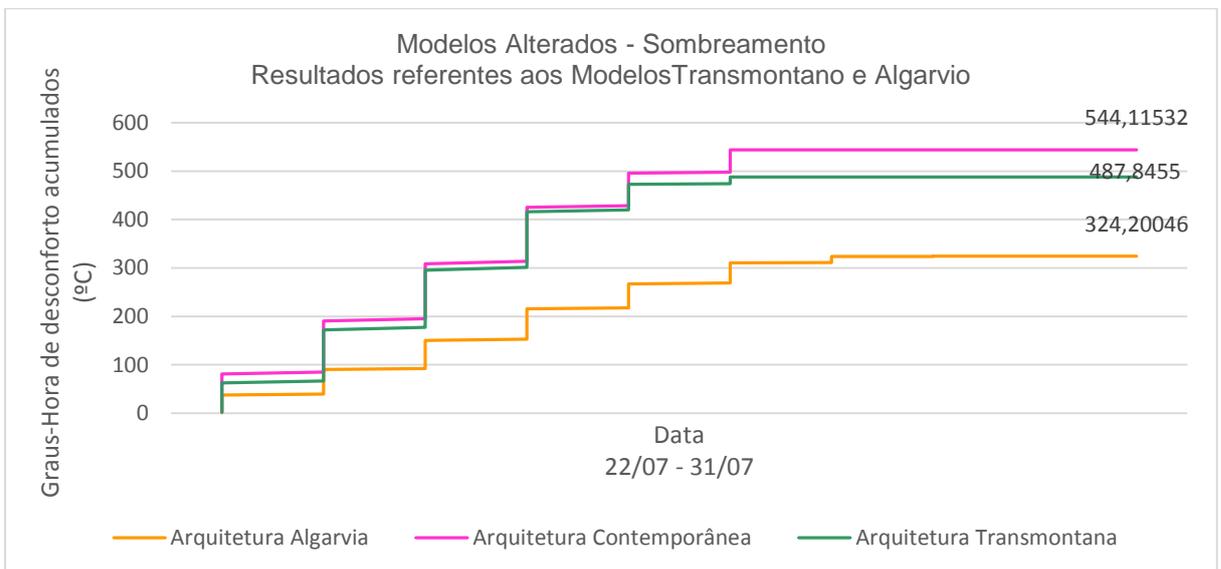


Fig. 5.10 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Sombreamento) – Concelho de Bragança

Repara-se que a colocação de sombra na envolvente do edifício tem resultados positivos em todas as arquiteturas, uma vez que contribuiu para a diminuição da temperatura operativa no interior e consequentemente no número de graus-hora em situação de desconforto.

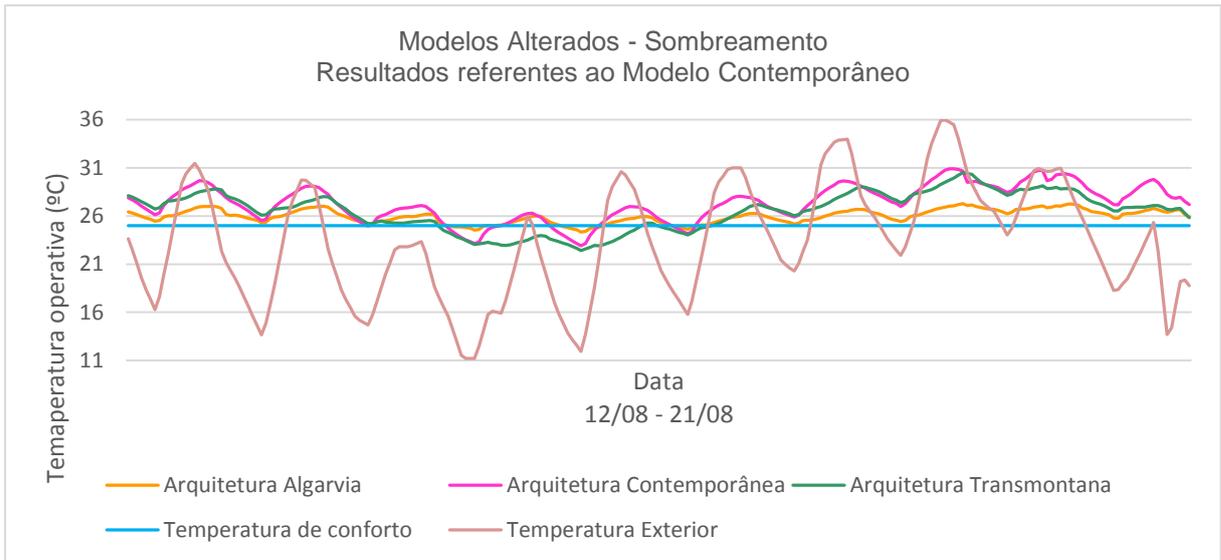


Fig. 5.11 - Temperaturas operativas do Modelo Contemporâneo Alterado (Sombreamento) – Concelho de Bragança

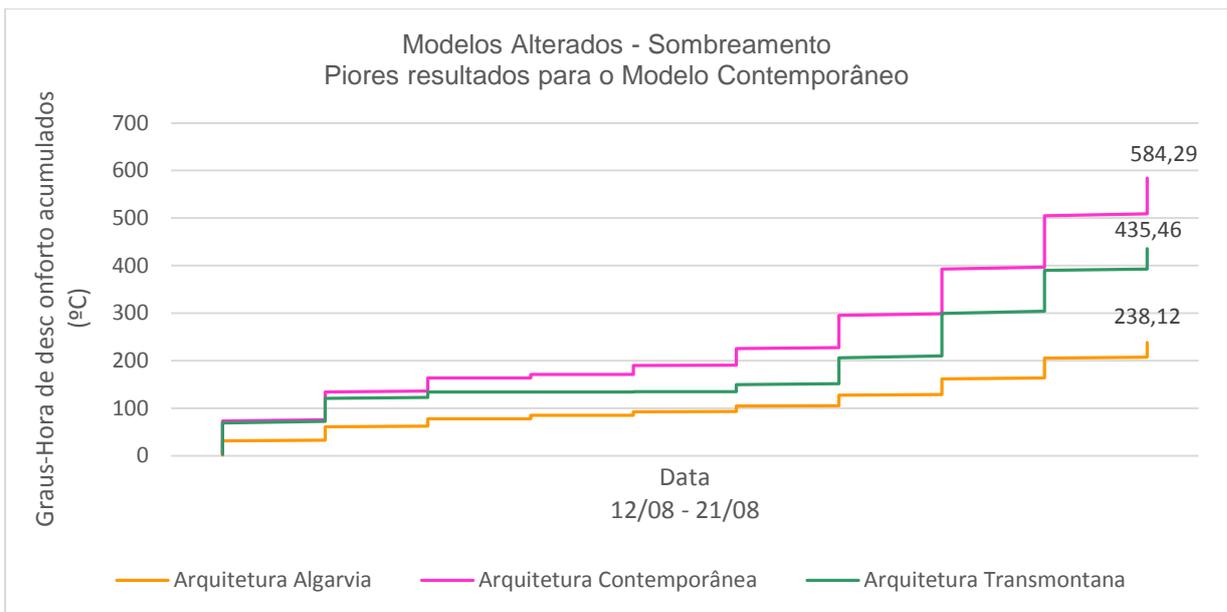


Fig. 5.12 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Contemporâneo Alterado (Sombreamento) – Concelho de Bragança

Como se observa a arquitetura contemporânea também melhorou os resultados em relação ao modelo base diminuindo para mais de metade o valor dos graus-hora de desconforto acumulados e verifica-se também que a oscilação das temperaturas operativas no interior é muito menor, o que significa que atuar ao nível do controlo dos ganhos solares através dos envidraçados é essencial.

Analisou-se também o efeito da aplicação das duas medidas passivas de arrefecimento em simultâneo, ou seja, o efeito do aumento da área de envidraçado aberto e o sombreamento do edifício. Os resultados

estão expostos nos gráficos das Fig. 5.13 e Fig. 5.14 para comparação dos modelos transmontano e algarvio, e nas Fig. 5.15 e Fig. 5.16 para comparar as melhorias no modelo contemporâneo.

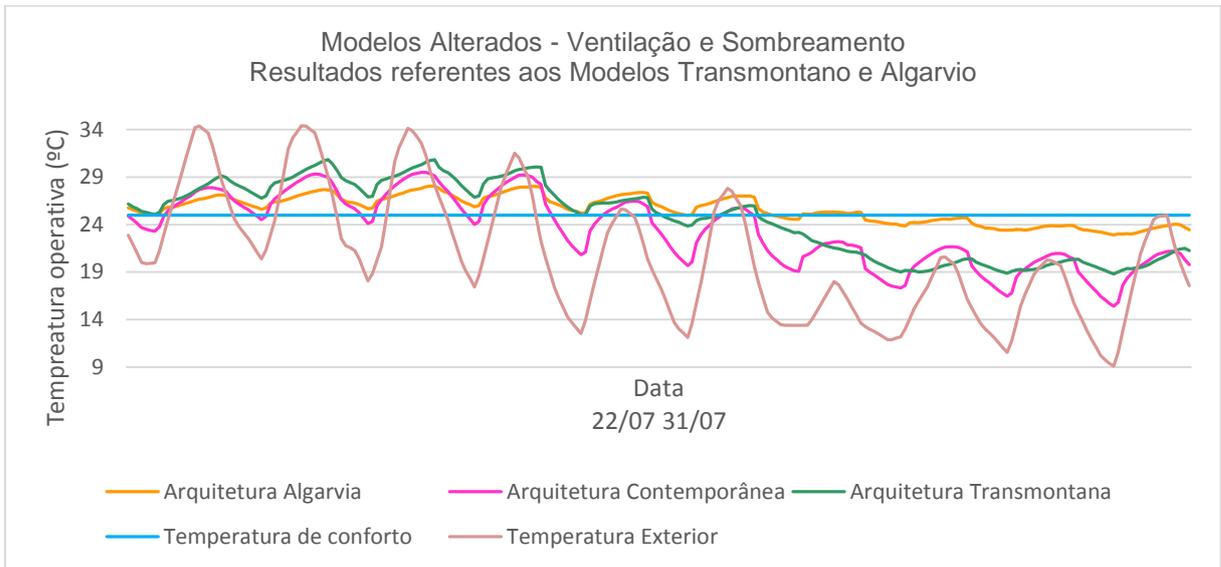


Fig. 5.13 - Temperaturas operativas dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Bragança

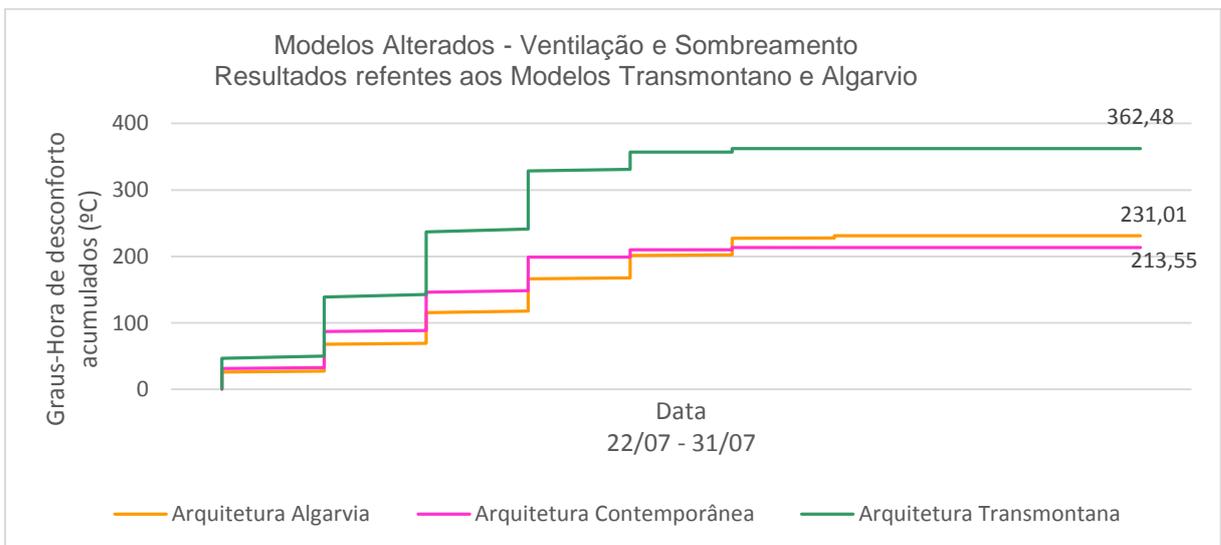


Fig. 5.14 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Transmontano e Algarvio Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Bragança

Observa-se que a aplicação das duas estratégias passivas em simultâneo oferece resultados muito positivos e uma redução dos valores quer de temperatura interior quer dos graus-hora de desconforto acumulados. No entanto seria importante fazer com que as temperaturas operativas no interior dos edifícios de qualquer uma das arquiteturas baixasse para valores inferiores à temperatura de conforto para garantir menores graus-hora de desconforto.

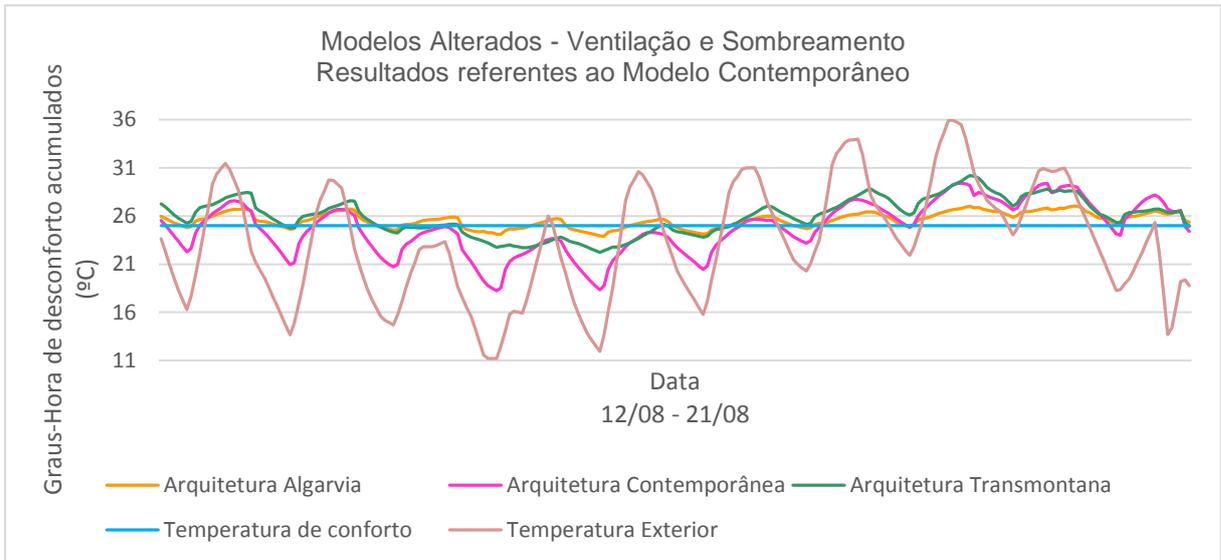


Fig. 5.15 - Temperaturas operativas do Modelo Contemporâneo Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Bragança

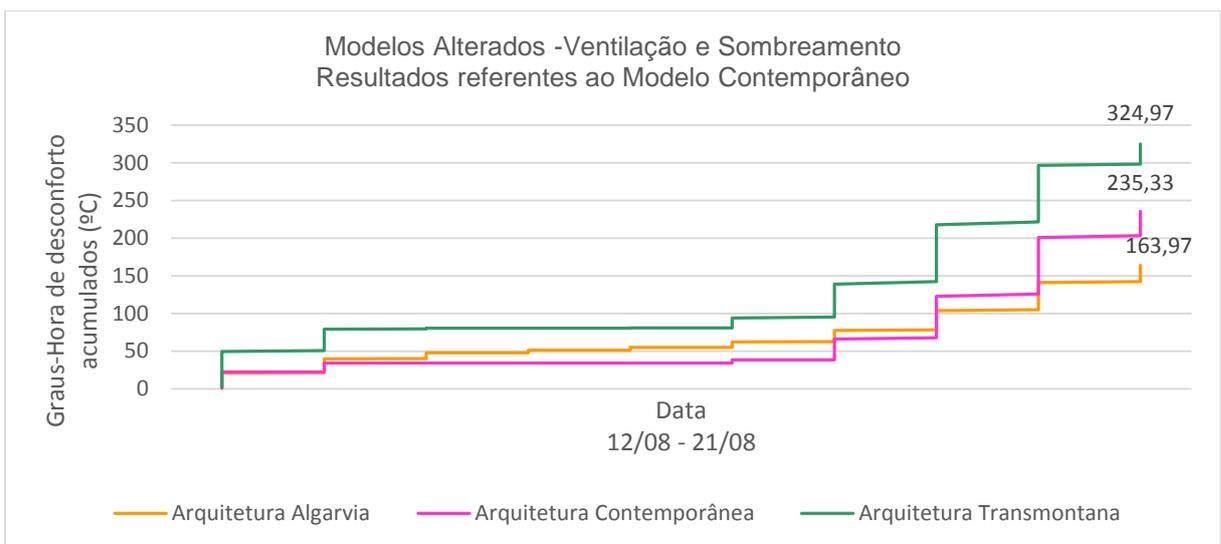


Fig. 5.16 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Contemporâneo Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Bragança

Como se verifica tal como os modelos anteriores, o modelo contemporâneo beneficia bastante com a implementação das duas estratégias em simultâneo, fazendo com que as temperaturas operativas estejam muito mais perto da linha dos 25 °C. Os graus-hora de desconforto reduzem quase 5 vezes, de 1173,7 para 235,33, o que é bastante positivo.

A Tabela 5.1 compara os valores obtidos pelas análises feitas anteriormente de modo a contabilizar os efeitos das medidas tomadas para melhorar o conforto no interior dos edifícios.

Tabela 5.1 - Comparação dos valores do Modelo base com os Modelos Alterados - Concelho de Bragança

	Concelho de Bragança				
	Graus-Hora de desconforto acumulados (°C)				
	Período de análise	Modelo Base	Modelo Alterado Ventilação	Modelo Alterado Sombreamento	Modelo Alterado Ventilação + Sombreamento
Arquitetura Transmontana	22/07 a 31/07	572,33	420,93	487,85	362,48
	12/08 a 21/08	537,19	396,25	435,46	324,97
Arquitetura Algarvia	22/07 a 31/0/78	358,58	258,86	324,2	231,01
	12/08 a 21/08	307,22	214,9	238,12	163,97
Arquitetura Contemporânea	22/07 a 31/07	863,61	379,99	544,12	213,55
	12/08 a 21/08	1173,7	550,89	584,29	235,33

Através dos resultados expostos na Tabela 5.1 pode-se observar que desde que se aplicaram as medidas de arrefecimento passivo os graus-hora de desconforto acumulados sofreram alterações e sempre no sentido de beneficiar as condições de conforto no interior dos edifícios, principalmente no caso do modelo de arquitetura contemporânea.

5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS PARA A CONCELHO DE FARO

5.2.1. ANÁLISE DOS MODELOS BASE

Os piores resultados relativos aos modelos base implantados no concelho de Faro coincidem com o período de 22 de julho e 31 de julho (Fig. 5.17 e Fig. 5.18) para a arquitetura transmontana e 22 de agosto e 31 de agosto para as arquiteturas algarvia e contemporânea (Fig. 5.19 e Fig. 5.20).

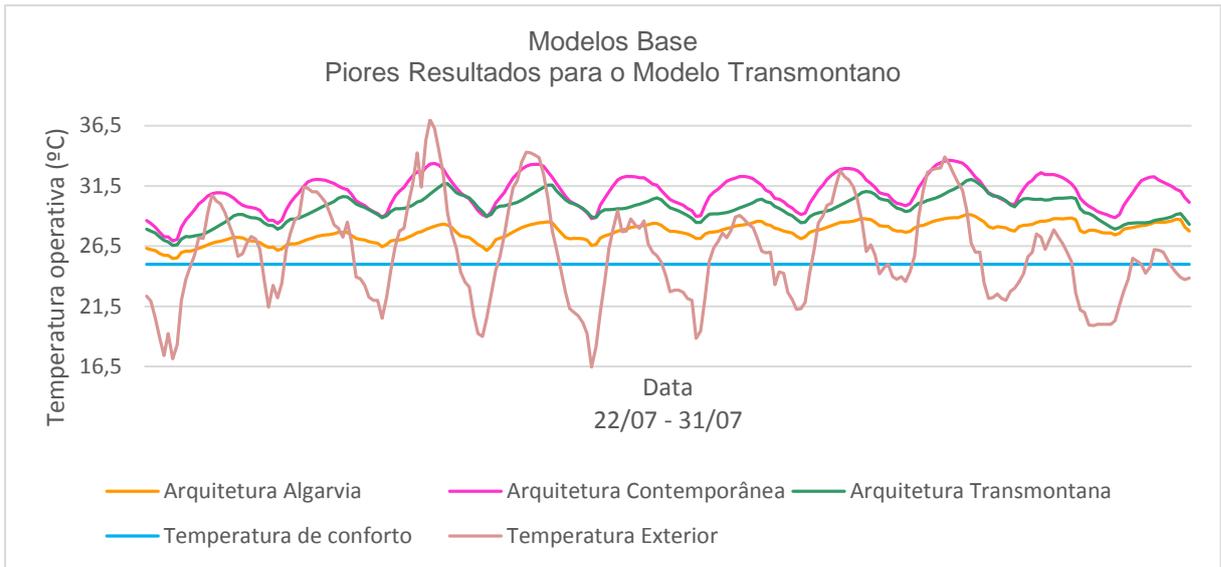


Fig. 5.17 - Temperaturas operativas do Modelo Base Transmontano – Concelho de Faro

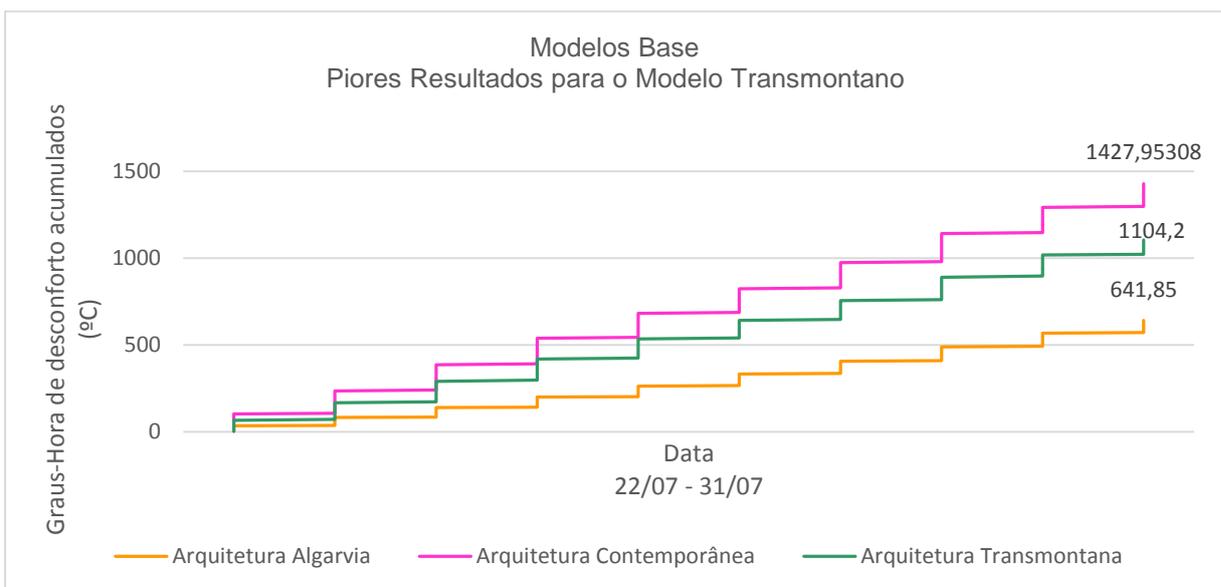


Fig. 5.18 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Base Transmontano – Concelho de Faro

Pode verificar-se que as temperaturas operativas para a arquitetura transmontana não sofrem flutuações de grande amplitude, no entanto são temperaturas elevadas que ultrapassam a temperatura de conforto, o que leva a graus-hora de desconforto muito elevados. Este desconforto deve-se em parte pelo facto deste modelo ter inércia térmica forte que, apesar de permitir a acumulação de calor este não tem por onde se dissipar em quantidade suficiente de modo a trazer benefícios, contribuindo, por isso, para um aumento da temperatura interior.

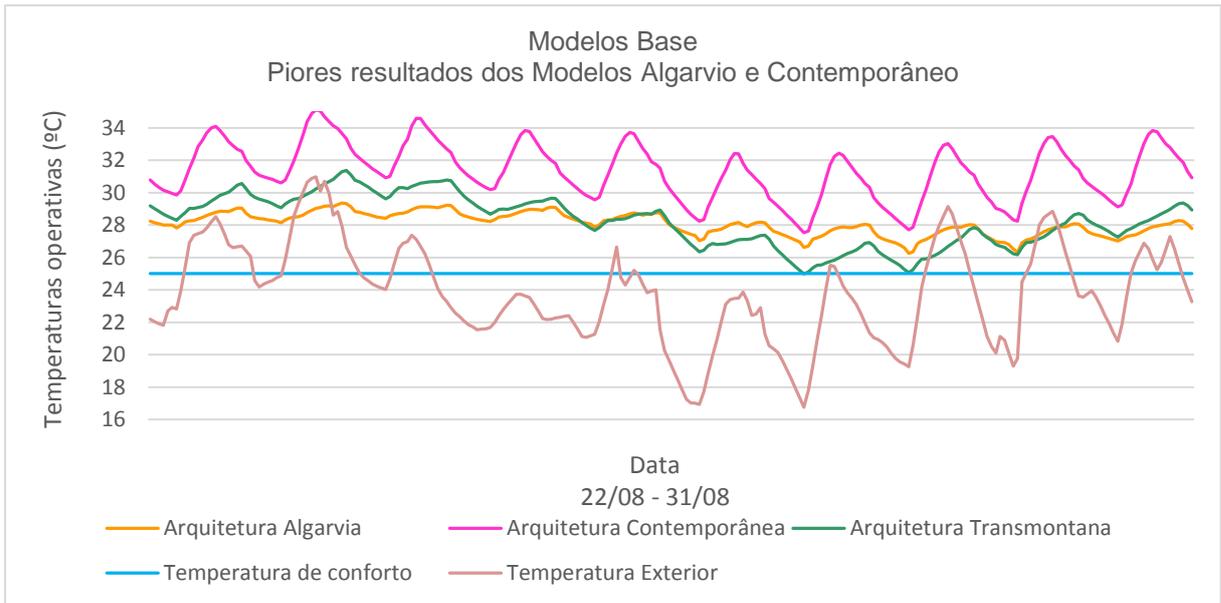


Fig. 5.19 - Temperaturas operativas dos Modelos Base Algarvio e Contemporâneo – Concelho de Faro

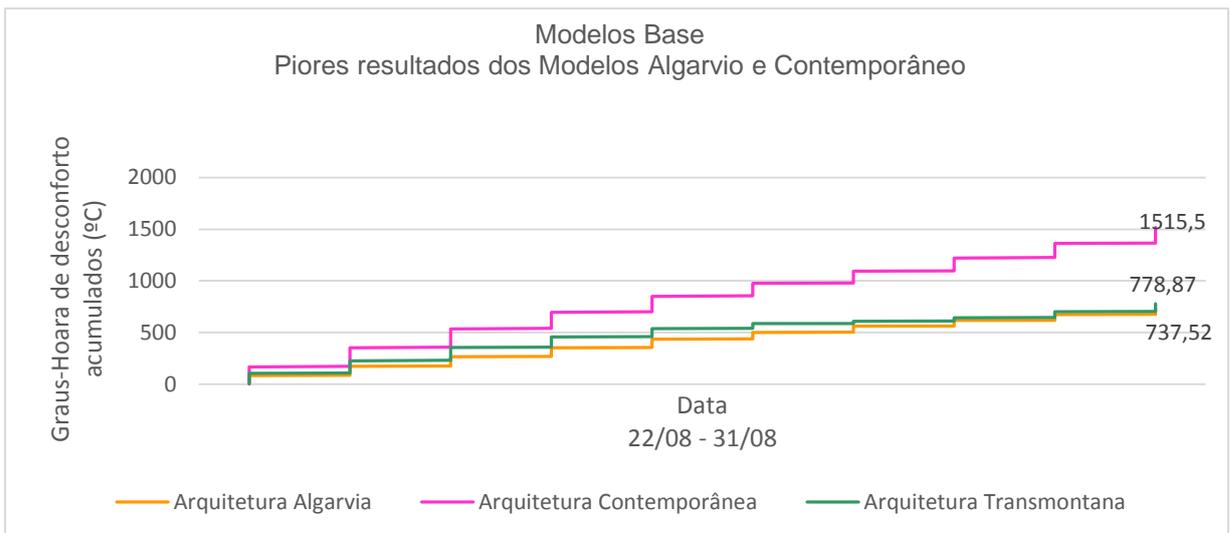


Fig. 5.20 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Base Algarvio e Contemporâneo – Concelho de Faro

Observa-se que a arquitetura algarvia tem um comportamento mais ou menos constante no que toca a temperaturas operativas mas sempre acima dos 25°C fazendo com que os graus-hora de desconforto se acumulem até ao valor de 737,52 °C. Em relação ao comportamento da arquitetura contemporânea este possui muitos picos de temperatura que rondam os 34 °C, o que é bastante preocupante em termos de conforto no interior do edifício.

5.2.2. ANÁLISE DOS MODELOS ALTERADOS

Em primeiro lugar analisam-se os efeitos do aumento da área de ventilação noturna na arquitetura transmontana quando posta no concelho de Faro (Fig. 5.21 e Fig. 5.22) e de seguida nos modelos algarvio e contemporâneo (Fig. 5.23 e Fig. 5.24).

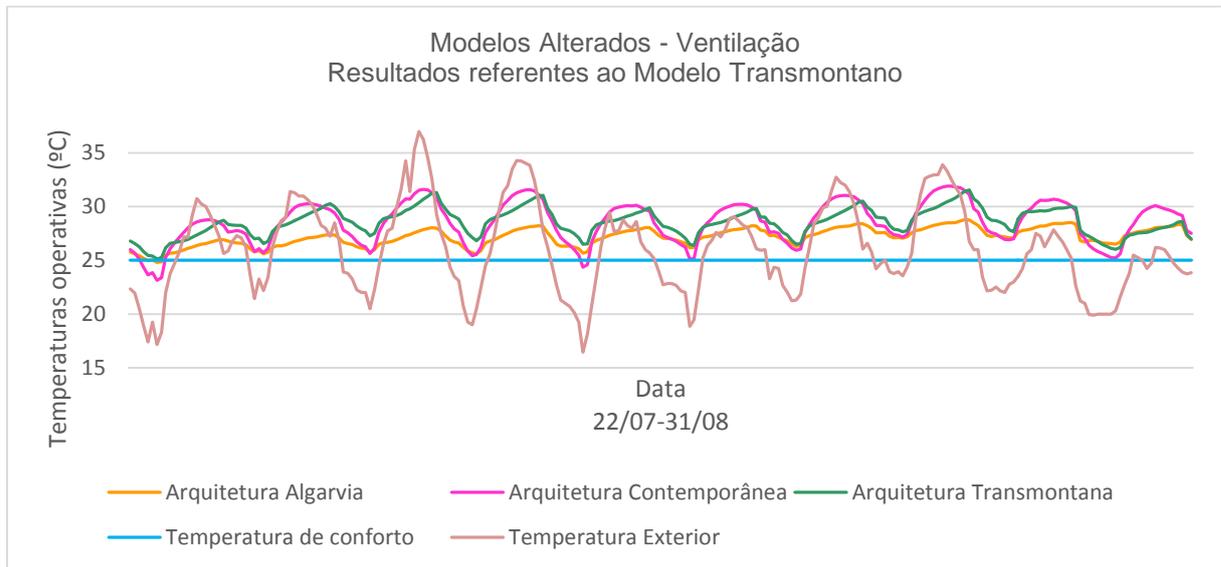


Fig. 5.21 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação) – Concelho de Faro

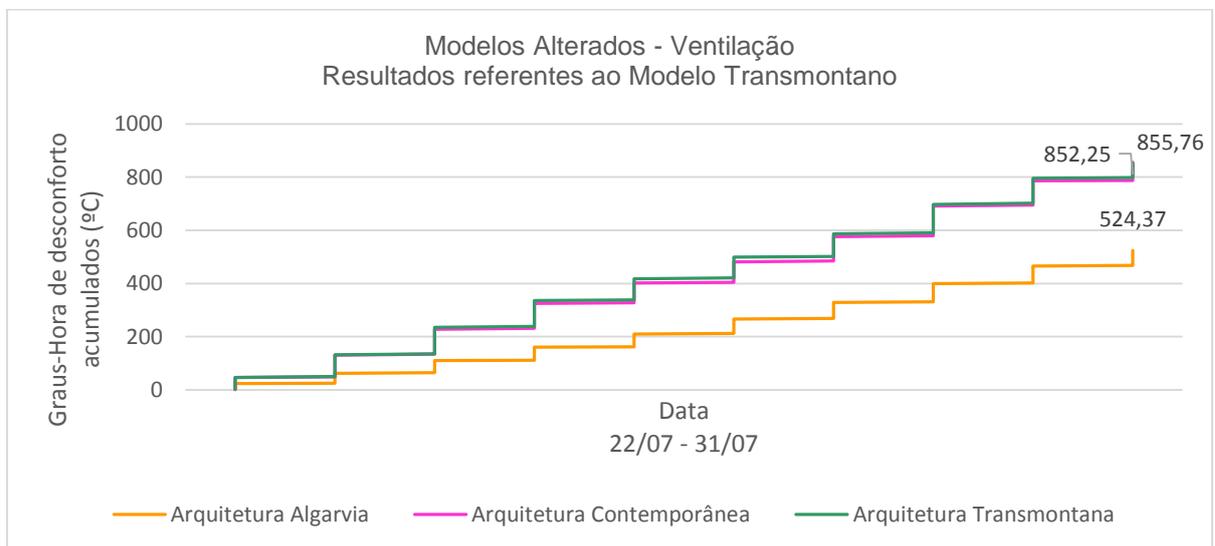


Fig. 5.22 - Graus-hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação) – Concelho de Faro

Houve uma diminuição das temperaturas interiores no modelo transmontano levando também à consequente redução dos valores dos graus-hora de desconforto acumulados neste período de estudo, contudo ainda não correspondem a valores satisfatórios pois encontram-se distantes da zona de conforto.

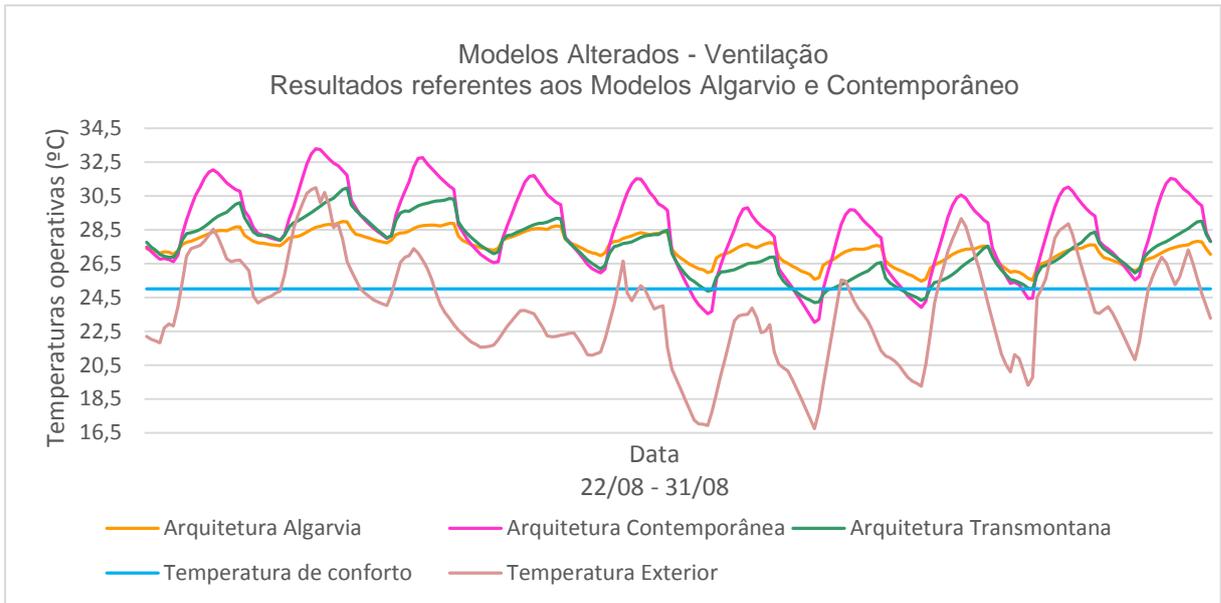


Fig. 5.23 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação) – Concelho de Faro

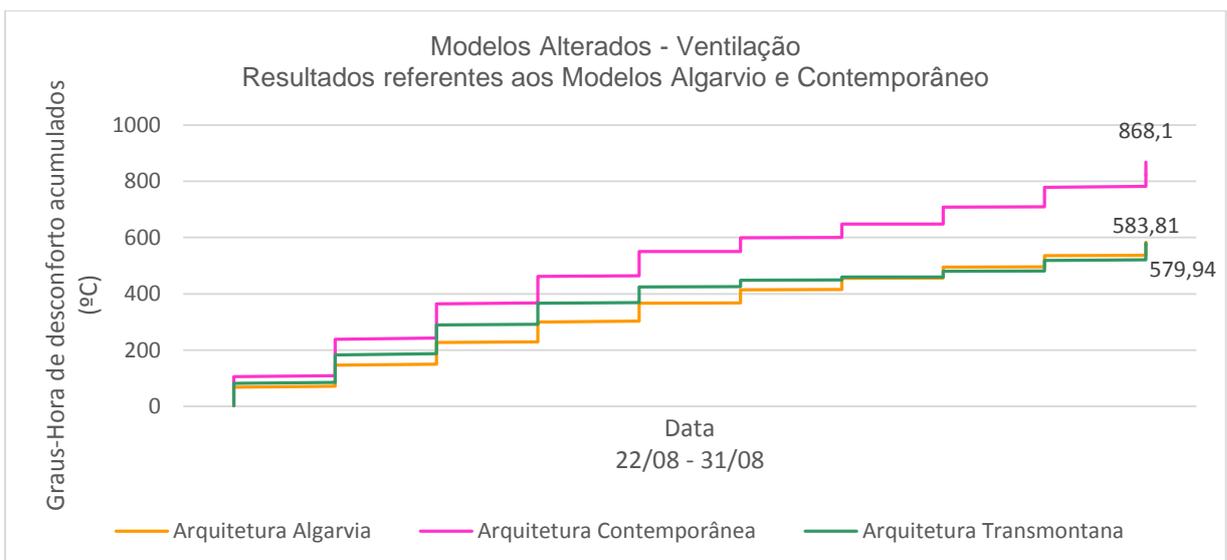


Fig. 5.24 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação) – Concelho de Faro

Como se pode verificar a aplicação de sombra ajuda a reduzir os graus-hora desconforto acumulados no interior dos modelos algarvio e contemporâneo, contribuindo assim para uma melhoria do conforto, porém não é suficiente para baixar para valores inferiores à temperatura de conforto.

Em seguida representam-se os gráficos das temperaturas operativas e dos graus-hora desconforto acumulados nas Fig. 5.25 e Fig. 5.26 que traduzem o efeito do sombreamento do modelo transmontano.

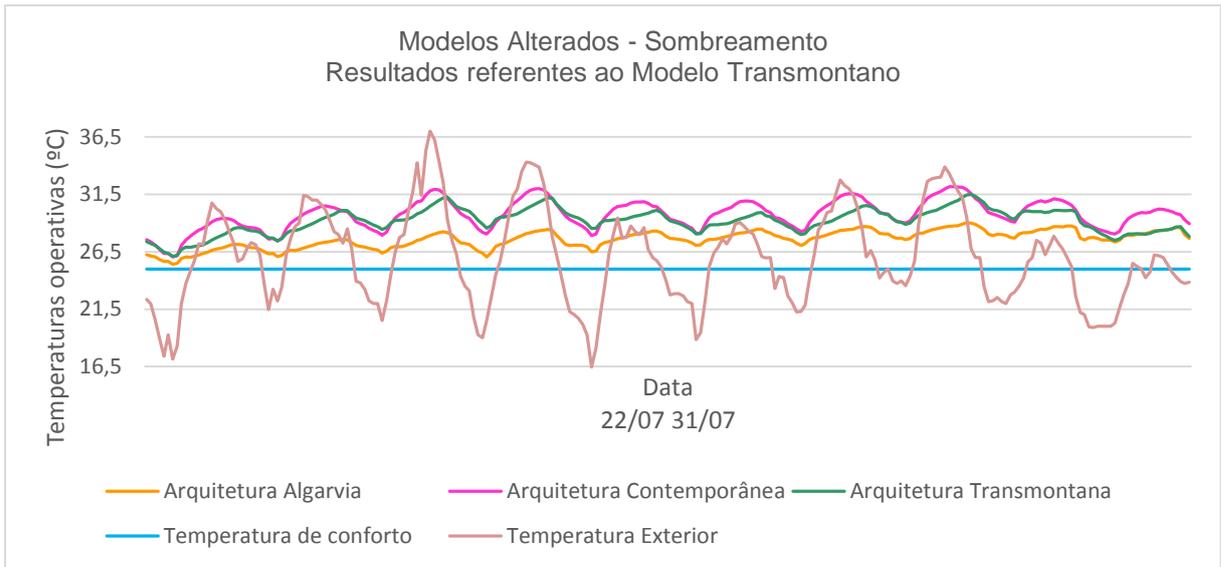


Fig. 5.25 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Sombreamento) – Concelho de Faro

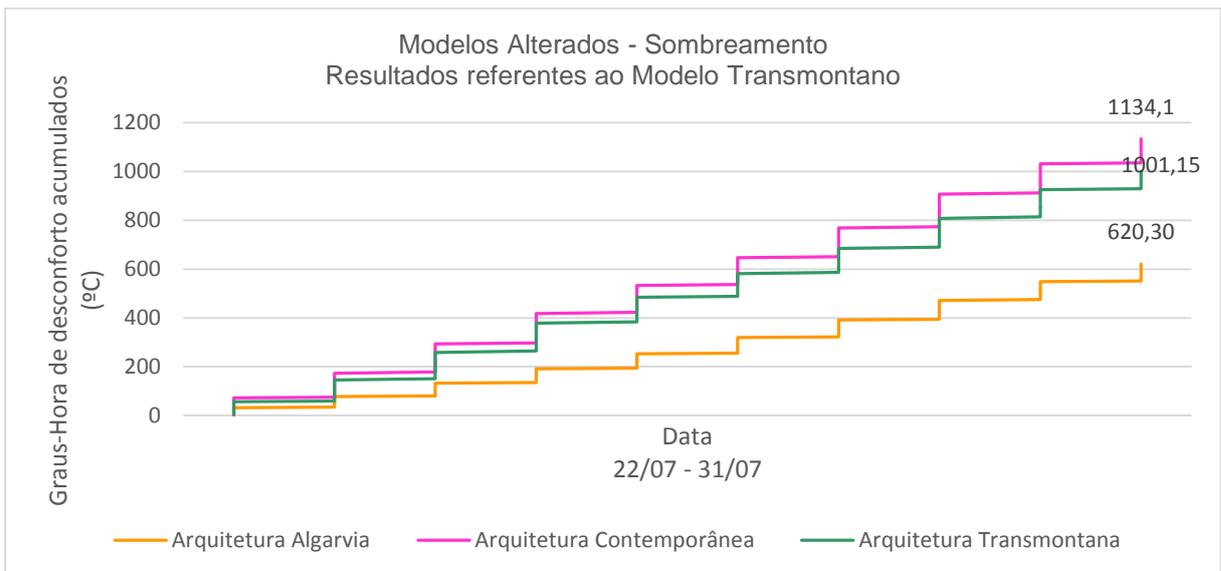


Fig. 5.26 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Sombreamento) – Concelho de Faro

Quando se aplica sombreamento por si só não reduz com muita expressão os valores das temperaturas e consequentemente os graus-hora de desconforto acumulados no modelo de arquitetura transmontana.

