Controlo das condições térmicas ambientais de gabinetes
Control of thermal environmental conditions in offices

Guedes, J. C.[a]; Baptista, J. dos Santos[b]; Diogo, M. Tato[c]
CIGAR/FEUP, R. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto PORTUGAL,
[a]jccg@fe.up.pt; [b]jsbap@fe.up.pt; [c]tatodiogo@fe.up.pt

RESUMO
O trabalho em condições de conforto térmico é fundamental para um bom desempenho, tanto físico como intelectual. Quando a temperatura e/ou a humidade variam, fazendo com que as condições ambientais se degradem, o desempenho dos indivíduos baixa, diminuindo também a capacidade de resposta a estímulos, o que, para além de diminuir a capacidade de trabalho, facilita a ocorrência de acidentes. Os gabinetes dos docentes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto têm uma área média a rondar os 14m2 e um único ocupante. Durante o Inverno, a regulação do ambiente térmico no seu interior pode ser efectuada manipulando três variáveis: a abertura da janela, da porta e um aquecedor ligado a um sistema de aquecimento central. Com este trabalho pretendia-se saber: 1) quais as condições térmicas utilizadas por diferentes ocupantes sem a interferência do analista e 2) quais as possibilidade efectivas de regulação instalada e a sua eficácia. O ambiente térmico foi estudado em duas fases. Na fase A, a avaliação foi efectuada nas condições definidas pelo utilizador. Na fase B, foi estudada a forma possível de controlar o ambiente com os recursos existentes. Para o estudo do ambiente térmico seleccionou-se uma amostra de 17 gabinetes considerados representativos de todos os tipos de gabinetes existentes. De uma forma geral verificou-se que o ambiente térmico dos gabinetes estava dentro dos limites estipulados pelas normas. As excepções reflectiam preferências específicas dos seus ocupantes. No desenvolvimento da fase B do estudo, conclui-se que é possível ajustar a qualidade do ambiente térmico de acordo com o pretendido pelos ocupantes, dentro de limites muito alargados. Os resultados também realçaram que o ocupante não deve manter o gabinete com porta e janela fechadas em simultâneo, de forma a garantir os valores da humidade e a renovação de ar em níveis adequados. No período em que durou o estudo, as temperaturas exteriores não ultrapassaram os 23ºC. Nessas condições, que, aceitando alguma resiliência do sistema, poderão ser estendidas a 9 dos 12 meses do ano, é possível afirmar que, nesse período, é perfeitamente possível, cada ocupante, regular as condições do ambiente térmico do seu espaço de trabalho sem o recurso a meios adicionais, optimizando este parâmetro de conforto.
Palavras-chave: *conforto térmico; ambiente interior; avaliação ambiente térmico.*

ABSTRACT
To work in thermal comfort conditions is essential to achieve a good intellectual and physical performance. When temperature and/or humidity values vary, thus degrading environmental conditions, individuals' performance diminish, diminishing also the capacity to respond to stimuli, which besides minimizing working capacity, also promotes accidents occurrence. Teachers' offices at Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto have an average area of 14 m^2 and only one occupant. During the winter season, indoor thermal environment regulation can be achieved by using three variables: window opening, door opening and turning on/off the cabinet's heater integrated in a central heating system. This study intends to determine: 1) what are the thermal conditions used by different occupants without analyst interference and 2) what are the effective possibilities of the installed thermoregulation and its efficiency. Thermal environment was studied in two phases: in phase A the evaluation was carried out under the occupant's defined conditions; in phase B, a possible way to control environment with preexisting resources was studied. To thermal environmental assessment a 17 offices sample was selected, representing all types of existing offices. In a general way the thermal comfort conditions of all evaluated offices were within regulatory values. The exceptions reflected specific preferences of occupants. When developing phase B of the study, it was concluded that it is possible to adjust environmental thermal comfort quality to occupant's preferences, within broad limits. The results also showed that occupants shouldn't keep both door and window closed simultaneously, to assure humidity and exchange air flow in reliable levels. During the study period, outdoor temperatures didn't overcome 23ºC. Under these conditions, that can be extended to 9 in 12 months each year and accepting some resilience in the system, it is possible to assure that it is perfectly possible for, each occupant, to control the thermal environment conditions of his/her working space without resorting to additional resources, thus optimizing this comfort parameter.
Keywords: *thermal comfort; indoor environment; thermal environment assessment.*

