



ASPECTOS DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA SOBRE O COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS E EQUIPAMENTOS

J. A. G. Saraiva; P. R. P. dos Santos¹; F. V. Marques da Silva & F. de A. Gonçalves da Silva²

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Departamento de Estruturas

Núcleo de Dinâmica Aplicada

Av. do Brasil, 1799 Lisboa Codex – Portugal

Fax +351 1 846 3457

Email: jsaraiva@lnec.pt

¹ Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS), Brasil

² Departamento de Arquitectura, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Paraíba; João Pessoa (PB), Brasil

SUMÁRIO A regulamentação portuguesa relativa às Características de Comportamento Térmico dos Edifícios e dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios é apresentada.

As respectivas filosofias de base, as metodologias consideradas e os estudos de base adoptados são explicitados e alguns comentários e críticas estabelecidos.

ABSTRACT The Portuguese Codes concerning the Thermal Characteristics of Buildings and HVAC equipment are presented as well as the underlying methodologies and studies performed.

1 RCCTE

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, ou RCCTE como é corrente conhecido, foi publicado no princípio de 1990 e foi, desde logo e à semelhança de outros regulamentos, entendido como um compromisso entre o estágio actual do conhecimento científico e tecnológico num determinado domínio e a capacidade tecnico-económica da sua aplicação. Foi mesmo mais longe ao assumir, na inexistência de qualquer tradição regulamentar no domínio, uma forma simples, nem

por isso menos correcta e integrando os conceitos essenciais, que permitisse uma evolução futura.

O RCCTE aborda, no essencial, a questão dos consumos energéticos associados ao conforto nos edifícios numa tripla perspectiva de disponibilidade da energia final: função das necessidades reais em qualidade e quantidade; tendo em atenção as condicionantes associadas à queima dos combustíveis fósseis; e a valorização dos recursos energéticos endógenos, de que o Sol é, normalmente, o paradigma mas que passa pelo próprio clima.

De facto, é correntemente referido que, sem agravamentos significativos dos custos de construção e sem tolher excessivamente a própria concepção, é possível construir edifícios com melhores níveis de conforto reduzindo os consumos energéticos, nomeadamente através da interacção com o clima por forma a reduzir as perdas e controlar os ganhos.

Sobre o RCCTE dizia explicitamente o Manual de Apoio:

"tem por objecto o edifício propriamente dito, tomado sem sistemas energéticos, e visa estimular a melhoria da qualidade dos edifícios favorecendo a inovação em termos de projecto e de construção por forma a melhorar o conforto térmico dentro dos naturais condicionantes de natureza económica; quando aplicado não permite, ou não permite sempre, dispensar sistemas energéticos mas inspirará uma atitude de busca de soluções que conduzirá à atenuação ou, mesmo, à eliminação da necessidade daqueles sistemas; centra a sua preocupação no binómio energia/conforto, procurando melhorar as condições de conforto térmico sem necessidade de recorrer a um aumento do consumo de energia; revela preocupações económico-sociais ao propor uma metodologia de intervenção com objectivos relativamente pouco exigentes na intenção de estimular a adaptação dos sectores de actividade ligados aos edifícios sem causar significativo impacto económico negativo."

O RCCTE define dois índices que caracterizam os consumos energéticos nas estações de aquecimento e de arrefecimento (valores ditos etiqueta, definição em anexo) e estabelece um conjunto de valores de referência para as principais propriedades térmicas dos elementos que constituem a envolvente.

O conjunto destas opções, associadas a um zonamento do território, permitem uma praticamente ilimitada escolha de soluções. De facto, melhora a sensibilidade do projectista e permite-lhe mesmo, caso assim o entenda ou as razões o justifiquem, atribuir maior importância ao conforto numa dada estação que noutra; permite a opção declarada por materiais correntes e técnicas de construção em uso; deixa liberdade para conjugar elementos como a orientação, as características da envolvente vertical ou das coberturas quer para os elementos opacos quer para os envidraçado, incluindo a respectiva proporção de áreas; atende ao jogo possível da inércia térmica; considera soluções de protecção e sombreamento, E, se o objectivo do RCCTE é racionalizar os consumos energéticos de um edifício por forma a garantir condições de conforto térmico no seu interior, a sua verdadeira base consiste em considerar o edifício como um sistema térmico interagindo com o exterior. Isto significa uma capacidade de trocar energia com o exterior associada a duas outras capacidades internas: o armazenamento e a produção (independentemente de funcionar como fonte ou poço) dessa energia.