As Fig. 5.27 e Fig. 5.28 representam os gráficos com os resultados obtidos aquando da aplicação de sombra nos modelos de arquitetura algarvia e arquitetura contemporânea no concelho de Faro.

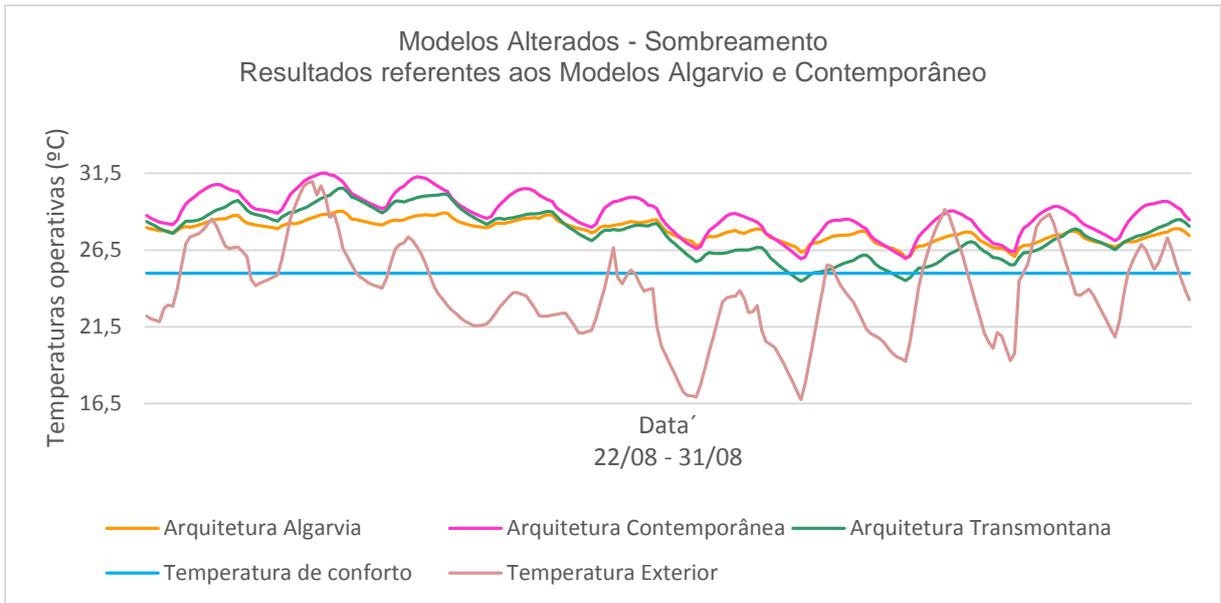


Fig. 5.27 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Sombreamento) – Concelho de Faro

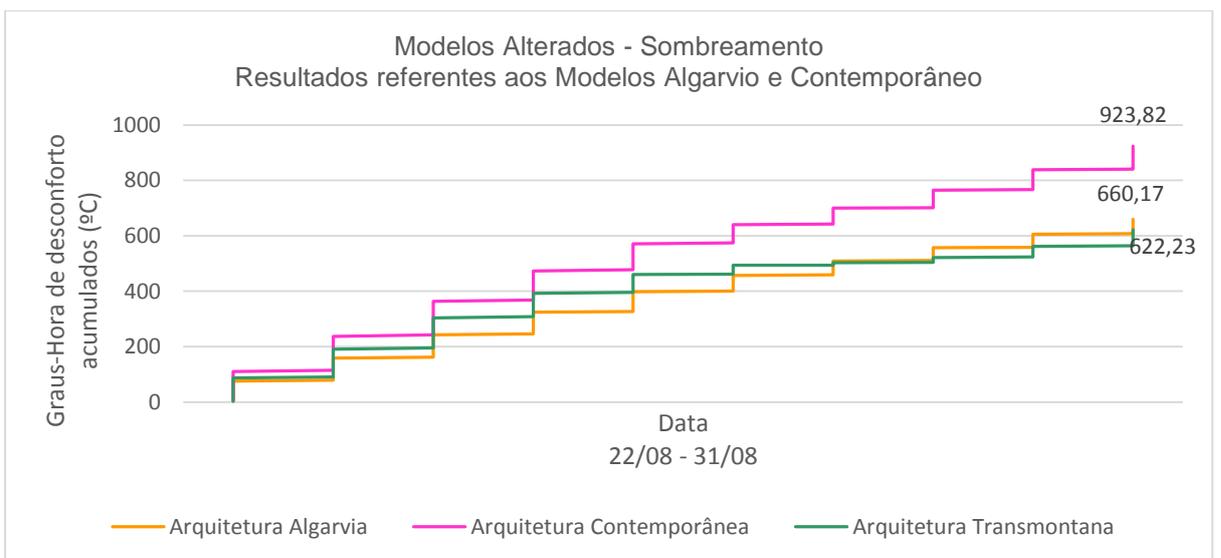


Fig. 5.28 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Sombreamento) – Concelho de Faro

Verificam-se resultados positivos quando o edifício possui elementos que proporcionam sombra tanto para a arquitetura algarvia como para a arquitetura contemporânea, mas continuam a ser números elevados para se considerar um interior confortável, ou seja, é necessário aplicar mais alguma estratégia de forma a complementar o sombreamento da envolvente exterior.

As Fig. 5.29 e Fig. 5.30 apresentam os gráficos com os resultados para o modelo transmontano da implementação conjunta das estratégias mencionadas anteriormente, ou seja, maior caudal de ventilação

e sombreamento ao mesmo tempo. Logo a seguir as Fig. 5.31 e Fig. 5.32 representam os gráficos com os resultados após a utilização das duas estratégias.

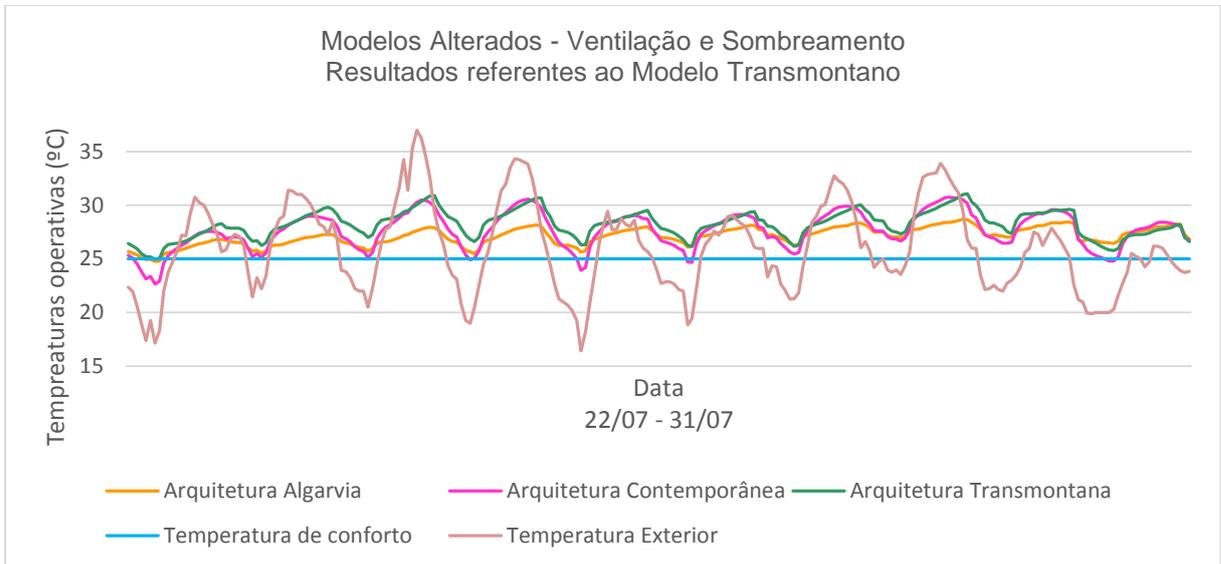


Fig. 5.29 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Faro

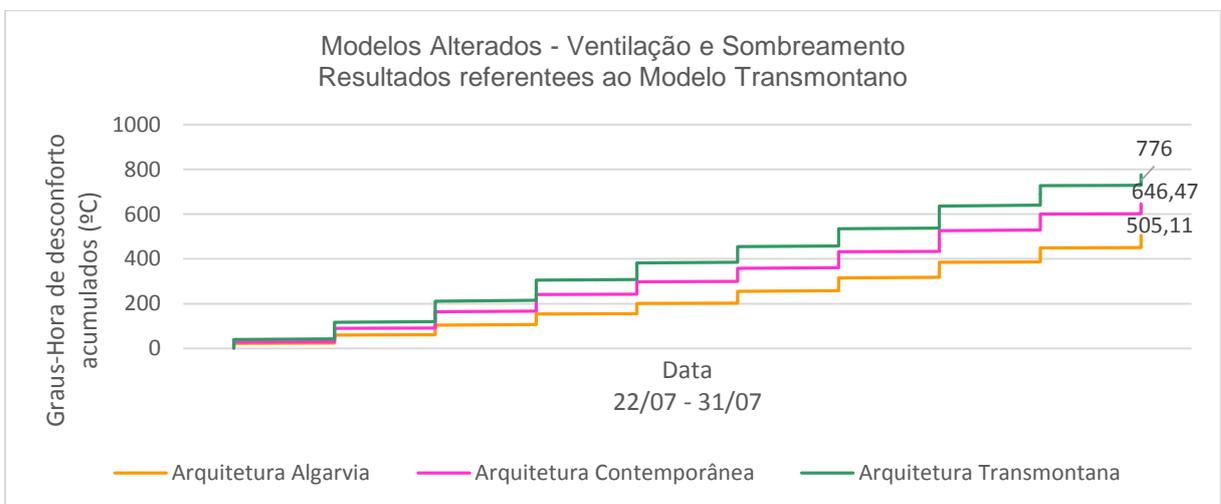


Fig. 5.30 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Faro

Repara-se que a junção das duas estratégias tem efeito benéficos nos resultados do modelo transmontano mas mantém-se o desconforto no interior do edifício durante todo o período de análise. Seria importante estudar outras estratégias passivas que contribuíssem para resultados mais satisfatórios, no entanto neste trabalho serão analisadas outras medidas a não ser o efeito da ventilação ou o sombreamento.

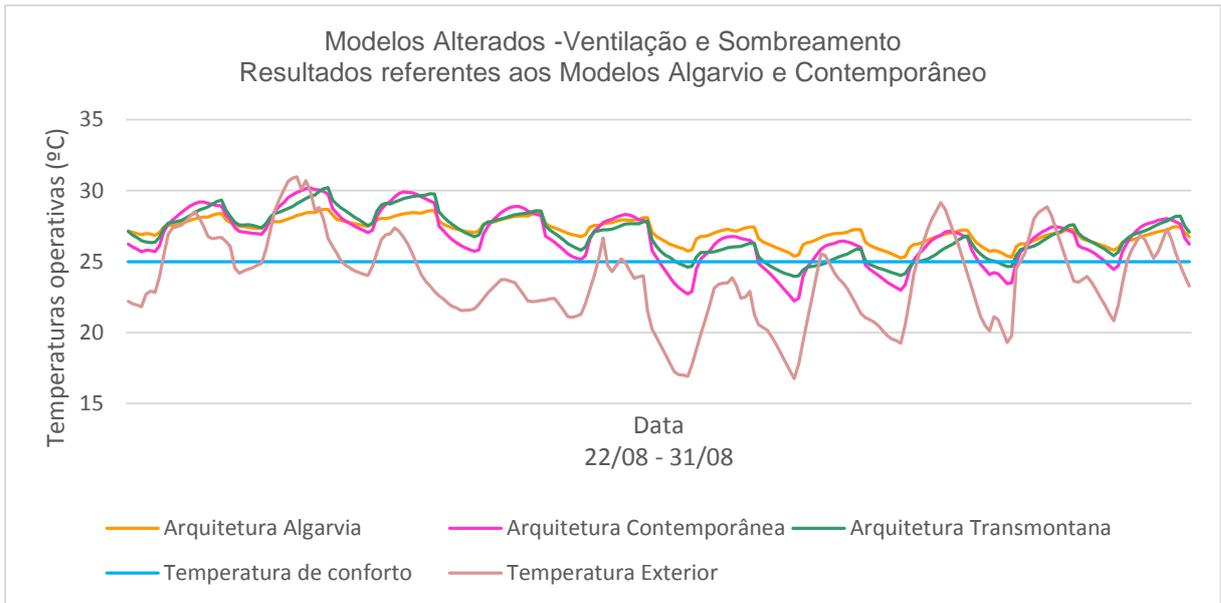


Fig. 5.31 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Faro

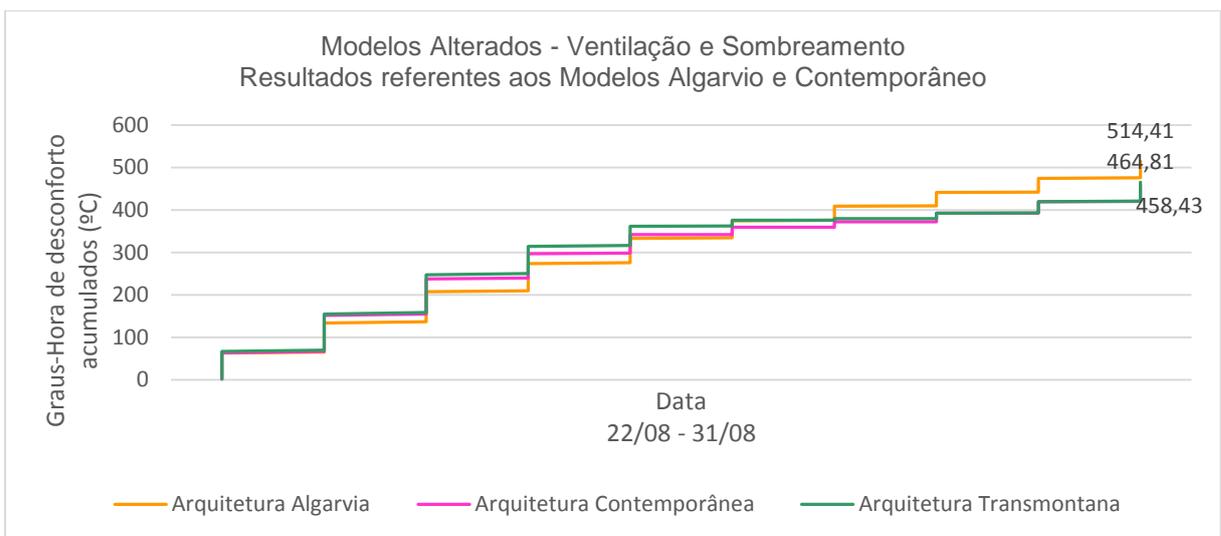


Fig. 5.32 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho de Faro

Pode observar-se que tanto o modelo algarvio como o modelo contemporâneo têm resultados positivos com a implementação simultânea das estratégias passivas, sendo que este último modelo reduz para mais de metade os graus-hora de desconforto acumulados.

A seguir estão representados na Tabela 5.2 a comparação dos resultados obtidos com cada alteração de maneira a evidenciar os seus benefícios.

Tabela 5.2 - Comparação dos valores do Modelo base com os Modelos Alterados - Concelho de Faro

	Concelho de Faro				
	Graus-Hora de desconforto acumulados (°C)				
	Período em análise	Modelo Base	Modelo Alterado Ventilação	Modelo Alterado Sombreamento	Modelo Alterado Ventilação + Sombreamento
Arquitetura Transmontana	22/07 a 31/07	1104,2	852,25	1001,15	776
	22/08 a 31/08	778,87	579,94	622,23	464,81
Arquitetura Algarvia	22/07 a 31/07	641,85	524,37	620,30	505,11
	22/08 a 31/08	737,52	583,81	660,17	514,41
Arquitetura Contemporânea	22/07 a 31/07	1428	855,76	1134,1	646,47
	22/08 a 31/08	1515,5	868,1	458,43	923,82

Pela análise da Tabela 5.2 podemos observar que por comparação o modelo base que melhor se comporta em termos de acumulação dos graus-hora de desconforto é o modelo algarvio, no entanto os modelos transmontano e contemporâneo são os que mais beneficiam com a implementação das estratégias de arrefecimento passivo.

5.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA A CONCELHO DO PORTO

5.3.1. ANÁLISE DOS MODELOS BASE

Após a análise dos resultados obtidos para os modelos base das 3 arquiteturas em estudo no concelho do Porto selecionaram-se dois conjuntos de 10 dias que representam os piores valores para o modelo base transmontano e para os modelos base algarvio e contemporâneo. Para o modelo de arquitetura transmontana esses valores ocorrem entre 1 de agosto e 11 de agosto presentes nas Fig. 5.33 e Fig. 5.34 e para os outros dois modelos base ocorrem entre 1 de setembro e 11 de setembro representados nas Fig. 5.35 e Fig. 5.36.

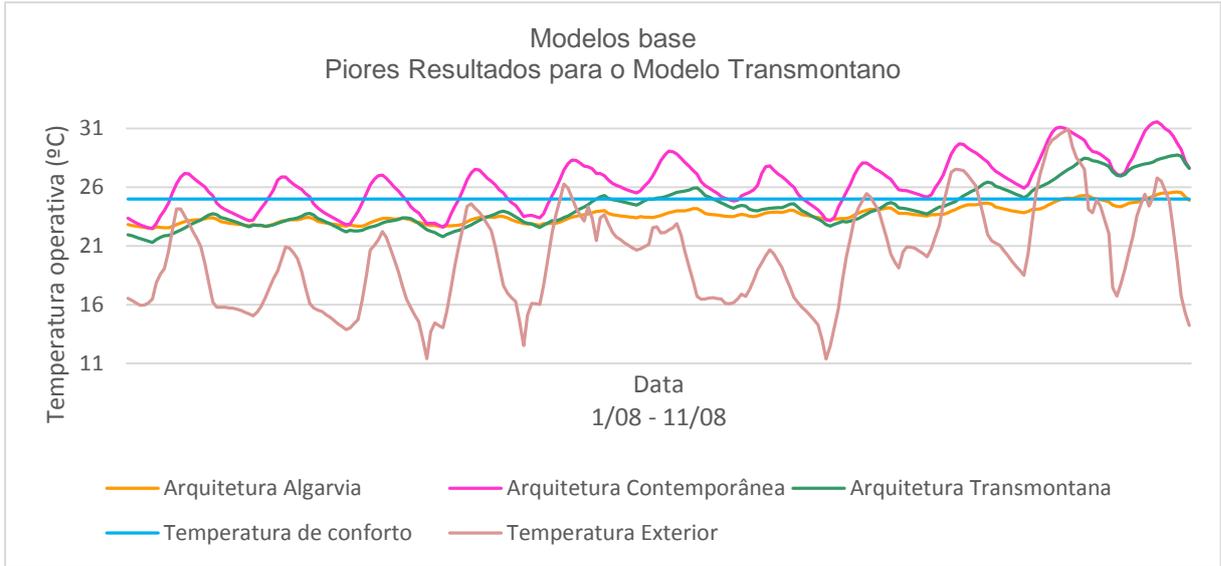


Fig. 5.33 - Temperaturas Operativas do Modelo Base Transmontano – Concelho do Porto

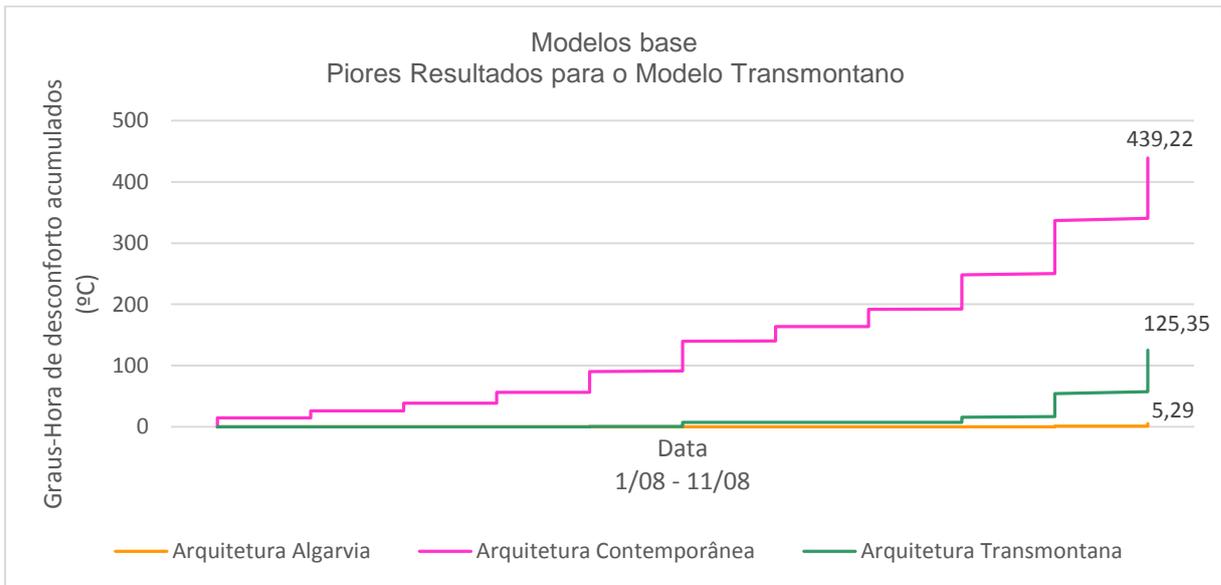


Fig. 5.34 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Base Transmontano – Concelho do Porto

Pode ver-se que as temperaturas no interior do edifício de arquitetura Transmontana mantêm-se maioritariamente abaixo da temperatura de conforto, no entanto nos últimos dias do período de análise encontram-se acima da linha de conforto o que ajuda à acumulação de 125,35 °C de graus-hora de desconforto.

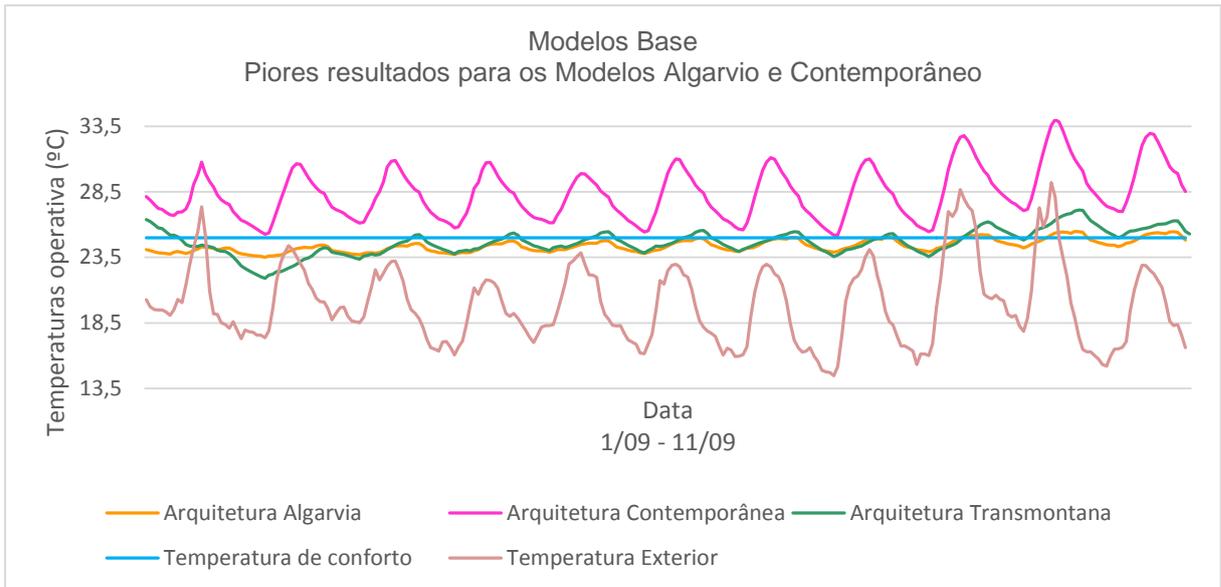


Fig. 5.35 - Temperaturas operativas dos Modelo Base Algarvio e Transmontano – Concelho do Porto

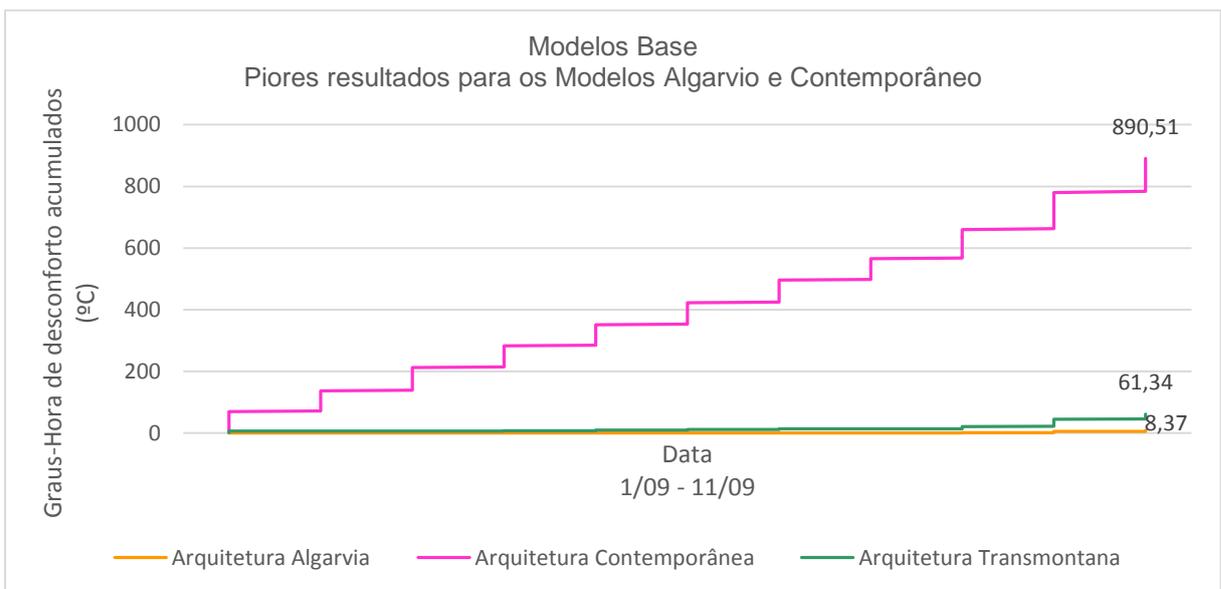


Fig. 5.36 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelo Base Algarvio e Transmontano – Concelho do Porto

Verifica-se que o modelo algarvio apresenta resultados muito positivos quando inserido no concelho do Porto, visto que encontra-se quase sempre abaixo dos 25°C e quando os ultrapasse não atinge temperaturas muito altas perfazendo por isso 8,373 °C de graus-hora de desconforto acumulados. No caso da arquitetura contemporânea apresenta bastantes oscilações de temperaturas operativas, causadas pela grande área de envidraçados, e sempre acima da temperatura de conforto, o que faz aumentar os graus-hora de desconforto acumulados.

5.3.2. ANÁLISE DO MODELO DE ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA ALTERADO

De maneira a ter um procedimento semelhante aos dois concelhos estudados anteriormente aplica-se agora uma estratégia de arrefecimento passivo de forma a diminuir as temperaturas operativas registadas no interior dos modelos e a melhorar o seu conforto, em primeiro lugar o aumento do caudal de ventilação noturna e em segundo o sombreamento do edifício.

De seguida apresentam-se então os resultados nas Fig. 5.37 e Fig. 5.38 para a implementação da primeira estratégia para o período de 1 de setembro a 11 de setembro de maneira a comparar o seu efeito no modelo transmontano.

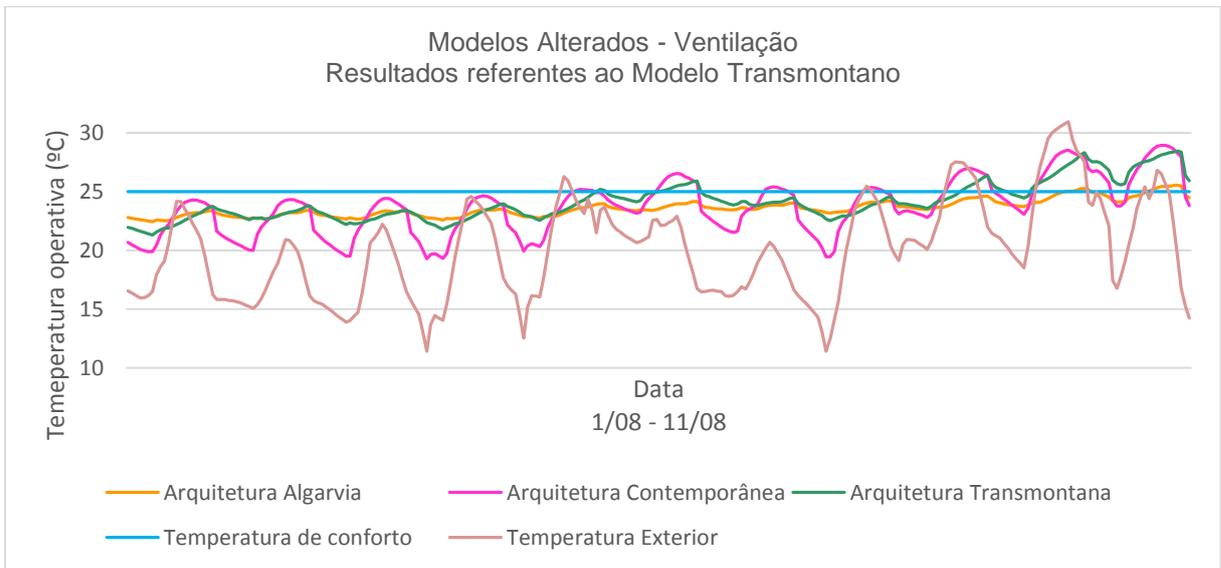


Fig. 5.37 - Temperatura operativas do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação) – Concelho do Porto

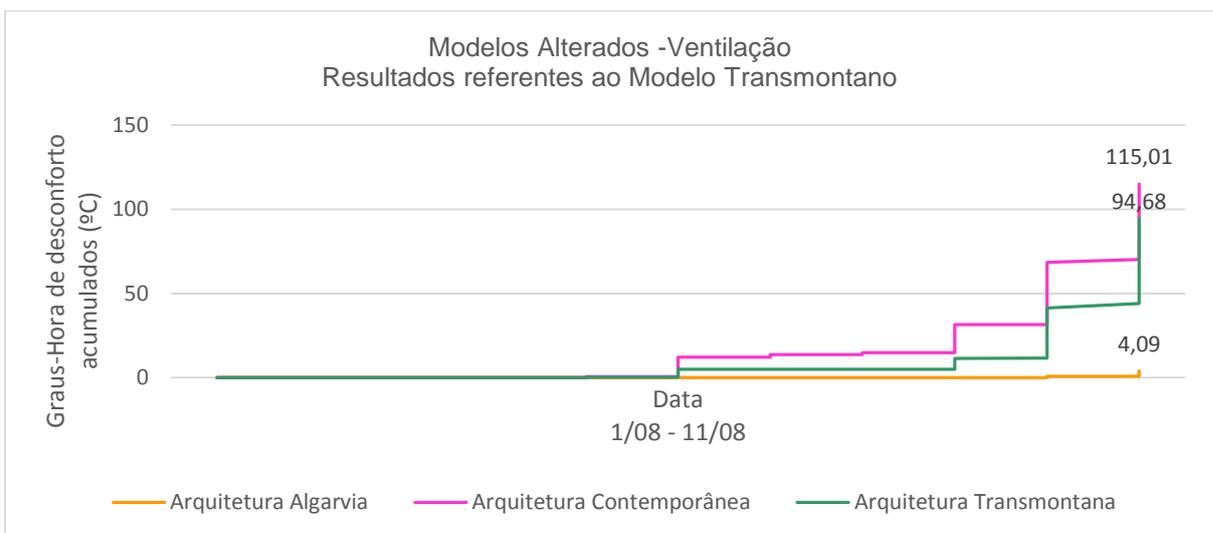


Fig. 5.38 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação) – Concelho do Porto

Verifica-se uma melhoria nas condições de conforto visto que o período em que as temperaturas estão acima dos 25°C diminui e como consequência os graus-hora de desconforto acumulados. Mostra-se, por isso, que a ventilação noturna é importante para que se atinjam temperaturas agradáveis.

De seguida as Fig. 5.39 e Fig. 5.40 indicam os resultados da aplicação do aumento da área de ventilação para os modelos algarvio e contemporâneo.

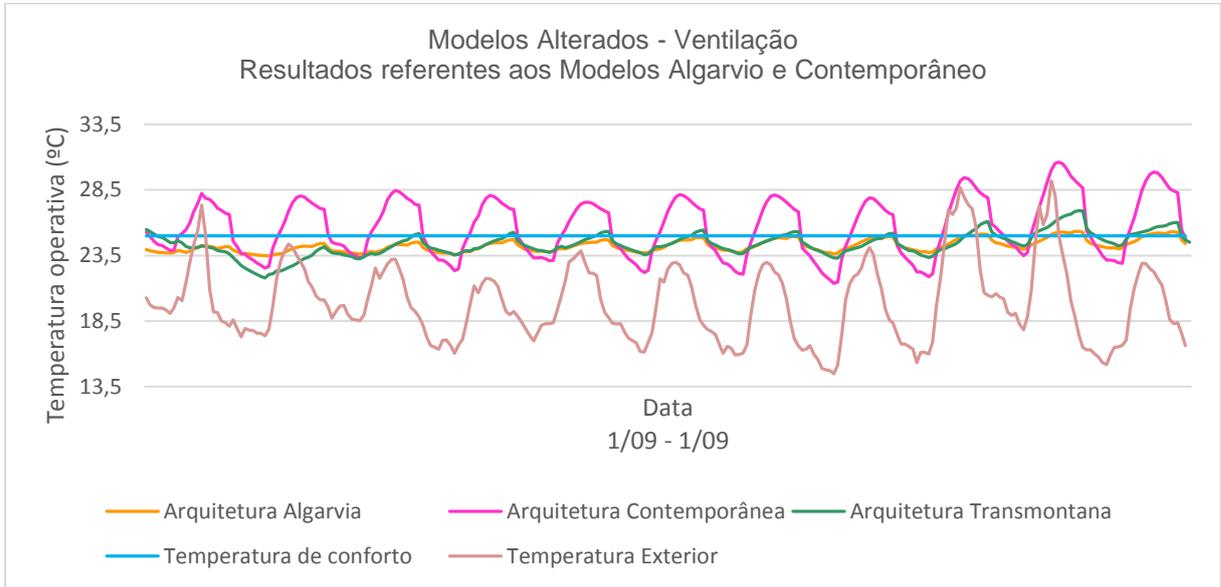


Fig. 5.39 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação) – Concelho do Porto

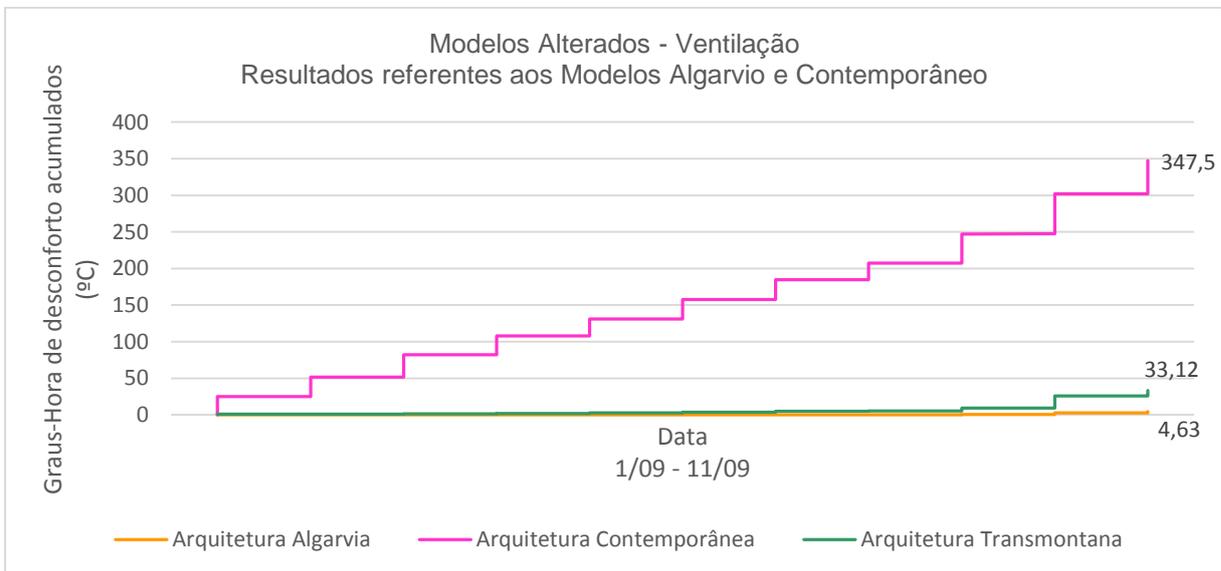


Fig. 5.40 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação) – Concelho do Porto

Houve uma redução significativa dos graus-hora de desconforto acumulados durante o período de estudo para valores perto da metade quer para a arquitetura algarvia quer para a arquitetura contemporânea. O

modelo contemporâneo sofre agora oscilações de temperaturas em torno dos 25°C o que justifica a redução do desconforto no interior do edifício. Mais uma vez as oscilações de temperatura são consequência dos ganhos solares excessivos devido à grande área de envidraçados.

Segue-se agora para a análise das consequências da utilização de meios que fornecem sombra aos edifícios e serão representados nas Fig. 5.41 e Fig. 5.42 no caso do modelo transmontano e nas Fig. 5.43 e Fig. 5.44 no caso das arquiteturas algarvia e contemporânea.

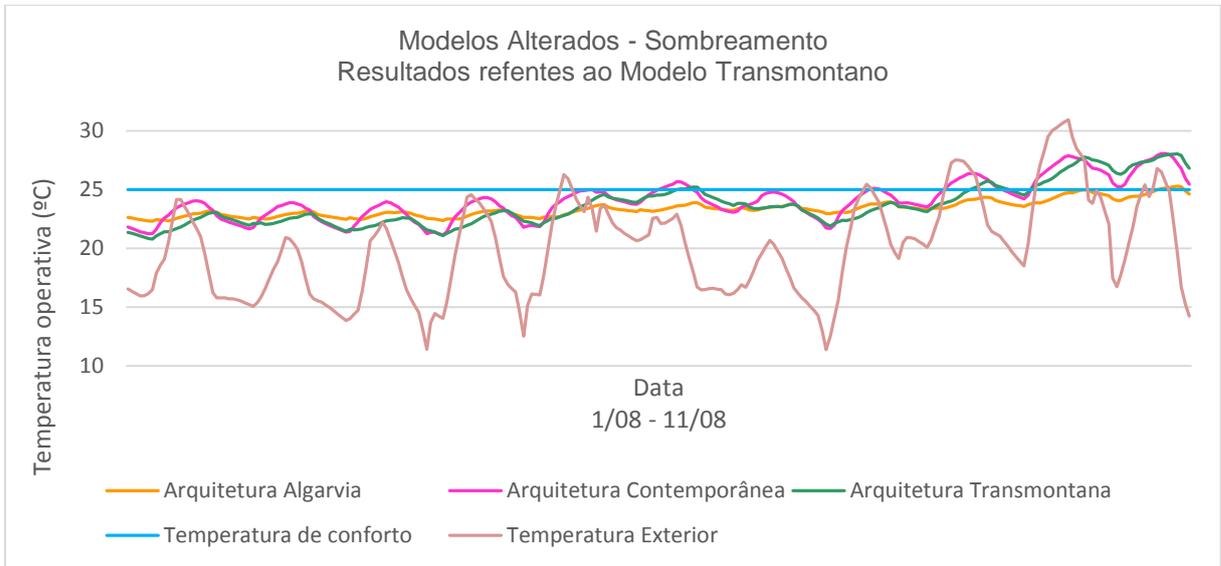


Fig. 5.41 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Sombreamento) – Concelho do Porto

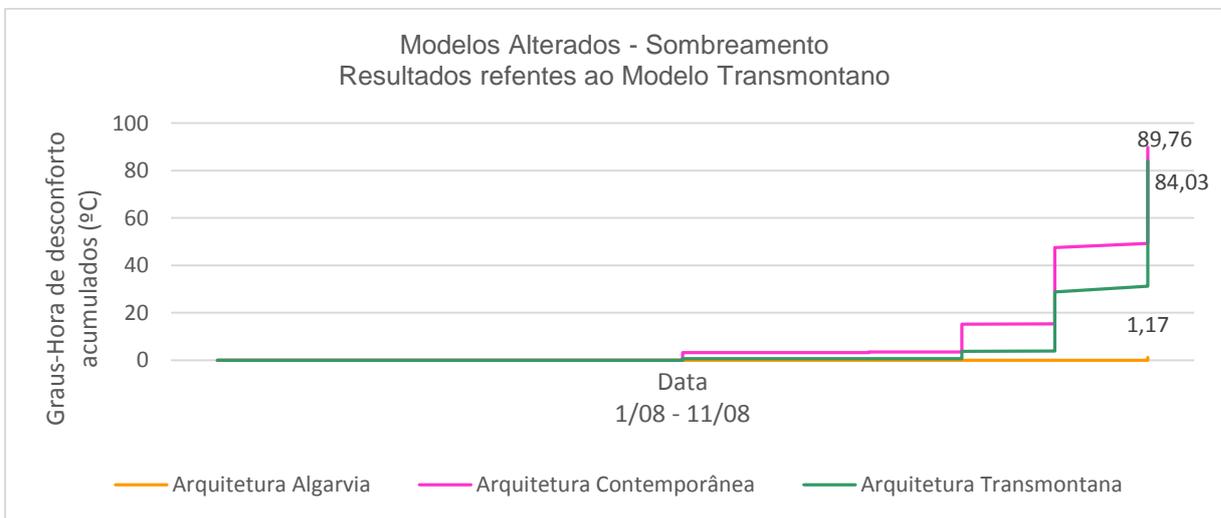


Fig. 5.42 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Sombreamento) – Concelho do Porto

Pode verificar-se que os valores das temperaturas e dos graus-hora desconforto diminuíram no caso do modelo transmontano havendo uma redução de 125,35 °C para 84,034°C de graus-hora de desconforto acumulados durante este período.

