



O CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS

Lúcia F. Pirró (1); Jorge A. Gil Saraiva (2); Marcelo de Andrade Roméro (3)

- (1) Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Anhembi-Morumbi, Rua Casa do Ator 836, campus Vila Olímpia – Unidade 4, São Paulo, Tel: (11) 38473132 – S.P.; Email: luciadil@usp.br
(2) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios, Avenida Brasil 101 1700-066, Lisboa, Portugal. Tel +351218443861; fax +351218443028; Email jsaraiva@lnec.pt
(3) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de S. Paulo, Rua do Lago 876, Cidade Universitária, 5508-900 São Paulo, SP, Brasil. Tel (011)8184571; fax (011)8184539; Email: maromero@usp.br

RESUMO

O presente artigo foi elaborado na seqüência de alguns trabalhos desenvolvidos pelos autores e por equipes que integraram ao longo dos últimos anos, sobre o tema geral de consumos energéticos em edifícios de serviços, especialmente nos destinados a escritórios. Os resultados obtidos, por análise de projetos, por aplicação de modelos teóricos potentes, por auditorias, pré e pós ocupação, indicam que o consumo energético disponibilizado por posto de trabalho tem subido de forma significativa, havendo hoje serviços que se aproximam de potências instaladas da ordem de 1 kW por posto de trabalho (Romero e outros, 1999), (Gonçalves e outros, 1998), (Romero e outros, 1998), (Cavique e Saraiva, 2004).

Neste artigo apresenta-se um conjunto de resultados obtidos para três edifícios reais (Cavique e Saraiva, 2004), em Lisboa, para os quais foi levado a cabo um estudo paramétrico que consistiu em comparar os resultados dos consumos energéticos para a situação atual e os que decorreriam de proceder a um incremento plausível de cada um dos parâmetros atrás referidos, recorrendo ao software “Energy Plus”. As conclusões são, à primeira vista, um pouco surpreendentes. Equipamentos eficientes, mais do que fachadas eficientes ou controle do ar novo são um fator determinante na redução da fatura energética destes edifícios.

ABSTRACT

The evolution of Project Design, namely in what concerns Air Conditioning, can be looked upon as a question of parametric variation. It is important, from the high investments and O&M costs that both architects and consultants are aware from the very beginning of the importance arising from the different parameters in the performance of buildings.

A methodology based in case studies allows for the definition of a first approach that can be, in future work, namely through other studies and the development of theoretical models used in a generalised form. The main conclusion of the work is that efficient equipment rather than efficient facades or fresh air control are a major on the efficient use of energy in Lisbon service buildings.

1. INTRODUÇÃO

Pode esperar-se, pelo papel cada vez mais importante que vem assumindo o consumo de energia, em especial eléctrica, nos edifícios de serviços, que novos Regulamentos venham a ser impostos, visando racionalizar o uso de energia.

Na UE a Diretiva 2002/91, referente às características térmicas, sistemas a adotar, métodos de cálculo e consumos admissíveis para todos os tipos de edifícios, que deve ser transposta para a legislação de cada estado membro até 4 de Janeiro de 2006 é apenas um exemplo ilustrativo.

Mas começa a haver a percepção de que a questão não pode ser encarada de forma tão linear no caso particular dos edifícios de serviços face às alterações, ainda não completamente internalizadas pelos Organismos de Normalização, do tipo de atividade desenvolvida.

De fato, a disseminação dos PC e seus periféricos, das redes, de equipamentos de escritórios como fotocopiadoras, encadernadoras térmicas, etc, leva a que as cargas internas tenham tido ao longo dos últimos 10 anos incrementos verdadeiramente significativos que vêm alterar, em muitos casos, as posições relativas dos consumos de energia associados ao aquecimento e resfriamento dos ambientes visando proporcionar condições de conforto térmico e de qualidade do ar (Romero e outros 1999).