Um sistema que deve ser entendido por todos (mormente pelos arquitectos, muitas vezes responsáveis pelo projecto) como equivalente ao sistema estrutural, eléctrico, de segurança, ... e que, portanto, merece uma atenção equivalente, a qual em nosso entender apenas pode ser garantida por uma aprendizagem quiçá mais qualitativa que quantitativa mas nem por isso menos precisa, do que está em jogo.

Anote-se, desde logo, o facto da abordagem das condições de conforto ser expressa por um único parâmetro, a temperatura de bolbo seco interior - não tomando em consideração directa os restantes parâmetros normalmente referidos na bibliografia (temperatura média radiante, velocidade do ar, humidade e actividade e vestuário dos ocupantes) – que é fixada com um valor nominal, constante, para o cálculo das necessidades de aquecimento de 18°C e para as de arrefecimento de 25°C. Isto significa, no essencial, que se pretende que um edifício que verifique as disposições regulamentares não veja no período do Inverno a sua temperatura interna descer muitas vezes abaixo daquele valor e que no período de Verão o mesmo aconteça não excedendo, em regra, a temperatura interna o correspondente valor nominal. Quando isso acontecer poderá ser usada energia suplementar para garantir a manutenção dessas condições.

Estabelecida a variável fundamental do sistema analise-se a maneira como pode variar. Basicamente, como qualquer outra propriedade física do sistema, se encarada numa perspectiva Euleriana, à custa de massa e de fluxos. É corrente separar os segundos em fluxos de entrada e de saída e os primeiros distingui-los entre fontes (associados a processos de geração ou entrega) e poços (a processos de dissipação e acumulação).

Os fluxos ocorrem através das fronteiras do sistema (superfície de controlo) enquanto que os processos associados à massa são locais (volume de controlo).

Os processos de fluxo básicos que produzem variações da temperatura interna são normalmente designados por condução, convecção e radiação. O primeiro aparece associado ao fluxo de calor entre dois pontos, em contacto através de um meio físico, que se encontram a temperaturas diferentes, sendo a principal propriedade do meio físico que caracteriza este processo é a condutividade térmica k ; o processo convectivo corresponde a situações em que se verificam movimentos do meio (um fluido) e podem-se distinguir dois casos: as situações em que se verifica fluxo sobre as superfícies de controlo e aquelas para as quais existe um fluxo que atravessa essa superfície, permitindo trocas de calor no interior do volume de controlo e saindo o fluido em condições diferentes daquelas a que entrou (os modelos mais correntemente adoptados para o primeiro caso são modelos lineares baseados em coeficientes semi-empíricos, os chamados coeficientes de convecção, h , enquanto que para os segundos se consideram fontes e poços de intensidade proporcional à massa que atravessa o volume de controlo); no processo de radiação não há qualquer meio envolvido e os fluxos de calor processam-se à distância sendo, no balanço de energia associado a este tipo de processo, tidas em conta a absorcividade, a reflectividade e a transmissibilidade das superfícies bem como a sua emissividade.

Em termos de processos associados à variação local (no interior do volume de controlo) consideram-se em regra dois mecanismos básicos: um associado à produção directa de energia (fontes ou poços), nomeadamente decorrente das actividades desenvolvidas no interior do volume de controlo, e o outra à capacidade de armazenamento (inércia térmica) que tem uma contrapartida facilmente perceptível no

caso das construções na absorção de energia por toda a massa no interior do volume de controlo durante o dia (não permitindo desta forma que a temperatura interior siga directamente a variação da temperatura exterior) e a posterior libertação durante o período nocturno. Os processos ditos de inércia térmica, introduzem, um pouco à semelhança do que se passa para qualquer sistema dinâmico, um efeito de amortecimento nas amplitudes de resposta do sistema em relação às amplitudes exteriores e um desfasamento temporal entre as ocorrências de pico (atraso de fase).