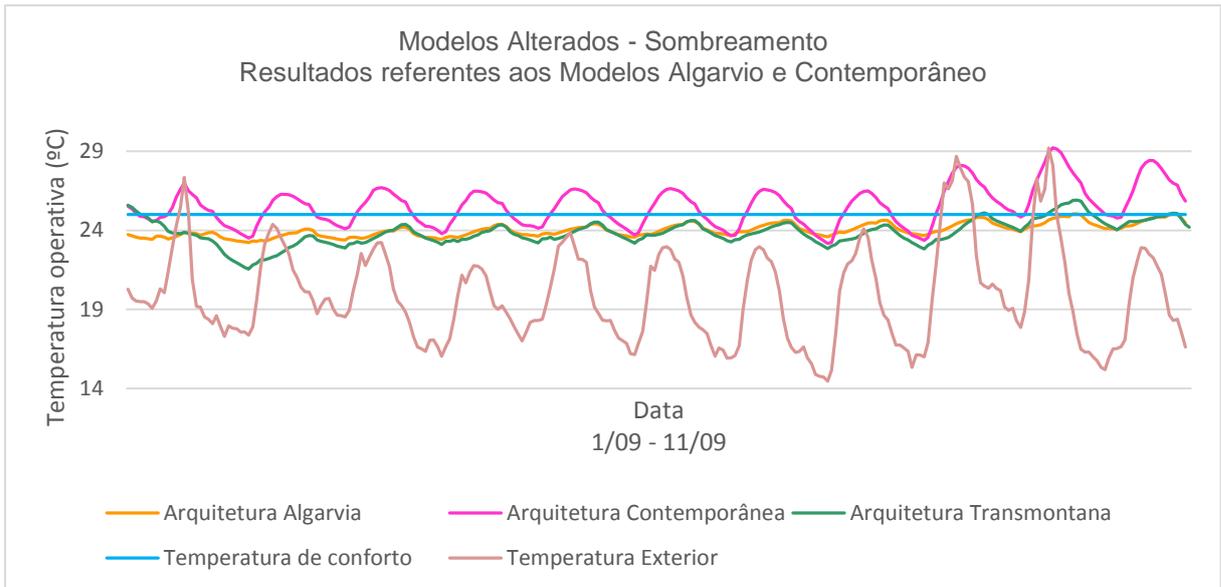


Fig. 5.43 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Sombreamento) – Concelho do Porto

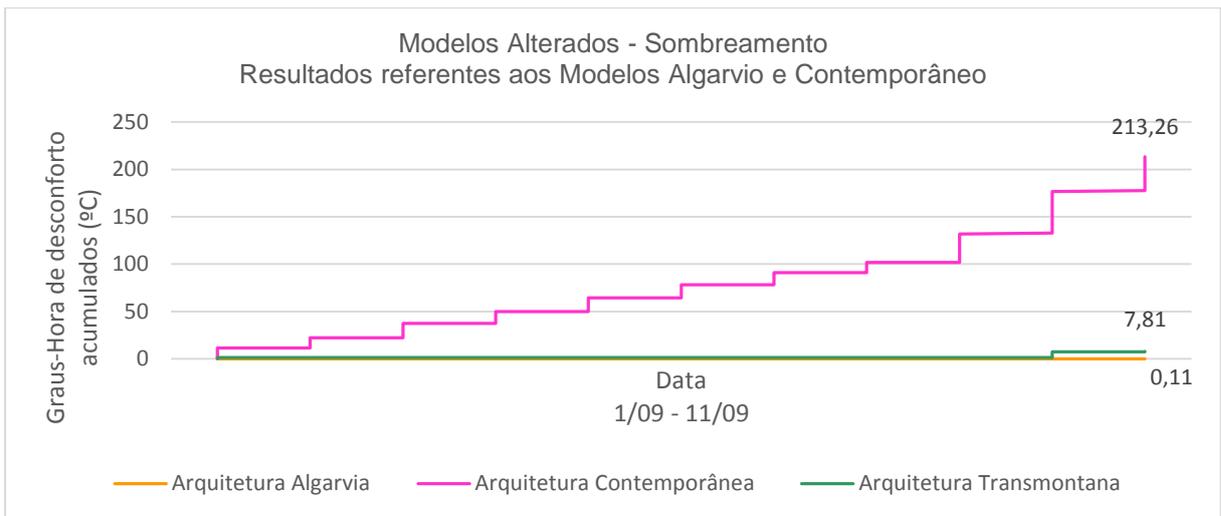


Fig. 5.44 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Sombreamento) – Concelho do Porto

Como se observa o sombreamento do edifício beneficia bastante os modelos algarvio e contemporâneo aumento assim o conforto no seu interior. De salientar que o modelo algarvio praticamente não apresenta temperaturas acima dos 25°C o que leva a graus de desconforto acumulados aproximadamente nulos.

Nas Fig. 5.45 e Fig. 5.46 estão apresentados os efeitos da junção das duas estratégias de arrefecimento passivo para o modelo de arquitetura transmontana e nas Fig. 5.47 e Fig. 5.48 para os modelos algarvio e contemporâneo.

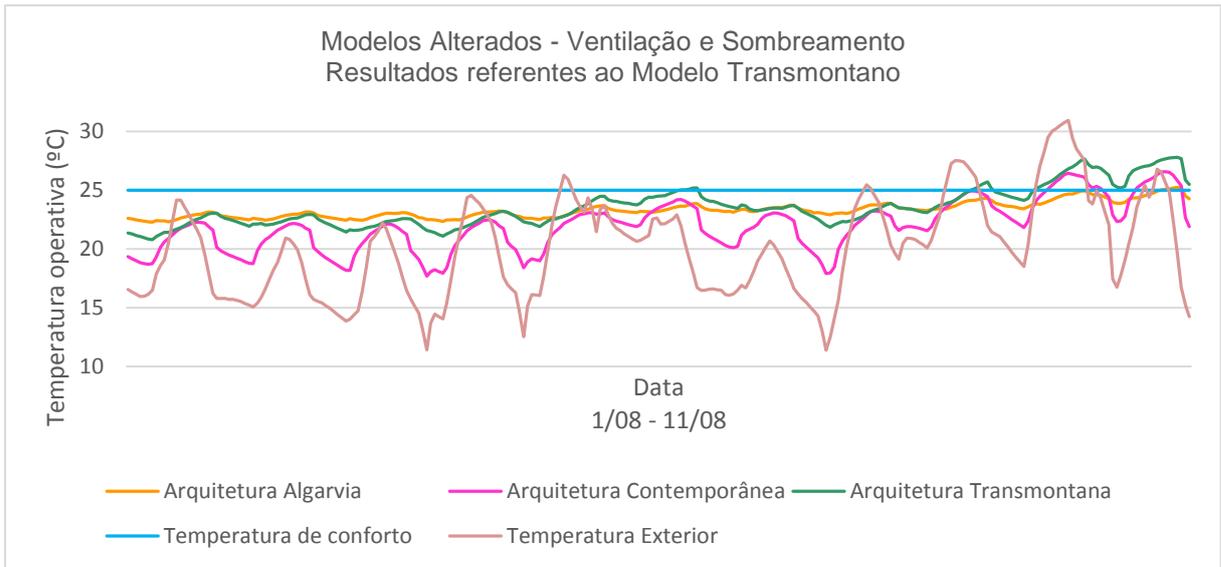


Fig. 5.45 - Temperaturas operativas do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho do Porto

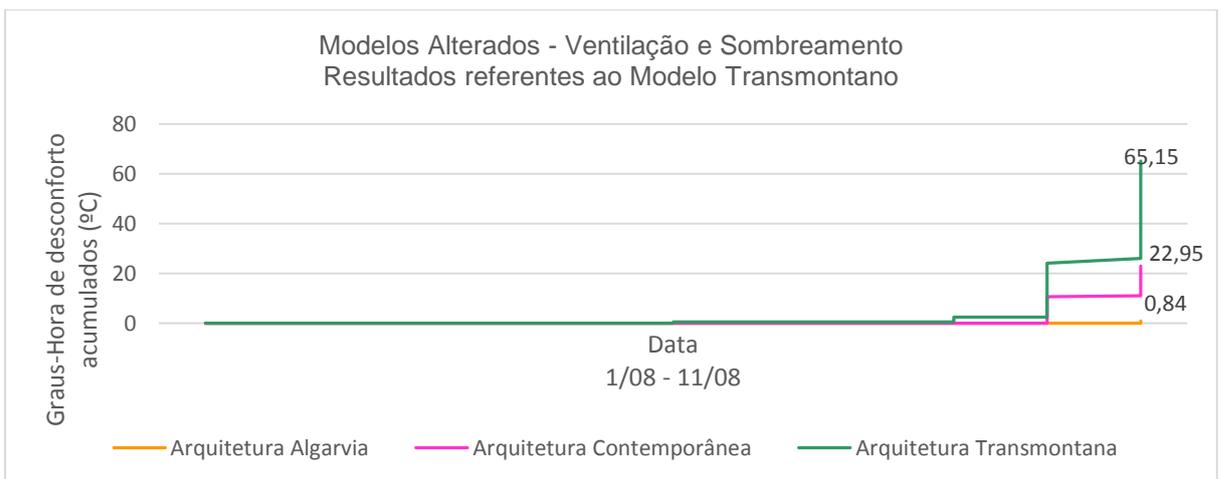


Fig. 5.46 - Graus-Hora de desconforto acumulados do Modelo Transmontano Alterado (Ventilação e Sombreamento) – Concelho do Porto

Como se pode ver os valores das temperaturas operativas baixaram consideravelmente fazendo com que o desconforto seja muito pouco no modelo transmontano.

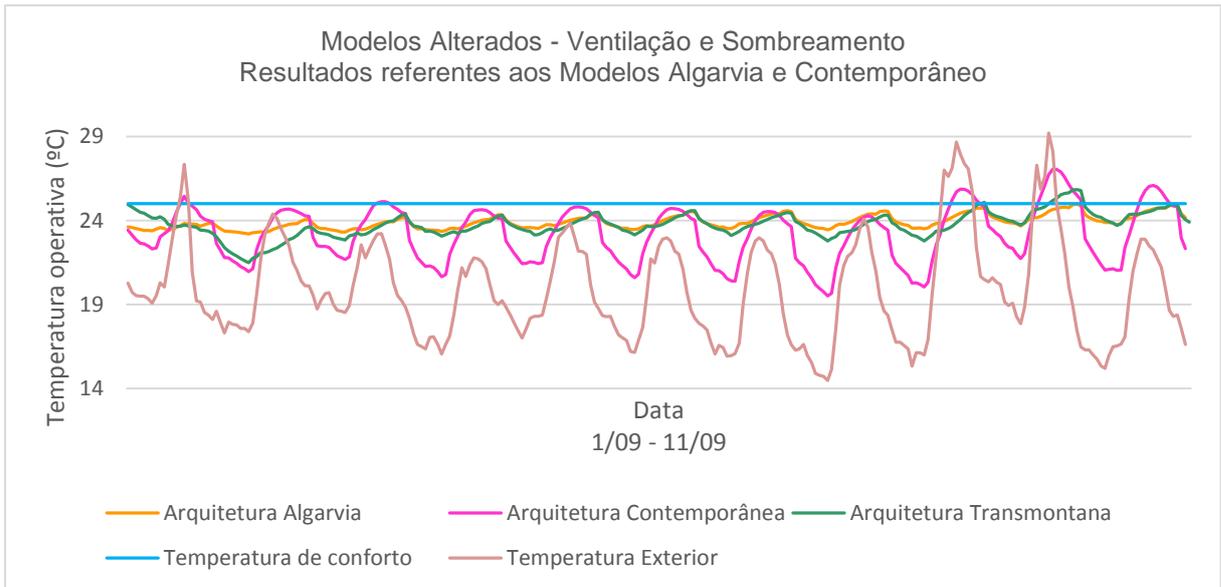


Fig. 5.47 - Temperaturas operativas dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho do Porto

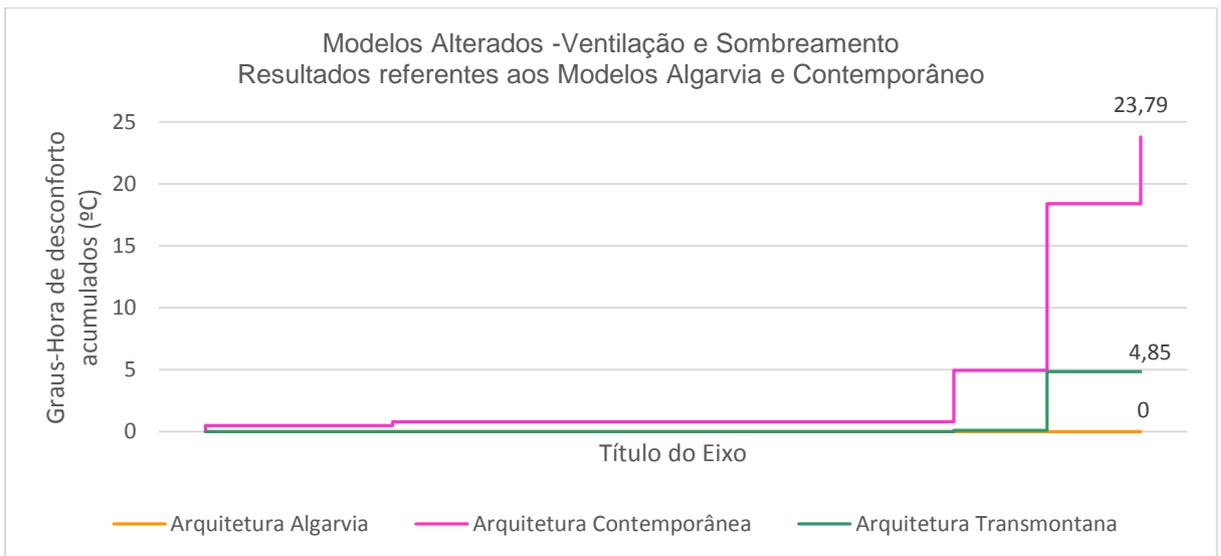


Fig. 5.48 - Graus-Hora de desconforto acumulados dos Modelos Algarvio e Contemporâneo Alterados (Ventilação e Sombreamento) – Concelho do Porto

Os resultados obtidos são positivos principalmente para a arquitetura algarvia onde foi possível tornar nulos os graus-hora de desconforto acumulados. No caso da arquitetura contemporânea também se pode afirmar que aplicação das estratégias passivas foram uma mais-valia pois foi possível baixar as temperaturas operativas no interior e baixar significativamente os períodos de tempo em situação de desconforto. Aqui se confirma que a proteção contra os ganhos solares durante a estação de verão e de extrema importância, mesmo em climas mais amenos como é o caso do clima do Porto.

A Tabela 5.3 apresenta a comparação dos resultados obtidos para cada arquitetura com os diversos modelos de forma a ser mais claro o efeito das alterações provocadas pela implementação das estratégias passivas de arrefecimento.

Tabela 5.3 - Comparação dos valores do Modelo base com os Modelos Alterados - Concelho do Porto

	Concelho do Porto				
	Graus-Hora de desconforto acumulados (°C)				
	Período em análise	Modelo Base	Modelo Alterado Ventilação	Modelo Alterado Sombreamento	Modelo Alterado Ventilação + Sombreamento
Arquitetura Transmontana	01/08 a 11/08	125,35	94,68	84,03	65,15
	01/09 a 11/09	61,34	33,12	7,81	4,85
Arquitetura Algarvia	01/08 a 11/08	5,29	4,09	1,17	0
	01/09 a 11/09	8,37	4,63	0,11	0
Arquitetura Contemporânea	01/08 a 11/08	439,22	115,01	89,76	22,95
	01/09 a 11/09	890,51	347,5	213,26	23,78

A Tabela 5.3 mostra que a arquitetura contemporânea, para o seu modelo base, apresenta resultados pouco positivos, mesmo quando inserido em climas mais amenos como é o caso do clima do concelho do Porto, sendo a arquitetura algarvia que apresenta os melhores valores para todos os modelos.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES FINAIS

No início deste trabalho foi proposto analisar, através de simulações térmicas dinâmicas com a ajuda do Design Builder, de que forma é que dois modelos de arquitetura tradicional portuguesa e um modelo de arquitetura contemporânea influenciam as condições de conforto em edifícios durante a estação de verão, bem como a posterior aplicação de medidas de arrefecimento passivo nesses modelos. Estes modelos foram simulados em três concelhos diferentes: Bragança, Faro e Porto.

Com a análise dos gráficos e tabelas referentes a cada concelho podemos afirmar que, no concelho de Bragança, o modelo base que apresenta melhores resultados é o modelo de arquitetura algarvia e logo a seguir o modelo transmontano, no entanto há que ter em conta que este estudo apenas representa o comportamento de cada arquitetura na estação de verão, o que não significa que estas conclusões sejam as mesmas para a estação de inverno. No que diz respeito ao comportamento da arquitetura contemporânea pode dizer-se que apresenta resultados muito negativos em relação aos graus-hora de desconforto acumulados, o que se traduz num sobreaquecimento no interior do edifício devido a ganhos solares excessivos em grande parte causados pela grande área de envidraçados, comprometendo assim o conforto dos utilizadores.

No concelho de Faro verifica-se que, em termos comparativos, a arquitetura do modelo base algarvio é o que se adapta melhor ao clima do sul do país, apesar das temperaturas operativas no interior do edifício estarem sempre acima da temperatura de conforto, 25°C. Sem dúvida que o modelo base de arquitetura contemporânea é o que tem piores resultados, sendo uma das razões desse comportamento a quantidade de envidraçados que possui, cerca de 57,35 m², e nos quais incidem grandes quantidades de radiação solar que provocam o aumento de temperatura interior que não é suficientemente libertado durante a noite.

No concelho do Porto os modelos base de arquitetura tradicional apresentam valores satisfatórios dos quais se destacam os resultados da arquitetura algarvia que mostram graus-hora de desconforto acumulados baixos ou em alguns períodos nulos. Mais uma vez o modelo base contemporâneo, em certos períodos, exhibe números que indicam um elevado sobreaquecimento no interior do edifício pois em relação aos outros dois modelos apresenta maior percentagem de envidraçados.

Após o estudo da implementação das estratégias de arrefecimento passivo escolhidas (maior área de ventilação noturna e sombreamento), quer quando atuam em separado, quer quando atuam em conjunto, verifica-se que há claramente uma diminuição das temperaturas operativas interiores e consequentemente dos graus-hora de desconforto acumulados, tornando dessa forma melhores as condições de conforto em todos os modelos de arquitetura analisados.

Em qualquer um dos concelhos a aplicação destas duas estratégias foi benéfica para os três modelos mas em relação ao modelo de arquitetura contemporânea observam-se melhorias bastante consideráveis, principalmente no concelho de Faro onde os ganhos solares eram muito mais significativos.

De notar que a inércia térmica forte, característica da arquitetura tradicional transmontana, é bastante importante quando a temperatura exterior reduz e principalmente quando aliada a uma ventilação noturna eficaz, beneficiando as condições de conforto dos utentes. No entanto, a inércia térmica por si só não traduz melhorias no conforto como se pode verificar pelo modelo de arquitetura contemporânea que, apesar de ter uma inércia térmica forte, apresenta resultados negativos devido a ganhos solares excessivos, ou seja, é necessário haver um equilíbrio de todas as componentes de um edifício.

É importante, também, ter em consideração que de todas as arquiteturas a que apresenta um melhor comportamento é a arquitetura algarvia apesar de ter uma inércia térmica média. Neste caso prevalece o facto desta arquitetura ser a que tem menor área envidraçada das 3 arquiteturas apresentadas, e como tal, a que tem menos ganhos solares, o que indica que este é um dos fatores mais importantes a controlar para se atingir conforto em edifícios durante o verão.

Pode-se dizer que a observação e o estudo das arquiteturas tradicionais mostra que os conhecimentos adquiridos em cada região ao longo da evolução da construção devem ser tidos em grande conta e retirar o máximo partido dos seus ensinamentos, uma vez que estas arquiteturas foram concebidas através das vivências, experiências e recursos disponíveis ao longo do tempo da população que nelas habitava. É importante não esquecer esse saber adquirido e transmiti-lo nas construções futuras.

Também se pode afirmar que a construção de edifícios com arquiteturas mais modernas podem ser uma escolha, mas desde que estudadas com pormenor as suas características e a sua adaptação ao clima onde se inserem, desde que sejam implementados meios para reduzir as consequências que este novo tipo de arquitetura acarreta.

Recomenda-se que, nos países com condições climáticas semelhantes a Portugal, como é o caso dos países do Sul da Europa, na altura de projeto é importante pensar:

- Na criação de elementos de sombreamento durante o verão;
- Num equilíbrio da área e número de envidraçados.
- Na criação de condições para a ventilação noturna, sempre que a temperatura exterior seja inferior à temperatura interior;
- Na orientação mais favorável.

6.2. PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Como propostas futuras que complementem o estudo feito sugere-se que se faça uma análise semelhante mas agora em relação à estação de inverno, ou seja, analisar de que forma as arquiteturas tradicionais portuguesas e modelos de arquitetura contemporânea têm influência no conforto de inverno em edifícios, bem como os efeitos da aplicação de estratégias passivas de aquecimento nas condições de conforto em edifícios.

Recomenda-se também o estudo do conforto de verão em edifícios de comércio e escritórios, tendo em conta que este tipo de edifícios tem uma tendência natural para um maior gasto de energia com o arrefecimento do mesmo, devido não só aos níveis de ocupação mas também pela natureza dos aparelhos

e das atividades praticadas, logo a implementação de estratégias passivas de arrefecimento teria muito mais impacto na poupança de energia.

Também se sugere um estudo semelhante ao realizado neste trabalho mas mais completo que alie o conforto de verão e o conforto de inverno, onde sejam estudadas quais as melhores recomendações de projeto para o clima de Portugal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

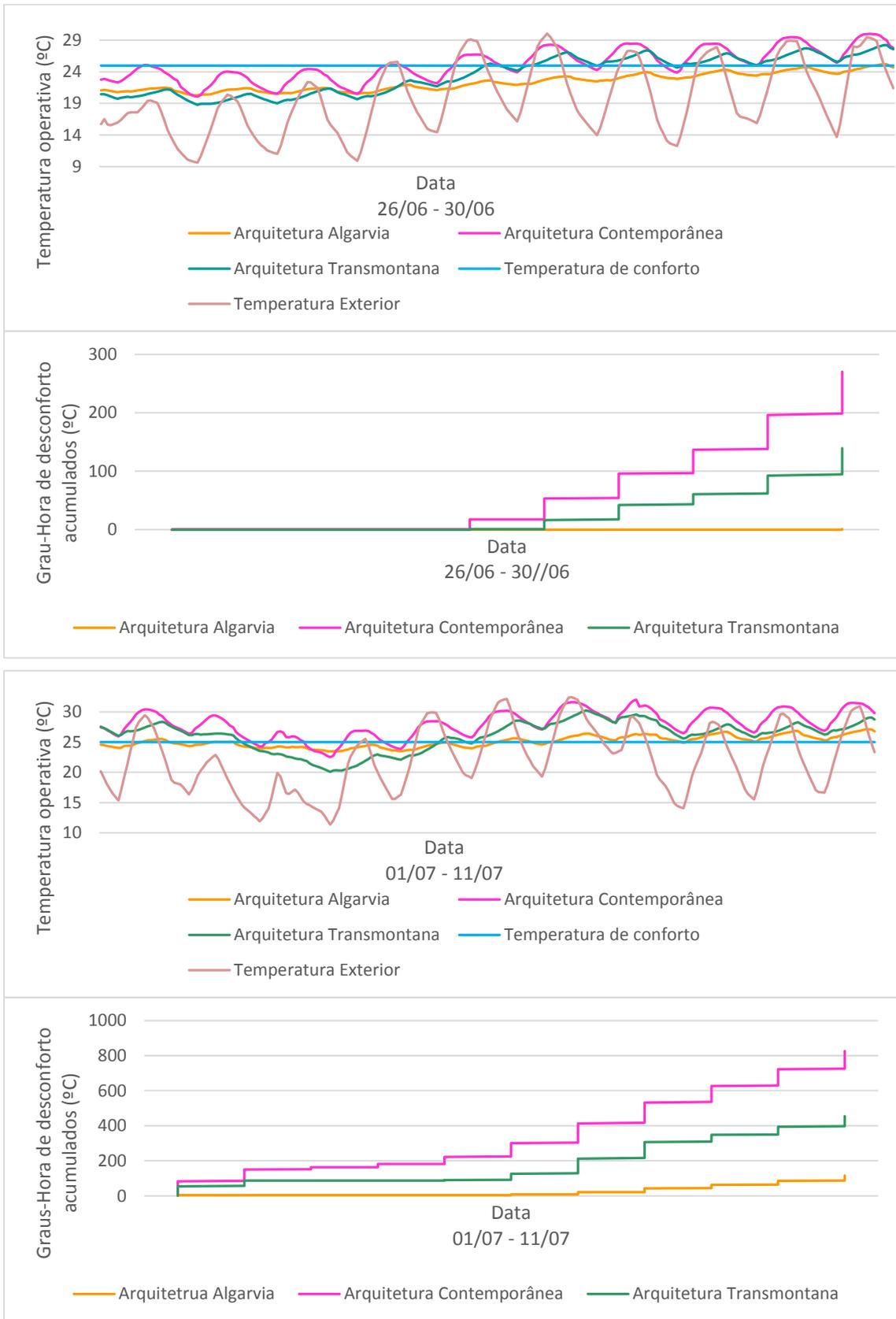
1. https://c1.staticflickr.com/5/4032/4643004910_1b0b42b711_b.jpg ., Maio 2015
2. Pires, A.(2013), *Análise de paredes de tabique e de medidas de reforço estrutural; estudo numérico*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
3. Vaz, A.J.F, Débora Ferreira, Eduarda Luso, Silvia Fernandes (2013), *Manual BIOURB-Manual para a conservação e reabilitação da diversidade bioconstrutiva.*, Câmara Municipal de Bragança.
4. Portugueses, A.d.A (1980)., *Arquitetura Popular em Portugal*, A.d.A. Portugueses.
5. Ürge-Vorsatz, Diana, Luisa F. Cabeza, Susana Serrano, *Heating and cooling energy trends and drivers in buildings*. Elsevier. 06/09/2014. Elsevier. p. 14.
6. <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/o-paradigma-da-eficiencia-energetica-dos-edificios>. Abril 2015.
7. *Directiva 2010/31*, 19/05/2010, Jornal Oficial da União Europeia.
8. Decreto-Lei 118/2013, *Sistemas de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)*. 2013.
9. Decreto-Lei 118/2013, *Regulamento de Desempenho Energéticos de Edifícios de Habitação (REH)*. 2013.
10. Decreto-Lei 118/2013, *Regulamento do Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)*. 2013.
11. ANSEI/ASHRAE 55-2010, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. 2010.
12. Fanger, P.O. (1970), *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw.
13. Tirone, L (2007)., *Construção Sustentável - Soluções eficientes hoje, a nossa riqueza amanhã*. Tirone Nunes.
14. Moita, F. (2010), *Energia Solar Passiva*. Argumentum.
15. Santamouris, M. and D. Asimakopoulos (1996), *Passive Cooling of Buildings*. London: James & James.
16. Soares, M.P.P. (2013), *Estudo de sistemas solares passivos de fachada. Simulação numérica do seu comportamento térmico*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto .
17. Abrantes, J.B.C. (2012), *Implicações do conforto térmico no consumo energético—uma hipótese de modelo adaptativo aplicada ao Verão*. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.
18. Verdelho, S.I.C. (2012), *Avaliação do potencial de arrefecimento de edifícios através da ventilação natural*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
19. Freitas, Vasco P. de (2008)., *Recomendações práticas para a implementação de sistemas de ventilação mistos em edifícios de habitação*.
20. http://ayudahispano-3000.blogspot.pt/2015/02/naturaleza-desarrollo-sostenible_69.html. Maio 2015.
21. <http://www.designbuilder.co.uk/>, Março 2015
22. Fernandes, J.E. (2012), *O contributo da arquitetura vernacular portuguesa para a sustentabilidade dos edifícios*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho.
23. Sousa, F.M.F.d.(2012), *Fachadas ventiladas em edifícios: tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

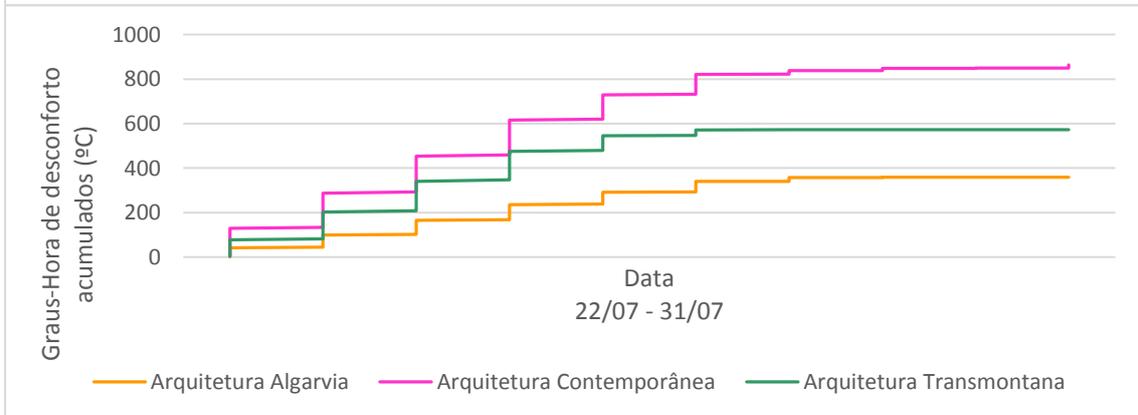
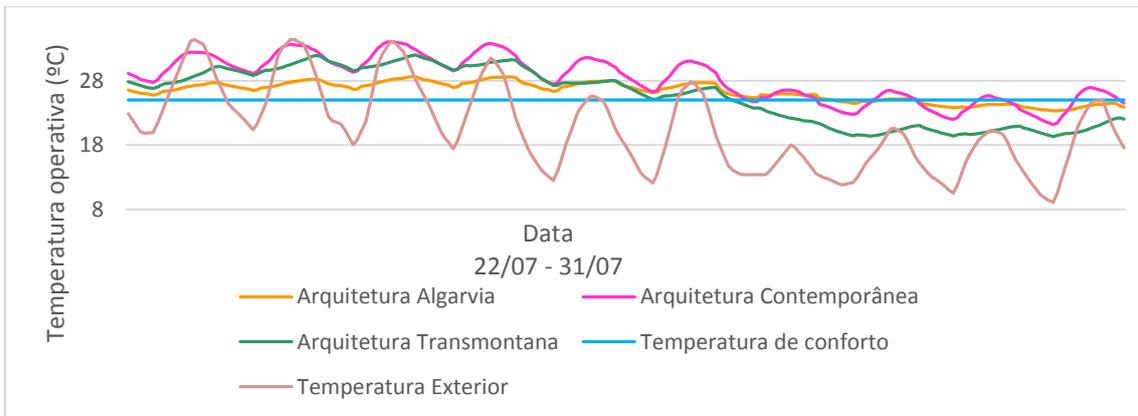
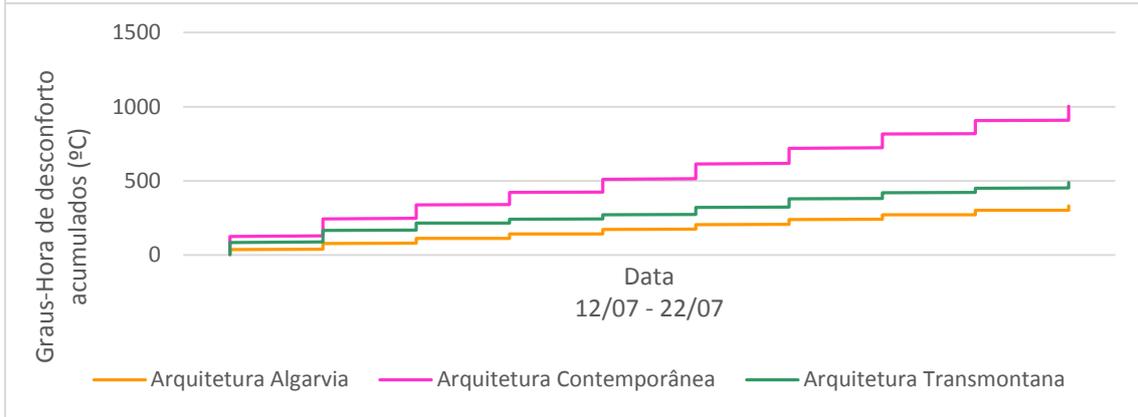
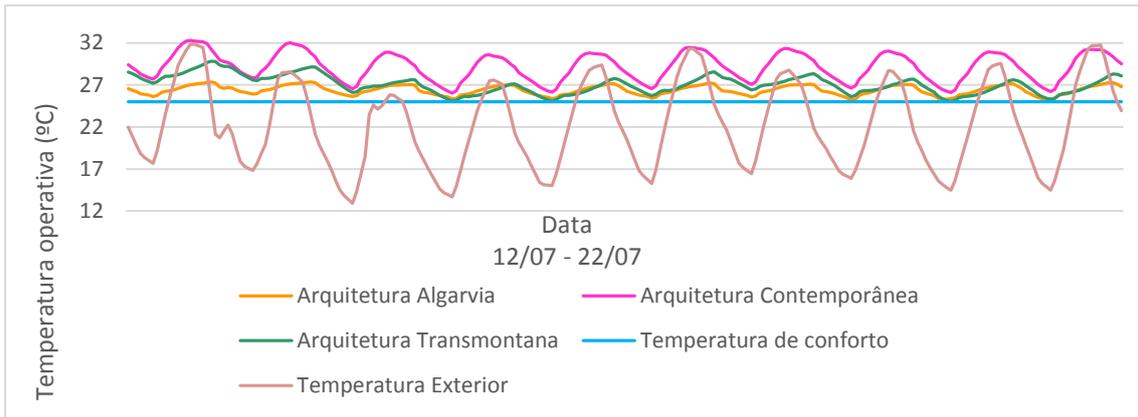
24. Santos, C.A.P.d. and R. Rodrigues (2009), *Coefficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente de edifícios. Soluções construtivas de edifícios antigos. Soluções construtivas das Regiões Autónomas*. LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

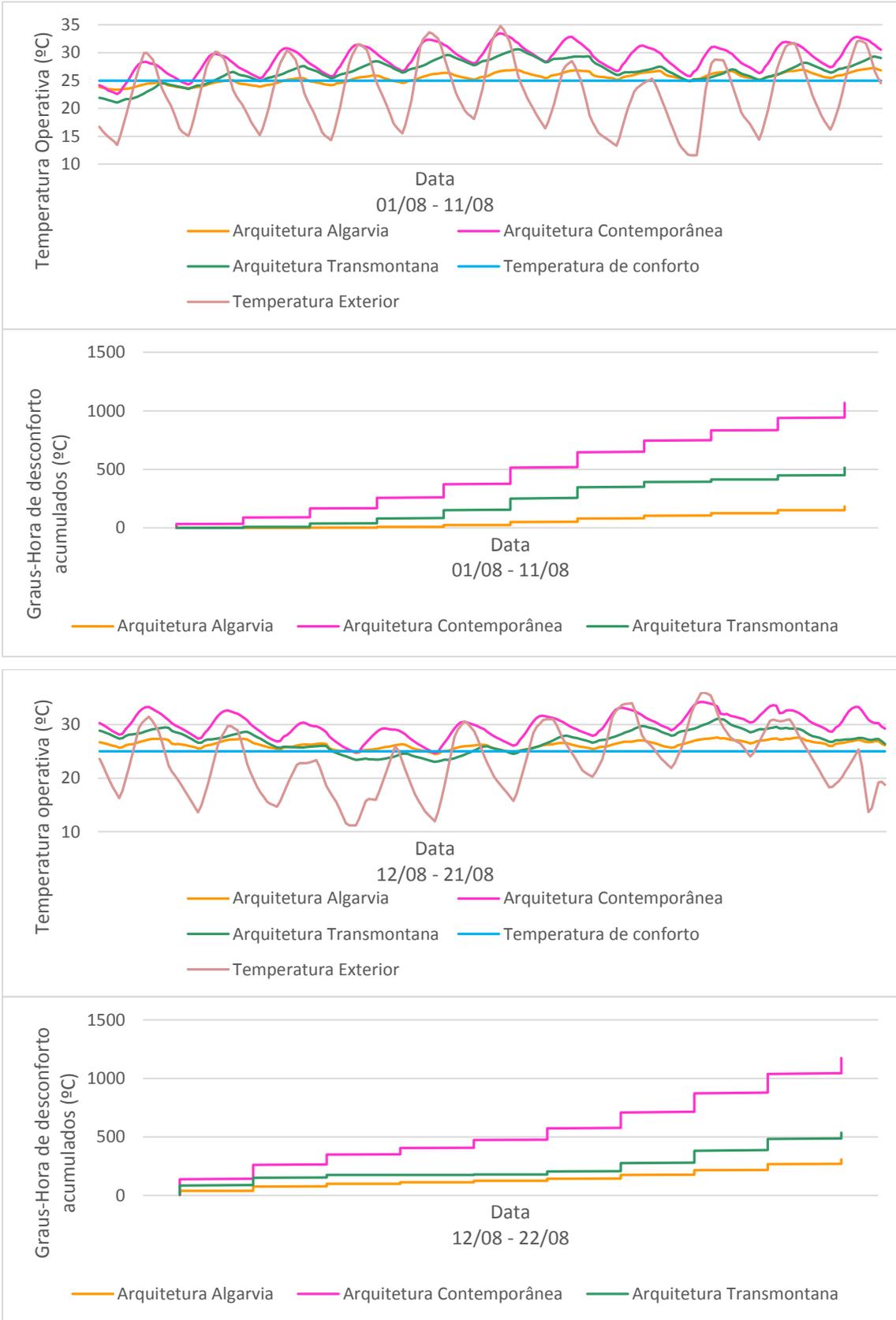
ANEXOS

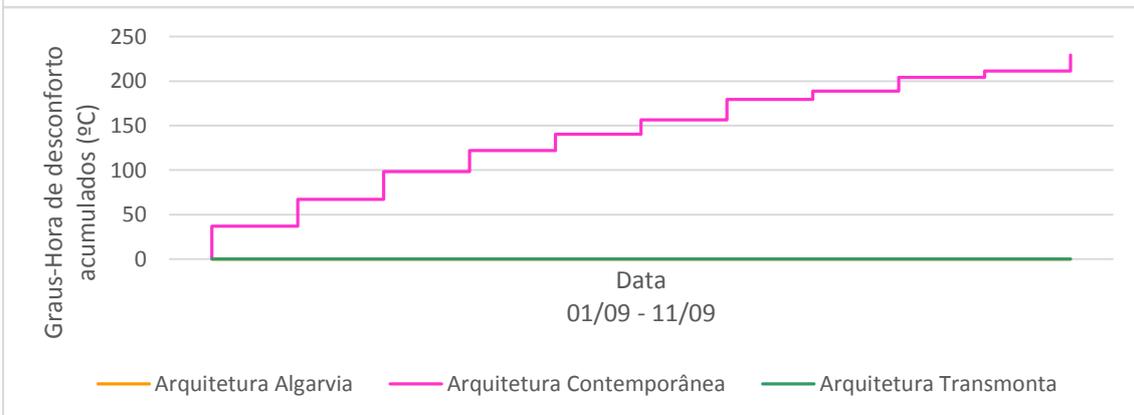
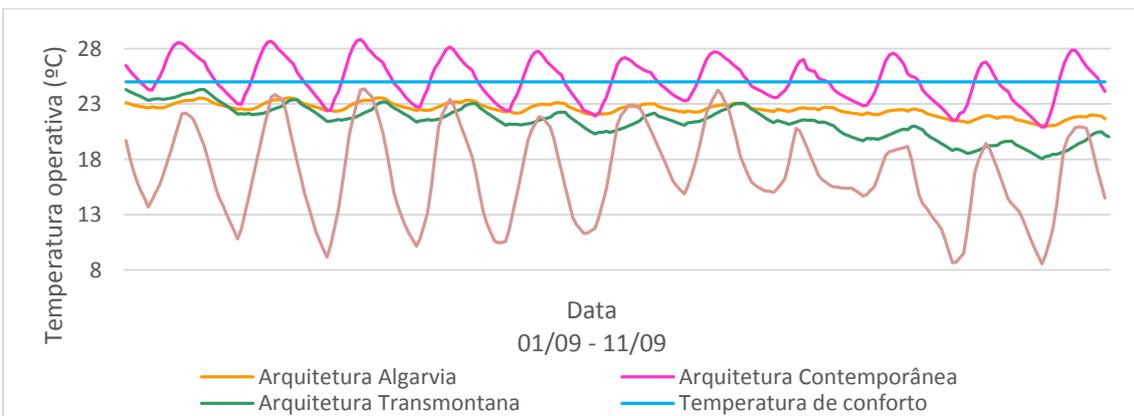
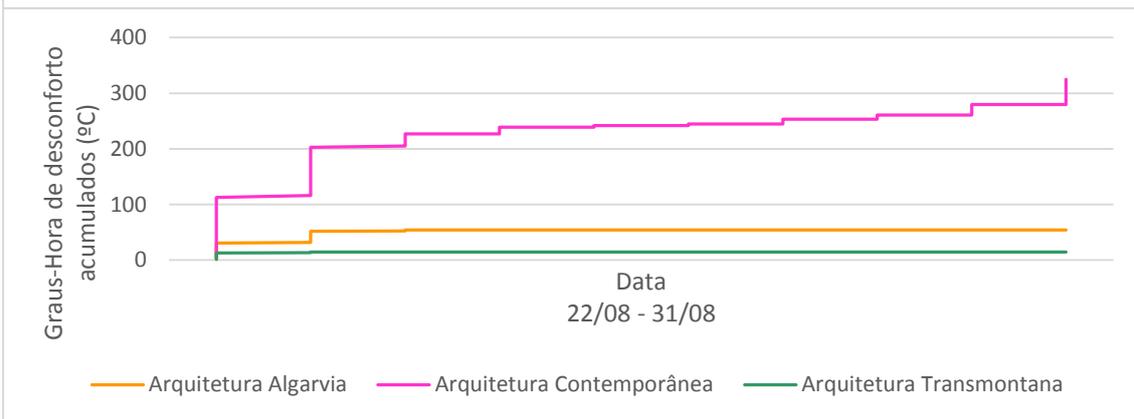
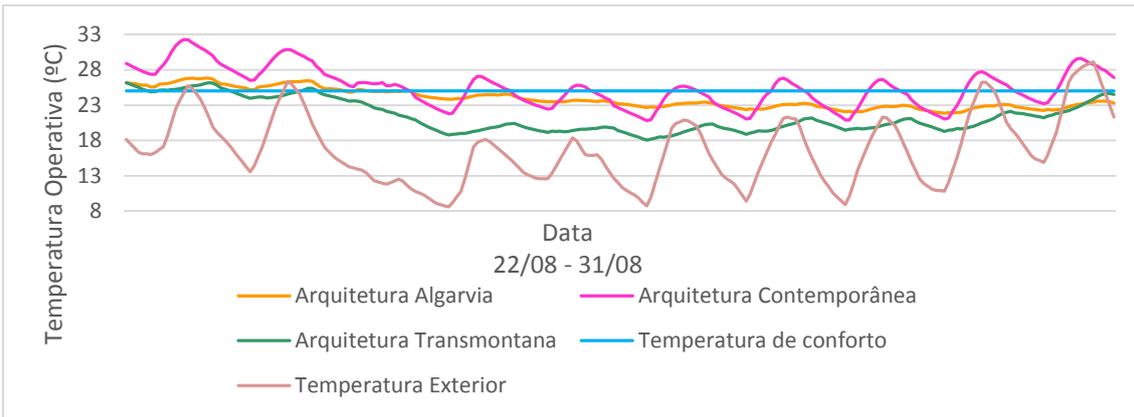
Gráficos da concelho de Bragança