Esta questão tem vindo a ser analisada por diferentes grupos de estudo em que os autores se têm integrado e levaram ao levantamento de uma nova questão: a posição inicial das equipas de projeto de iluminação e climatização de um edifício de serviços é determinante na definição de soluções que visam racionalizar os consumos energéticos, já que é muito claro que custos e características dependem muito mais do projeto que da execução ou do ajuste fino de operação dos sistemas.

A situação não deixa de ser paradoxal: cada vez mais há menos tempo para desenvolver projetos e testes/experiências de operação esperando-se, tendo em vista a redução dos consumos energéticos, que cada vez mais instalações e sistemas operem, desde o seu início, com a máxima eficiência. Este tipo de situação decorre de um “dogma”: um Regulamento, em especial se for prescritivo, permite levar a cabo desde logo as mais eficientes realizações. Muito recentemente o maior banco português referia que 99% do seu pessoal operacional tinham um posto de trabalho informatizado, isto é, uma potência mínima de 600 W por posto de trabalho, ou seja, se a isto se somarem outros consumos incluindo iluminação (razoavelmente eficiente) uma geração interna de calor de cerca de 100 W/m².

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente artigo pressupõe que não são os algoritmos de cálculo e o saber que condicionam o projeto, mas sim a independência dos requerimentos funcionais que deve ser mantida (o edifício deve ser projetado para certo desempenho – PPBu, Performance Based Building, na literatura anglo-saxónica), tendo em atenção que entre todos os projetos possíveis são os que envolvem a menor quantidade de informação necessária, os que melhor cumprirão a função.

O objetivo funcional é aqui racionalizar os consumos de energia e, com essa finalidade, os principais parâmetros (mas apenas os necessários e suficientes) devem ser identificados. Têm sido propostas várias formas de proceder a essa identificação da qual a mais corrente é a criação de uma matriz ligando os objetivos aos parâmetros (poder-se-ia dizer às variáveis) identificando as conexões.

Opta-se por definir não uma matriz, mas uma linha já que o único requerimento em análise é a racionalização dos consumos energéticos e sabe-se que as principais condicionantes acabam por ser a forma (geometria), materiais e sistemas que o edifício integrará visando o seu desempenho funcional e a sua vida útil (há uma questão que cada vez mais deve começar a ser posta e que se prende com as “possíveis” alterações climáticas já que o aquecimento global pode tornar-se significativo antes do fim da vida útil de um edifício deste tipo).

Repare-se que tudo isto significa alguma falta de conhecimento e incerteza nas hipóteses de base do projeto o que o torna complexo. Uma das formas de superar esse não conhecimento tem sido o recurso à experiência através de casos de estudo e, ainda que em muitas situações esta aproximação possa ser

fortemente criticada, pelas próprias limitações que encerra, casos há em que a “experiência é, efetivamente, a madre de todas as coisas” uma vez que permite suportar a generalização empírica que posteriormente se pode tornar numa lei.

A compreensão dos fenômenos térmicos e energéticos, de uma forma mais geral, pode ser aproximada desta forma. No caso presente a simulação (recorrendo ao software “Energy Plus”) dos consumos energéticos de três edifícios reais, completamente distintos, com diferentes soluções arquitetônicas e tipos de utilização adotados fazendo variar, para cada edifício, um parâmetro de cada vez [4]. Foi, assim, possível construir a linha de energia da matriz global de cada edifício e gerar uma generalização empírica que permitiu a identificação dos principais parâmetros.

3. PARÂMETROS

O primeiro passo em qualquer projeto é a identificação dos principais parâmetros que o condicionam. Por opção considerou-se neste primeiro estudo apenas a área de intervenção dos engenheiros, assumindo como dados os parâmetros de arquitetura (forma). Ora estes parâmetros figuram de uma forma mais ou menos explícita em todas as análises de comportamento térmico: as características das fachadas, os ganhos térmicos e as taxas de ventilação (ar novo). Assim envidraçados e paredes, inércia térmica, iluminação a ganhos internos foram considerados. Para todos estes parâmetros partiu-se de valores correntes no “mercado” e procedeu-se à sua variação através de incrementos plausíveis, no sentido em que essas variações podem ser conseguidas recorrendo a soluções e equipamentos igualmente existentes no mercado.