1. INTRODUÇÃO
O conceito de conforto é algo relativo. A forma de avaliar um ambiente como confortável é perguntar ao ocupante a sua opinião. Ou seja, a classificação do conforto do espaço depende sempre de factores subjectivos, mesmo que haja uma série de condições fisiológicas que sejam cumpridas. As condições necessárias ao conforto térmico divergem de acordo com o quadro do clima e a capacidade de adaptação pessoal (Parsons, 2003; Rodriges, et al., 2009; Miguel, 2010).
Uma abordagem inovadora na época foi levada a cabo por Fanger em 1972 de onde surgiu uma das avaliações de conforto térmico mais famosas até aos dias de hoje. Esta parte da noção de balanço térmico, aonde a energia produzida deve ser igual à energia perdida. Entrando com uma série de aspectos para além das habituais grandezas físicas. O balanço térmico é calculado com base na velocidade do ar, na temperatura radiante média, na humidade relativa, na temperatura ambiente, na resistência do vestuário, no metabolismo e no trabalho exterior. Se o resultado final for maior que zero, é porque o corpo está a aquecer, se for menor que zero é porque o corpo está a arrefecer, se, pelo contrário, o valor é nulo, então existe equilíbrio. Para prever os limites e estabelecer uma relação entre o resultado calculado e a sensação térmica, Fanger levou a cabo uma série de

ensaios (uma amostra de 1300 pessoas), da qual resultou a equação que permite relacionar os resultados ambientais com a percepção provável sentida (PMV – voto previsível Médio). O PMV por sua vez está relacionado com a percentagem prevista de insatisfeitos (PPD), cuja equação de transformação foi determinada com recurso à análise estatística de resultados das observações.
Mais tarde, Fanger publicou um artigo aonde previa a extensão da utilização do seu método para edifícios não climatizados. Após mais alguns ensaios práticos, verificou que a sua formulação era válida desde que os valores ambientais se mantivessem dentro de determinados limites. Com estes requisitos cumpridos (limites de aplicação apresentados na norma) a aplicabilidade do método torna-se válida em qualquer circunstância (Fanger, et al., 2002). Esta aceitação fez esta norma ideal para a avaliação do conforto térmico de ambientes moderados muito usada em higiene ocupacional.
O objectivo deste trabalho consiste: 1) na avaliação da qualidade do conforto térmico nos gabinetes-tipo ao longo do dia; 2) aprofundar o estudo do impacto dos mecanismos de controlo de conforto disponíveis ao utilizador.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Equipamento

Para medir as condições de ambiente térmico utilizou-se uma estação microclimática da qual fazem parte: anemómetro; psicómetro; termómetro (termopar); termómetro de globo; unidade armazenamento e processamento com display (BABUC/E) à qual se ligam as provas. Todos os sensores do equipamento estão de acordo com as exigências normativas. O equipamento é calibrado anualmente de acordo com as especificações do fabricante, num laboratório acreditado.