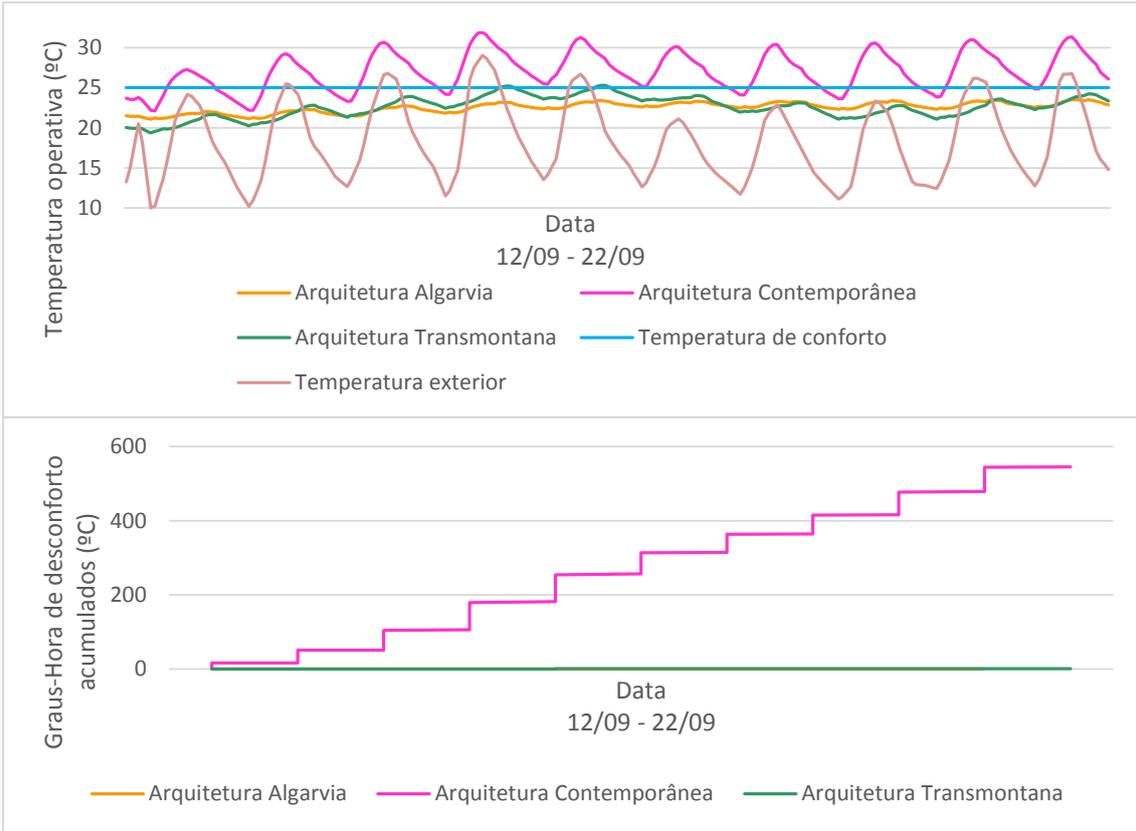
Modelos Base



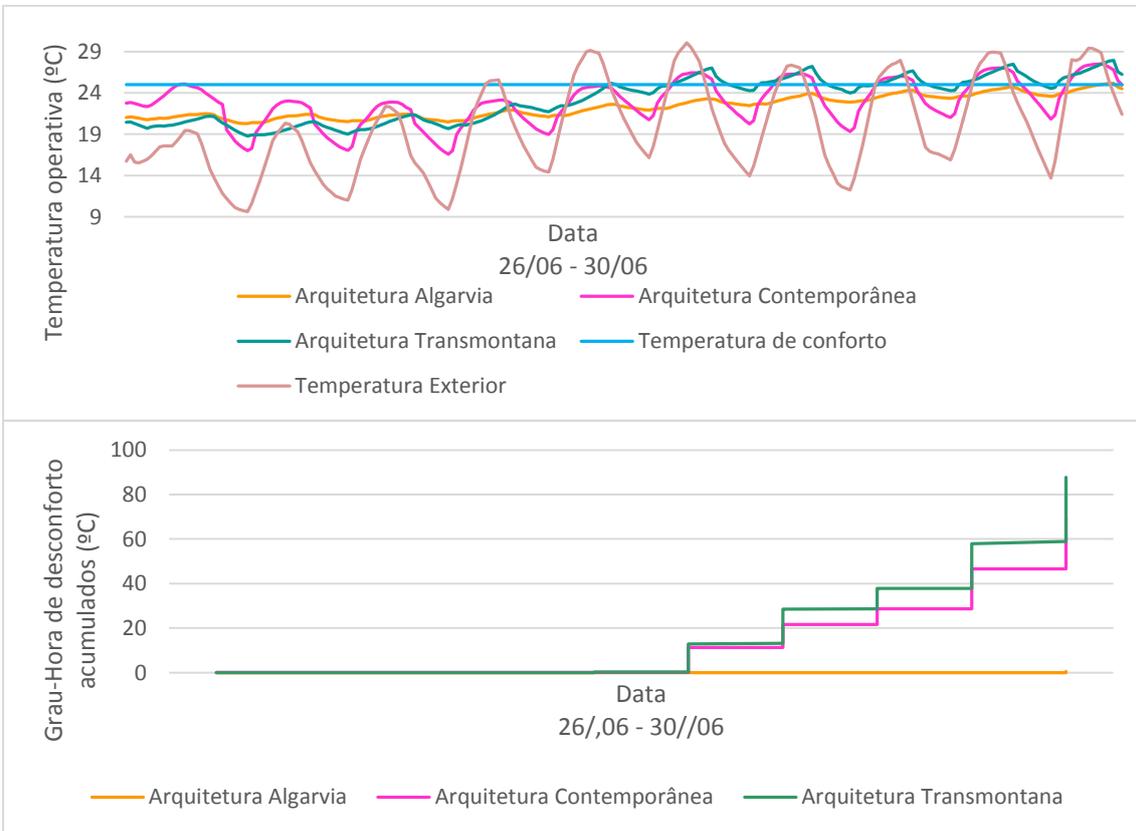


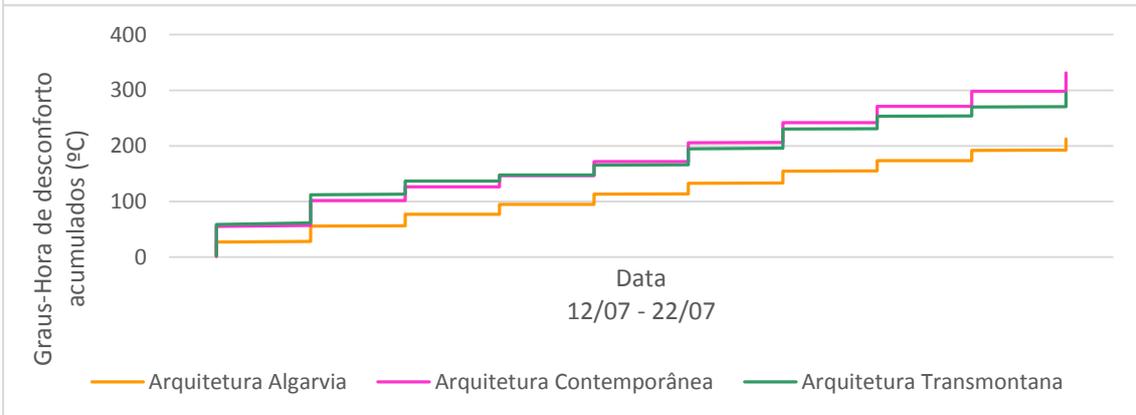
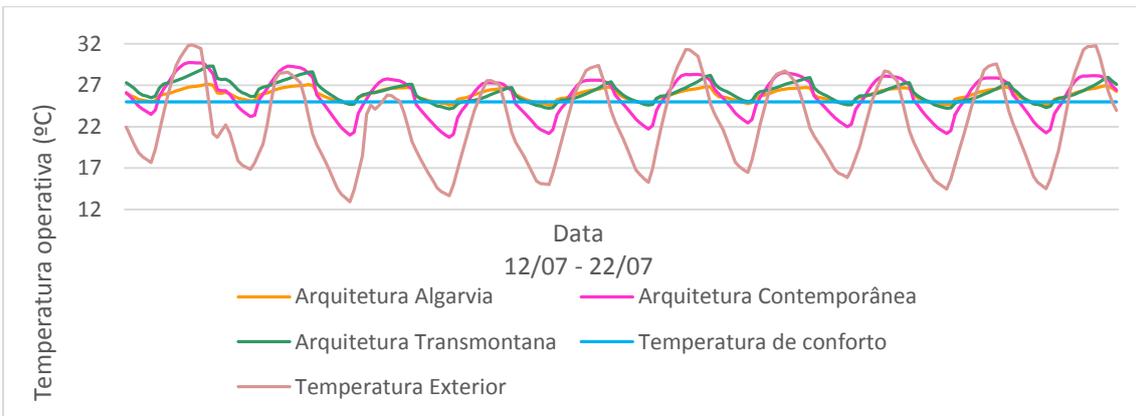
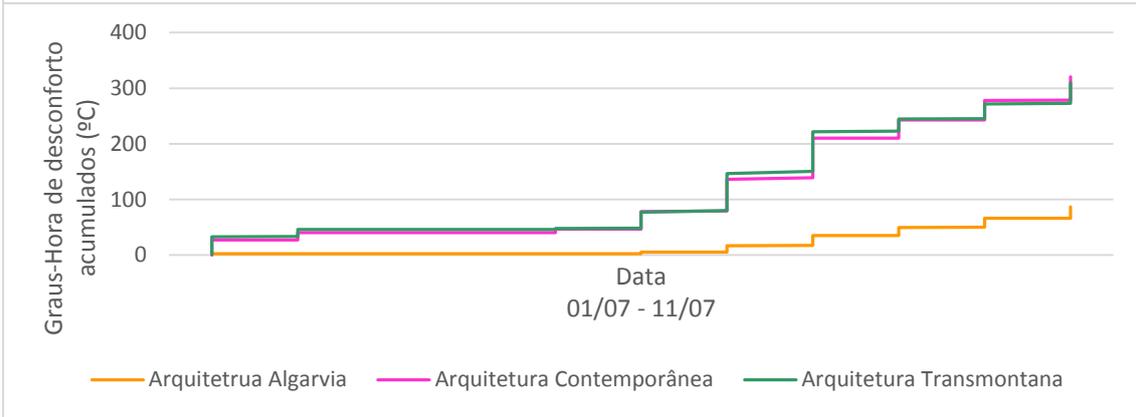
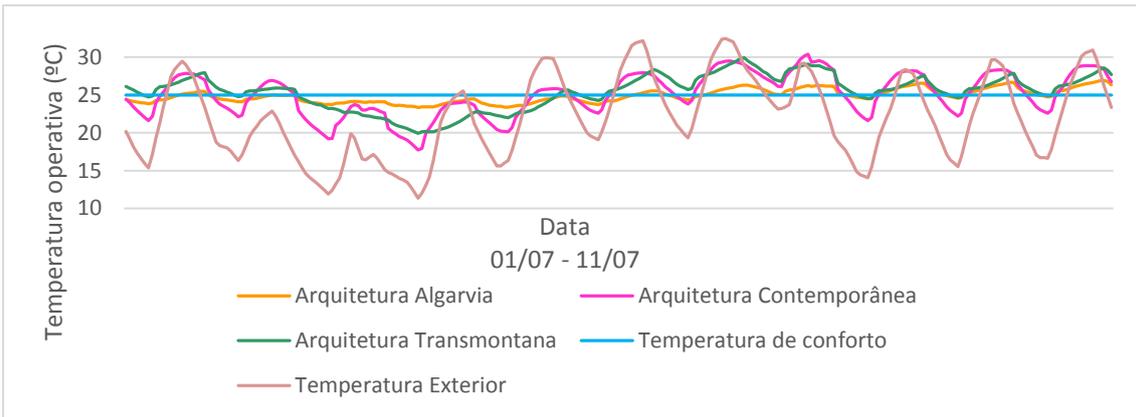


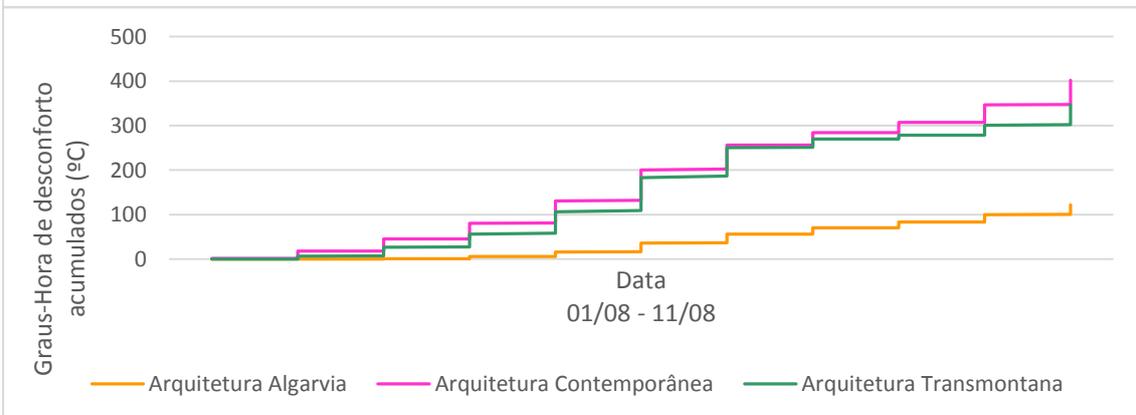
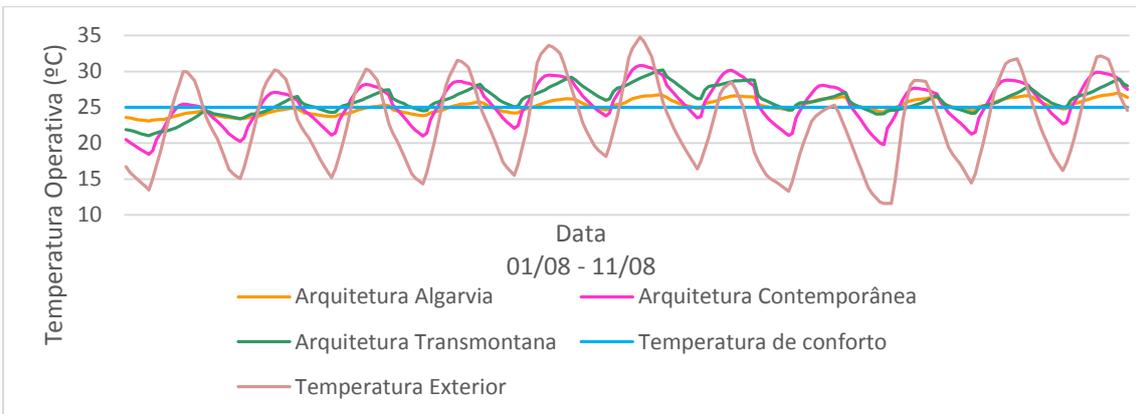
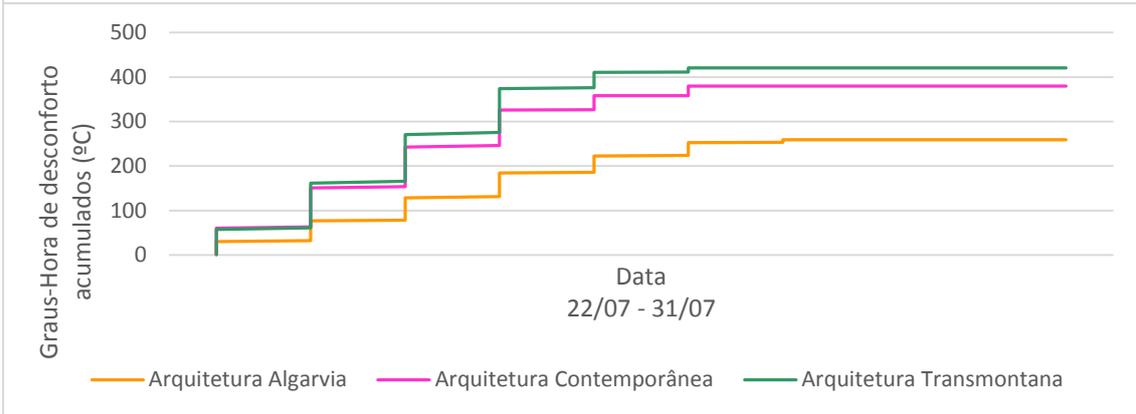
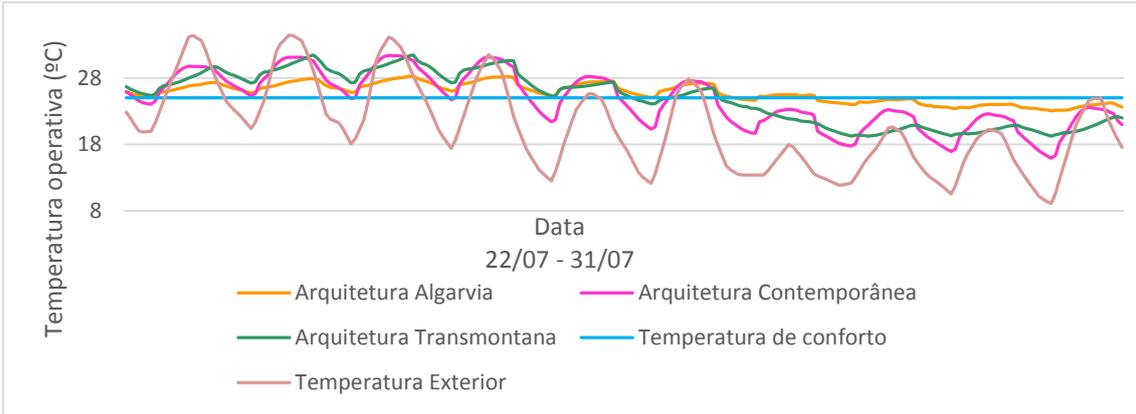


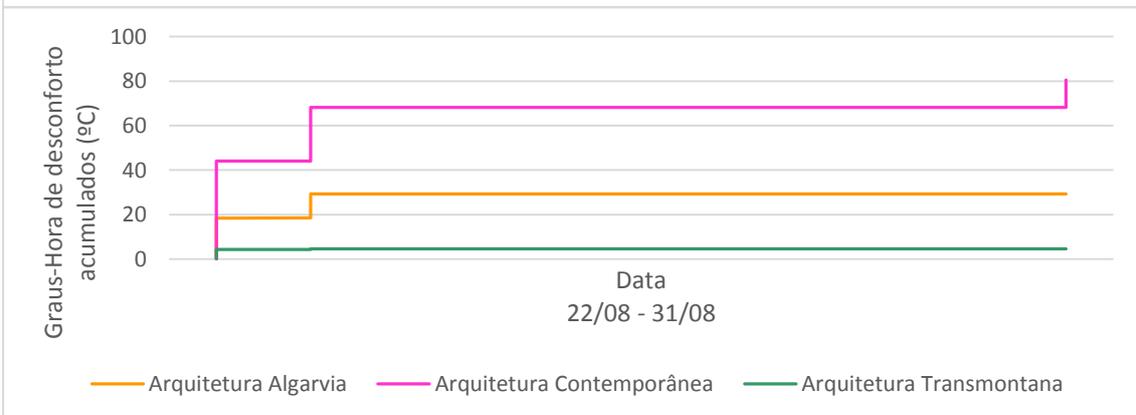
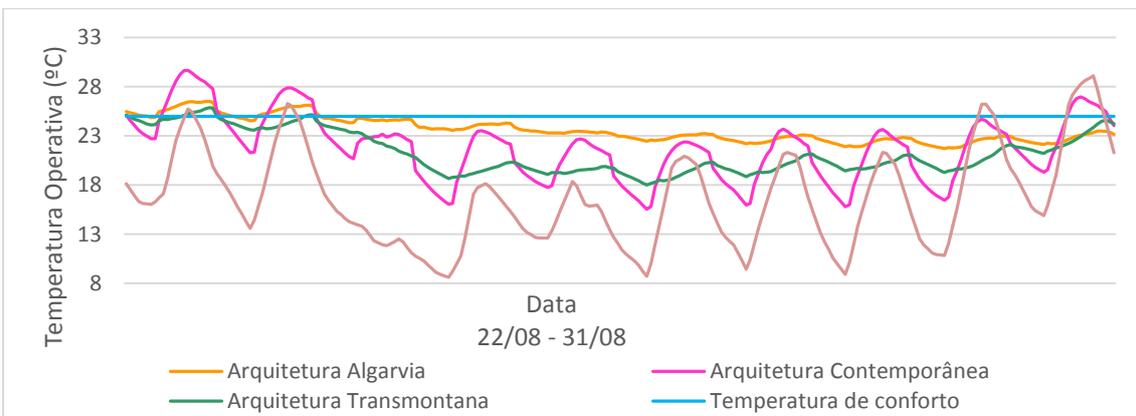
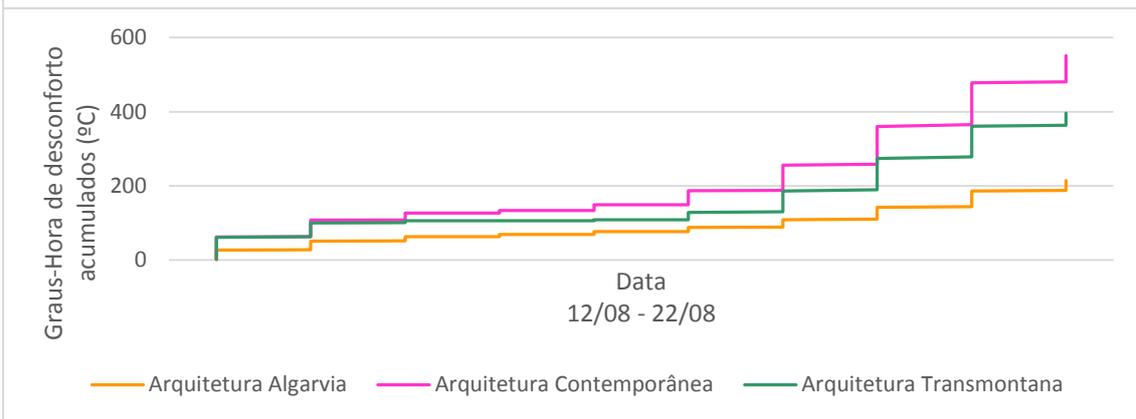
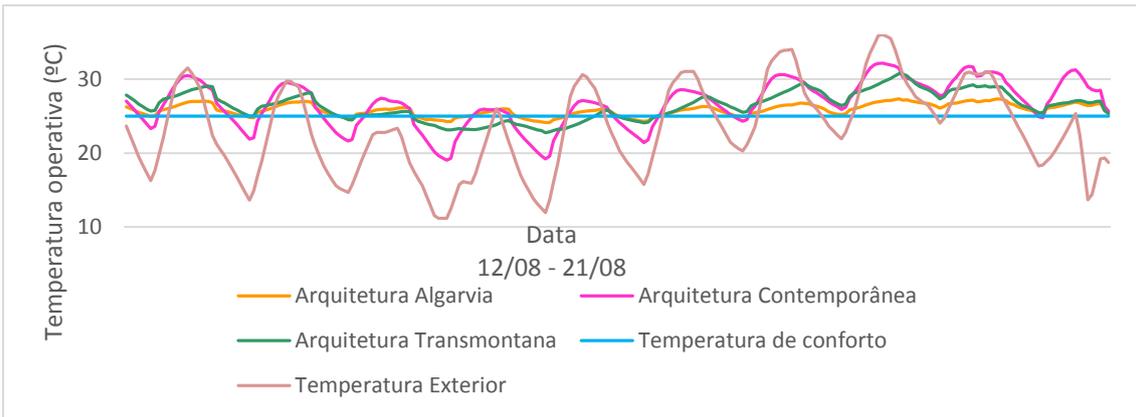


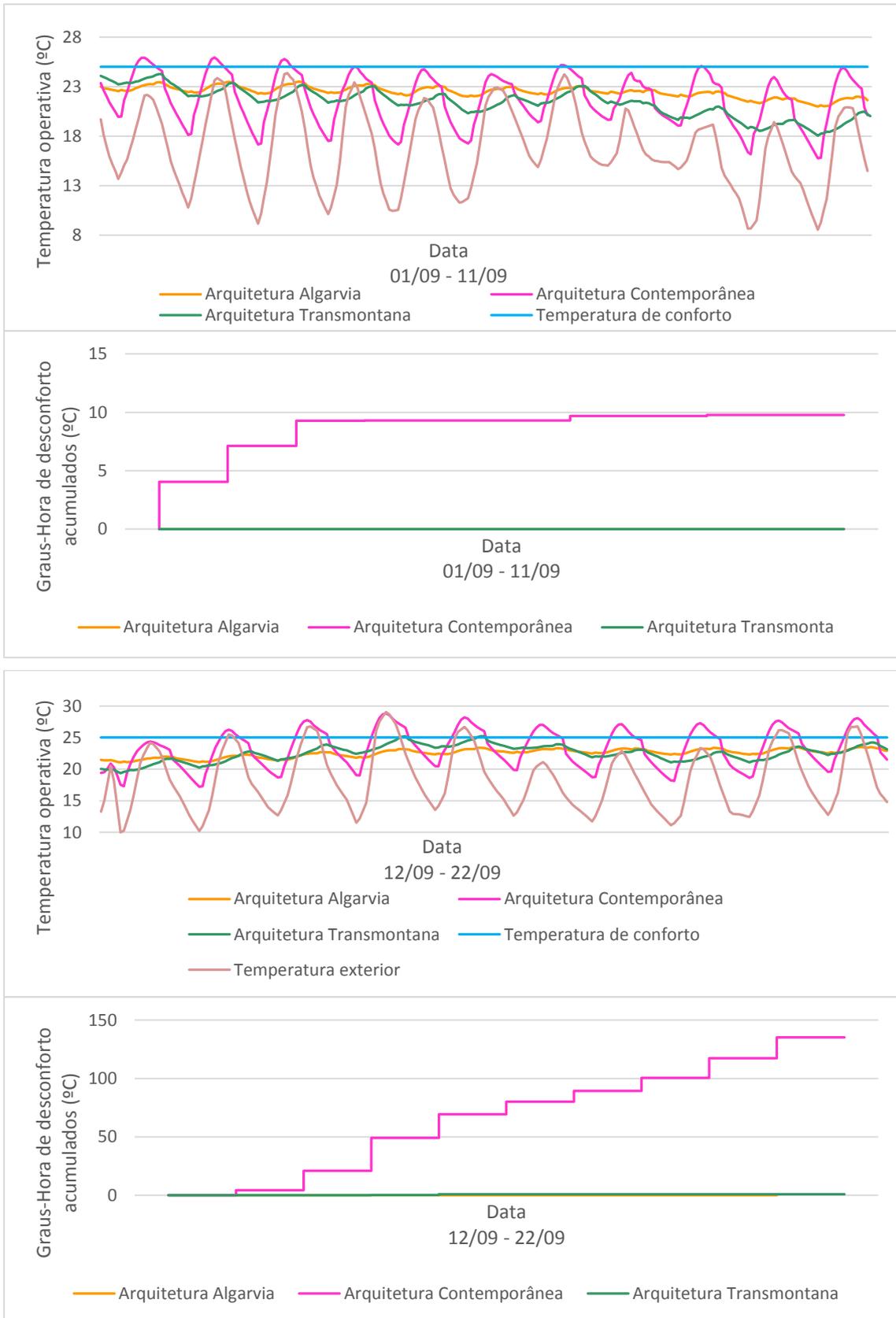
Modelos Alterados – Ventilação



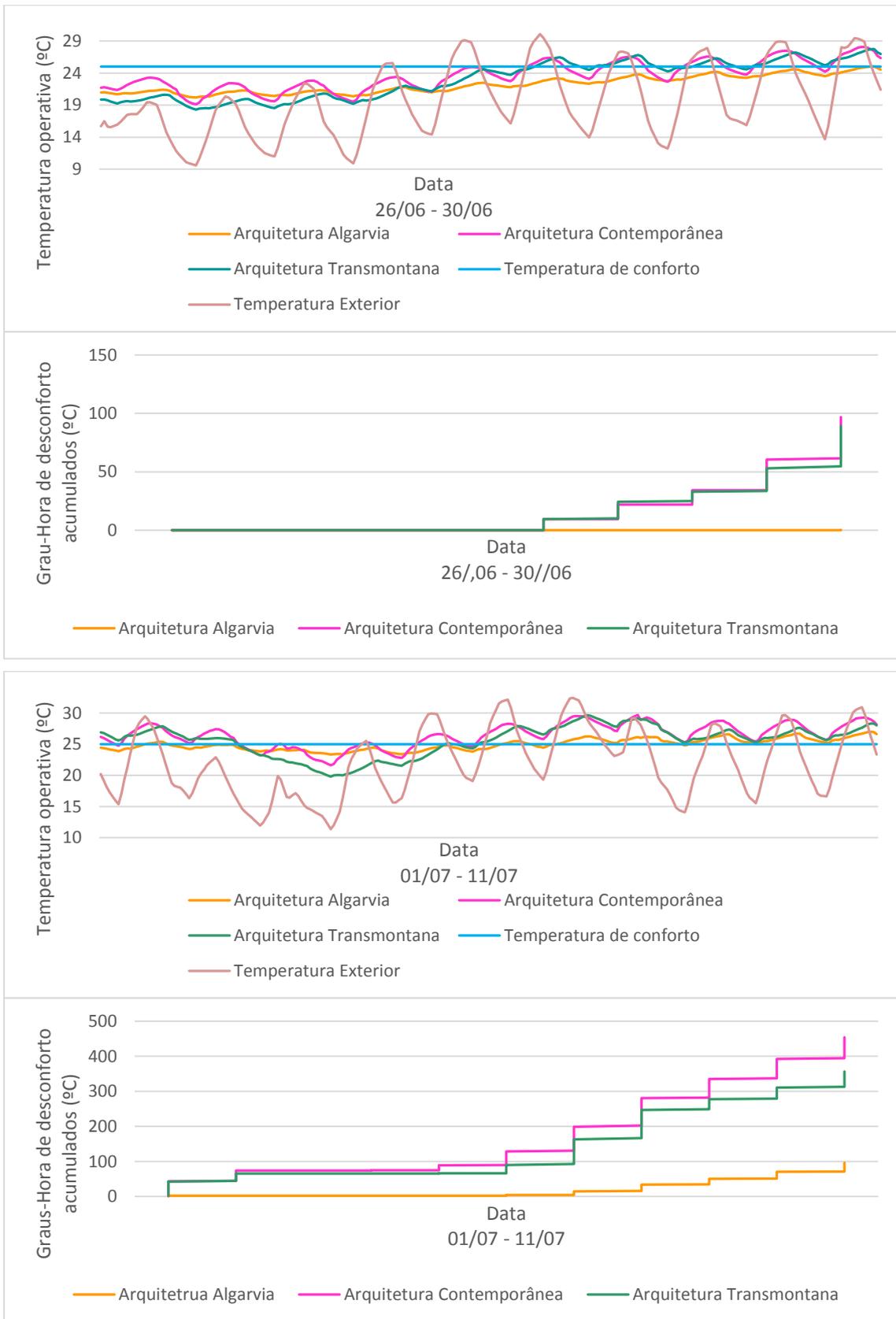


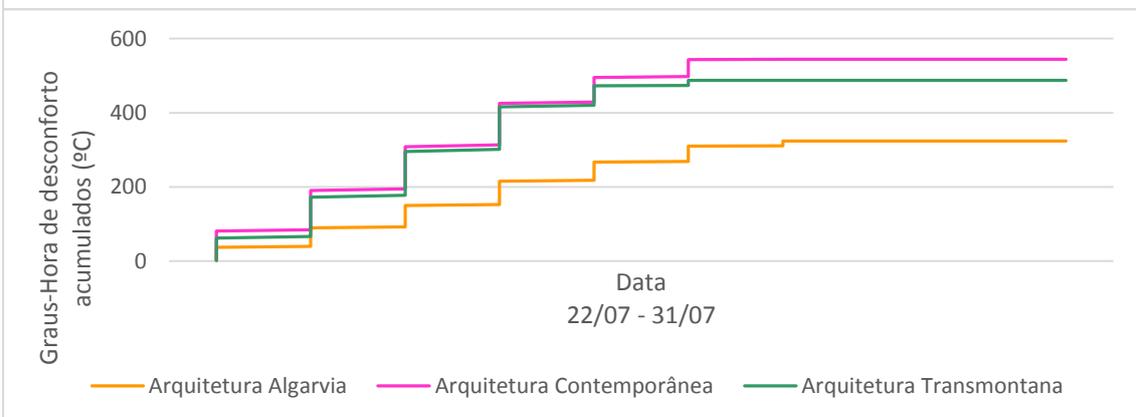
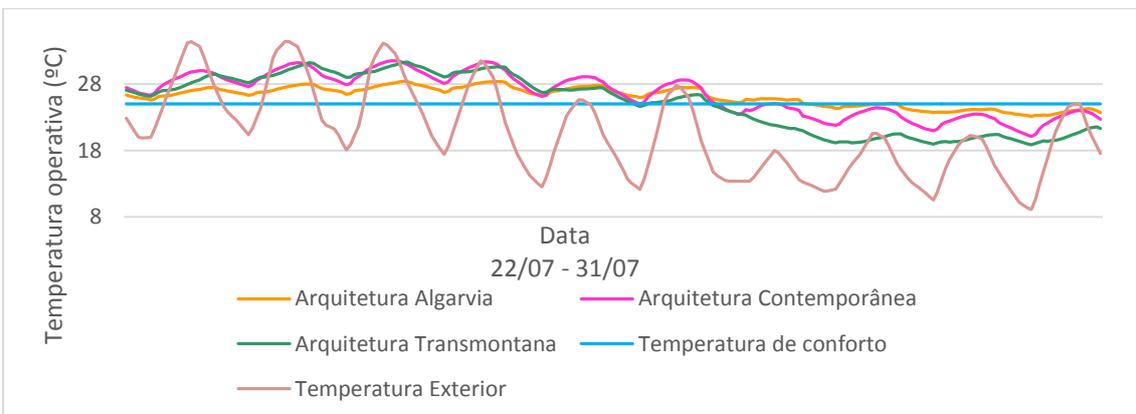
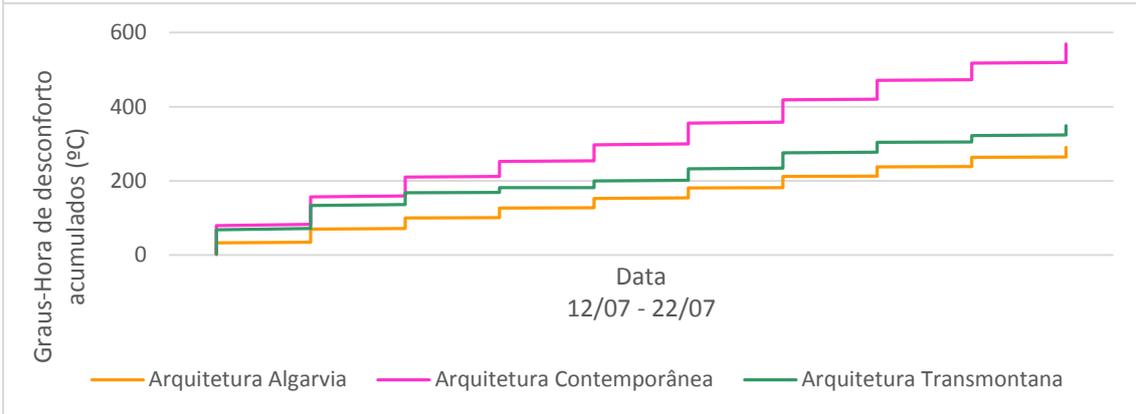
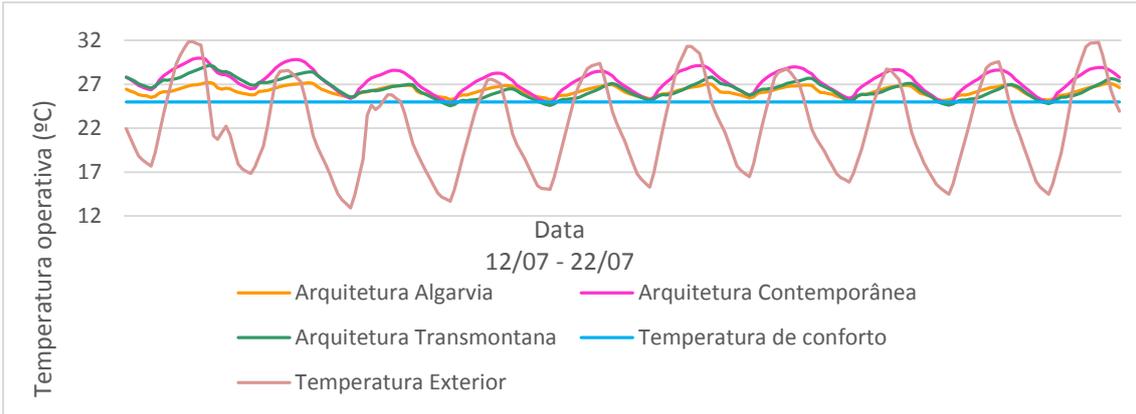


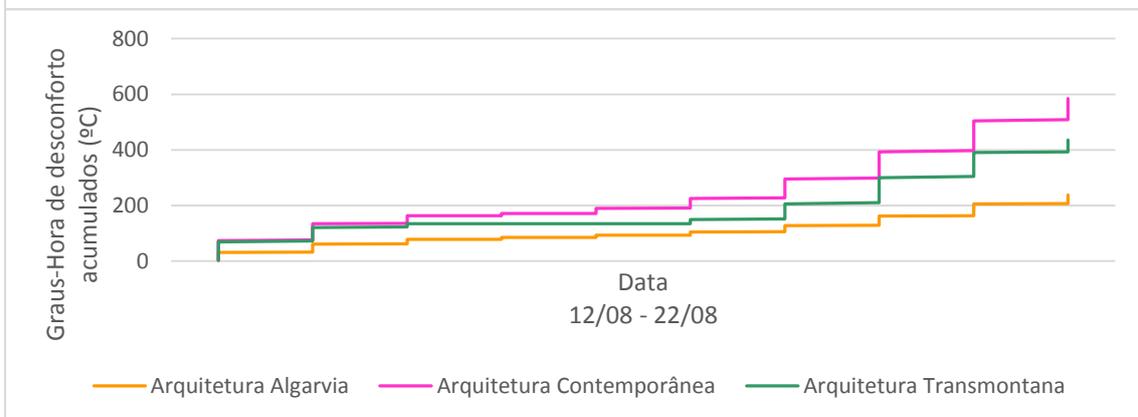
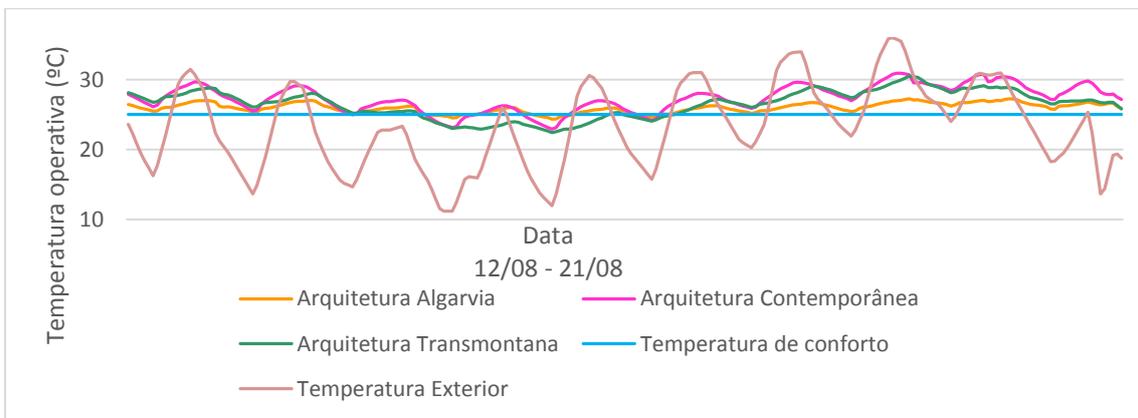
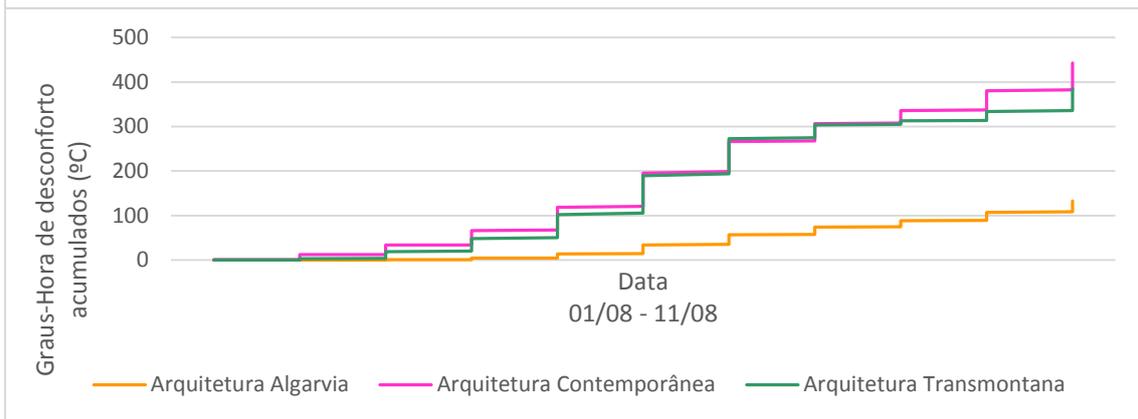
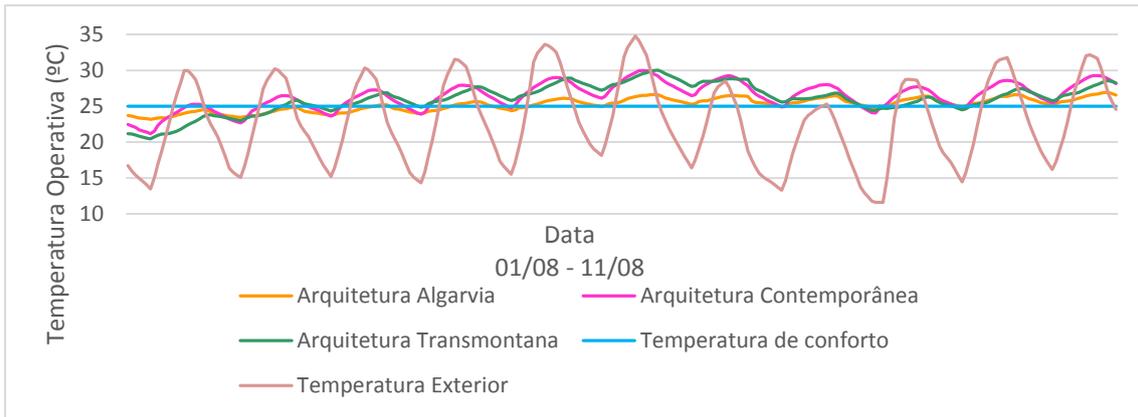


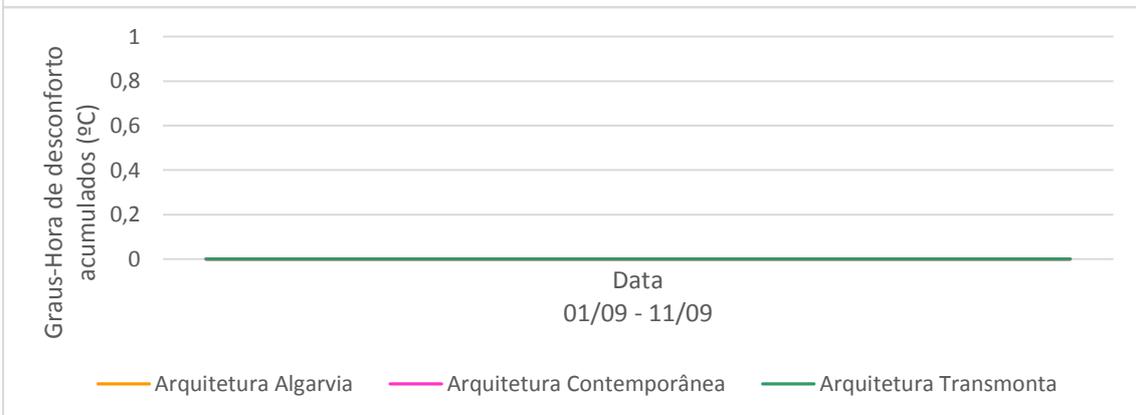
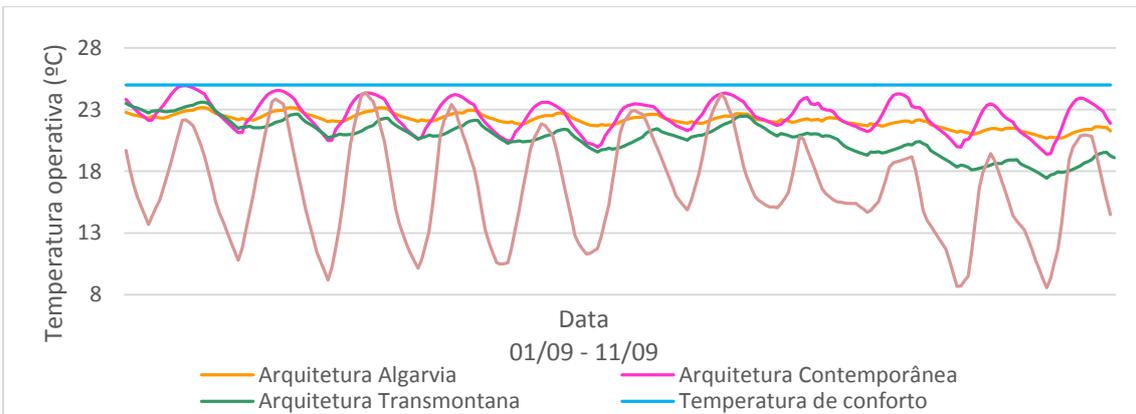
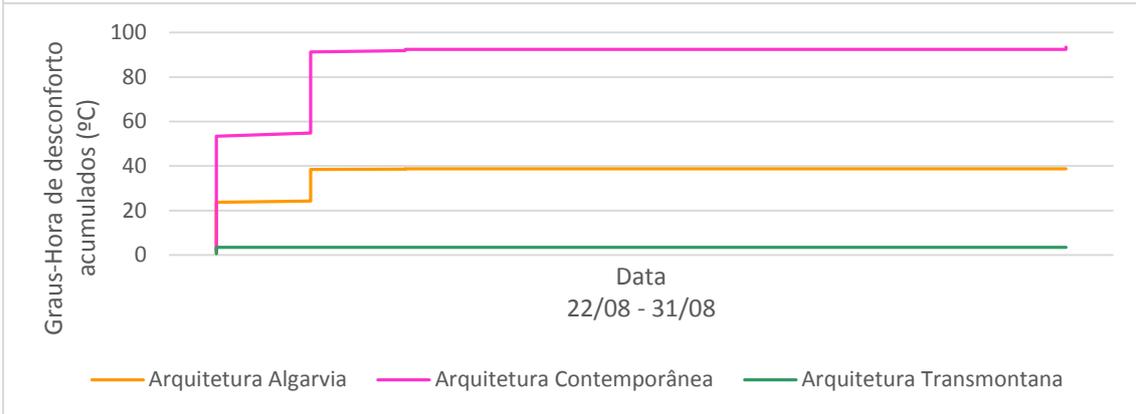
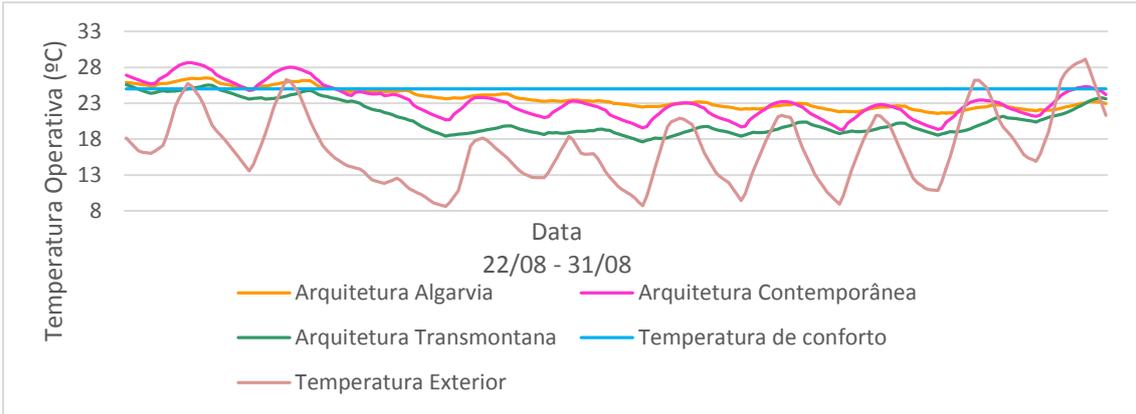