1.1 A massa

Nas questões locais o RCCTE considera as seguintes premissas:

- As fontes e poços de calor que não devidas directamente à actividade normal não deverão ser contabilizadas; as que se reportam a essa actividade (iluminação, limpeza, preparação de alimentos, ...) são consideradas como correspondentes a elevar de 3°C a temperatura interior ao longo do dia – isto é, as temperaturas exteriores que devem ser consideradas na análise dos balanços energéticos são de 15° C na estação de arrefecimento e de 22°C na estação de aquecimento;
- A inércia térmica I (isto é, a capacidade que o edifício tem de reter e atrasar as variações térmicas exteriores), definida como a massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento, é classificada em 3 categorias: fraca ($I < 150 \text{ kg/m}^2$), média ($150 < I < 400 \text{ kg/m}^2$) e forte ($I > 400 \text{ kg/m}^2$) encontrando-se num conjunto de publicações do LNEC os valores típicos da massa superficial útil dos elementos construtivos de utilização corrente em Portugal.

1.2 Os fluxos

Nos processos associados à superfície de controlo (envolvente) há a distinguir 4 casos:

- O fluxo de calor através dos elementos que constituem a envolvente, separados por sua vez em dois tipos, os elementos em contacto com o exterior e os elementos em contacto com espaços, ditos úteis, como sejam o caso de caixas de escadas ou garagens (não climatizados) que servem de tampão na comunicação directa com o exterior; para cada um dos dois tipos distinguem-se por sua vez 2 configurações, a saber, elementos verticais, as paredes, que são analisadas separando os elementos opacos dos envidraçados) e os elementos horizontais, coberturas e pavimentos;
- A contribuição para estes processos associada aos movimentos do ar que, ao promover processos convectivos sobre a envolvente, quer na face exterior quer na face interior, altera as condições do fluxo sendo obviamente diferente a sua contribuição no caso dos elementos verticais e horizontais e, dentro destes, bem distinta para pavimentos e coberturas;
- O fluxo de calor associado aos processos de radiação (solar), que se traduzem no essencial pelos ganhos associados à existência dos envidraçados, que tomam valores diferentes para as diferentes estações do ano (sendo considerados como um benefício no Inverno mas como uma sobrecarga no Verão) e que podem ser controlados pelo chamado factor solar dos envidraçados e pela existência de elementos de sombreamento, exteriores ou interiores;
- O fluxo de calor associado aos fluxos de ar existentes, os quais devem garantir, no mínimo, a qualidade do ar interior e minorar problemas associados à

utilização dos espaços interiores como os que decorrem, por exemplo, de condensações ou propagação de odores.

No que se refere aos processos associados aos dois primeiros itens o RCCTE define para cada zona climática os valores dos coeficientes de transmissão térmica de referência (usados no cálculo do valores etiqueta) bem como os valores máximos admissíveis separando os elementos exteriores dos que se encontram em contacto com espaços úteis, distinguindo elementos verticais de horizontais e opacos de transparentes; nesses valores já se encontram incluídas as parcelas ligadas aos coeficientes de convecção exterior e interior; refira-se ainda que o RCCTE tem em atenção as pontes térmicas, isto é, as zonas da envolvente em que continuidade exigida aos elementos estruturais permite um fluxo directo do calor para a superfície e vice versa, sendo o efeito destas expressa pelo chamado factor de concentração de perdas.

No que se refere aos processos radiativos o RCCTE parte de uma recomendação de que as áreas dos envidraçados não ultrapassem 15 % da área útil em planta da edificação e define os valores mínimos de factor solar dos envidraçados, distinguindo as contribuições associadas às diferentes orientações e exigindo mesmo protecções solares mínimas; por outro lado, permite variações dos valores tendo em conta a inércia térmica do edifício e estabelece, no que se refere aos elementos opacos e com particular incidência aos que constituem a cobertura, o efeito de ganhos ou perdas associados à reflectividade e absorcividade determinados indirectamente a partir da sua cor.

Finalmente no que se refere à renovação de ar o RCCTE impõe que nos balanços energéticos se tenha em conta uma renovação por hora, valor um pouco superior ao associado aos processos naturais de renovação de ar típicos dos edifícios portugueses no período de Inverno e muito inferior aos valores típicos de Verão.