2.2. Critérios de selecção da Amostra

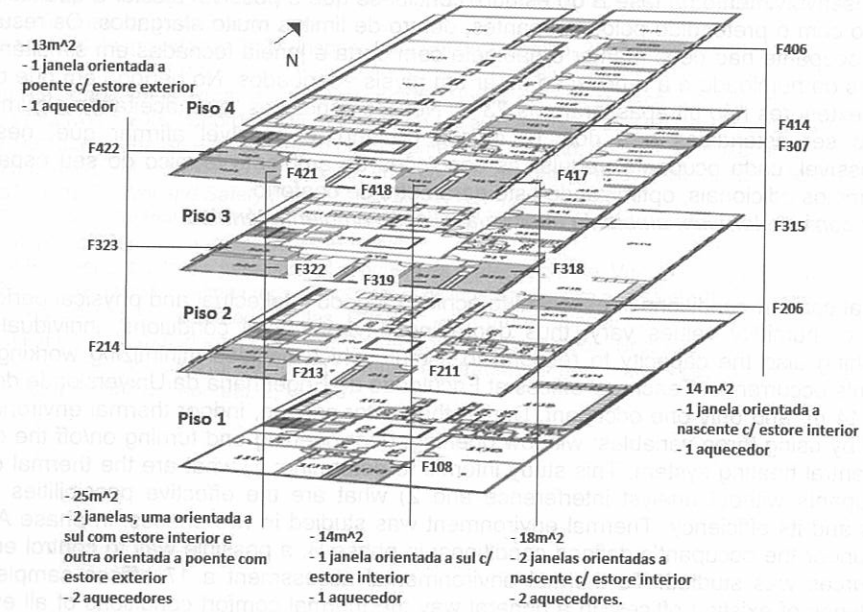

Figura 1 – Posição e principais características dos gabinetes seleccionados (coloridos).

Fase A

A Figura 1 mostra o conjunto de gabinetes escolhido de acordo com as suas posições relativas no espaço.
Como anteriormente referido, nesta fase pretende-se que as condições de medição representem o mais possível a preferência do ocupante. Assim, nas medições em que o ocupante não esteja presente, mantém-se o local de acordo com o pré-definido no que diz respeito a aquecedores e janelas, com a porta fechada e o estore aberto durante o período de medição; nos casos em que o gabinete permanece ocupado aquando a medição, o ambiente é inteiramente regulado pelo ocupante de acordo com a sua sensação de conforto.

Fase B

Para realizar as medições para o estudo da variação do conforto, escolheu-se um gabinete que reunisse as seguintes condições essenciais:

- Estivesse permanentemente desocupado para que existisse a possibilidade de controlar ao máximo os parâmetros que se pretendia analisar;
- Tivesse a menor massa, no sentido de garantir o mínimo de inércia térmica do espaço.

O gabinete escolhido para realizar as medições nesta segunda fase foi o F415, situado no quarto piso, orientado a Nascente, com uma porta, uma janela e uma área de $14m^2$.
A tabela 2 resume a sequência e a codificação da combinação dos diferentes estados.

Tabela 2 - Registo de alternativas das medições de segunda fase.

Estado	*Intervalo*	*Janela*	*Aquecedor*	*Porta*
010	1º e 2º	0	1	0
011	3º	0	1	1
111	4º	1	1	1
101	5º	1	0	1
100	6º	1	0	0
000	7º	0	0	0
001	8º	0	0	1
110	9º	1	1	0

1 – aberto/ligado 0 – fechado/desligado

2.3.Tratamento de Dados

Os cálculos foram realizados recorrendo à programação em EXCEL, sendo as funções de cálculo do PMV e PPD (com base nas expressões da Norma ISO 7730:2005).

Na folha de cálculo programou-se a aceitação dos valores de entrada, de acordo com os intervalos dentro dos quais a aplicação da referida norma é válida. Programou-se também as funções de cálculo PPD-PMV, de acordo com o sugerido na norma. Para calcular o índice de PMV-PPD foi necessário fazer duas considerações: que a quantidade de roupa usada pelos ocupantes é semelhante e típica do período de inverno – 1clo; que a taxa metabólica dos indivíduos é também semelhante – 1,2met.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fase A

Após a recolha de dados procurou-se detectar a existência de relações entre gabinetes de acordo com as seguintes variações (Rebelo, 2007): piso; orientação das janelas exteriores; área; número de janelas; existência ou não de ocupantes durante a medição; área de dissipação directa com o exterior.

Devido à amostra conter apenas um ou dois elementos de cada tipo, esta análise baseou-se apenas na comparação das curvas de PMV (t) dentro de cada grupo.