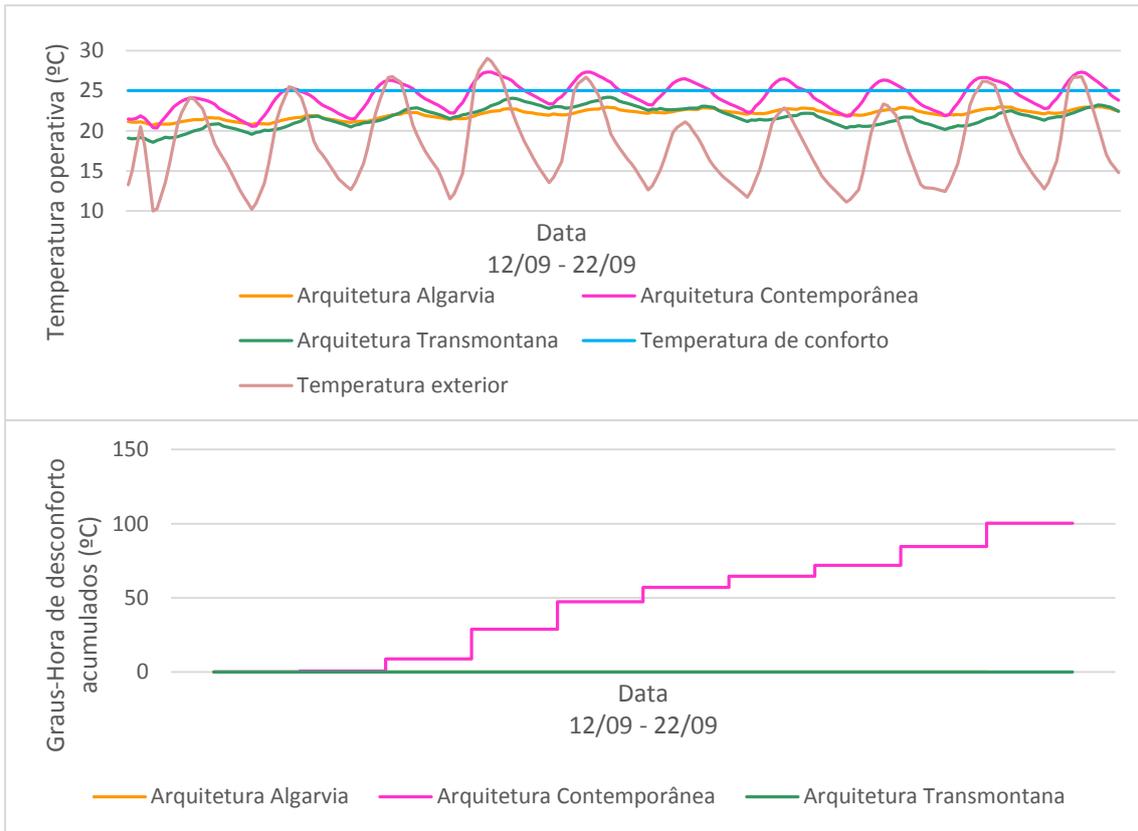
Modelos Alterados – Sombreamento



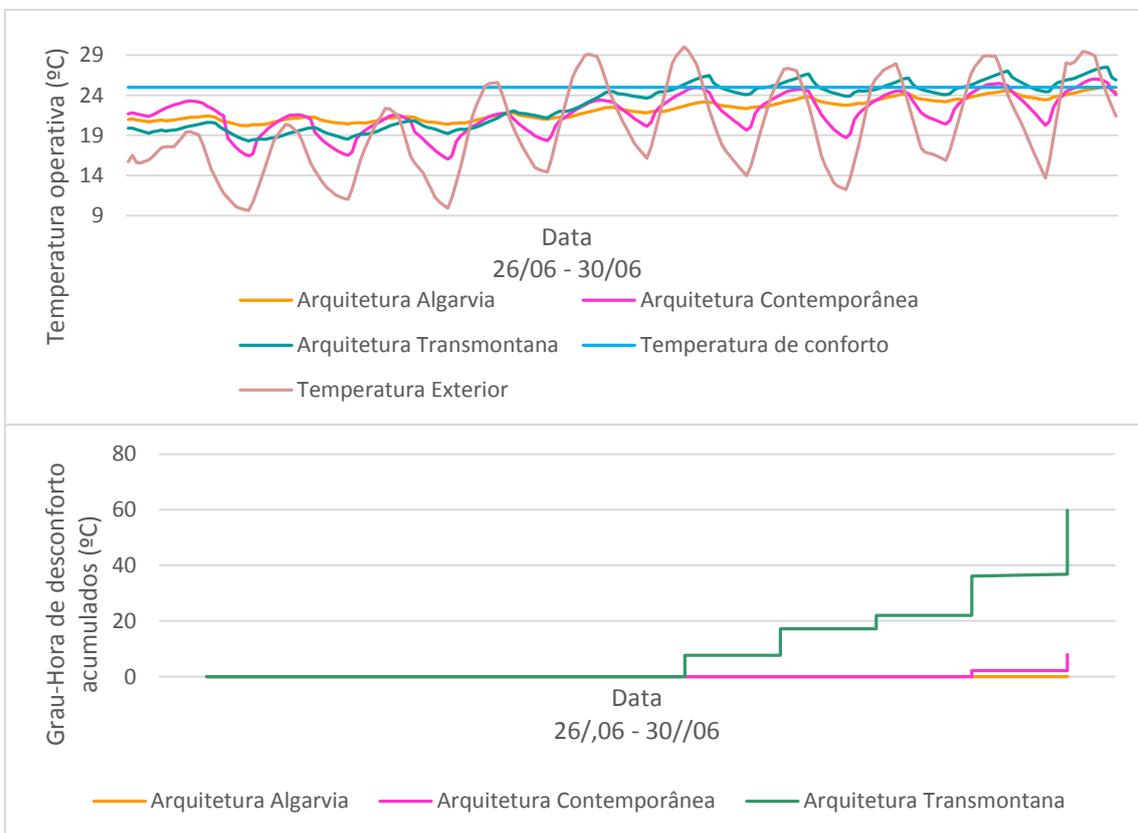


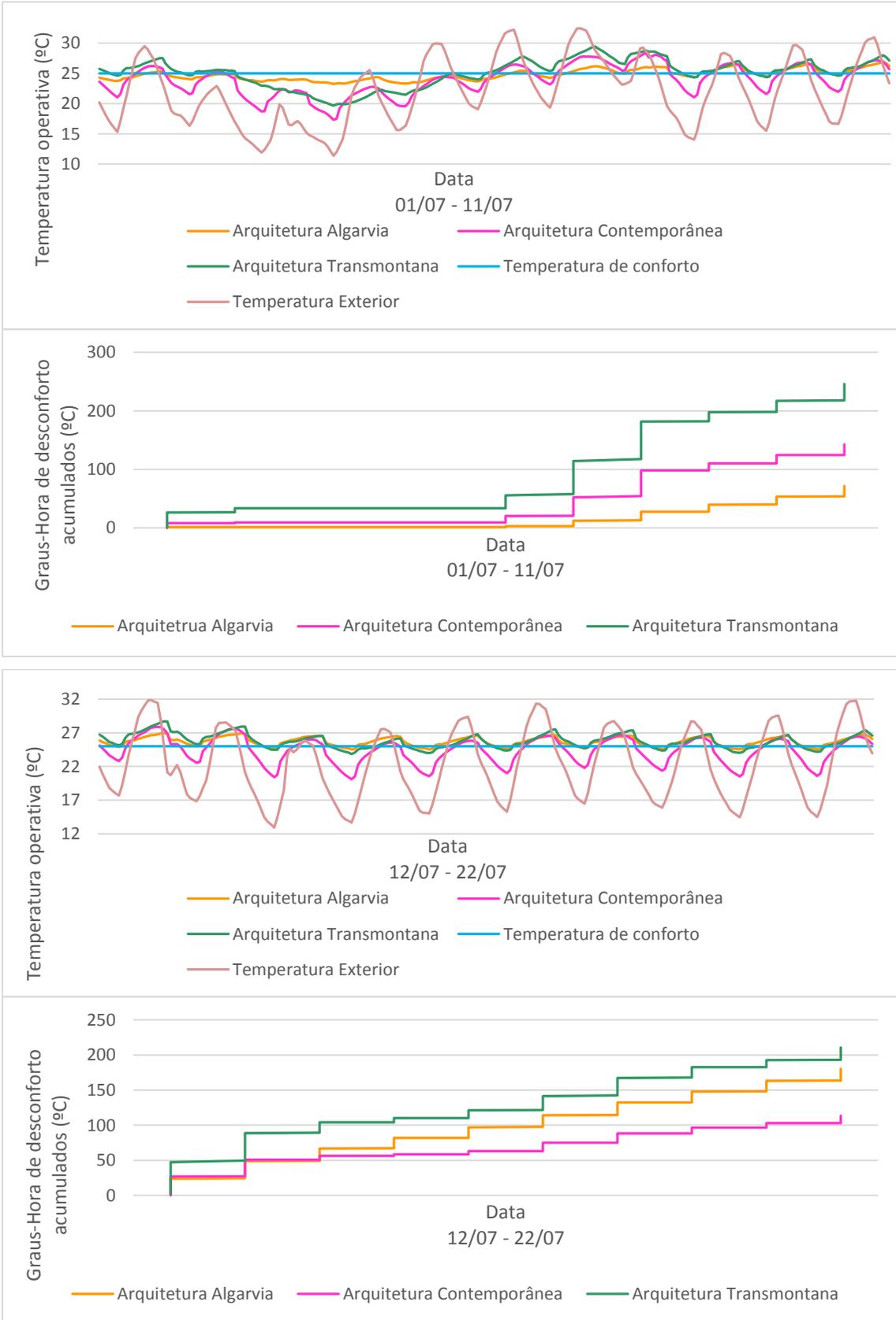


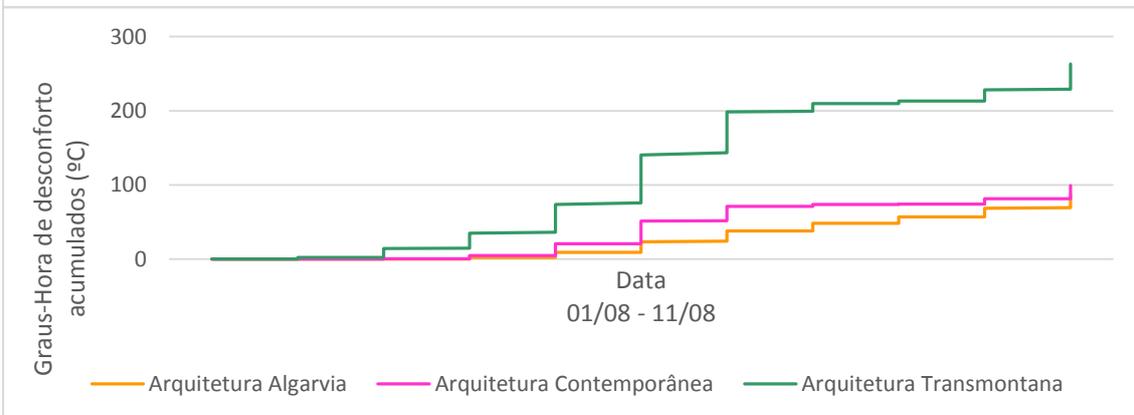
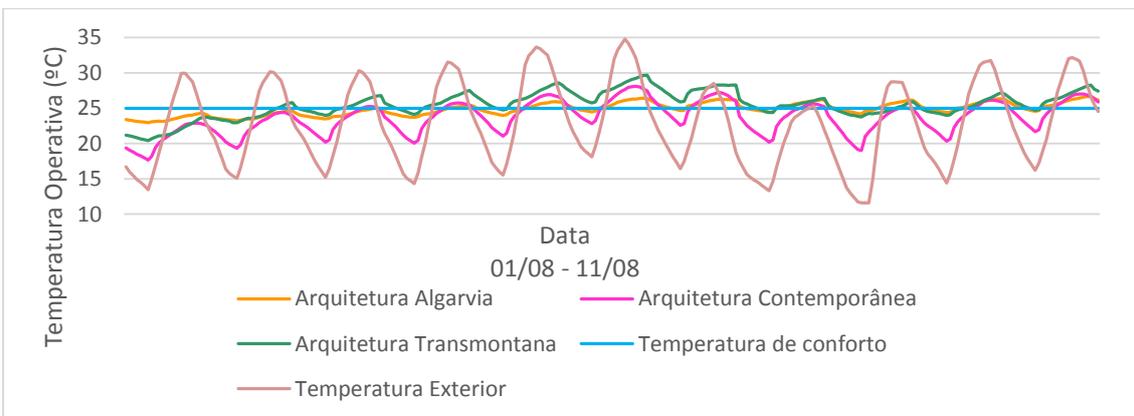
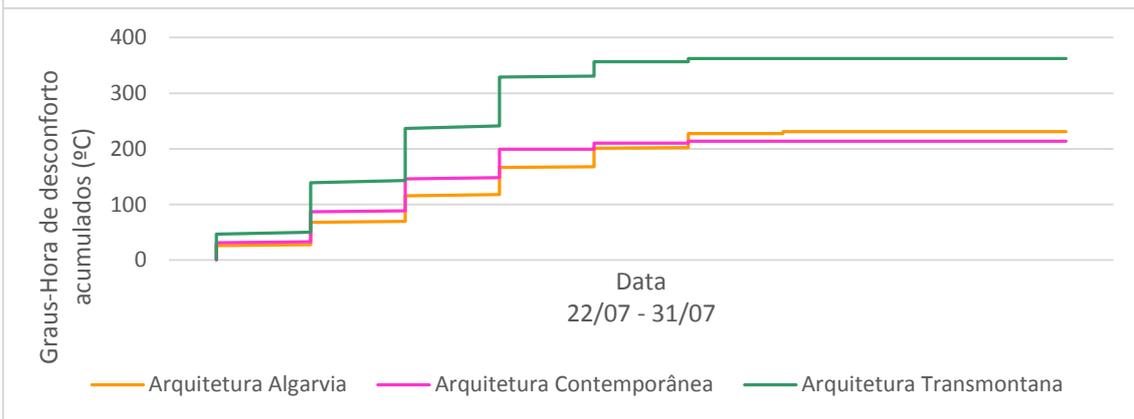
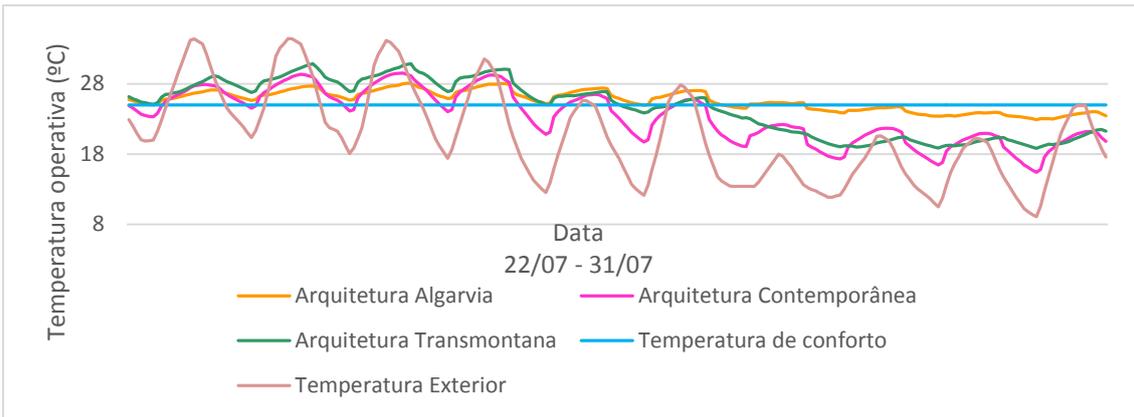


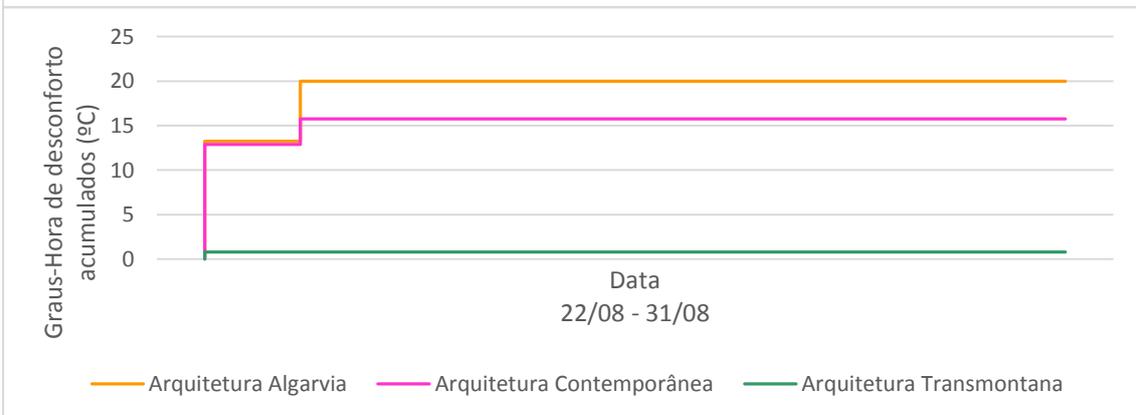
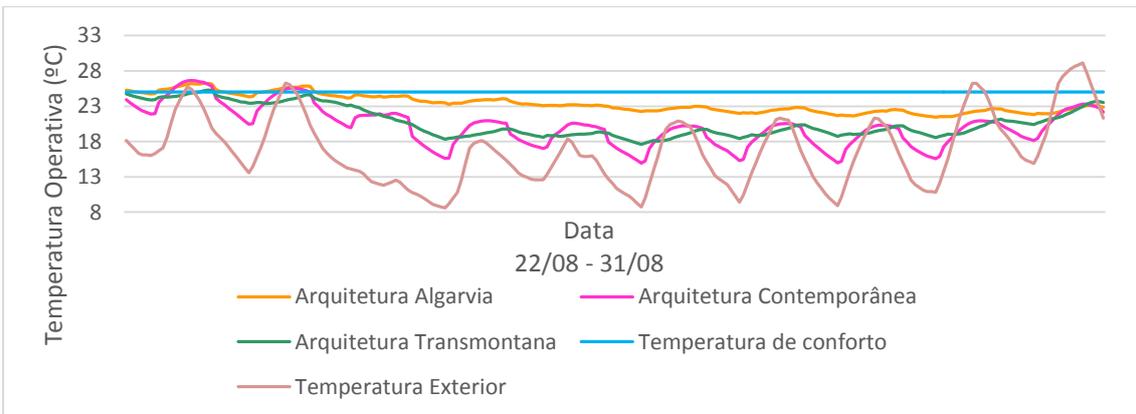
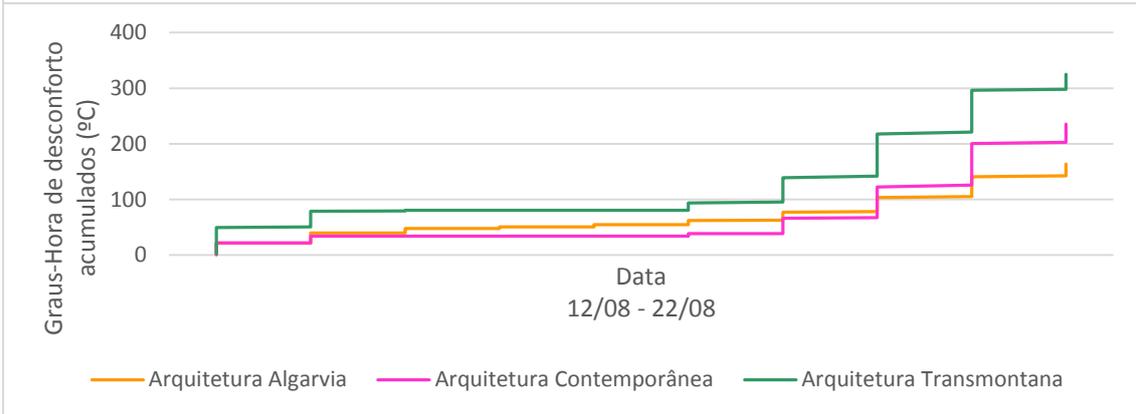
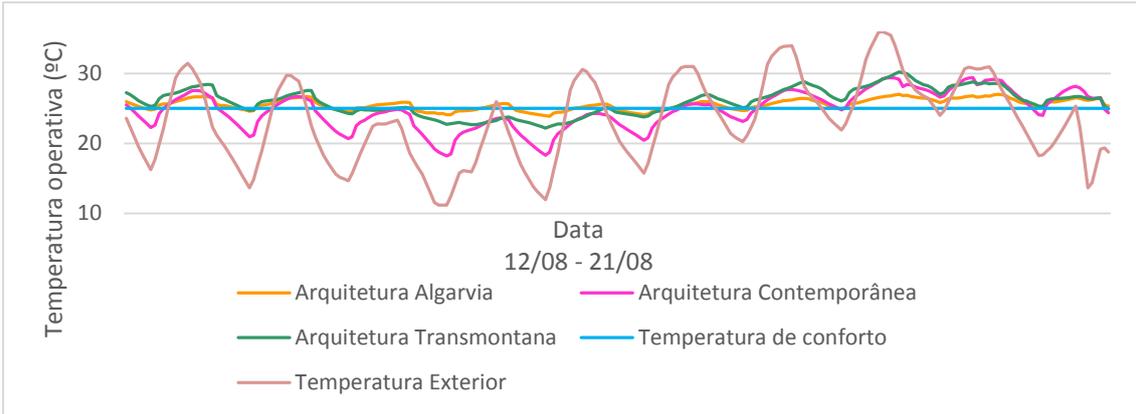


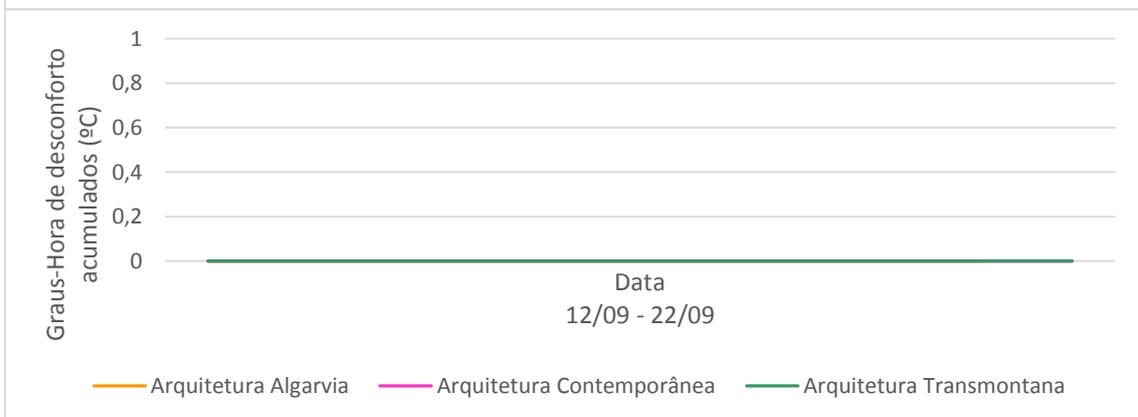
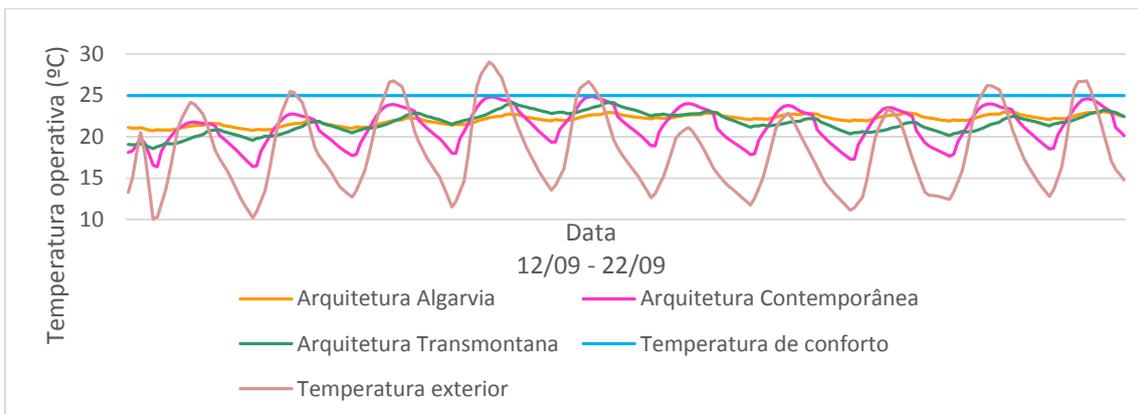
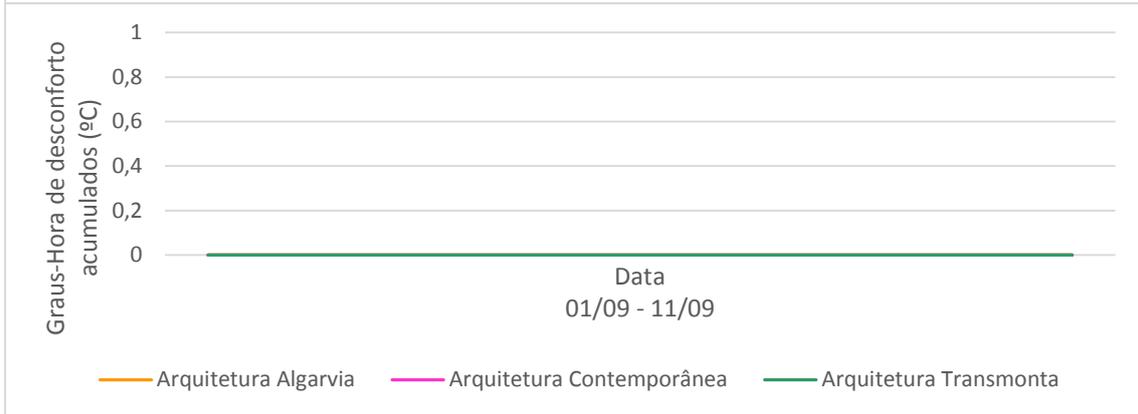
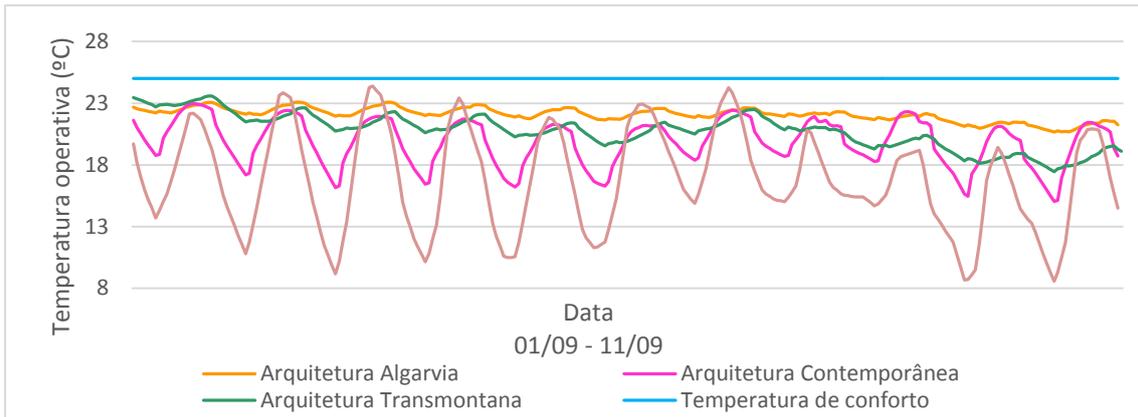
Modelos Alterados – Ventilação e Sombreamento





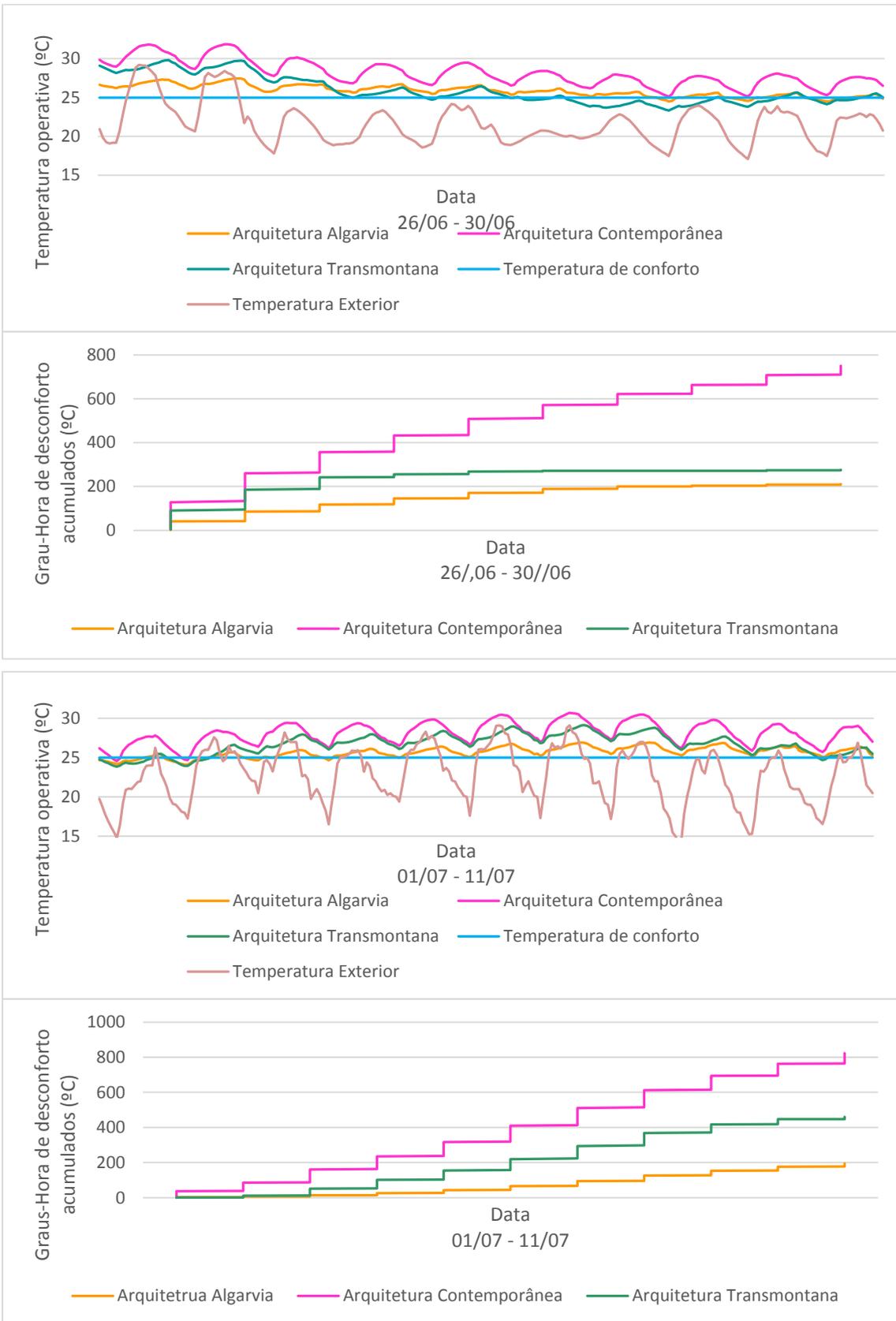


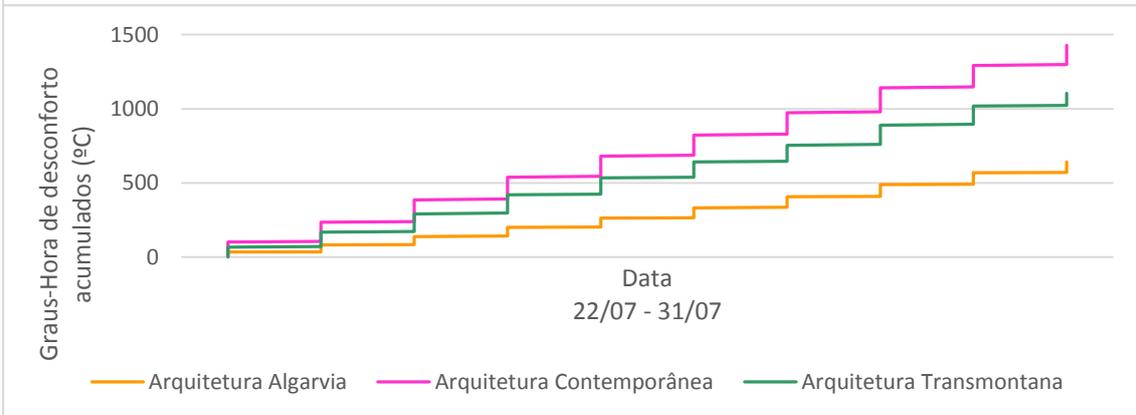
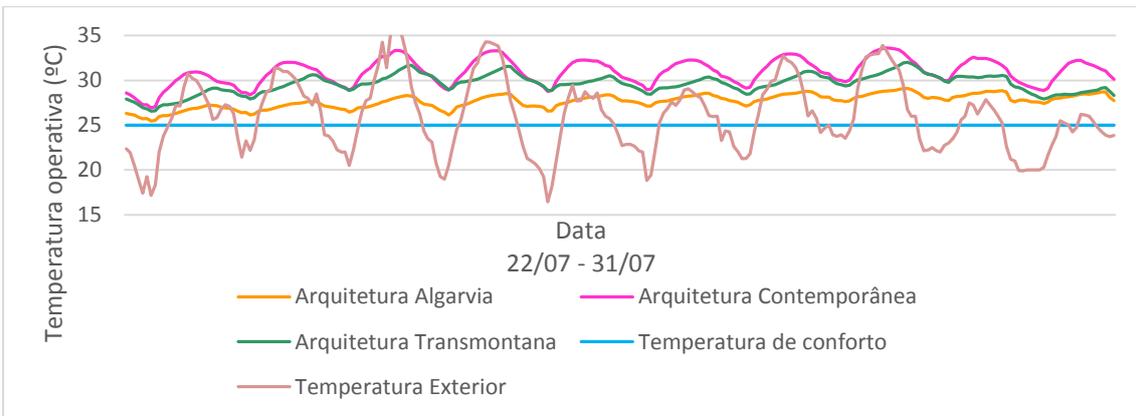
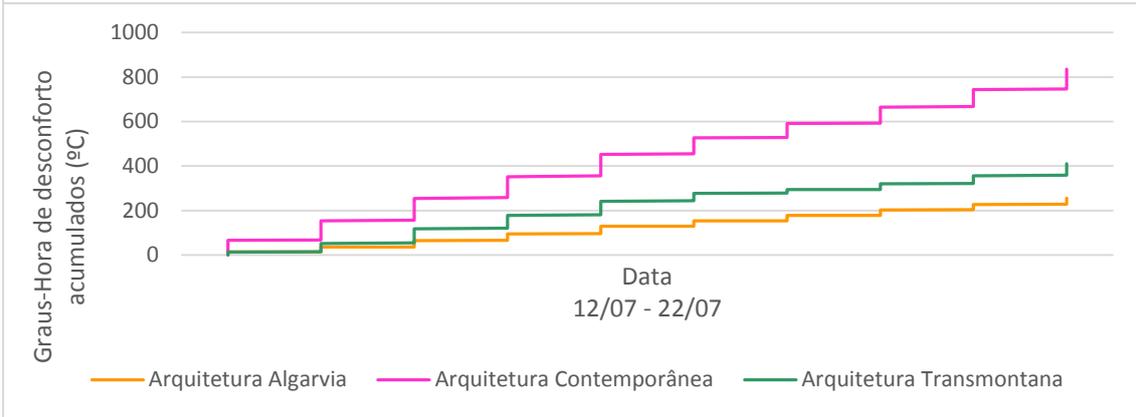
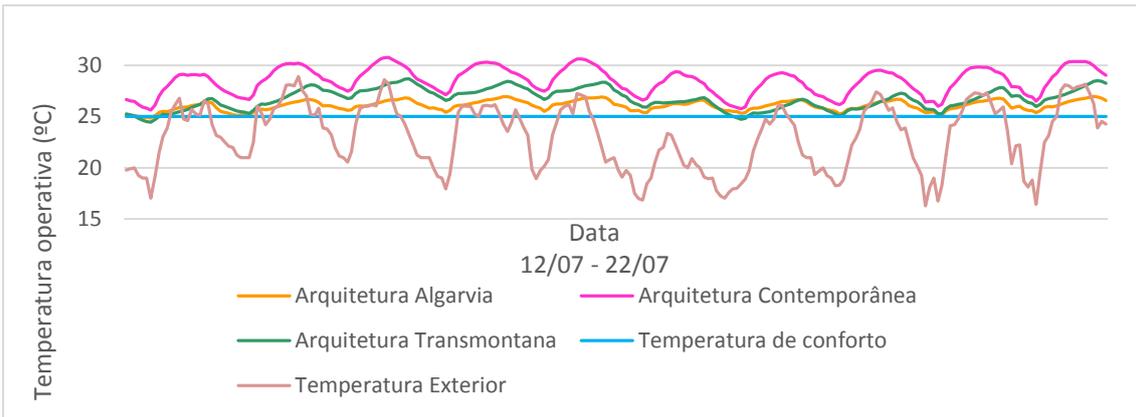