O isolamento das paredes das fachadas é aumentado de uma parede dupla de tijolo cerâmico de 11 cm com caixa de ar de 5 cm considerando que a caixa é ocupada por 5 cm de material isolante; as paredes internas vêm alterada a solução de tijolo cerâmico de 7 cm por tijolo da mesma espessura e mantendo-se o revestimento de gesso; na iluminação a eficiência é melhorada pela utilização de balastros eletrônicos; a transmitância dos vidros duplos dos envidraçados exteriores foi reduzida substituindo o vidro neutral por vidros cinzentos; o ar novo é duplicado passando de 10 l/s para 20 l/s por posto de trabalho; e finalmente os ganhos internos são igualmente duplicados de 300 W para 600W por pessoa.

Os edifícios de serviços têm, hoje em dia, grandes ganhos internos que, em muitos casos, precisam ser removidos; também precisam de níveis mínimos de iluminação e de ar novo que garantam qualidade de ambiente nos postos de trabalho.

Um aumento do isolamento é particularmente adequado em condições de Inverno (estação de aquecimento) mas noutros casos tem efeitos claramente negativos. Reduzir a transmitância significa reduzir os ganhos de calor de insolação, o que pode aumentar as necessidades de aquecimento no Inverno a inércia térmica e reduzir as de resfriamento no Verão, mas, infelizmente, reduz também a iluminação natural que tem mais energia na banda do visível que qualquer lâmpada elétrica que a substitua e conseqüentemente vai implicar um aumento do consumo de energia elétrica para iluminação; a inércia térmica, num edifício “pesado”, como é corrente neste tipo de construção, na medida em que atrasa e atenua o máximo da “onda de calor”, por vezes até para além das horas de serviço; o ar novo, por seu lado, tem um efeito positivo já que a temperatura média do ar (em Lisboa) nas horas normais de serviço é inferior à “temperatura de conforto”.; o aumento do consumo energético por posto de trabalho tem como conseqüência um aumento dos ganhos internos, exatamente igual a esse aumento, podendo pois pesar duplamente no balanço energético do edifício.

A tabela I resume os parâmetros da situação de referência e os valores alterados usados nas simulações.

Tabela I - Parâmetros de simulação

Elemento	Característica	Parâmetro	Referência	Modelação	Variação
----------	----------------	-----------	------------	-----------	----------

Paredes exteriores	Isolamento	Resistência (sem convecção) (m^2KW^{-1})	1.53	0.57	-62%
Paredes internas	Inércia	Massa (kgm^{-2})	155	204	+32%
Iluminação	Balastos	Consumo por 500 lux (Wm^{-2})	17.5	14.8	-14%
Envidraçados	Vidro cinzento	Transmitância visível	0.70	0.37	-47%
Ar novo	Ventilação	Caudal ($m^3s^{-1}pessoa^{-1}$)	10^{-2}	2.10^{-2}	100%
Ganhos internos	Equipamentos	Consumo ($Wpessoa^{-1}$)	300	600	100%

4. EDIFÍCIOS E OCUPAÇÃO

Foram considerados nas simulações três edifícios distintos. As suas características estão resumidas na tabela II, onde a área coberta corresponde à área global. As áreas das paredes são também áreas globais. As áreas de envidraçados são contabilizadas em termos de áreas equivalentes, isto é, pesadas pela sua orientação - 1 para envidraçados a Sul (hemisfério Norte) e 0,7 para as orientações a Sudeste e Sudoeste. Os edifícios 1 e 2 têm uma relação semelhante entre as áreas coberta e de parede mas muito distintas naquilo que se refere a envidraçados. Os edifícios 1 e 3 têm uma relação de área similar mas a sua ocupação tem características completamente distintas. Qualquer dos edifícios tem “brises” nas fachadas com envidraçados a Sul