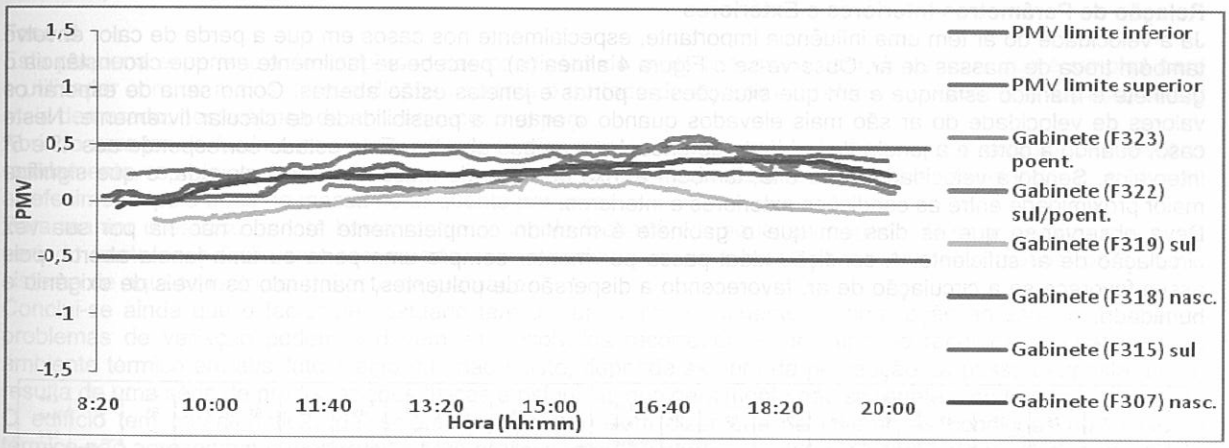

Figura 2 - Análise de Tendência do Índice de PMV. Curvas do Piso 3.

Neste artigo é apresentado um exemplo da análise que foi efectuada para cada variação.

No piso 3 (Figura 2), apesar das diferentes posições das curvas no eixo vertical, não se nota uma grande diferença em termos de variação. Mais uma vez as curvas não apresentam uma tendência definida se exceptuarmos o facto de o período matinal ser de aquecimento e o de final de tarde de arrefecimento. Contudo o arrefecimento da sala ocorre em alturas diferentes. As salas com têm janelas a poente arrefecem sensivelmente na mesma altura (F322 e F323), contudo os espaços F318, F315 e F307 mesmo com orientações diferentes e diferentes declives de aquecimento apresentam comportamentos muito semelhantes, com o arrefecimento a ter início sensivelmente à mesma hora em que o aquecimento é desligado, por volta das 7 horas. O gabinete F319 a sul permanece com o aquecimento desligado, pelo que a sua curva de aquecimento em muito parece estar relacionada com a influência da luz solar

Fase B

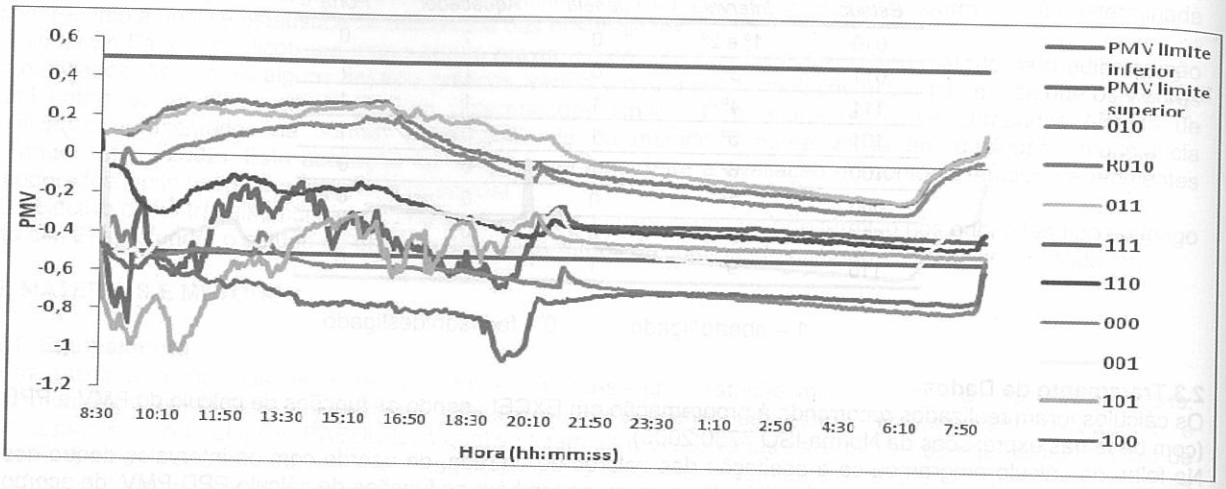

Figura 3 - Índice de PMV ao longo das 24 horas. Gabinete F415.