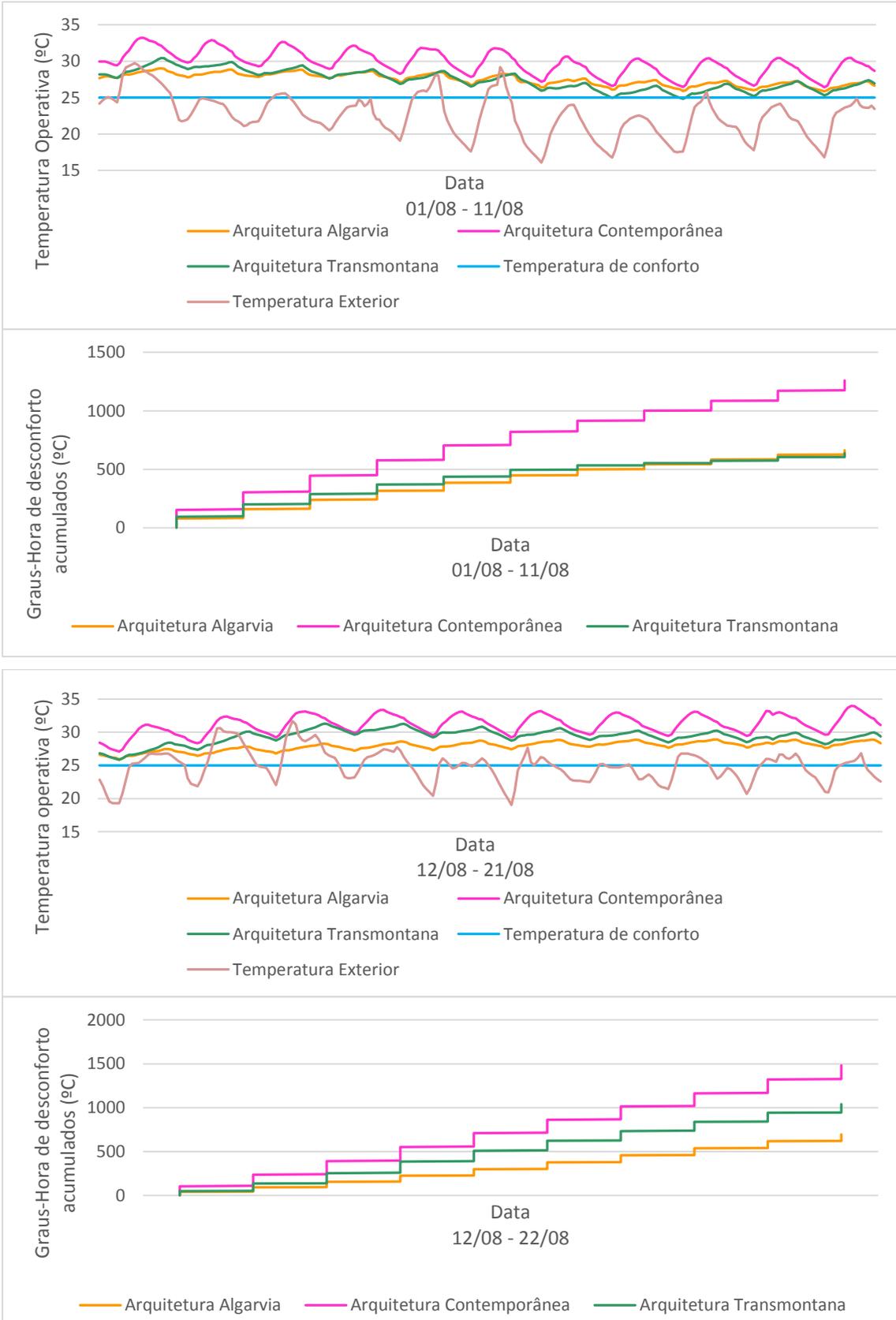


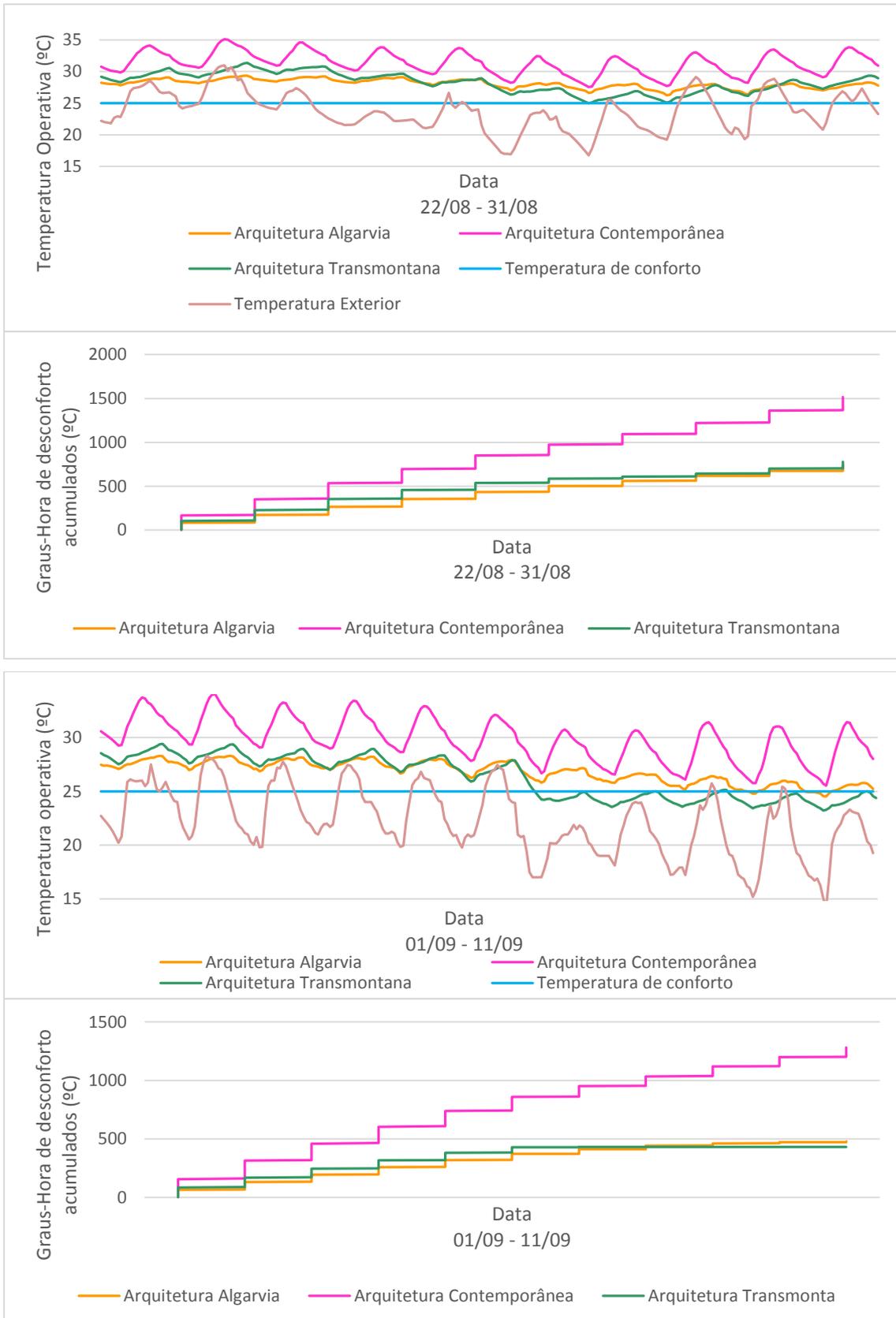
Concelho de Faro

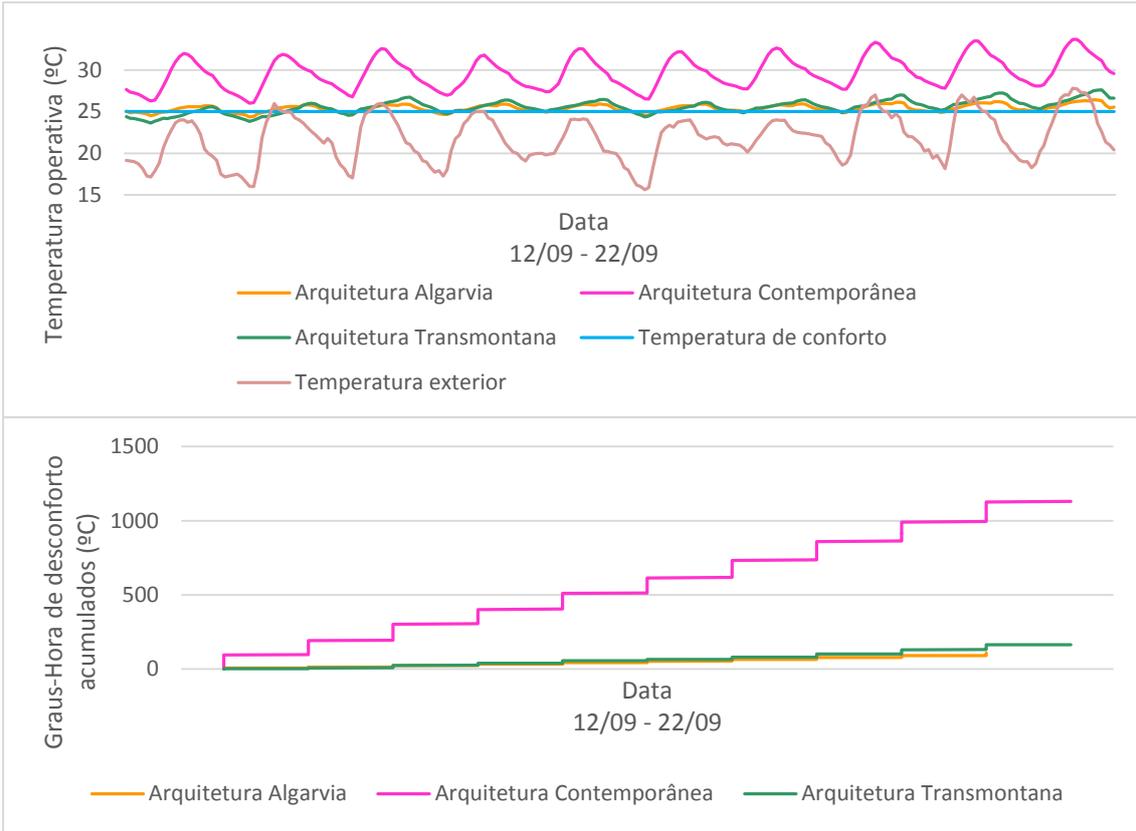
Modelos Base



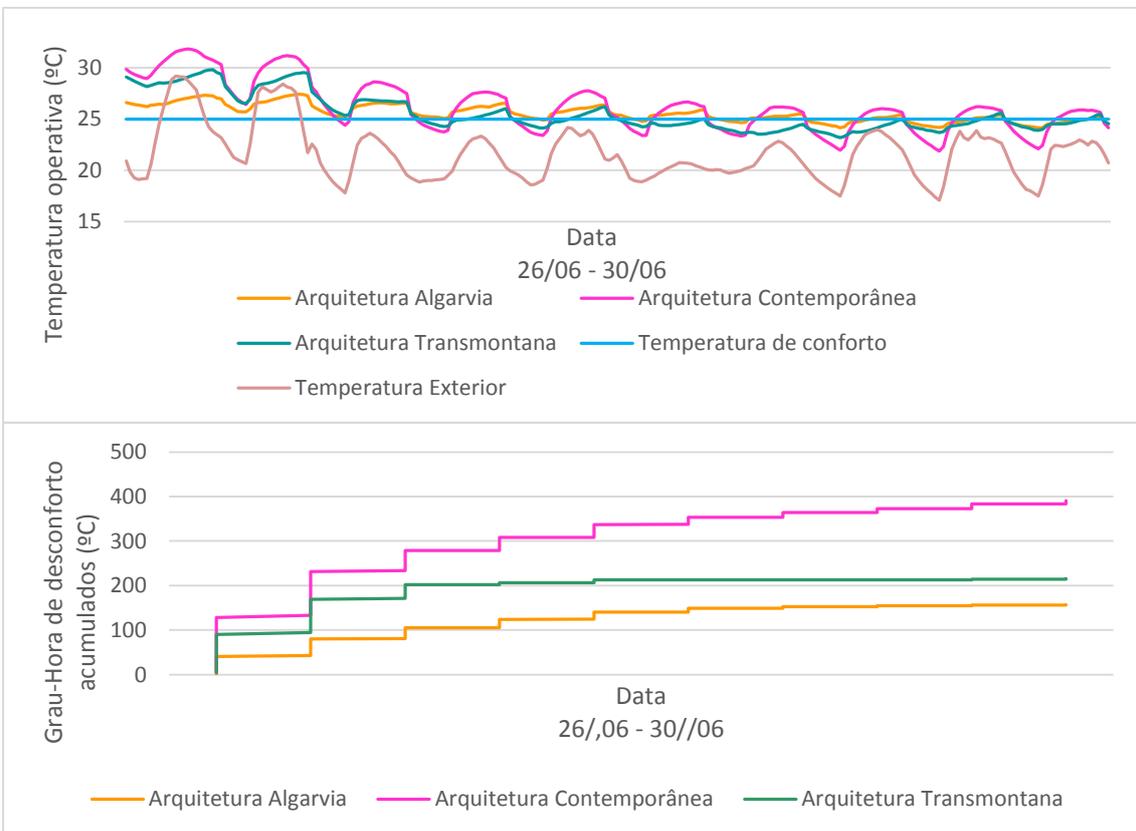


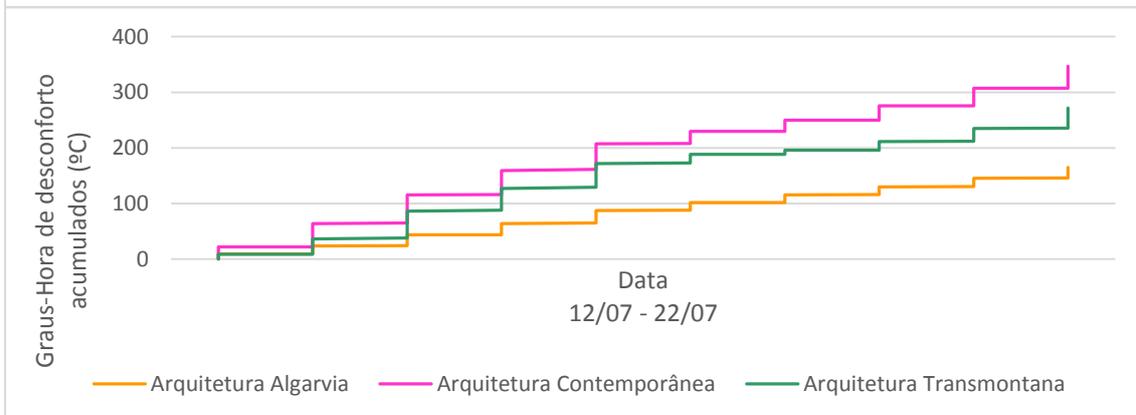
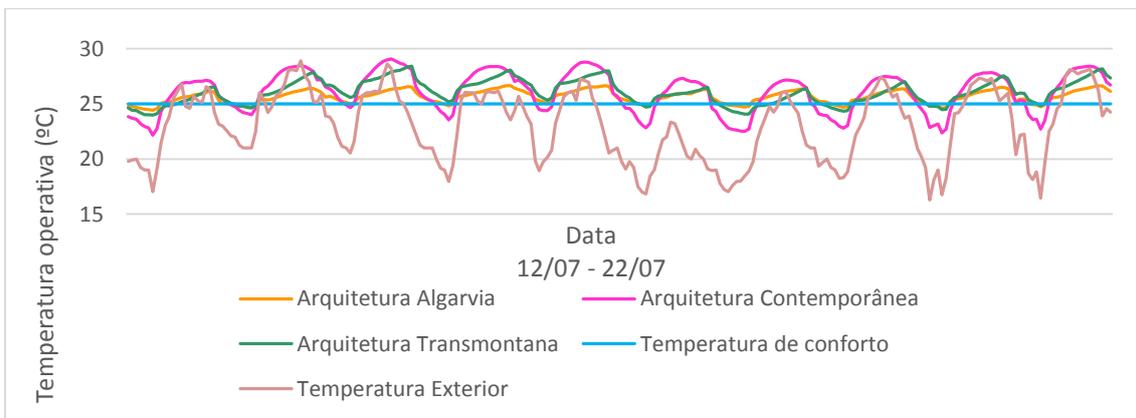
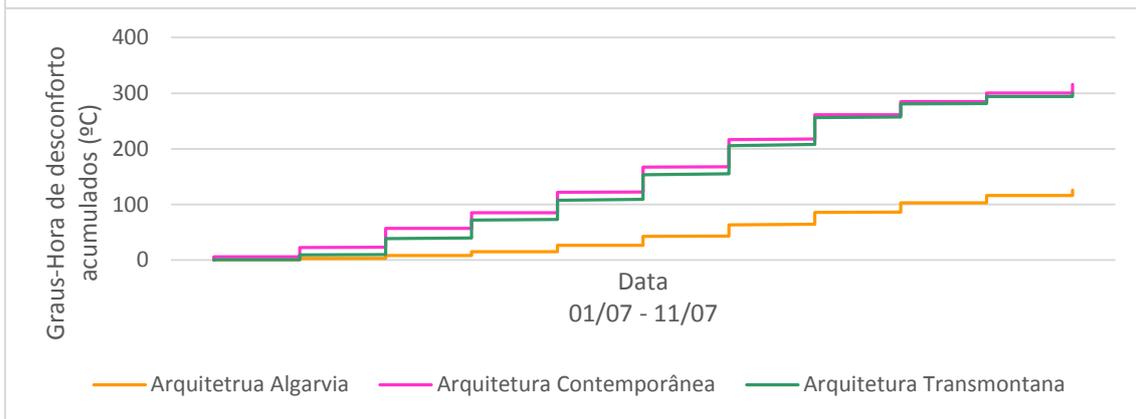
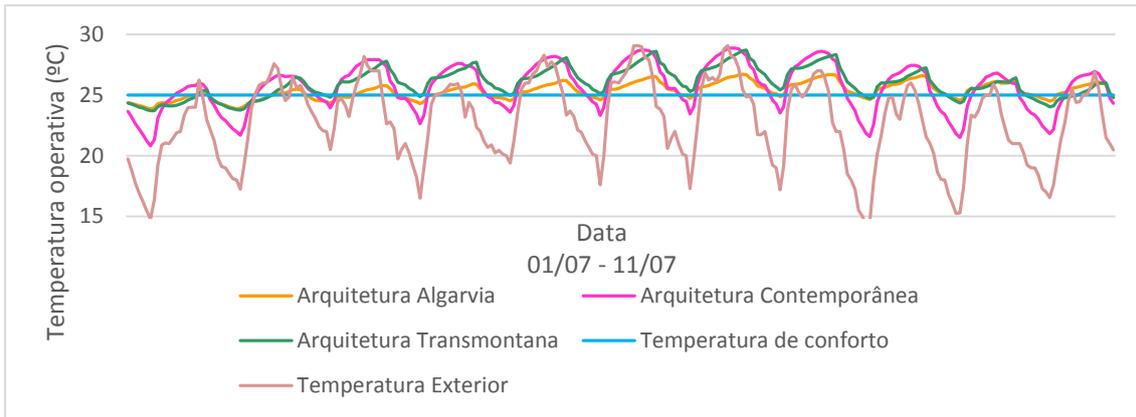


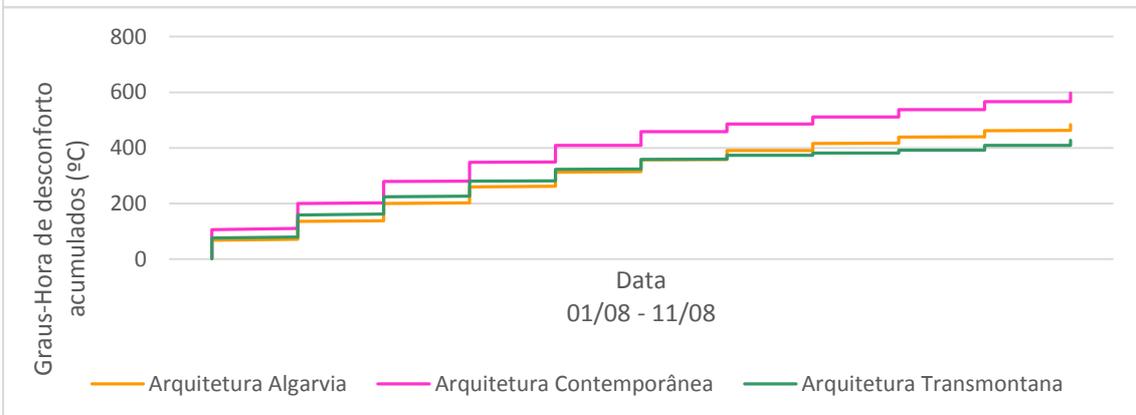
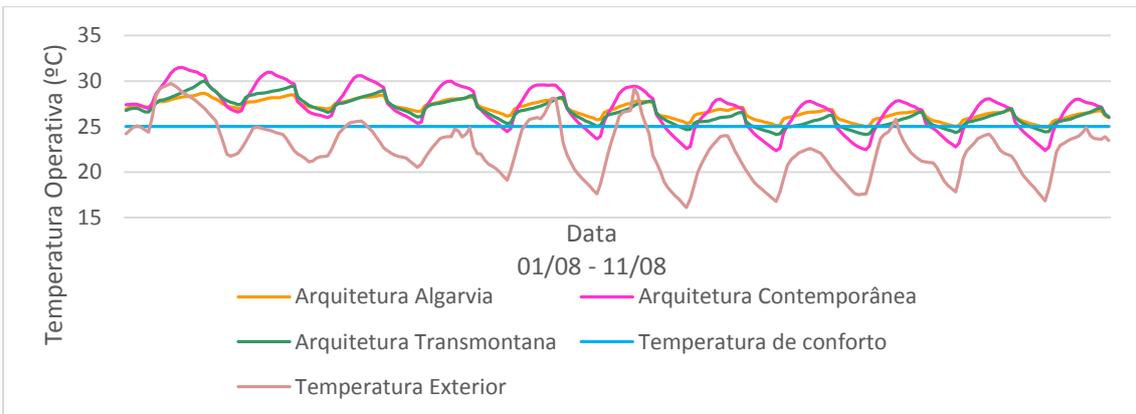
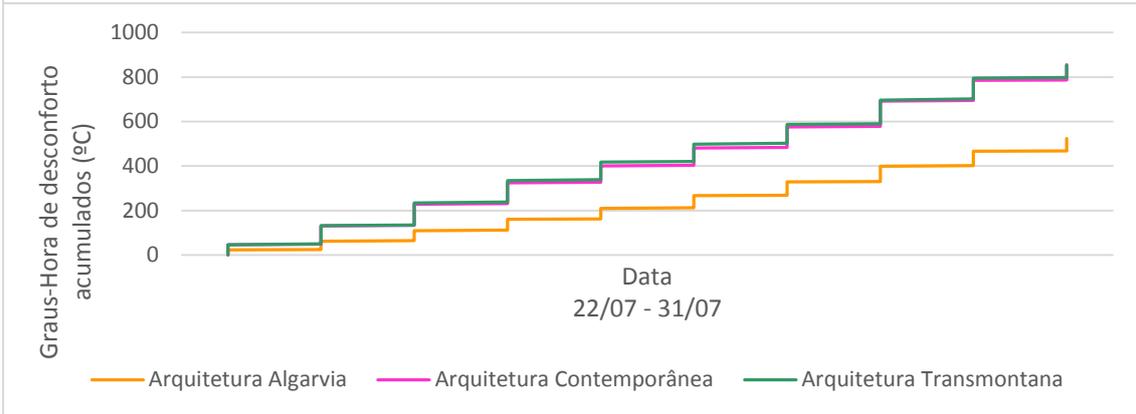
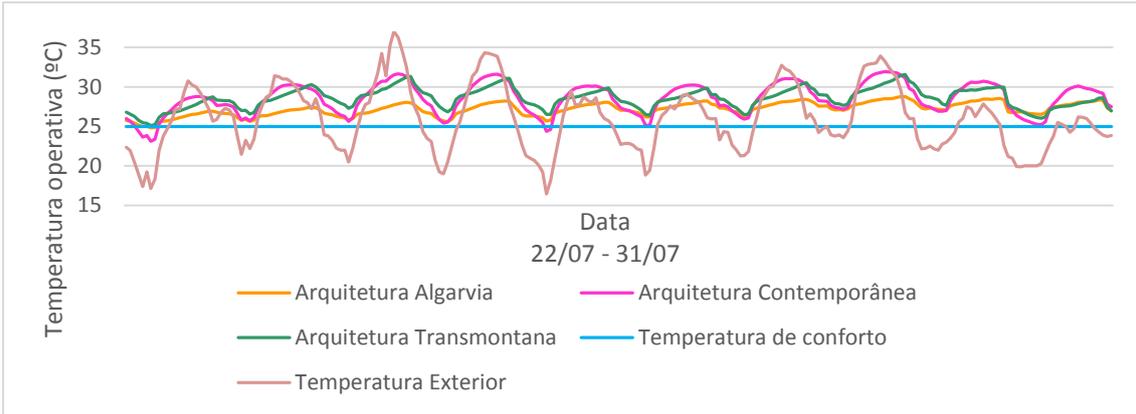


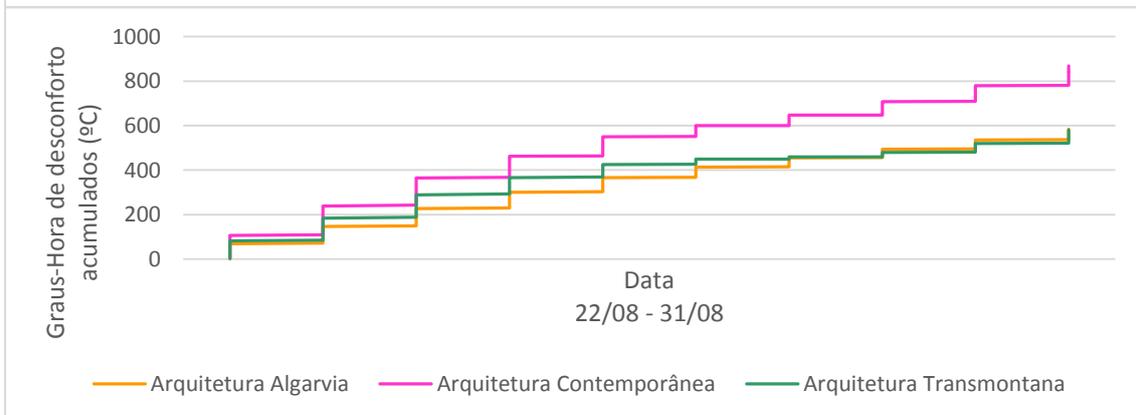
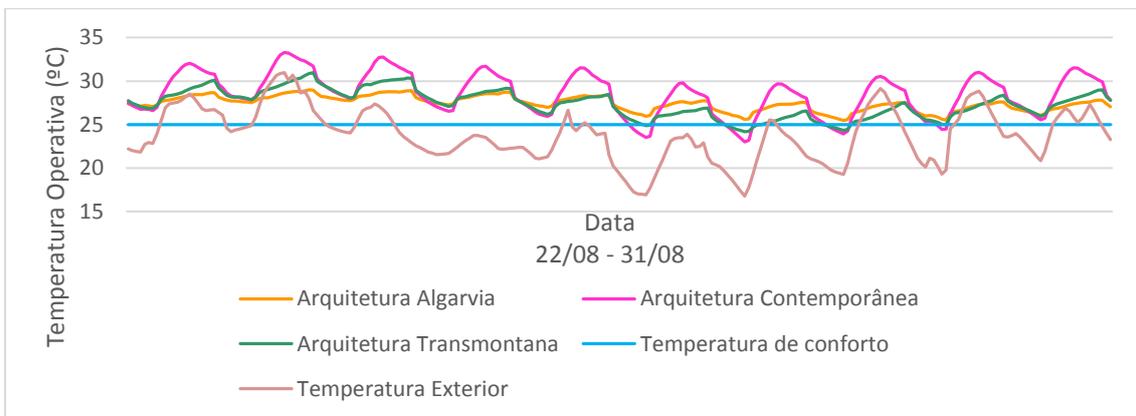
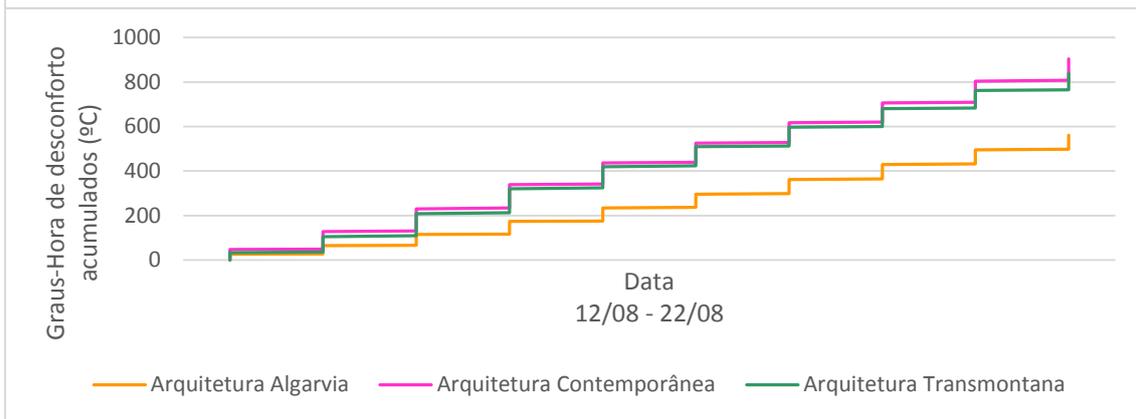
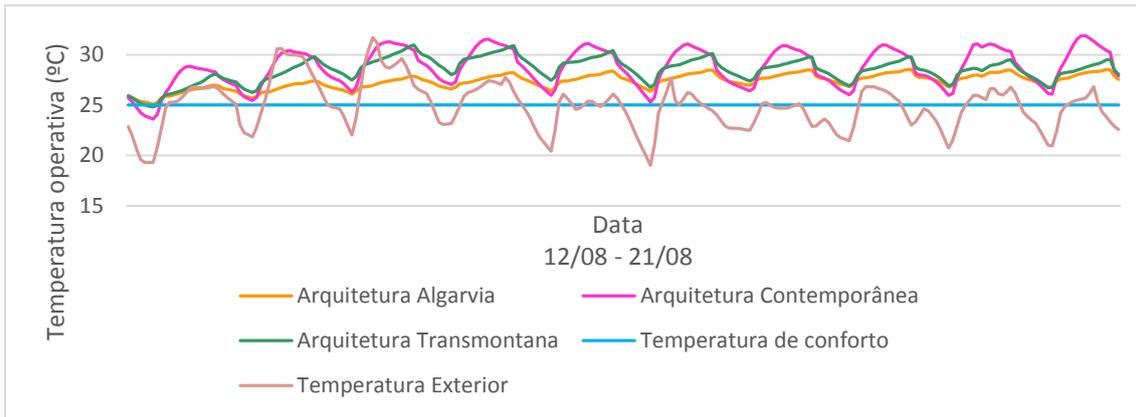


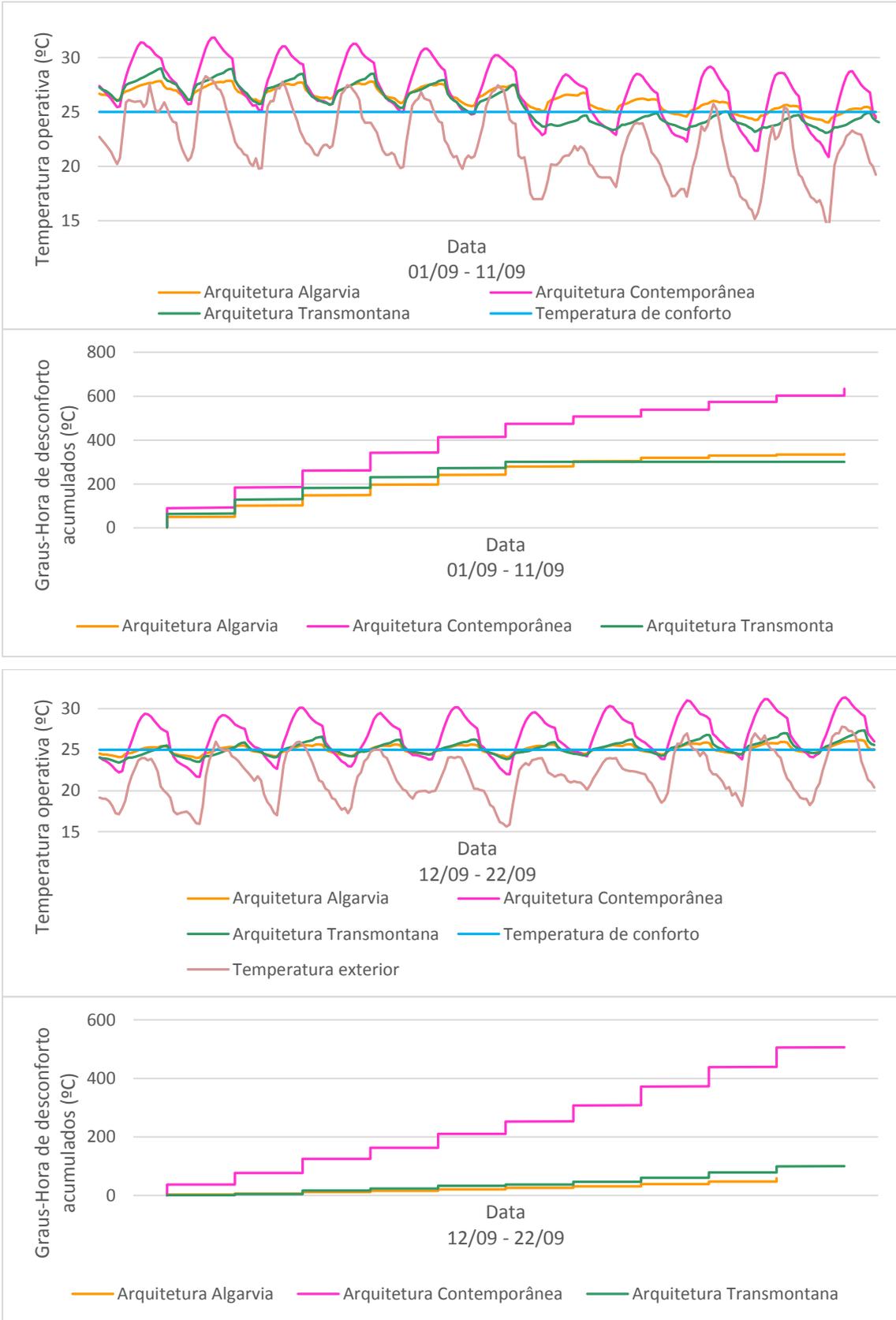
Modelos Alterados – Ventilação



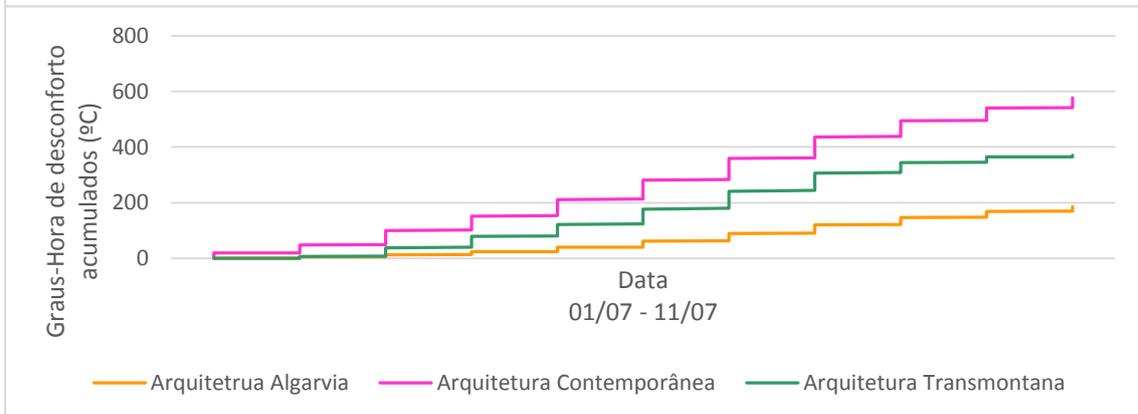
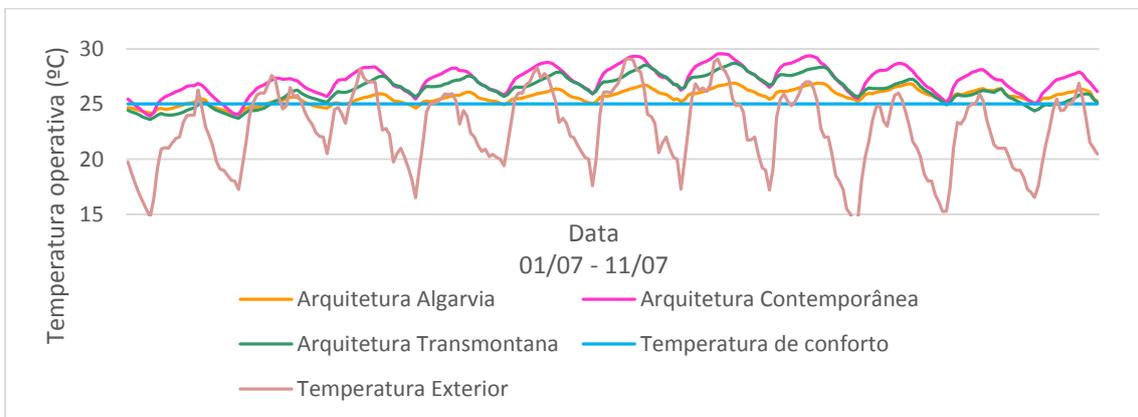
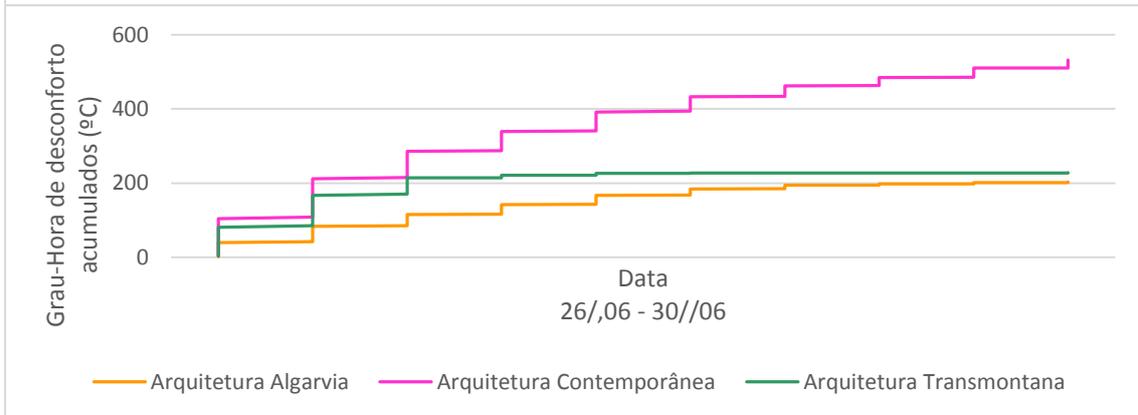
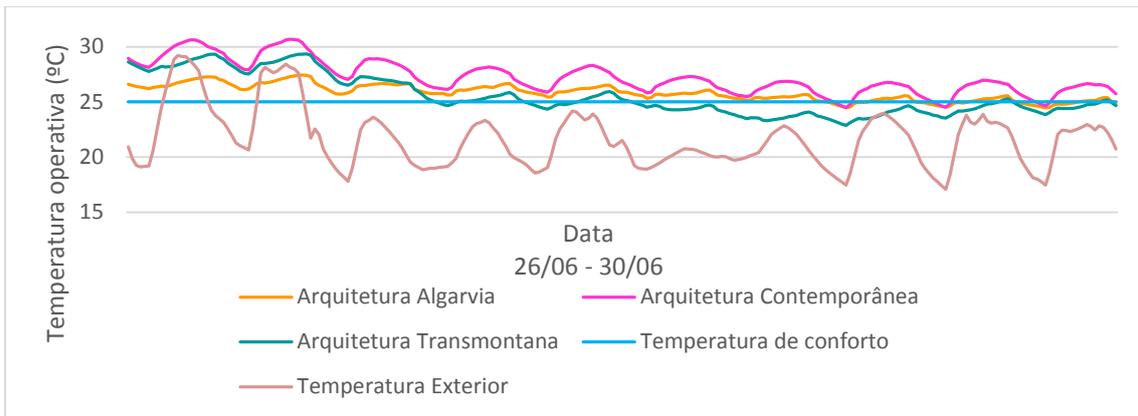