Tabela II - Áreas características dos edifícios

Áreas (m^2)	Edifício 1	Edifício 2	Edifício 3
Coberta	777	2000	2296
Paredes exteriores	367	821	934
Envidraçados equivalentes a Sul	14	492	12
% de envidraçados	47	41	41
% de envidraçados equivalentes a Sul	2	25	1

Em termos de utilização os edifícios 1 e 2 são edifícios típicos de escritórios (das 9 às 5)

O edifício 3 é sede de um jornal diário sendo utilizado tipicamente entre a 9 da manhã e as 2 da manhã seguinte. A Tabela III sumaria ocupação e cargas térmicas.

Tabela III- Ocupação dos edifícios

Ocupação	Edifício 1	Edifício 2	Edifício 3
Área coberta (m^2)	777	2001	2296

Ocupantes	57	202	347
Área coberta por pessoa ($m^2\text{pes}^{-1}$)	13.6	9.9	6.6
Potência iluminação (W)	13598	35009	40184
Potência equipamentos (W)	17100	60600	104100
Ar novo (m^3s^{-1})	0.57	2.02	3.47

5. O SOFTWARE ENERGY PLUS

O software Energy Plus (E+) é um programa de simulação dinâmica do comportamento térmico e luminoso de edifícios, ainda em fase de desenvolvimento pelo DOE (Department of Energy dos EUA), mas já testado para uma série relativamente extensa de aplicações.

Nos casos em análise para além da solução simultânea das equações que traduzem a transferência de calor e massa foram considerados os efeitos de radiação e convecção, a modelação da iluminação natural e um sistema de ar condicionado em “loop” agindo iterativamente com a temperatura das superfícies. Na realidade foram assumidas duas fontes de ar, uma fonte quente (40°C) e a outra fria (14°C) e em cada passo no tempo e em cada zona o programa determina a quantidade de ar exterior necessária para manter o ar interior numa temperatura que pode variar entre os 20 e os 24°C. O ar novo é fornecido pelo sistema de ventilação tendo as respectivas perdas de carga sido definidas a partir de equipamentos típicos. A iluminação foi considerada como devendo garantir um nível constante de 500 lux no ponto central de cada zona a 0,8 m do chão, sendo a parte referente à iluminação artificial (considerada em 3 escalões) a necessária e suficiente para complementar a iluminação natural. As lâmpadas fluorescentes consideradas na modelação têm 36% de energia radiante e 22% na banda visível

No edifício 1 foram consideradas 5 zonas, no 2, 7 zonas e, no 3, 14 zonas.

Em complemento a estes modelos e sistemas foi adotado um regime de atividades e um ano típico (modelo de ano médio) para Lisboa que respeita o número de graus dias de aquecimento e resfriamento considerados na atual regulamentação portuguesa.

Usando uma integração com 4 passos por hora foram determinadas as taxas de aquecimento e de resfriamento necessárias, os consumos elétricos de iluminação e equipamentos e estimado o índice PMV, como verificação das condições de conforto (metabolismo de 1,2 met e roupa entre 0,5 e 1 clo dependendo do mês do ano).

Em complemento foi utilizado um software que determina o consumo de energia elétrica verificado no aquecimento e resfriamento recorrendo a uma bomba de calor ar-água, que é o sistema adotado em todos estes edifícios. O valor de EER da bomba de calor, função da temperatura exterior, foi determinado como uma média ponderada dos valores de eficiência de um destes sistemas, de muito boa qualidade, disponível no mercado. As condições de temperatura do evaporador, em resfriamento, e do condensador, em aquecimento, foram definidas como 0°C e 56°C, respectivamente, e foi ainda considerado que para o primeiro caso a temperatura do condensador é de 16° C acima da temperatura do ar exterior e no segundo que a temperatura do evaporador está 10°C abaixo daquela (ar exterior). Foi ainda admitido um controle que não permite a temperatura do condensador descer abaixo dos 36°C.