A Figura 3 mostra como se pode fazer variar as condições dentro de um mesmo gabinete ao longo dos dias, para as diferentes condições de regulação possíveis. Assim, a possibilidade de influência do ocupante no meio é considerável. Estes dados justificam as diferenças significativas observadas no valor do PMV entre os diferentes gabinetes analisados e cujos valores foram apresentados no ponto anterior (fase A deste estudo). Note-se que sempre que o aquecimento é mantido ligado, de manhã às 6h00, as curvas mostram um aquecimento do espaço. Do mesmo modo, pode observar-se o início da descida do valor do PMV quando o aquecimento é desligado por volta das 16h30 (ver curvas 010, R010,011,110 e ainda 111). Notam-se maiores oscilações do índice quando a janela está aberta uma vez que, nestes casos, a transferência de calor envolve também trocas de massas de ar. Quando a janela está fechada as curvas apresentam mais estabilidade e menos "ruído".

Relação de Parâmetros Interiores e Exteriores

Já a velocidade do ar tem uma influência importante, especialmente nos casos em que a perda de calor envolve também troca de massas de ar. Observe-se o Figura 4 alínea (a), percebe-se facilmente em que circunstância o gabinete é mantido estanque e em que situações as portas e janelas estão abertas. Como seria de esperar os valores de velocidade do ar são mais elevados quando o ar tem a possibilidade de circular livremente. Neste caso, quando a porta e a janela do gabinete se encontram ambas abertas. Este estado corresponde aos 4º e 5º intervalos. Sendo a velocidade do ar alta, também a taxa de troca de massas de ar é elevada, o que significa maior proximidade entre as condições exteriores e interiores.

Deve observar-se que os dias em que o gabinete é mantido completamente fechado não há por sua vez circulação de ar suficiente. A condição ideal passa por manter sempre uma porta ou uma janela aberta, pois assim favorece-se a circulação de ar, favorecendo a dispersão de poluentes, mantendo os níveis de oxigénio e humidade.

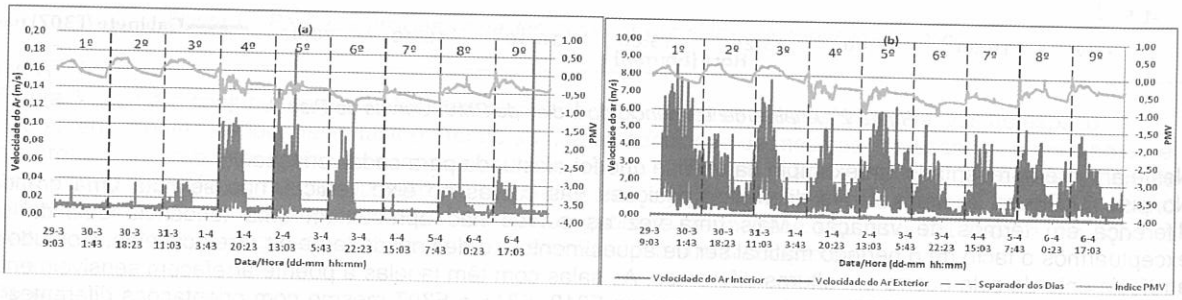

Figura 4 - (a) Índice PMV e velocidade do ar interior. (b) índice PMV e velocidade do ar exterior.

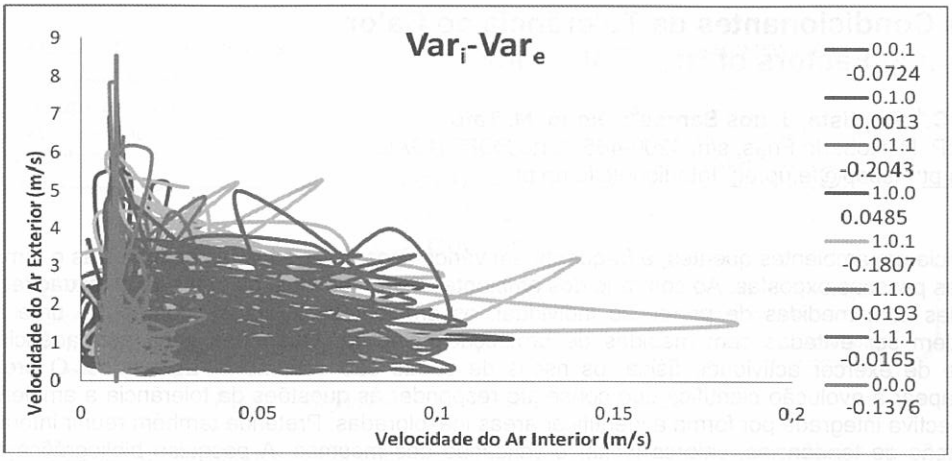

Figura 5 – Relação entre velocidade exterior e interior.