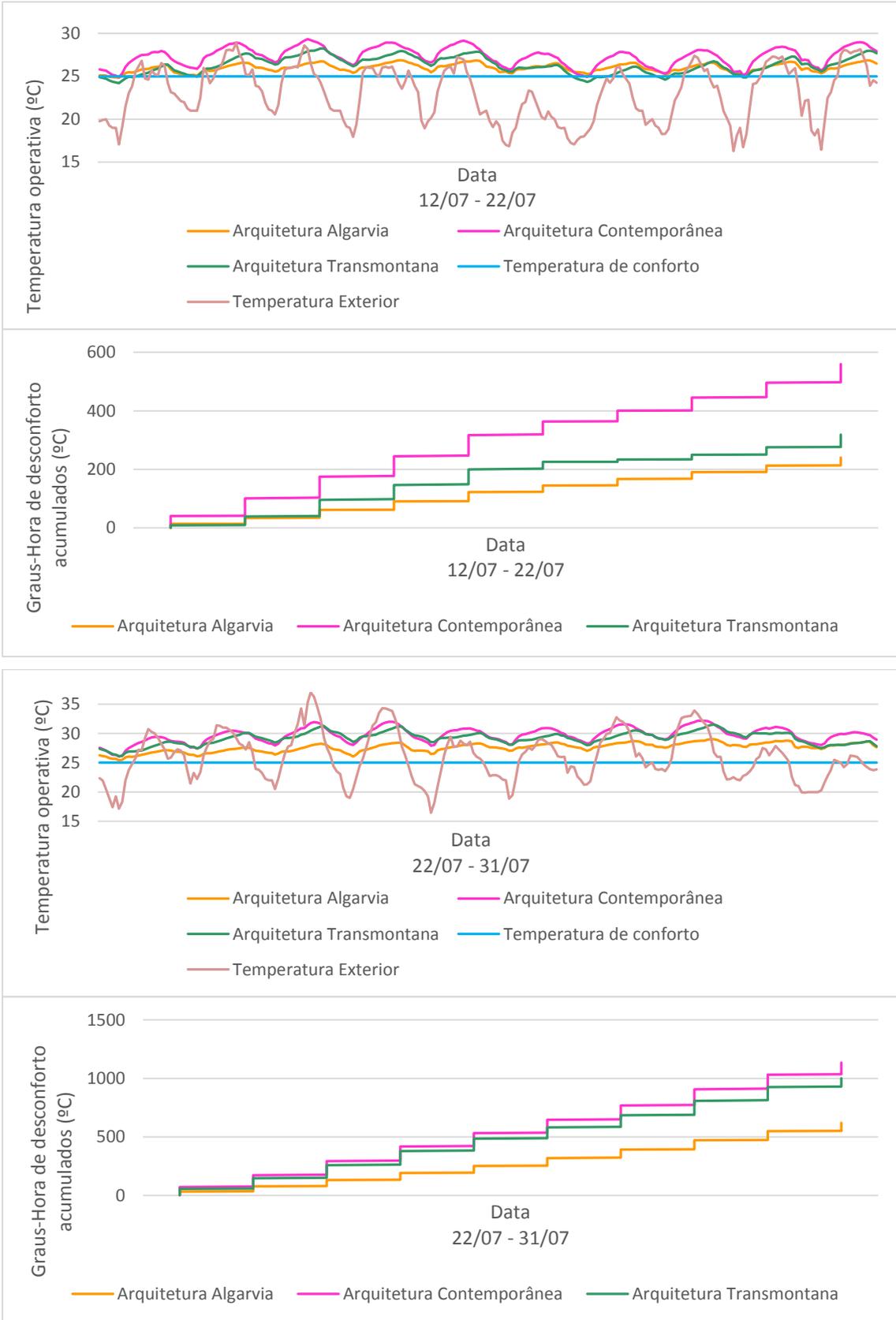


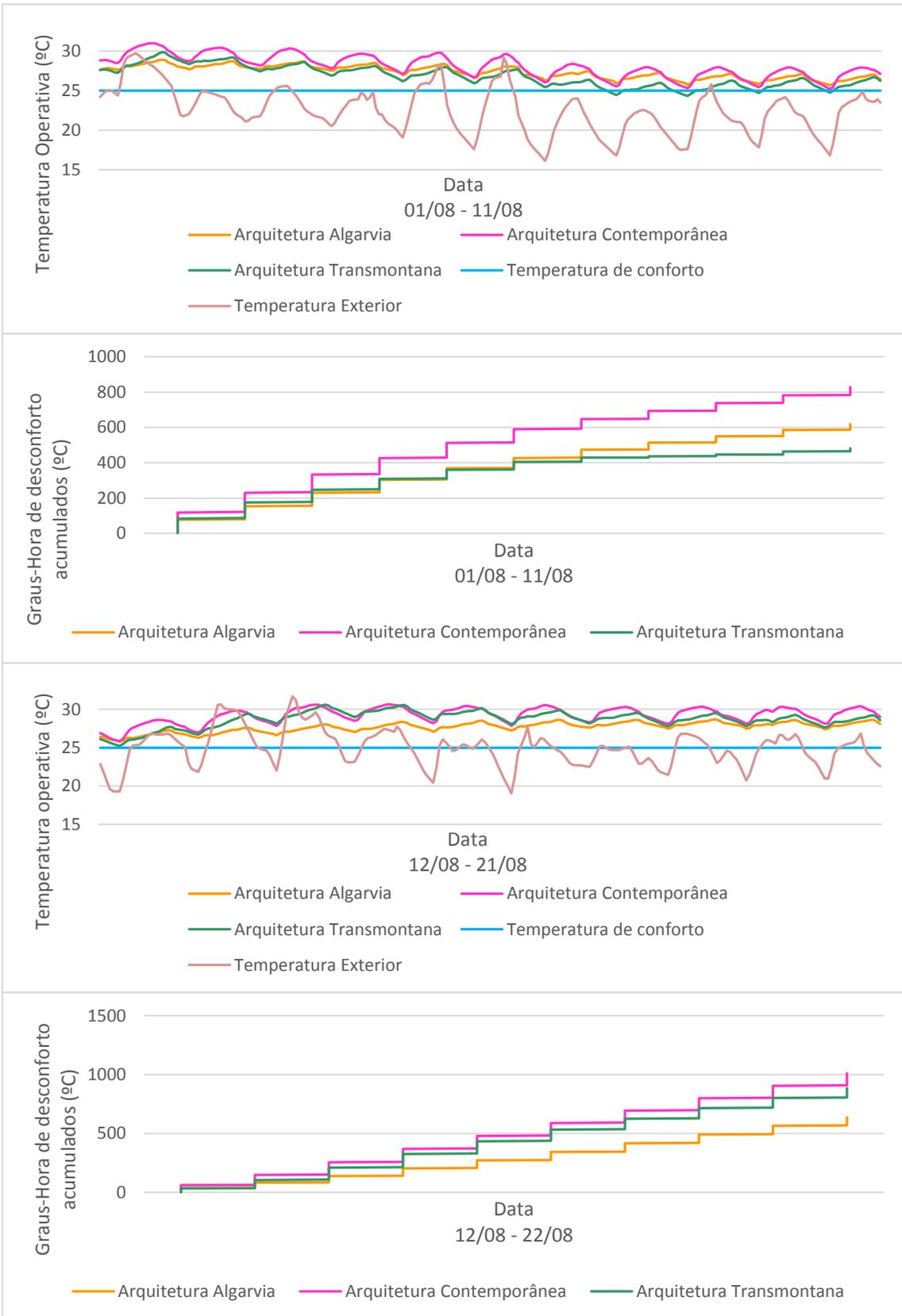


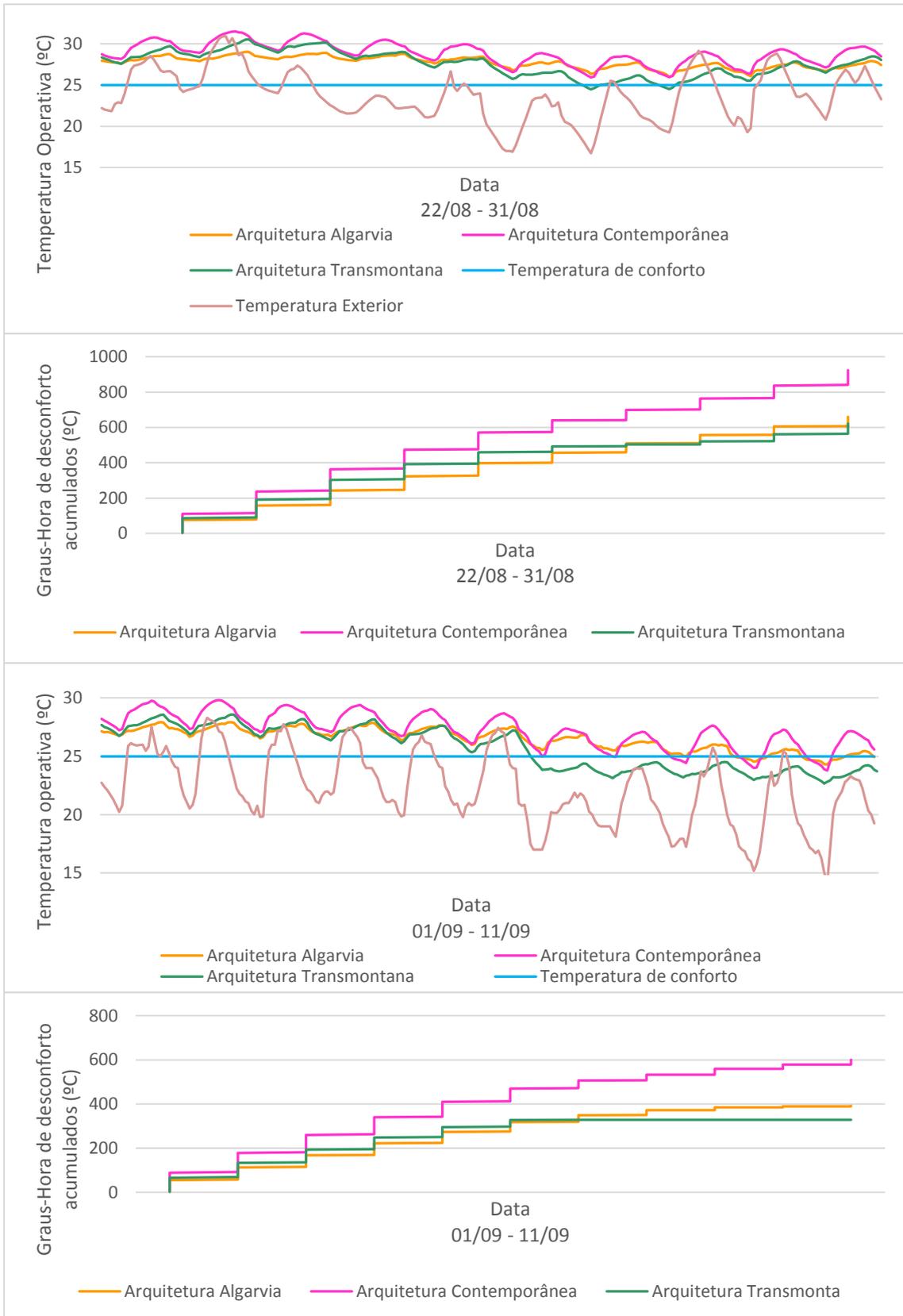


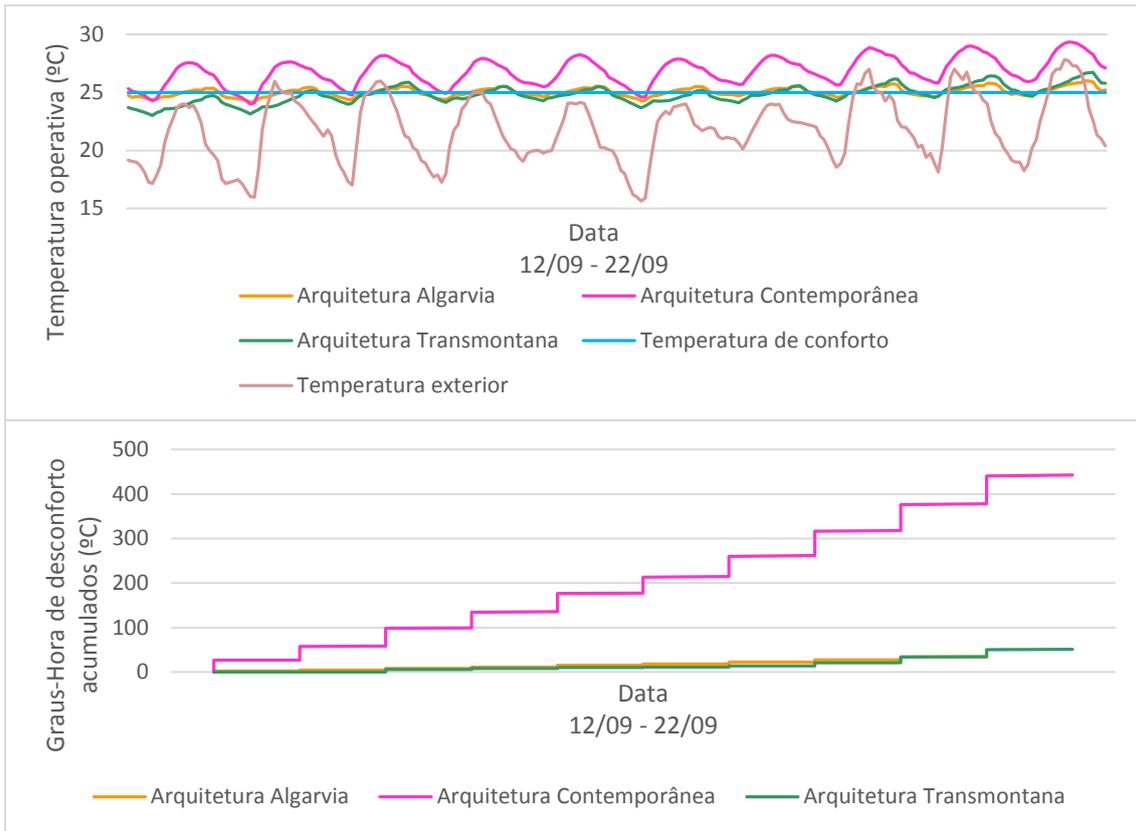
Modelos Alterados – Sombreamento



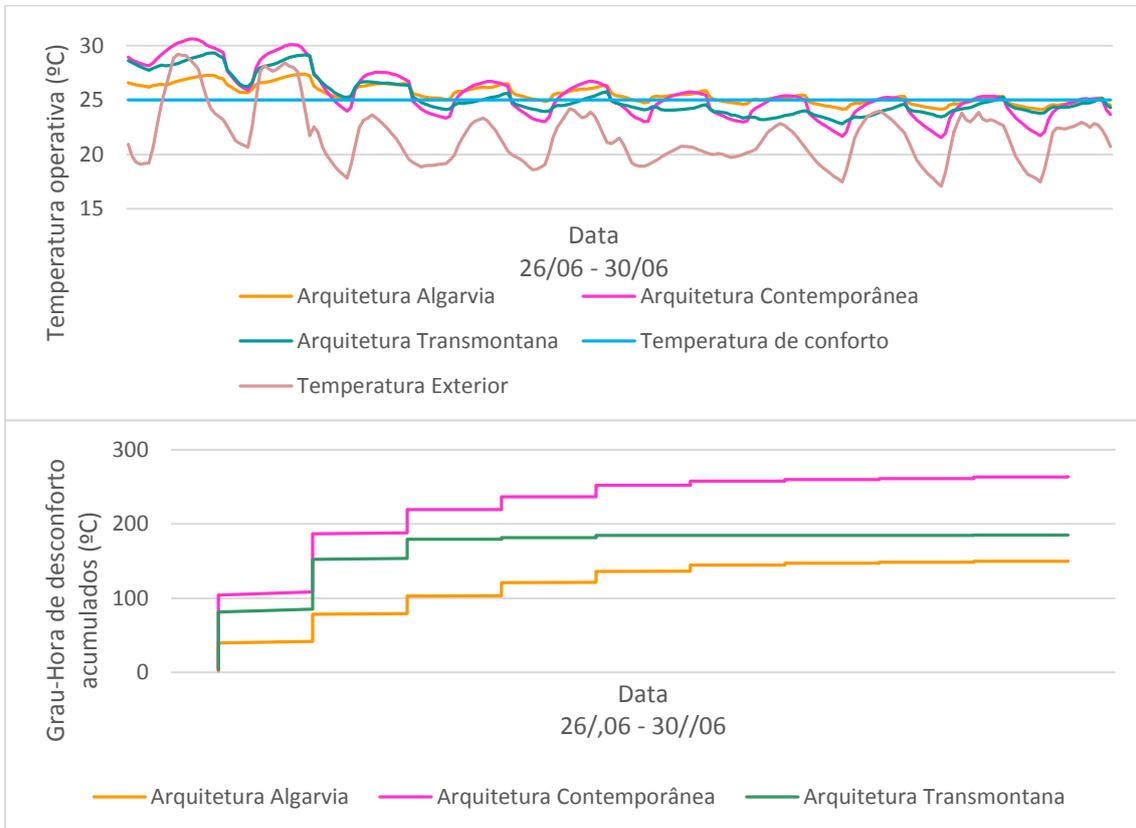


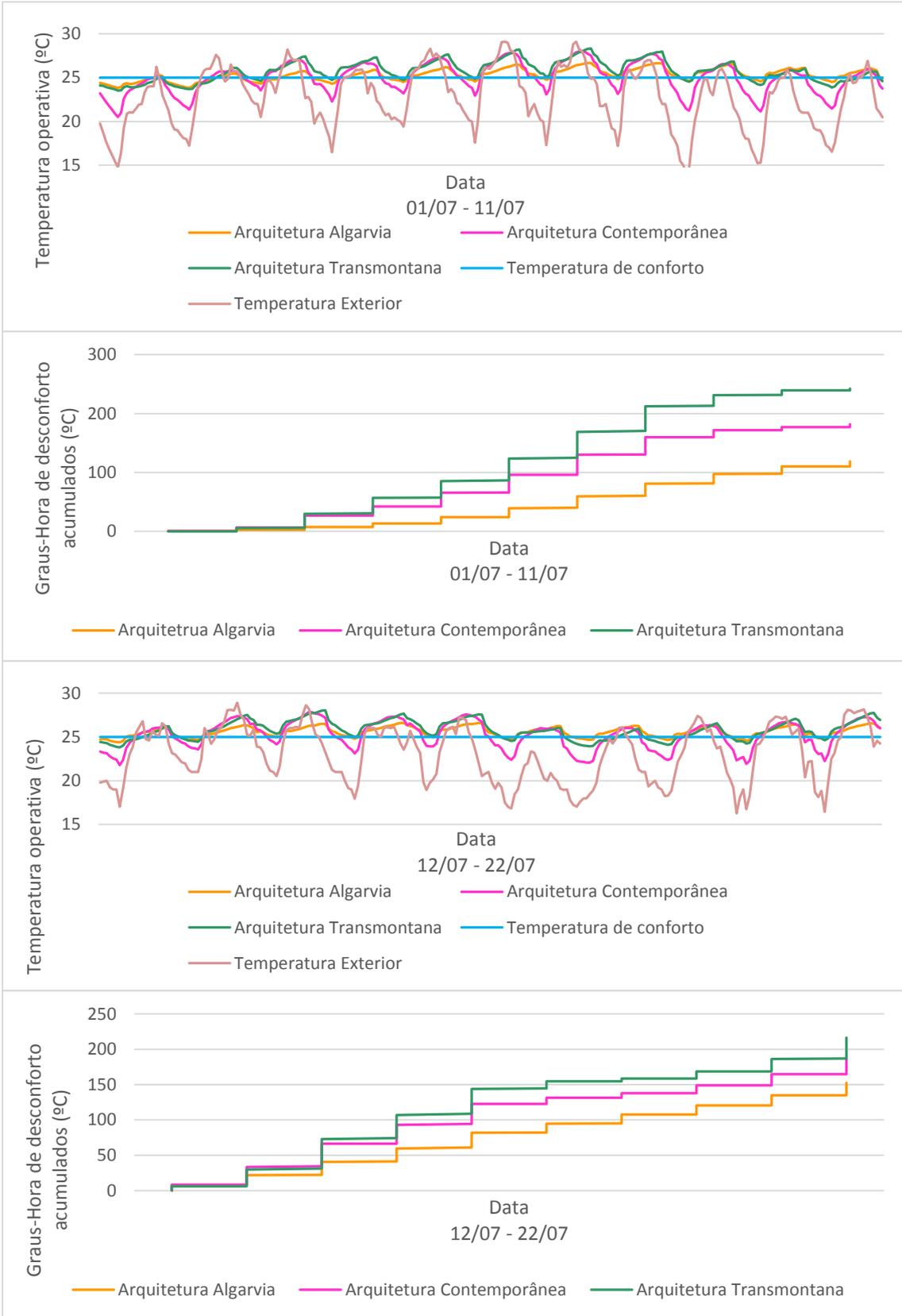


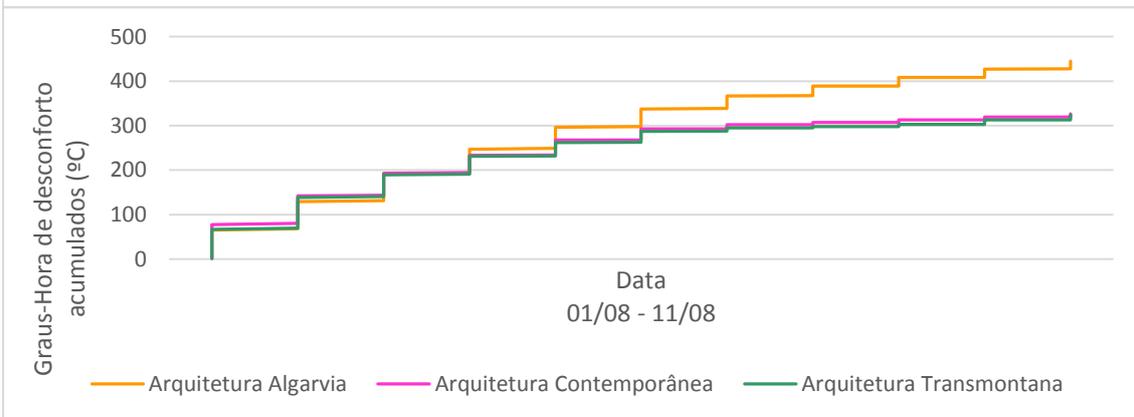
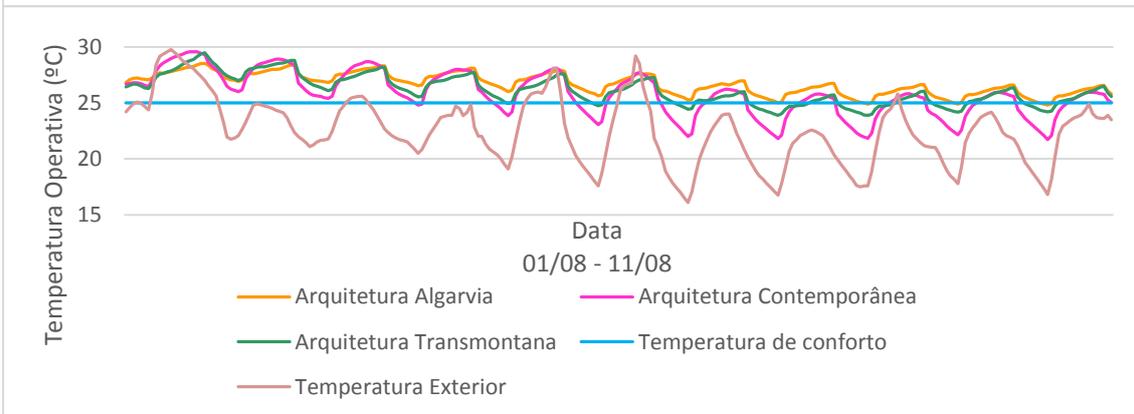
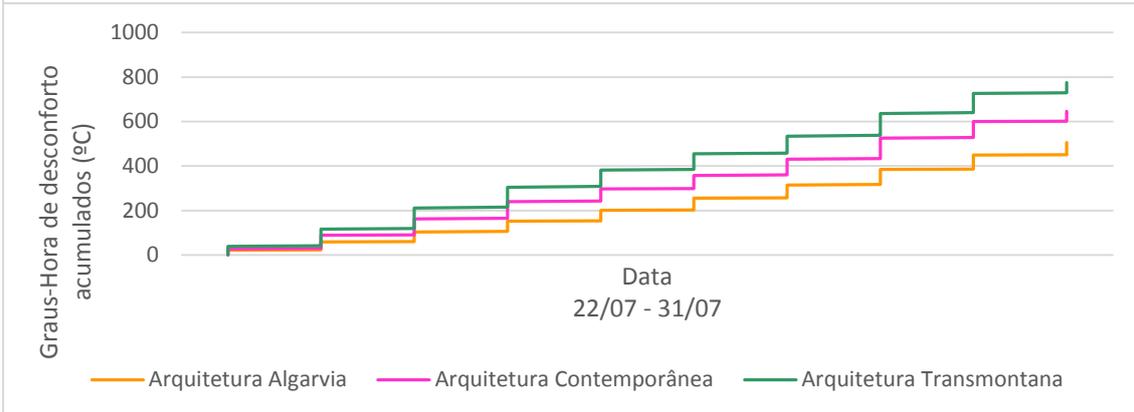
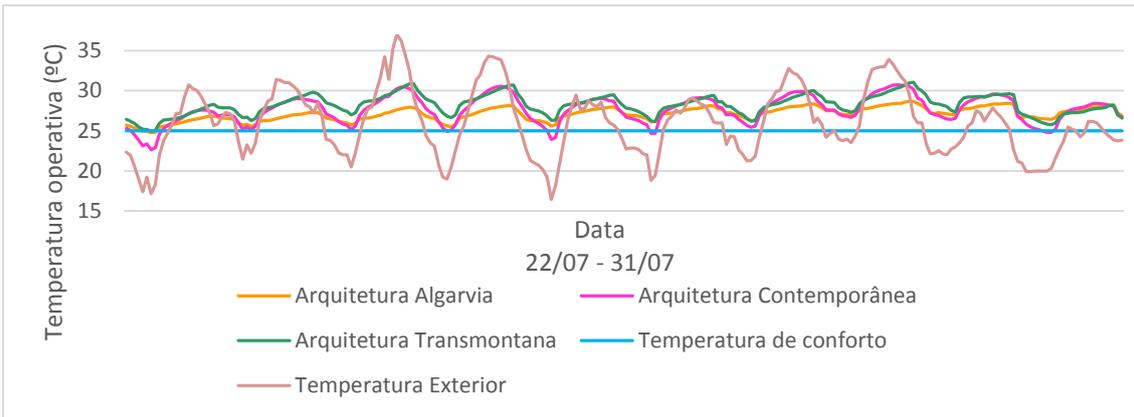


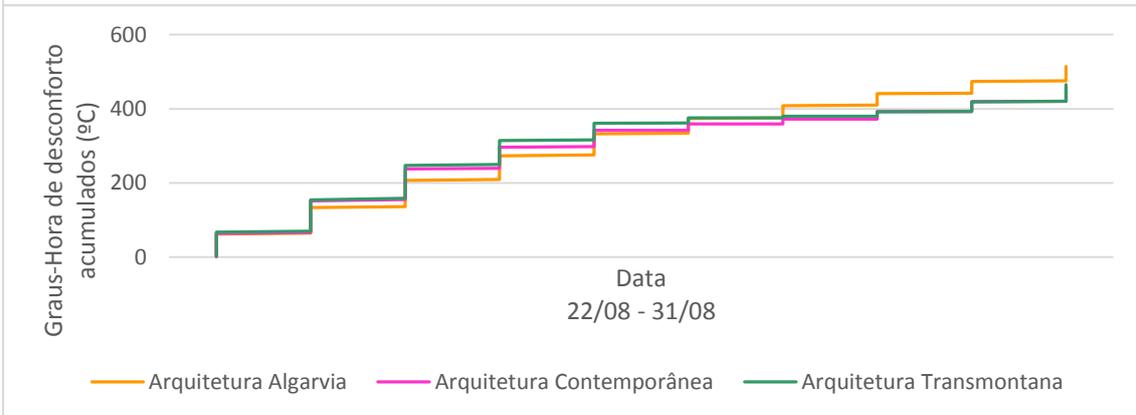
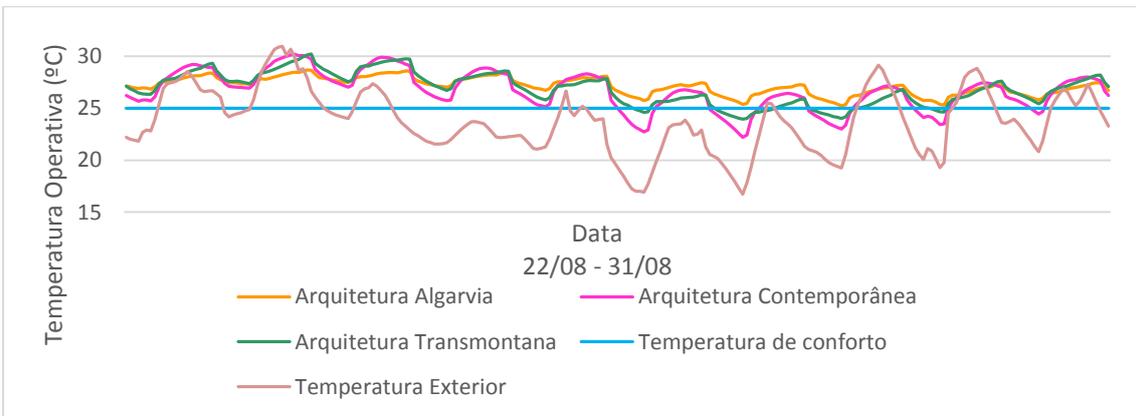
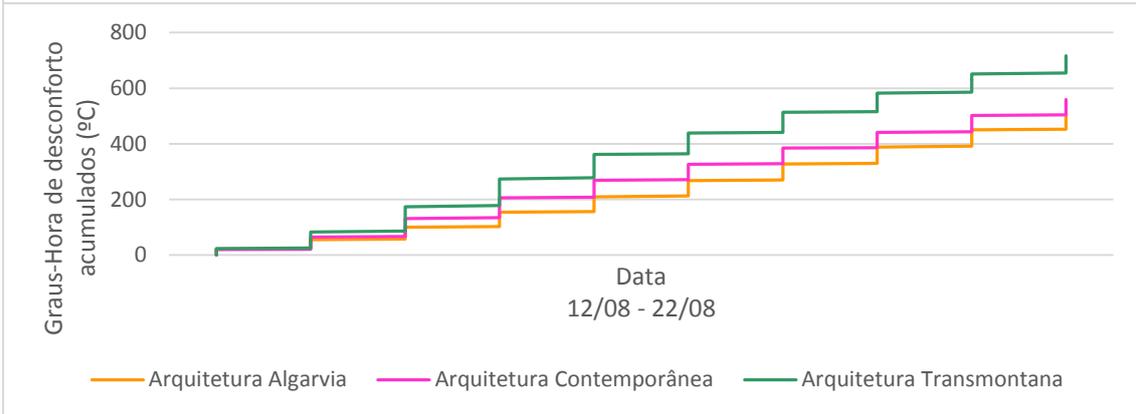
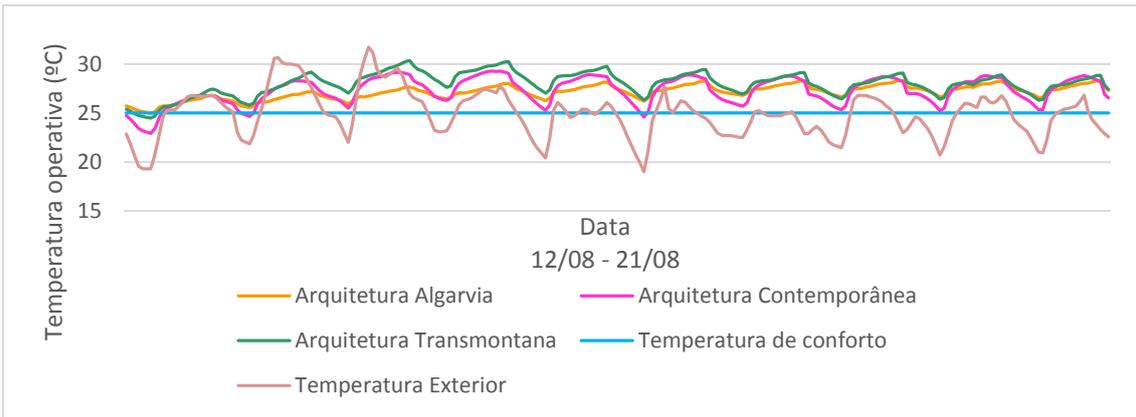


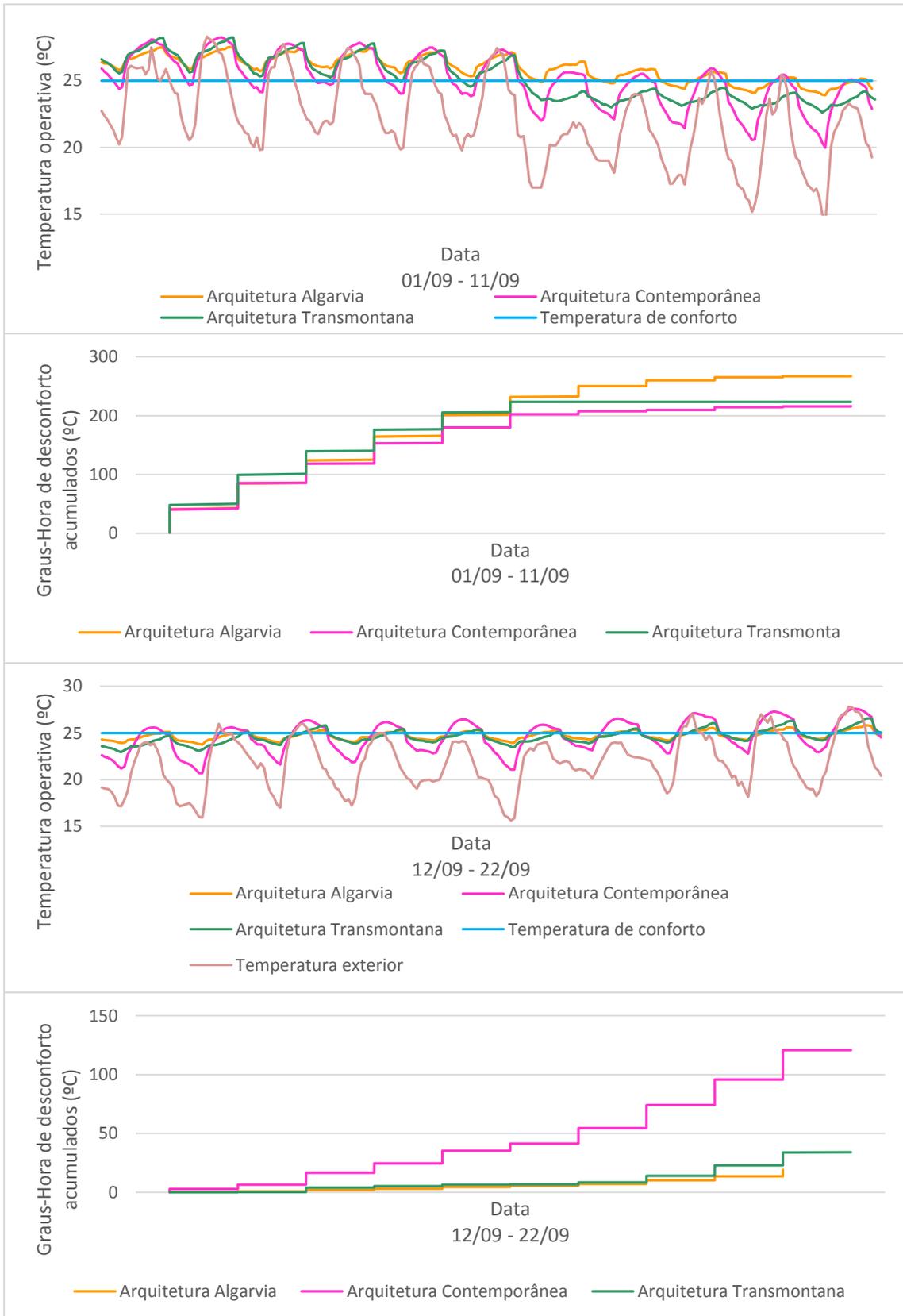
Modelos Alterados – Ventilação e Sombreamento