No conjunto de referências bibliográficas são apontados os estudos de base que conduziram ao zonamento climático do território. Incluídas naquelas referências estão os estudos sobre as características dos materiais e das tecnologias de construção correntemente utilizados em Portugal.

2 O RSECE

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios, ou RSECE como é correntemente conhecido, foi publicado (DL 118/98) em 7 de Maio, entrando de imediato em vigor. O essencial da sua filosofia e os estudos de base que serviram de suporte foram os mesmos já referidos para o RCCTE. No entanto, duas novas perspectivas foram incluídas.

A primeira é que a sua aplicação visa à partida edifícios que se sabe vão ser projectados *ab initio* tendo em conta a climatização do ambiente interior; a segunda é que os equipamentos a instalar, independentemente dos consumos energéticos, devem ser dimensionados em termos de potência máxima necessária, isto é, exige-se que se tenha em atenção não apenas os consumos energéticos ao longo dos períodos de aquecimento e arrefecimento como os valores de pico associados a esses consumos.

O RSECE define assim os dias típicos de projecto de Verão e de Inverno, de acordo aliás com a prática corrente em Portugal. É evidente que para além dos valores das temperaturas é agora essencial definir a humidade do ar bem como valores limites para as condições interiores dos espaços a climatizar.

Em termos de balanço térmico com o exterior o RSECE segue a metodologia do RCCTE exigindo, no entanto, que a condução de calor através da envolvente seja significativamente reduzida - os valores dos coeficientes de transmissão térmica de referência e máximos são, para o RSECE, 65% dos valores admitidos no RCCTE. Em termos de envidraçados, e para além da questão da condução de calor, já referida, o RSECE, exige igualmente valores de factor solar inferiores aos indicados no RCCTE.

No que diz respeito à renovação de ar o RSECE propõe caudais que são funções do tipo e número de utilizadores (da ordem de grandeza dos que se encontram na bibliografia e normas correntemente adoptadas pelos projectistas deste tipo de instalações) ou, em alternativa, determina um mínimo de uma renovação por hora (infiltrações).

No cálculo das potências máximas que é permitido instalar o RSECE determina que não devem exceder 25% dos valores etiqueta que são obtidos a partir da consideração dos valores de referência regulamentar. Para a estação de aquecimento apenas os ganhos solares são considerados enquanto que para a estação de arrefecimento se deve ter em conta não apenas estes mas o tipo de actividade desenvolvida pelos ocupantes e as potências dos equipamentos instalados, a qual compreende, evidentemente, a iluminação.

À semelhança do que se passa no RCCTE o RSECE é um método de verificação e não de projecto ainda que, em primeira aproximação, quando as áreas de envidraçados não excedam 15% da área útil dos pavimentos, possa ser usado para estimar as cargas térmicas. Note-se que o RSECE vai mais longe que o simples estabelecimento dos limites de potência a instalar; referindo-se aos sistemas de climatização impõe algumas exigências:

- Aplica-se a todos os edifícios ou espaços independentes cuja potência instalada para condicionamento seja superior a 40 kW no aquecimento ou 25 kW no arrefecimento;
- Não permite a adopção de soluções de aquecimento recorrendo a efeito de Joule se o valor for superior a 5 kW;
- Determina que as potências de aquecimento e arrefecimento sejam moduladas por escalões cujo número depende da potência;
- Exige rendimentos mínimos das caldeiras em função da sua potência;
- Exige que o COP dos sistemas de arrefecimento e bombas de calor seja superior a 3 em quaisquer condições de operação.

O RSECE, ainda que indirectamente, exige ainda a elaboração de um Plano de Racionalização dos Consumos Energéticos (revisto no mínimo de 5 em 5 anos e em princípio decorrendo de uma auditoria energética) se equipamentos individuais tiverem potências superiores 350 kgep/hora; se a soma das potências instaladas for superior a 500 kgep/hora; ou ainda se o consumo energético anual for superior a 5 000 tep.