O gráfico da Figura 5 é nada mais que uma nuvem caótica de pontos. As velocidades do ar interior e exterior nada têm em comum apesar de existir maior fluxo de ar no interior quando a janela e a porta permanecem abertas (estado 1.1.1 e 1.0.1). No entanto essa variação tende a ser ao acaso uma vez que junto às fachadas tende a ser uma zona de turbulência.

4. CONCLUSÕES

Fase A

A grande conclusão que se pode retirar das medições efectuadas na fase A, é que as condições individuais dos gabinetes se devem antes de mais às regulações e condições de variação dos seus ocupantes, os quais vão alterando as diferentes condições de utilização dos gabinetes de acordo com a sua própria percepção de conforto.

Foi possível ainda conseguir detectar que, na generalidade dos casos, as curvas estão no intervalo 0-0,5 do índice PMV. Isto revela uma preferência da generalidade dos ocupantes pelos ambientes ligeiramente quentes.

Fase B

Esta pequena experiência de adaptação das condições de conforto térmico permitiu verificar que é simples para o utilizador com os meios de que dispõe (durante o período de inverno), arrefecer ou aquecer o espaço, sendo mais demorado, nesta época do ano, aquecer o espaço.

Abrindo uma janela facilmente se consegue o arrefecimento. Quando esta é fechada o ambiente também aquece rapidamente, sendo a tendência do ar interior a de homogeneizar a atmosfera dissipando o efeito do arrefecimento pela troca de massa de ar quente por ar frio.

Para manter o espaço quente basta manter a janela fechada e o aquecedor ligado. O calor perdido durante o período nocturno é facilmente recuperado com o período de duas horas de aquecimento matinal para que o sistema de aquecimento central está programado.

Conclui-se ainda que o factor de vestuário tem um papel muito influente na adaptação ao espaço. Pequenos problemas de variação podem e devem ser resolvidos recorrendo a este tipo de recursos. A qualidade do ambiente térmico em absoluto é algo que não existe, depende sempre da percepção da pessoa exposta. Logo, resulta de uma série de predisposições físicas e psíquicas que geralmente não se repetem no tempo.

O edifício tem características de isolamento que permitem dizer que de inverno as condições de ambiente térmico não apresentam o menor risco para os ocupantes. Contudo os valores de ambiente térmico para o verão são diferentes pelo que a temperatura costuma ser elevada, não tendo o edifício um sistema de arrefecimento dimensionado. Isto leva a que provavelmente o período crítico de ambiente térmico seja a estação quente.

Há que referir ainda que é recomendado manter o gabinete com a porta aberta para permitir uma renovação de ar adequada, e não exagerar no aquecimento sobretudo com a porta fechada uma vez que o nível de humidade reduz-se a valores que podem causar incomodidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fanger e Toftum, Jorn. 2002. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. Energy and Buildings. Julho de 2002, Vol. 34, pp. 533-536.

ISO 7730:2005. 3ª Ed. Ergonomics of the thermal environment - Analitical determination and interpretation of the thermal comfort using calculations of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Suiça, Suiça : International Standard Organization.

Miguel, Alberto Sérgio. 2010. Manual de Higiene e Segurança no Trabalho. 11ª Edição. Porto : Porto Editora, 2010. ISBN.

Parsons, Ken. 2003. Human Thermal Environment - the effects of hot, moderate and cold environments on the human heath, comfort and performance. 2ª edição. New York : Taylor & Francis, 2003.

Rebelo, Ana. 2007. Condições ambientais nas salas de aula. Porto : Faculdade de Engenharia da universidade do Porto, 2007.

Rodriges, António Moret, Piedade, António Canha e Braga, Ana Marta. 2009. Térmicade Edifícios. Amadora : Orion, 2009.