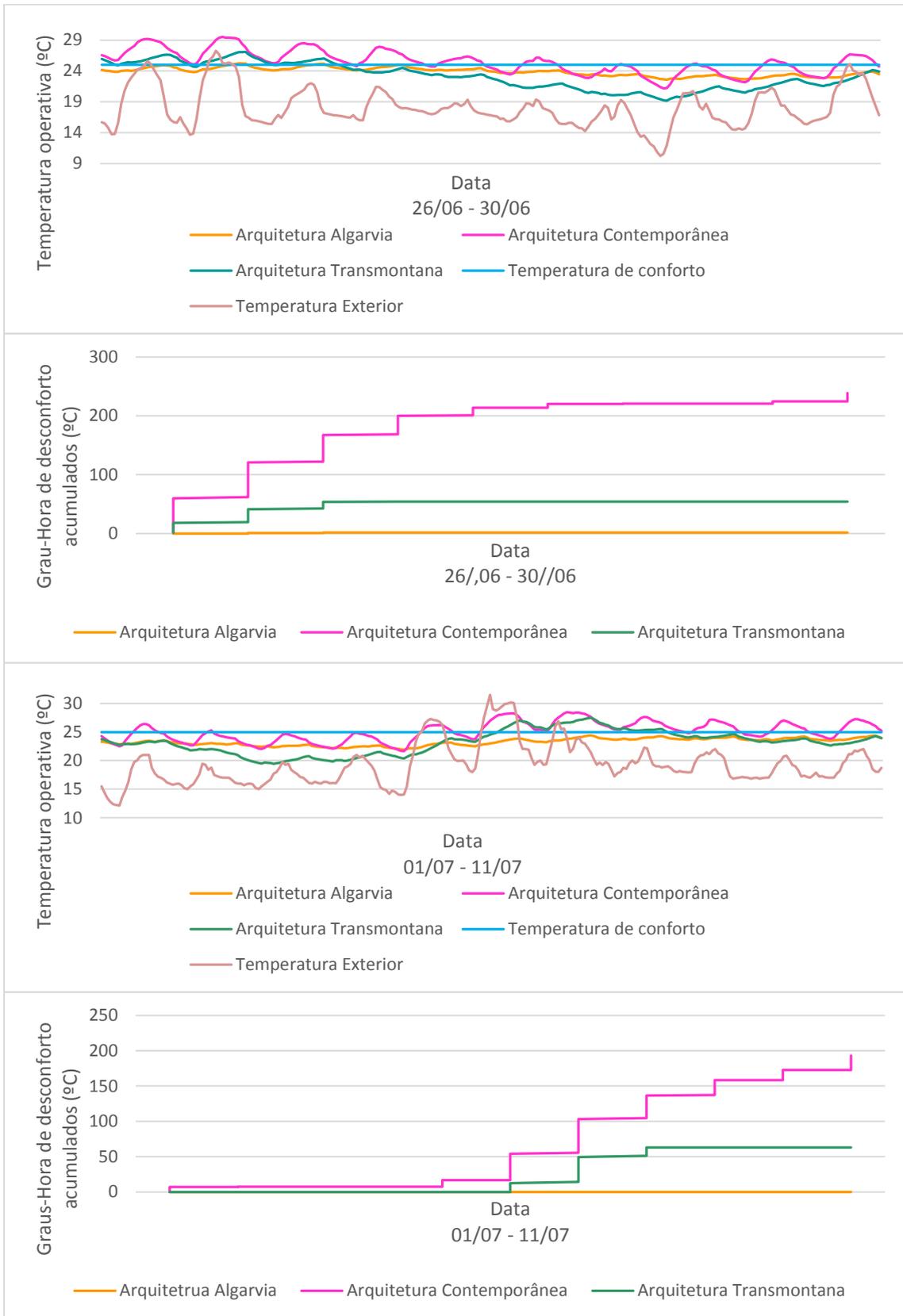


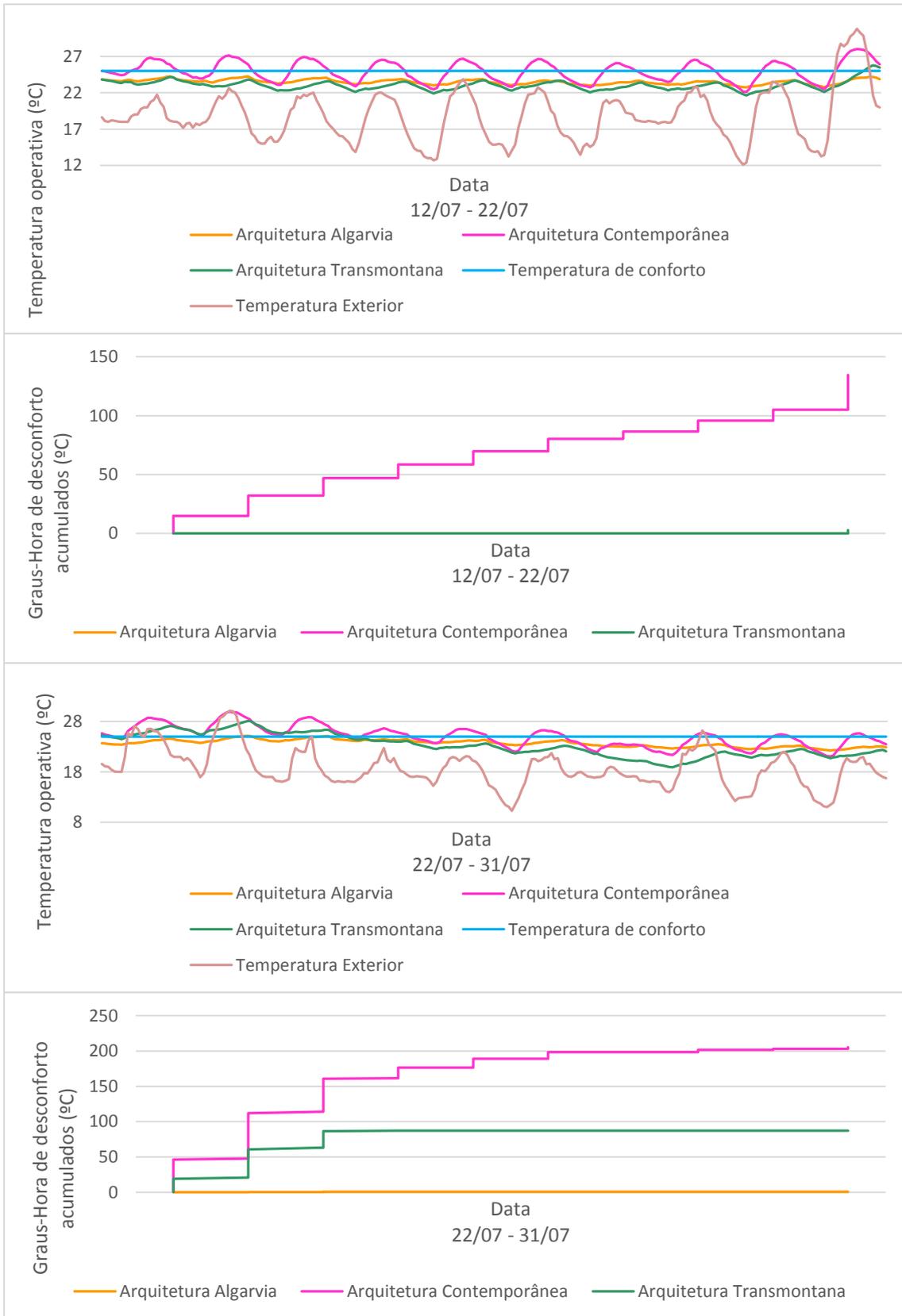


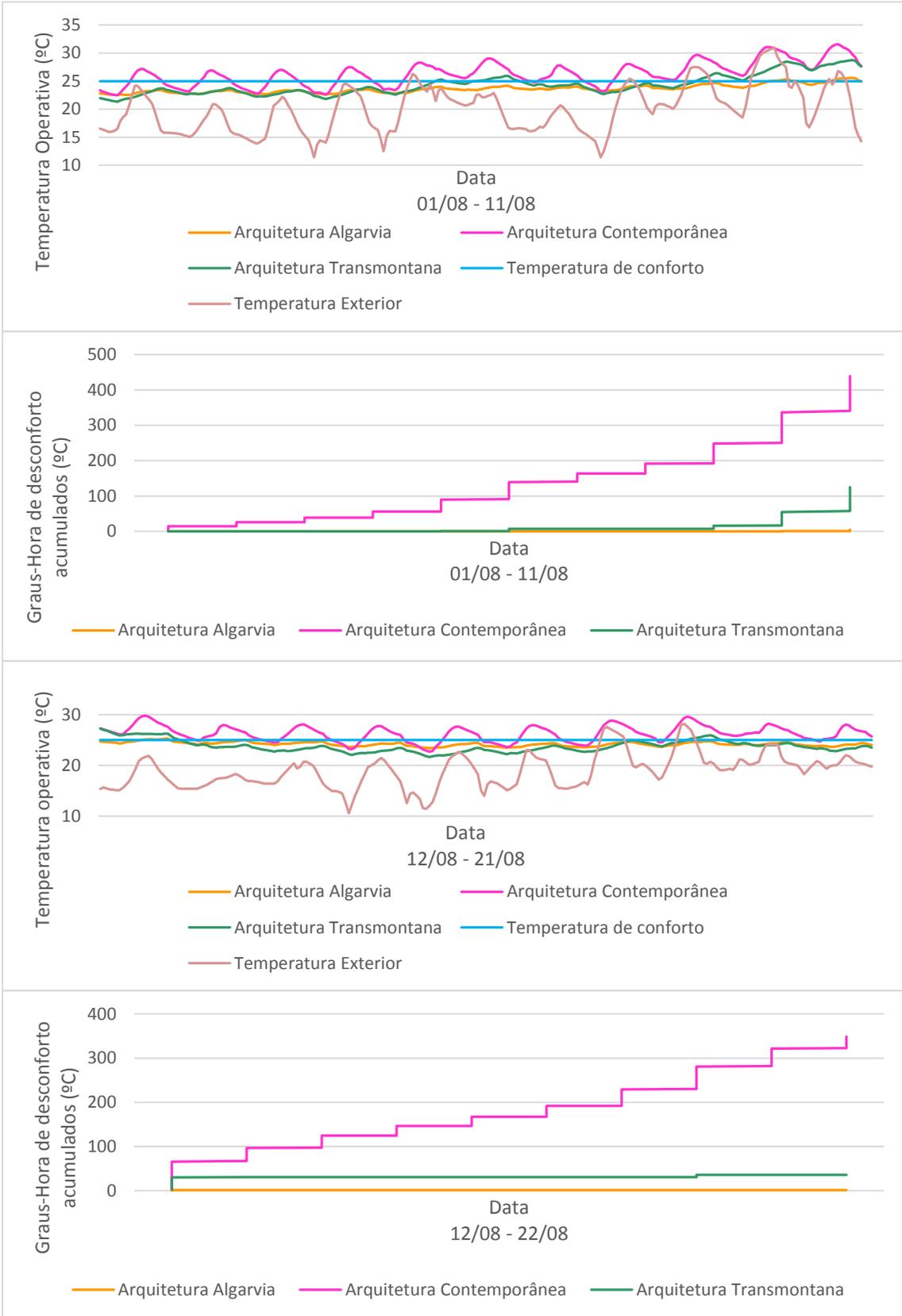


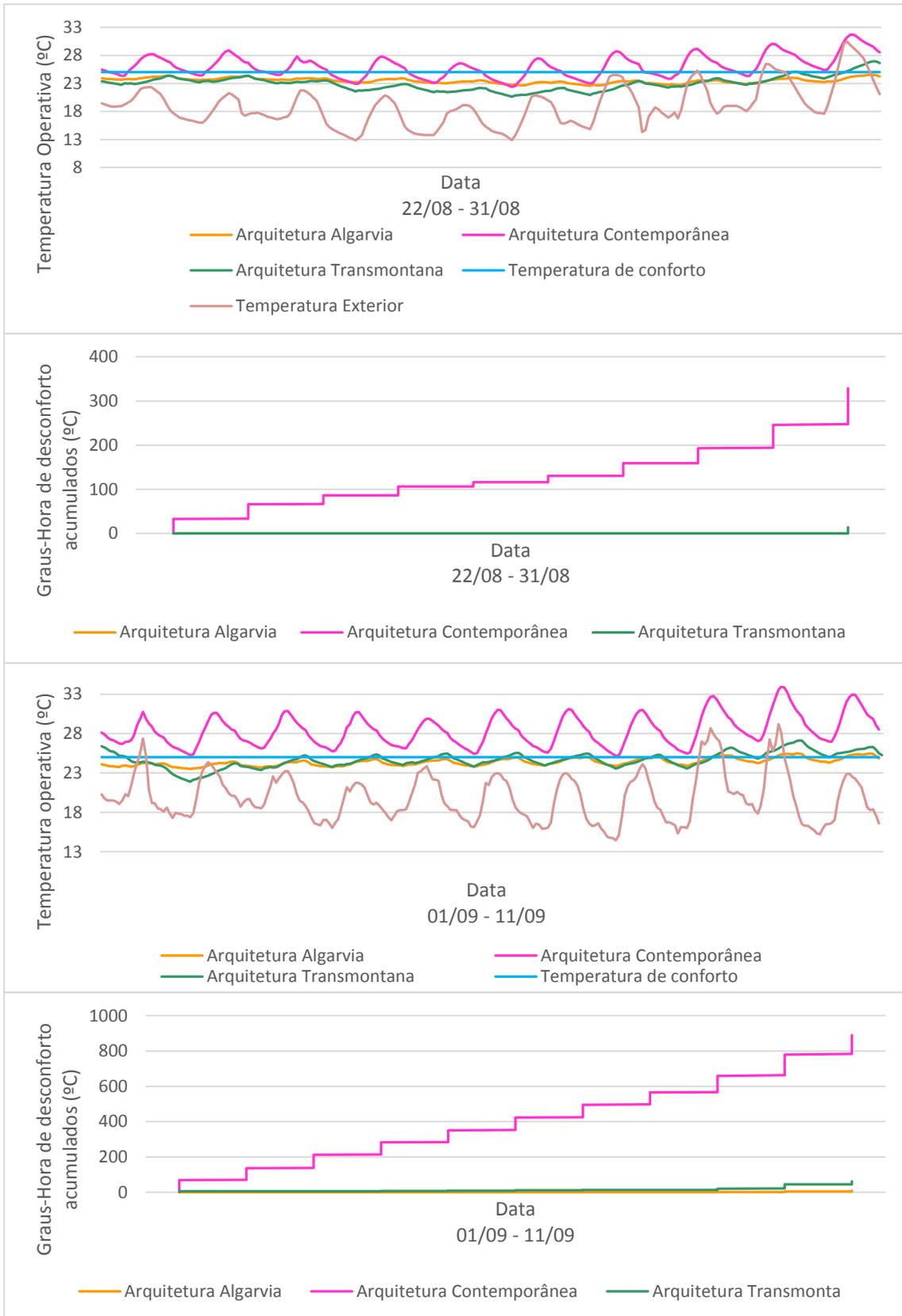
Concelho do Porto

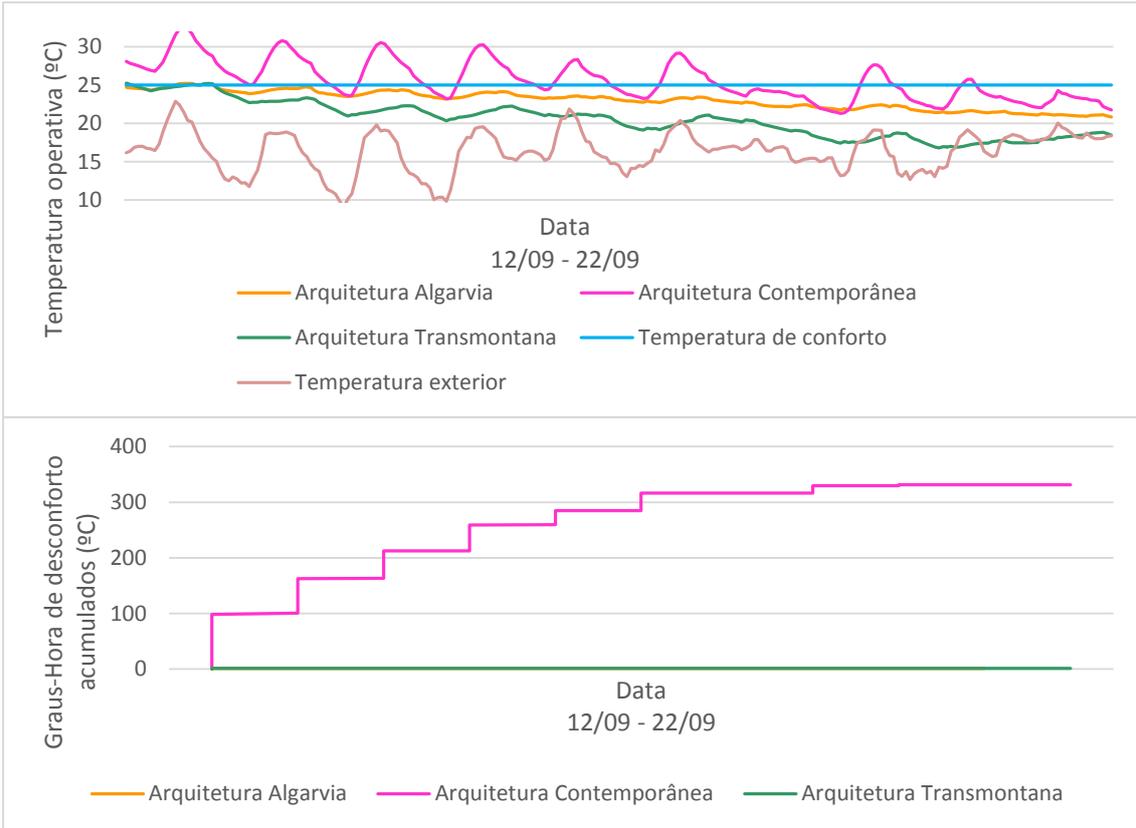
Modelos Base



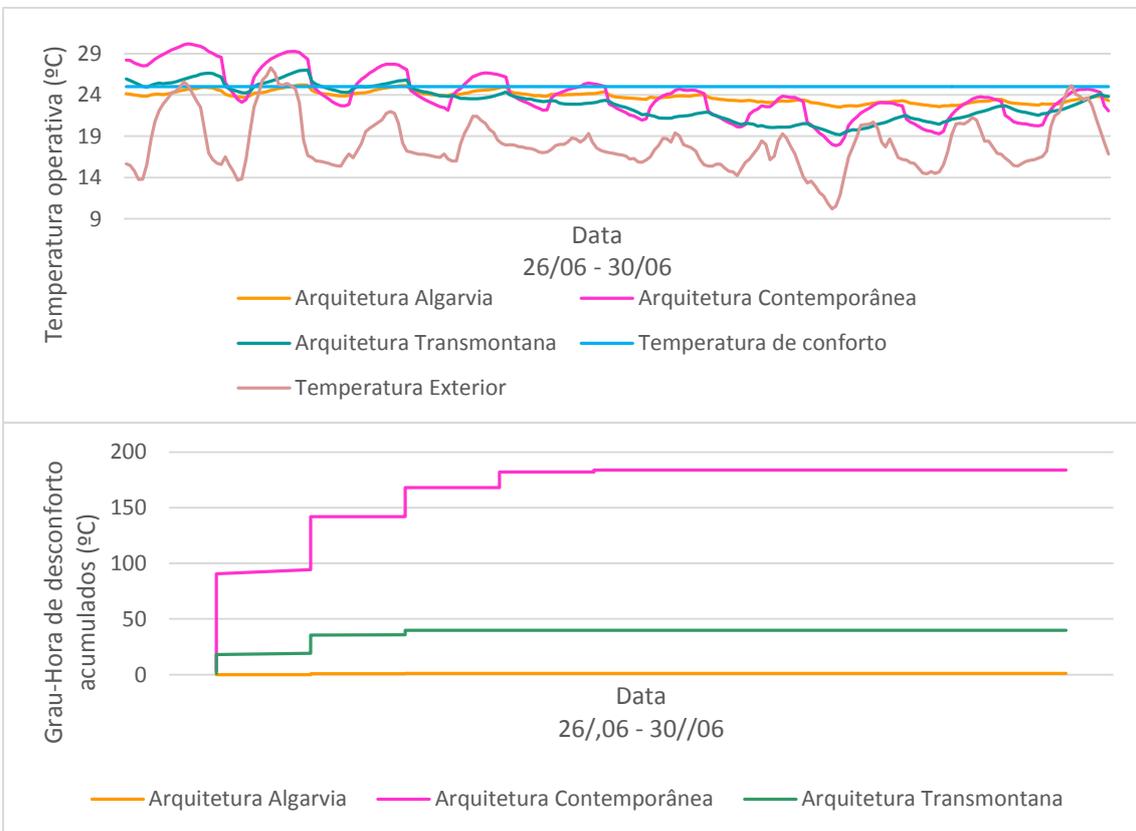


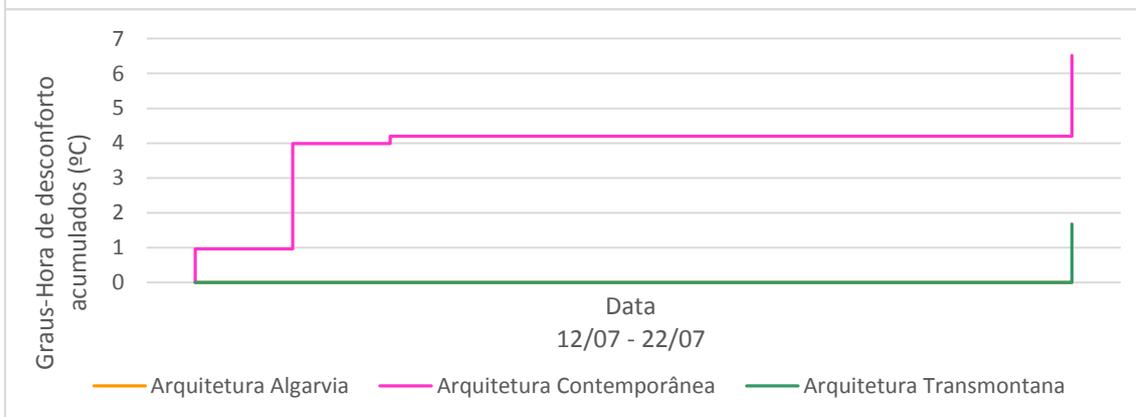
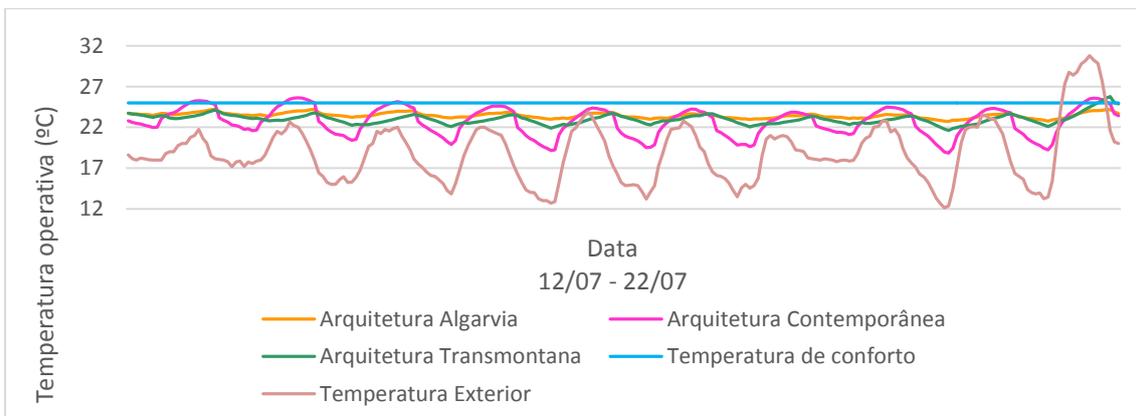
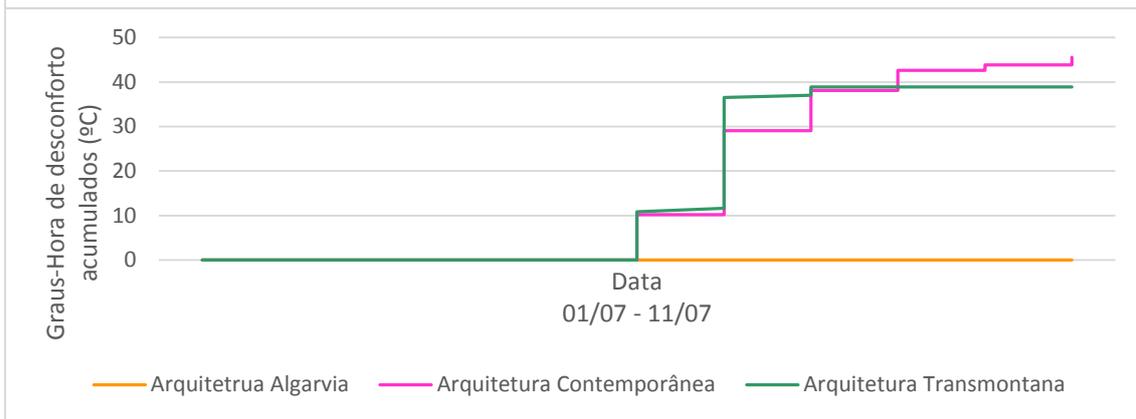
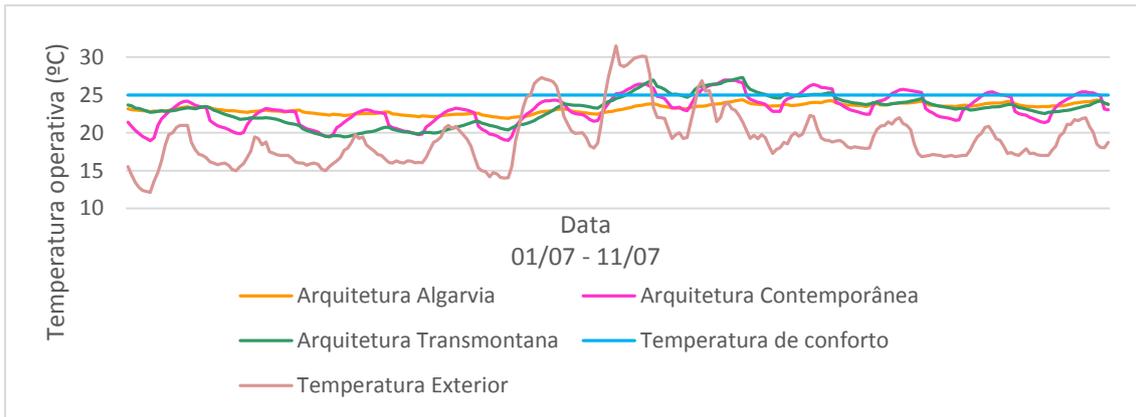


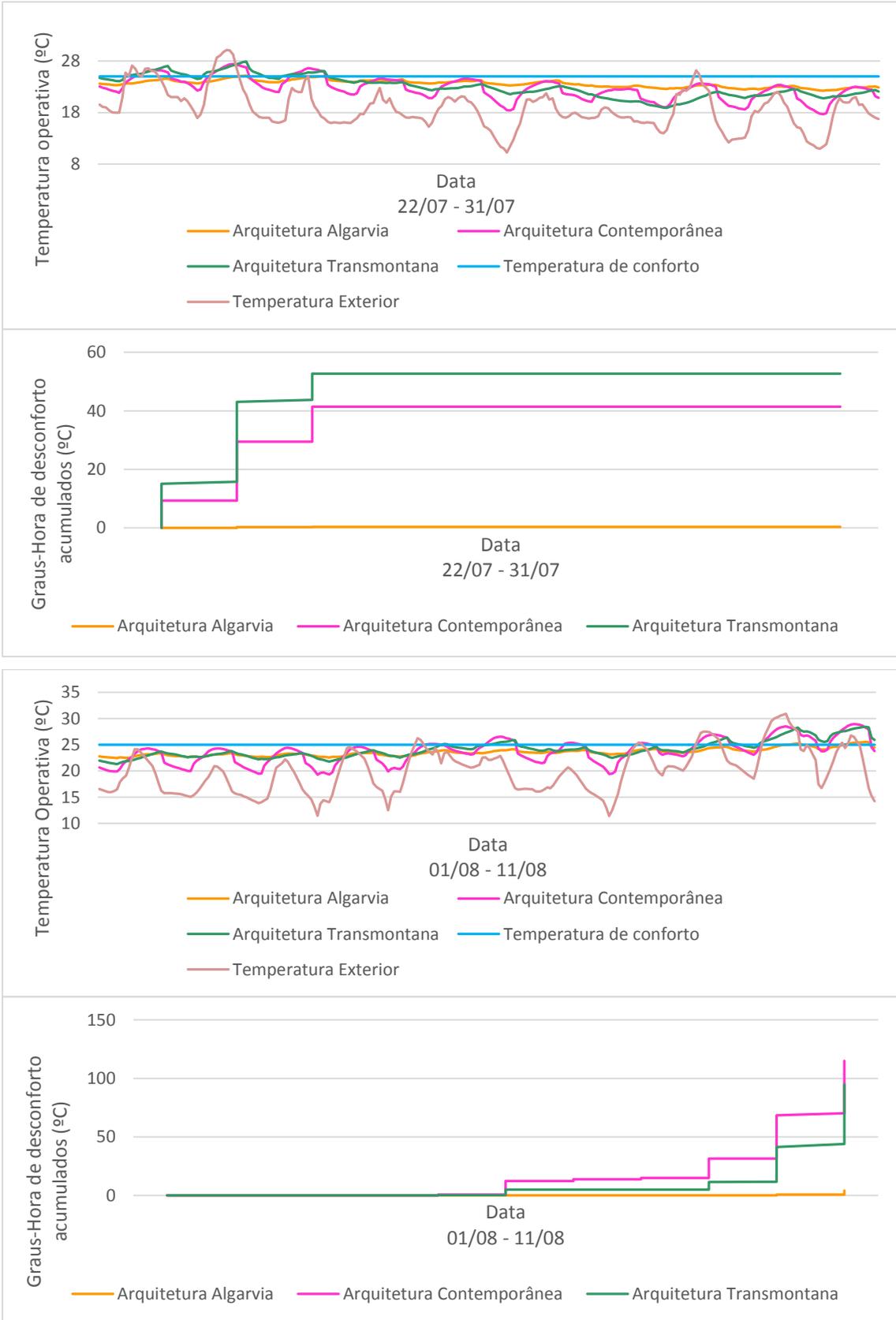


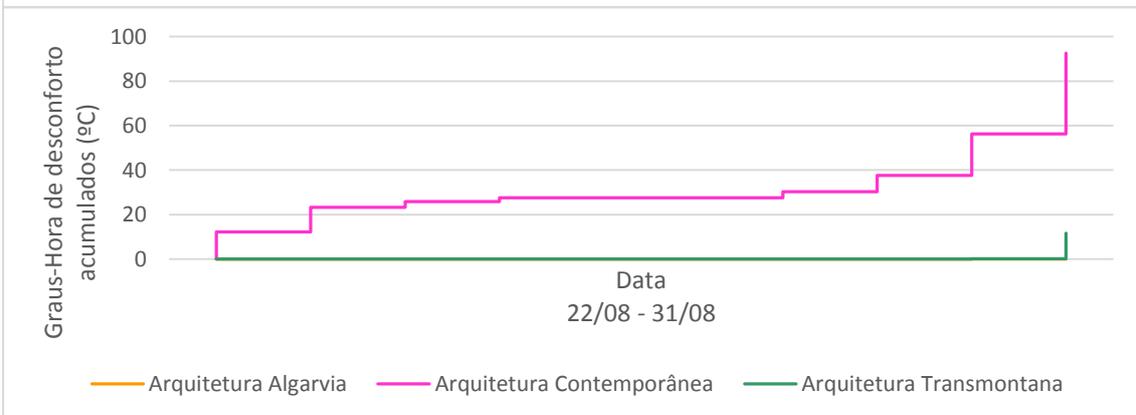
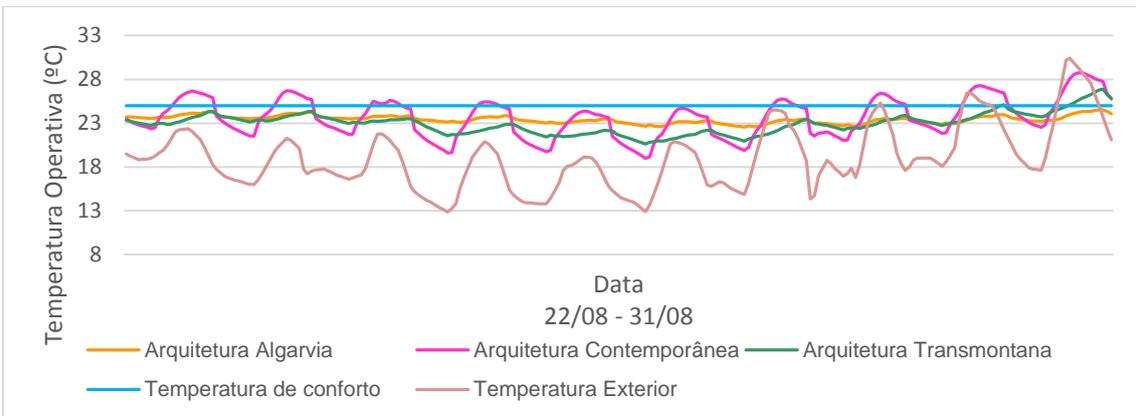
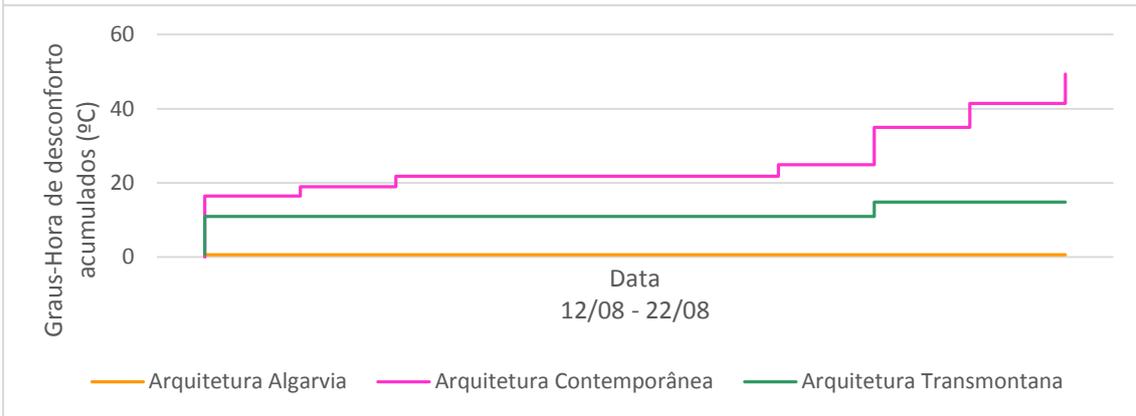
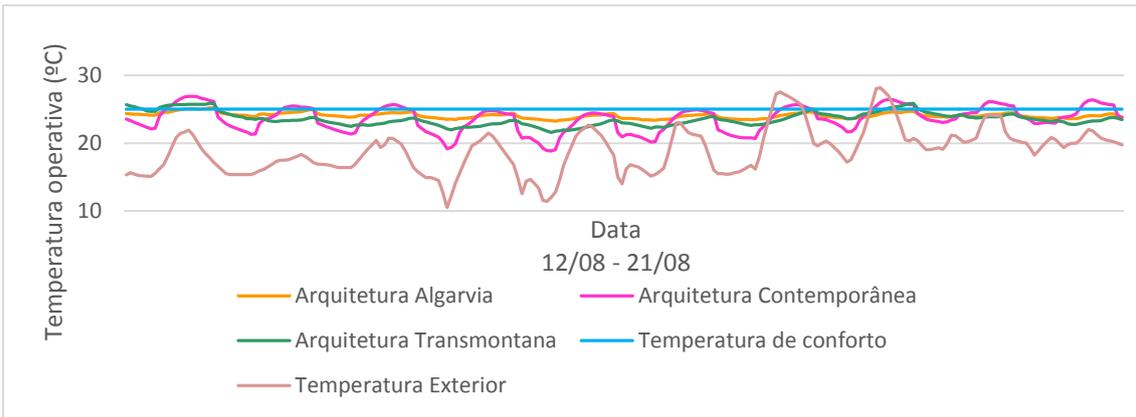


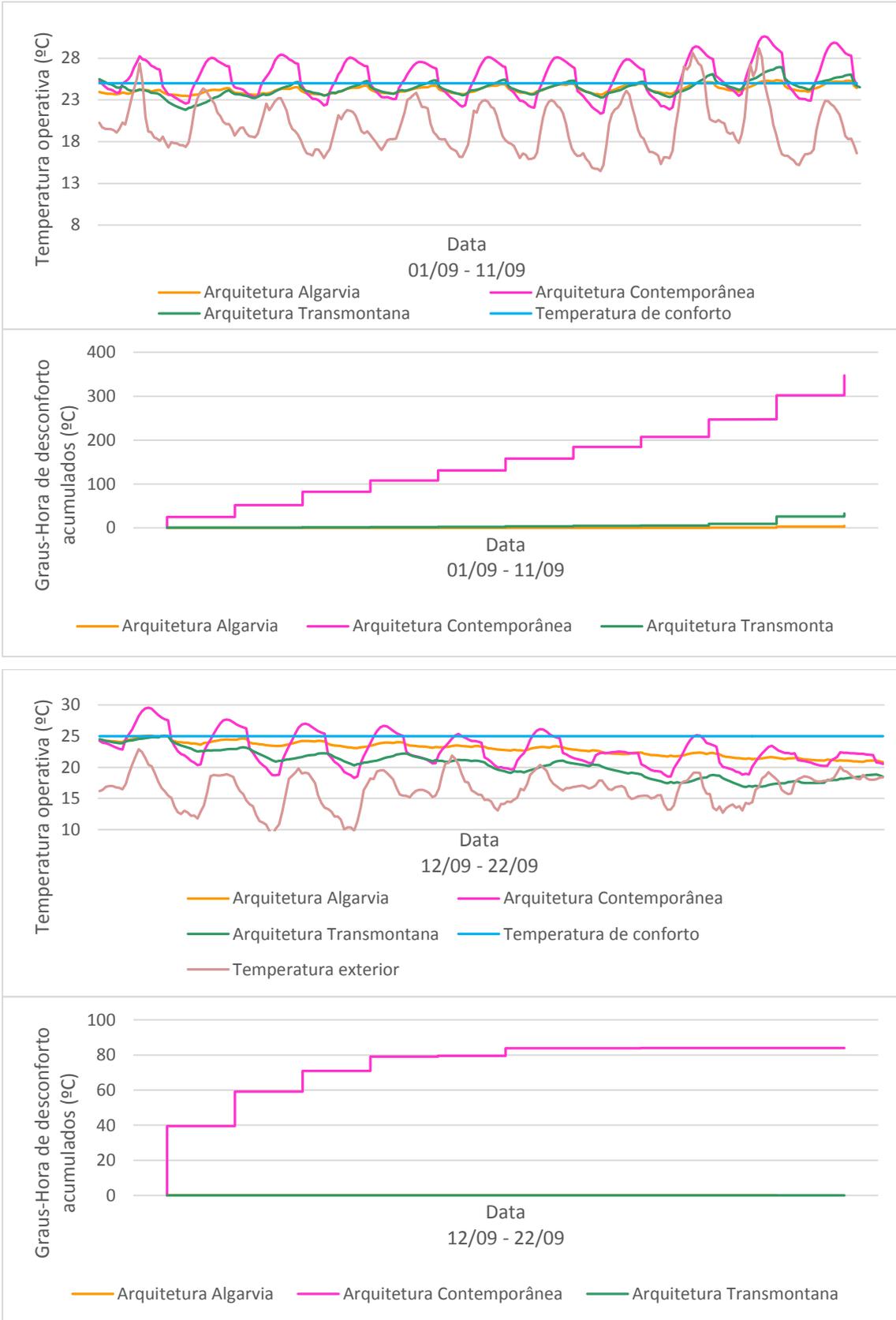
Modelos Alterados – Ventilação



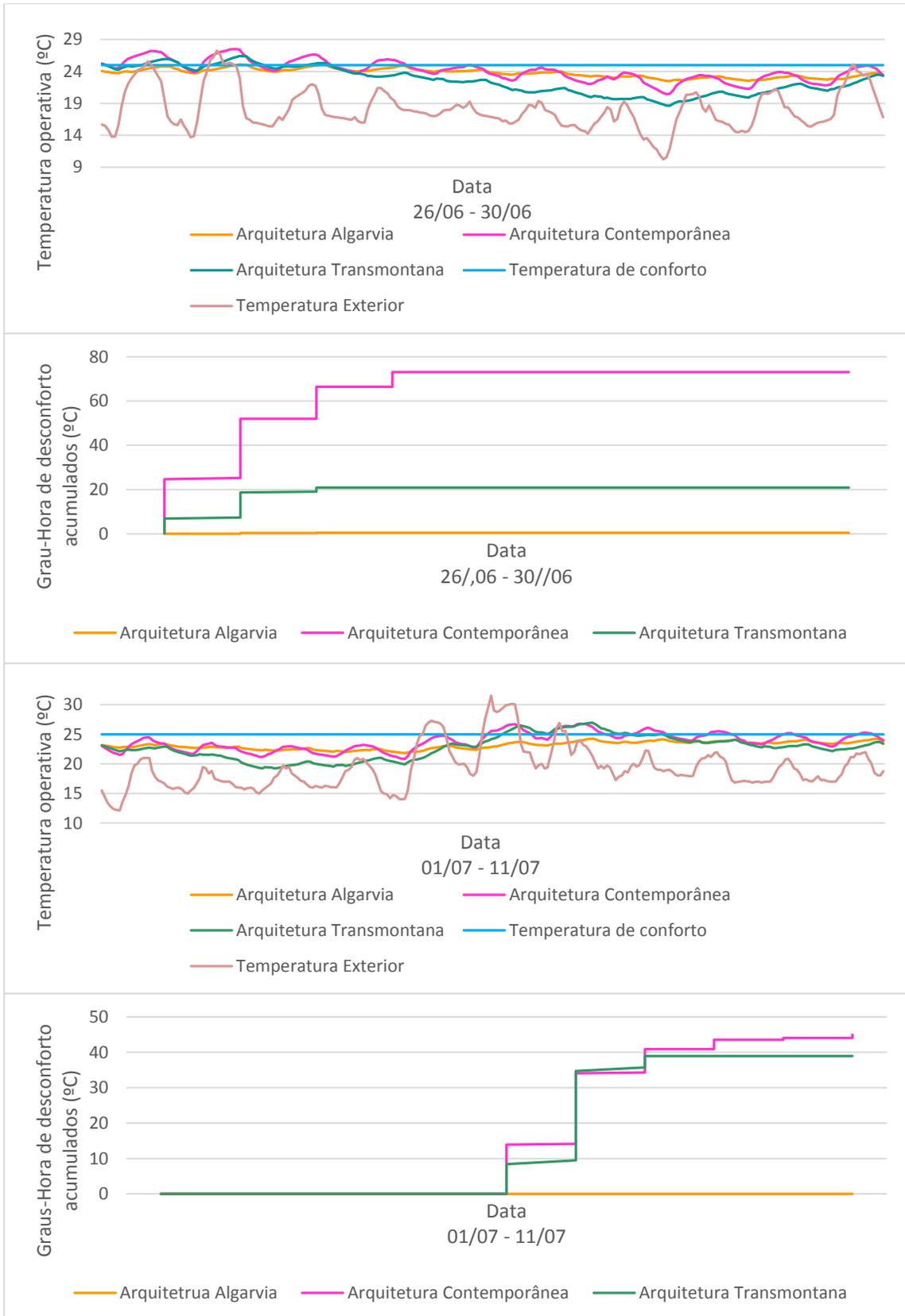


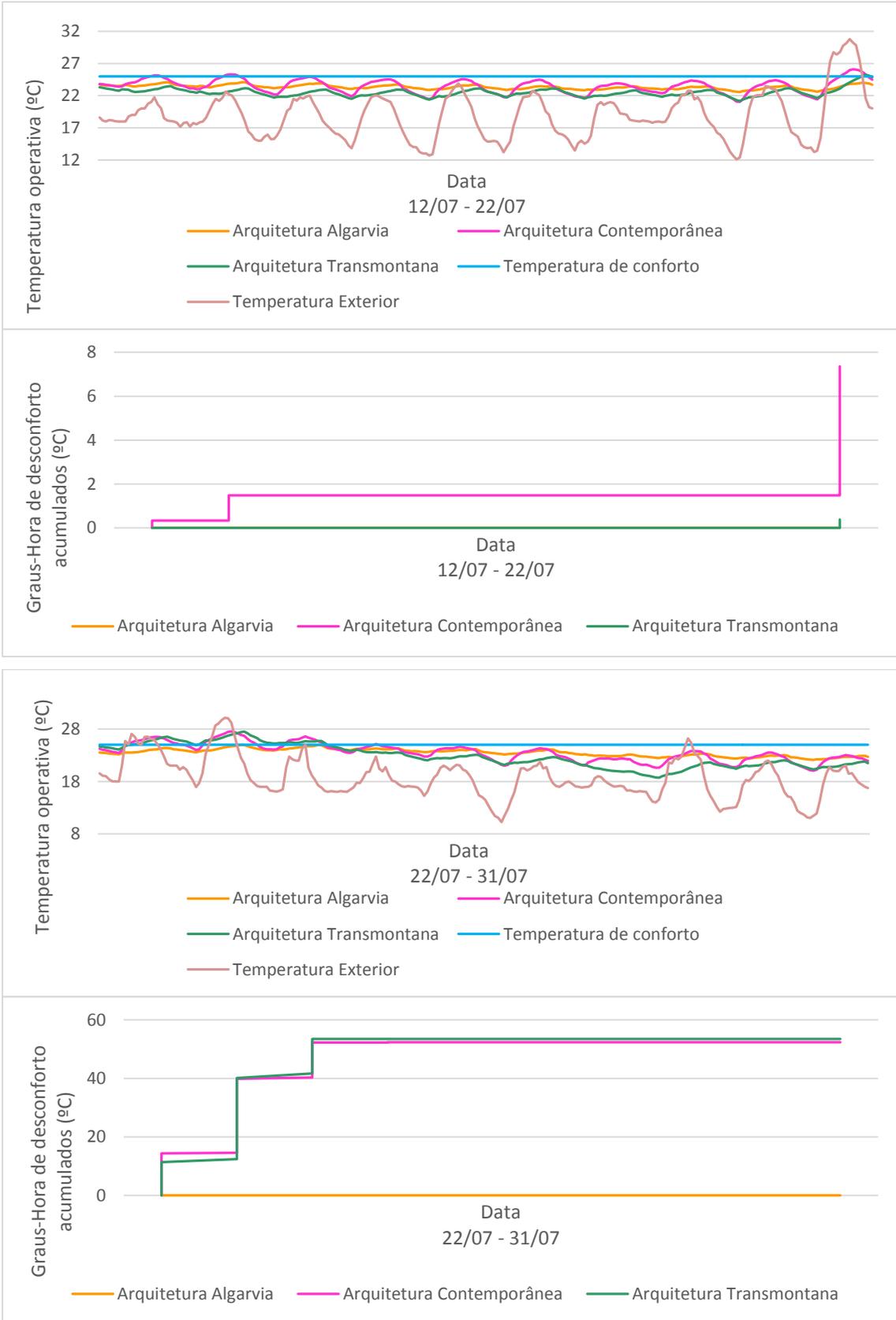


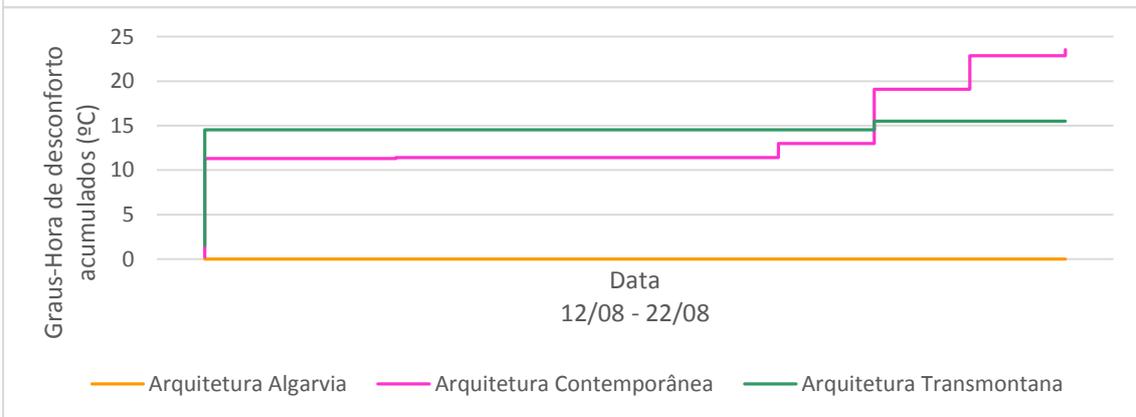
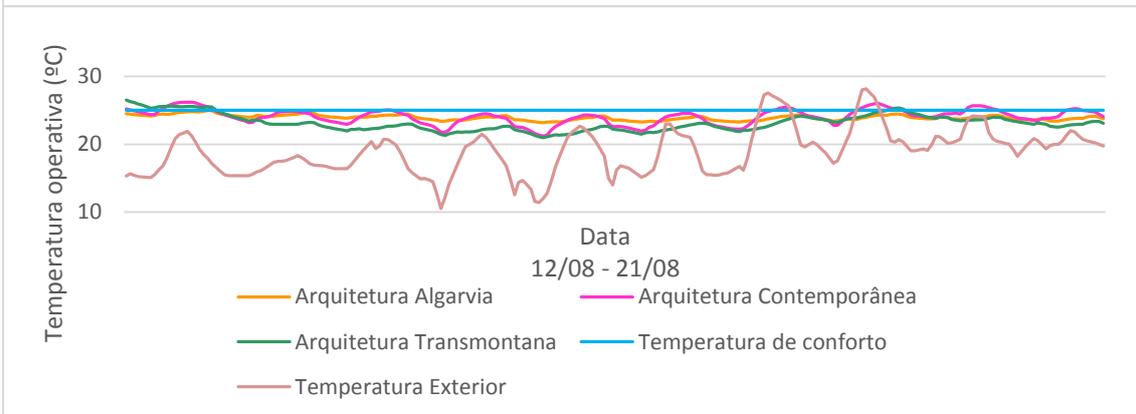
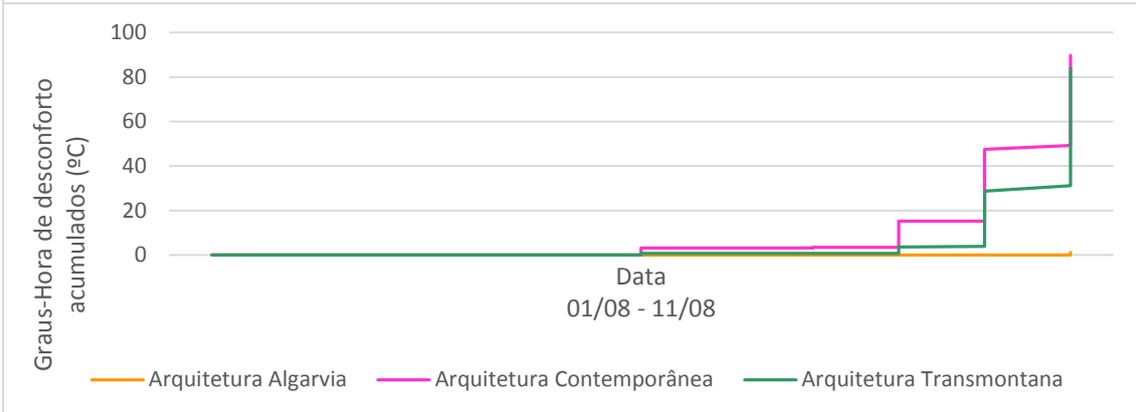
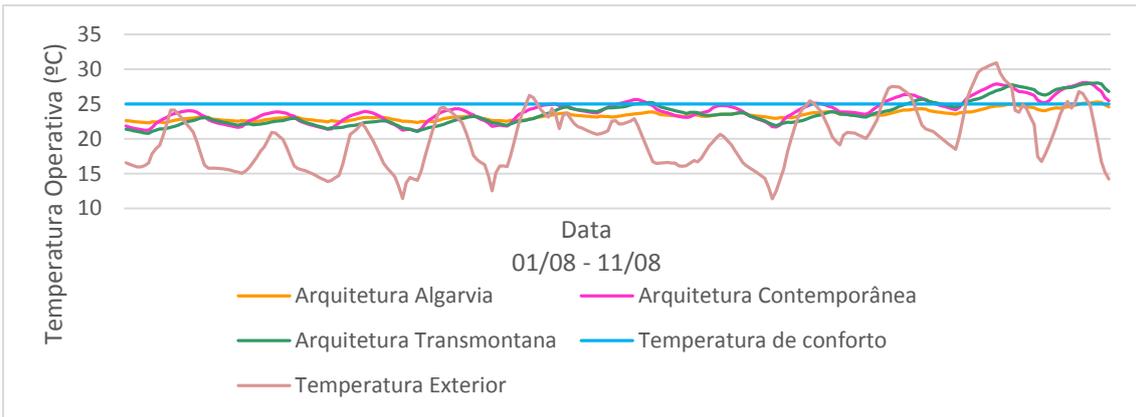


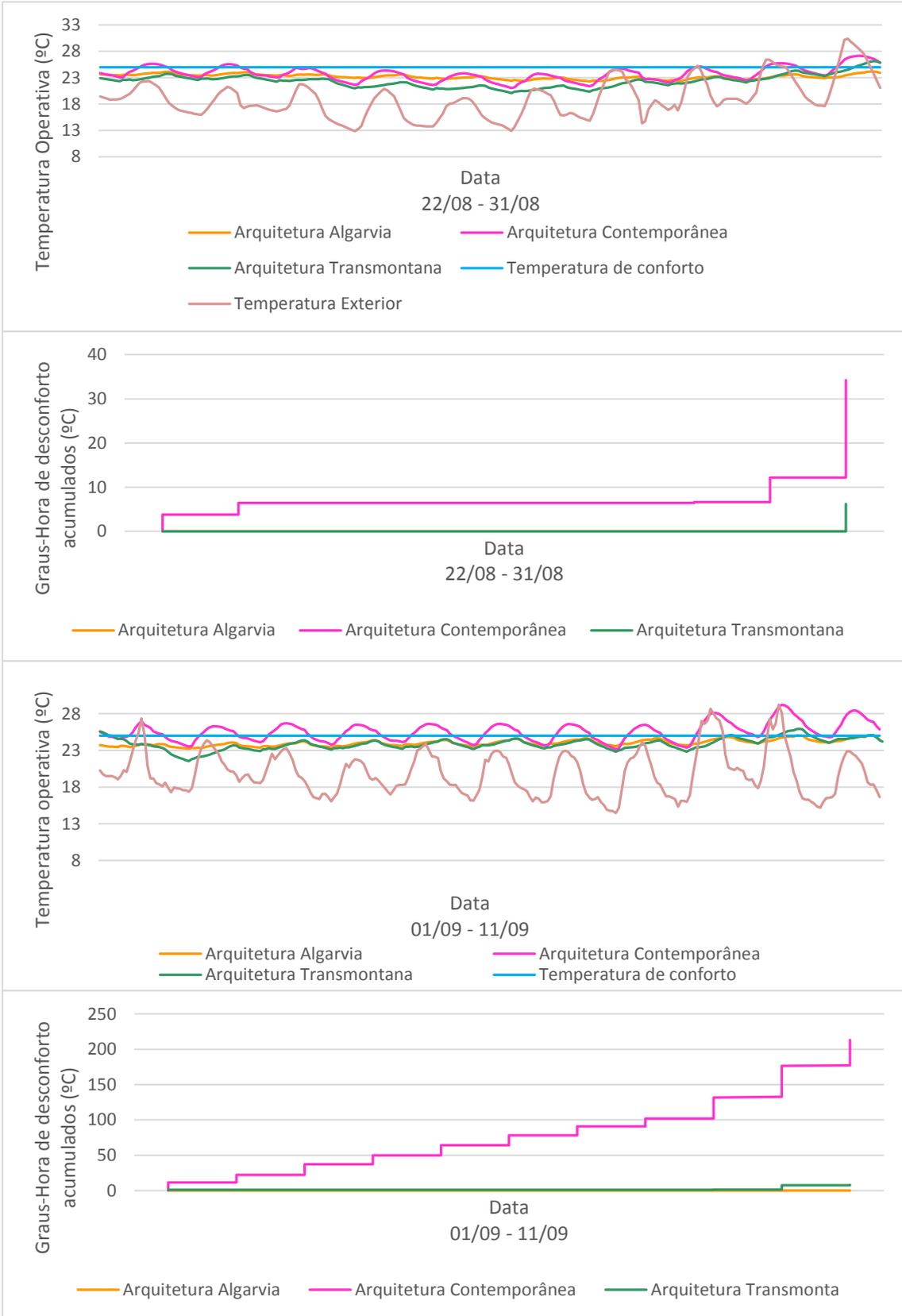


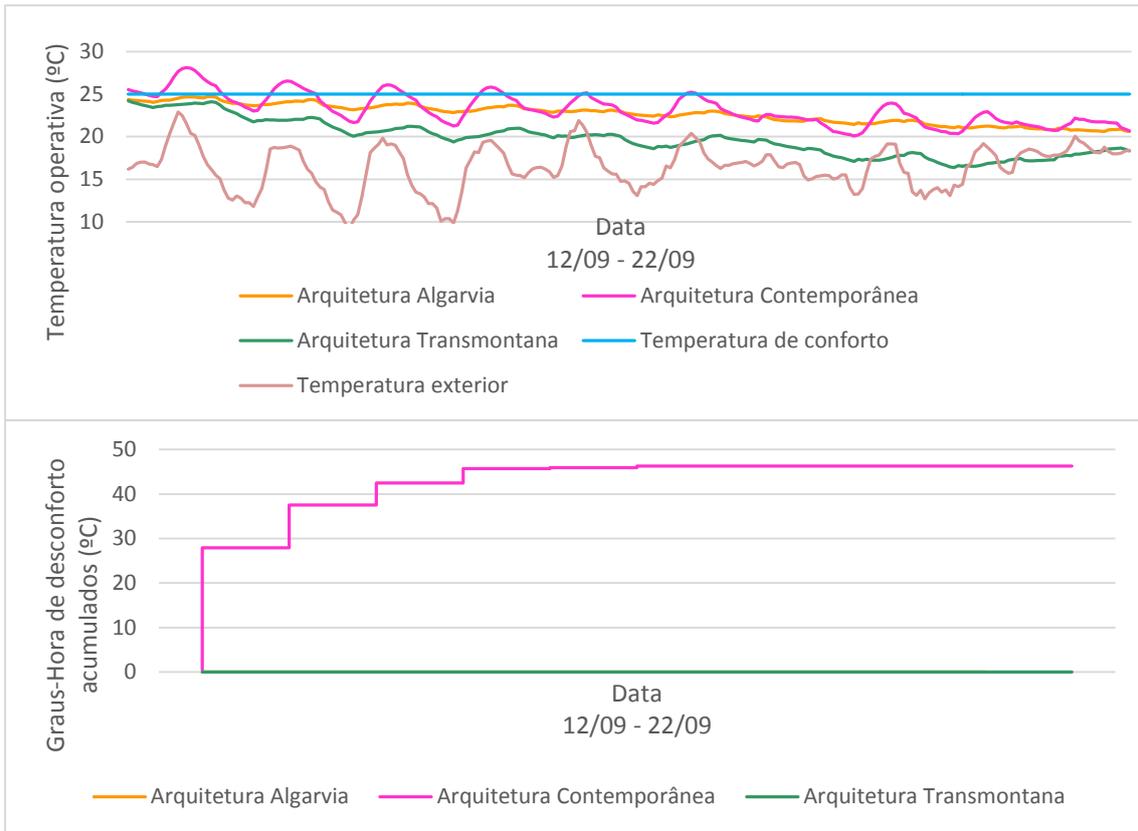
Modelos Alterados – Sombreamento











Modelos Alterados – Ventilação e Sombreamento