O custo de energia elétrica foi estabelecido com base nas tarifas portuguesas de média tensão que têm em conta o período do ano (4 períodos correspondendo às estações) e 3 escalões distintos ao longo do dia.

O consumo energético e os custos associados foram estimados de forma a permitir uma comparação para as diferentes situações consideradas para cada edifício (7 hipóteses). De referir que há pequenas parcelas de consumo não consideradas como a associada ao bombeamento ou aos ventiladores, ou mesmo ao sistema de controle, até porque os seus consumos variam muito pouco para as diferentes condições analisadas.

6. RESULTADOS

Com base nos valores determinados pelo modelo dinâmico considerando o ano típico (médio) de Lisboa hora a hora determinaram-se os consumos de energia quer para o aquecimento quer para o resfriamento e identificaram-se os máximos destes valores que correspondem às potências a instalar. Calcularam-se também os custos da energia elétrica consumida e estimou-se o CO₂ equivalente emitido, considerando as emissões resultantes do “mix” de energia primária típico do sistema eletroprodutor português. A tabela IV apresenta de forma sumária a informação referente às soluções de base

Tabela IV - Edifícios de referência: Consumos e Custos

	Edifício 1		Edifício 2		Edifício 3	
Area (m ²)	777	/m ²	2001	/m ²	2296	/m ²
Aquecimento(kWhano ⁻¹)	515	0.66	2280	1.1	0.072	0
Resfriamento(kWhano ⁻¹)	35230	45	157735	79	572730	0.25
Potência Aquec. (kW)	10	0.013	45	0.022	0.032	0
Potência Arref. (kW)	40	0.050	155	0.078	286	0.125
Cons. Elétr. (kWhano ⁻¹)	50650	65	82480	41	426235	186
Eletr. Aquec (kWhano ⁻¹)	172	0.22	790	0.39	0.026	0
Eletr. Arref. (kWhano ⁻¹)	9515	12	42625	21	150495	65
Eletr. Ilum. (kWhano ⁻¹)	39125	50	31740	16	253615	110
Eletr. Vent. (kWhano ⁻¹)	1838	2.5	7325	3.7	22125	10
Custo Energia Eletr (€)	3205	4.1	5295	2.7	25747	11.2
CO ₂ emitido (tano ⁻¹)	45.1	0.058	73.4	0.037	379	0.17

Ainda que não diretamente expresso este tipo de análise deve ter em mente não apenas a questão da energia, mas também a questão de custos associados, neste caso tendo que pesar os custos de investimento (equipamentos) conjuntamente com a fatura energética. Foi feita uma consulta ao mercado para estimar os custos dos equipamentos e mais especificamente os custos associados a equipamentos de ventilação que permitissem fornecer uma maior quantidade de ar novo e de bombas de calor que pudessem controlar o aumento de ganhos internos significativos. Em primeira aproximação cada duplicação da massa de ar novo corresponde a aumentar em cerca de 10% o custo global dos equipamentos e que cada 20% de aumento nos ganhos internos dos edifícios se traduzem num agravamento de 10% no investimento. Para os restantes parâmetros considerou-se o aumento linear para o custo do sistema de ar condicionado.

A tabela V apresenta o conjunto dos resultados.

Tabela V - Variação dos consumos energéticos e custos

Parâm	Edifício 1			Edifício 2			Edifício 3		
	Energ kWh	Custo €ano ⁻¹	Invest k€	Energ kWh	Custo €ano ⁻¹	Invest k€	Energ kWh	Custo €ano ⁻¹	Invest k€
Refer	50650	3205	96	82480	5296	210	426235	25747	564
Variação em % (edifício de referência) para as variações dos parâmetros da Tabela I									
Resistência	0.5	0.5	-1	0.3	0.3	0	1.1	1.1	0
Massa	-0.2	-0.1	0	-1.0	-0.9	0	0	0.1	0
Illum.Cons. 500lux	-14.1	-14.0	-3.0	-6.7	-6.8	0	-11.3	-11.1	-1.0
Trasnm.	12.3	12.2	-1.0	27.6	26.6	0.0	0.2	0.2	0
Caudal	2.5	2.6	8.0	6.8	6.8	9.0	0.6	0.6	11.0
Consumo ganhos int.	15.0	15.3	21.0	37.6	37.6	16.0	27.3	27.3	12.0