3 OBSERVAÇÕES FINAIS

No RCCTE são definidos valores máximos admissíveis para as necessidades nominais de energia (aquecimento e arrefecimento) de um edifício, podendo ser adoptadas quaisquer soluções construtivas (exposição e orientação, arquitectura, materiais, ...) desde que o valor das suas necessidades energéticas, calculado por uma metodologia padrão, N_{IC} e N_{VC} , seja inferior ao valor máximo admissível para cada uma das estações, e desde que satisfaça cumulativamente os padrões mínimos de qualidade impostos para os coeficientes de transmissão térmica, K , dos elementos da envolvente e para o factor solar dos envidraçados com sombreamento no Verão.

No RCESE são definidos dois valores máximos admissíveis para as potências a instalar, um para a estação de aquecimento e outro para a do arrefecimento. O edifício poderá adoptar quaisquer soluções construtivas desde que o valor da potência a instalar não exceda os valores de referência calculados e que o desempenho dos equipamentos cumpra os valores mínimos exigidos.

Como os restantes regulamentos portugueses ligados ao sector da construção a verificação da conformidade regulamentar é feita pelos projectistas cabendo às autarquias a sua fiscalização aquando do licenciamento. Isto é, uma licença de construção apenas deverá ser emitida quando do processo de licenciamento constarem para além dos projectos de engenharia (incluindo sistemas estruturais, sistemas eléctricos e de comunicações, de águas e esgotos, ...) a verificação de conformidade para os sistemas energéticos.

Praticamente integrado no quotidiano de projectistas e construtores prepara-se, neste momento, a revisão do RCCTE, basicamente com uma maior exigência para a envolvente.

No que se reporta ao RSECE a crítica mais ouvida refere-se ao facto de se centrar na potência dos equipamentos e não nos consumos energéticos mas o facto é que indirectamente essa exigência de optimização dos consumos não só está lá como vai mais longe ao admitir a gestão da factura energética através do (PRCE) pois permite, recorrendo a unidades de acumulação, transferir consumos, limitando potências de ponta e reduzindo, face ao escalonamento do tarifário, a despesa real.

4 Referências

Carvalho, L.C. (1989): Exposição solar na estação de aquecimento. Duração da Insolação na estação de arrefecimento; NT/10-NAI, LNEC, Lisboa

Casimiro Mendes, J. e outros (1989): Temperaturas exteriores de projecto e número de graus-dias; LNEC e INMG, Lisboa

Pina dos Santos, C.A. e Vasconcelos Paiva, J. (1986): Caracterização térmica de elementos pré-fabricados, ITE 11, LNEC, Lisboa

- (1986): Caracterização térmica de paredes de alvenaria, ITE 12, LNEC, Lisboa
- (1990): Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, ITE 28, LNEC, Lisboa

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios, Decreto Lei 40/90 de 6 de Fevereiro

RGCE – Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia, DL58/82 de 7 de Abril

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios, DL 118/98 de 7 de Maio.

ANEXO

$$N_f = \left[\frac{(1,3K_{pf}A_f + K_{kr}A_k + K_{env}A_{env})}{A_p} + 0,34P_d \right] 0,024GD$$
$$N_v = \frac{0,36(1,3\Delta T_f K_{pf}A_f + \Delta T_k K_{kr}A_k) + G_{ref}A_{ref}}{A_p} M$$

onde os K representam os coeficientes de transmissão térmica de referência ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) definidos pelo RCCTE para cada zona; A as áreas (m^2); P_d o pé direito (m); GD os graus-dias de aquecimento ($^\circ C \cdot dia$) definidos pelo RCCTE para cada zona; ΔT a diferença efectiva de temperatura ($^\circ C$) definidos pelo Regulamento para cada zona; ganhos solares de referência através dos envidraçados ($kWh/m^2 \cdot m\acute{e}s$); e M duração da estação de arrefecimento. Os índices f correspondem aos elementos opacos das fachadas; os h aos elementos horizontais (pavimentos e coberturas); os env a envidraçados e p à área em planta. A constante numérica 1,3 corresponde ao valor de referência para as chamadas pontes térmicas e as restantes a transformações de unidades de forma a que os valores etiqueta apareçam em $kWh/m^2 \cdot ano$ (estação).