As primeiras observações que resultam da análise desta tabela são as seguintes: há uma relação muito importante entre os consumos energéticos e a iluminação, particularmente importante porque, como se pode verificar na tabela IV, a iluminação por si só significa quase 80% do consumo do edifício 1, cerca de 40% no edifício 2 e 60% no caso do edifício 3. Note-se que, exceto no edifício 3, em que as janelas desempenham pelas suas dimensões relativas um papel menos importante, a transmitância dos vidros assume uma importância perfeitamente comparável (mas de sentido contrário) à da eficiência dos balastos. Todas as outras alterações são significativamente amortecidas, merecendo, no entanto, referência o fato de duplicar o ar novo não ter grande significado no aumento dos consumos energéticos e aumentar o investimento nos equipamentos de condicionamento de ar em apenas 10%.

7. CONCLUSÕES

Com suporte no conjunto de resultados apresentados é possível a avaliação empírica a qual pretende estabelecer a influência de alguns parâmetros físicos, determinantes de projeto, no consumo energético.

A primeira afirmação é que os edifícios são sistemas fortemente amortecidos, possivelmente porque ao transitar da sua finalidade inicial de proteção para a finalidade atual de conforto as edificações passaram a ter inércias térmicas muito grandes que amortecem o efeito das variações impostas aos parâmetros em análise.

Nos edifícios de serviços há ainda a somar os efeitos dos grandes ganhos internos, das necessidades de iluminação e de renovação de ar. Esta conclusão parece óbvia mesmo que se admita que o modelo inicial e o ano climático de referência possam ter erros mais ou menos importantes. Isto não é razão, todavia para que o trabalho não prossiga, nomeadamente a partir de outras aproximações.

A segunda conclusão é que as maiores alterações que irão aparecer nos projetos surgirão associadas aos ganhos internos, se bem que a iluminação e a eficiência dos equipamentos desempenhem um papel importante na redução do investimento e da fatura energética, bem como nas emissões de CO₂.

A terceira conclusão é que já hoje o isolamento das fachadas e o aumento da inércia térmica têm pouca importância no balanço energético final, mas se associar este fato a conclusão anterior, pode-se afirmar que a sua importância real será cada vez menor, nos edifícios de serviços.

Fica também aqui evidente que, se bem que o comportamento de um edifício de serviços seja complexo, os sistemas de HVAC conseguem adaptar-se às cargas e horários de forma a minimizar consumos e investimento garantindo condições internas de conforto e salubridade, mas para isso devem ser projetados/definidos de início para as suas condições específicas.

Simulações dinâmicas, suportadas em software como o E+, constituem uma contribuição importante para atingir esse objetivo mas não se pode deixar de ter em conta que estes software's trabalham com "anos médios", "anos típicos", "anos de referência" que podem conduzir a resultados diferentes para um mesmo edifício num dado local. O projeto, por outro lado, deve trabalhar com probabilidades e mesmo com cenários, nos quais a experiência do projetista é indispensável.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVIQUE, M. e SARAIVA, J., (2004) "Parametric Variation and Energy Consumption in Office Buildings", Proceedings of the XXXII IAHS World conference, Sustainability of the Housing Projects, University of Trento, Trento.

GONÇALVES, H. e outros, (1998) "Large office buildings, which are the dominant parameters in energy consumption?", PLEA'98, Lisboa.

ROMERO M. e outros, (1998) "Energy studies in office buildings. The tower brought to São Paulo by SOM", PLEA'98, Lisboa.

ROMERO, M. e outros, (1999) "A evolução da Arquitetura e dos aspectos energéticos dos edifícios de escritórios nos últimos 30 anos na cidade de São Paulo", V ENCAC, Fortaleza.