

Conferência Científica e Tecnológica em Engenharia

"O Saber do Passado e o Desafio do Futuro"

ISEL, 6 a 10 de Maio de 2002

[Página de entrada](#)

[Temas](#)

[Comissões
Científica
Técnica](#)

[Organização](#)

[Secretariado](#)

[Resolução
recomendada
8000/600](#)



[Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - ISEL](#)

Temas

[Engenharia Civil](#)

[Engenharia Química](#)

[Engenharia Electrotécnica](#)

[Engenharia de Telecomunicações e Computadores](#)

[Engenharia Mecânica](#)

[Matemática e Física](#)

[Ensino](#)



Engenharia Civil

O Futuro dos Recursos Hídricos em Portugal Continental

António Quintela (IST)

Mineiro Aires (INAG)

Ribeiro da Fonseca (HIDROPROJECTO)

Recuperação e Gestão Racional de ETAR's

Maria Helena Marecos do Monte (ISEL / SANESTE)

Hemetério Monteiro (Assessor Ministério Ambiente)

Amílcar Ambrósio (U. Nova / AMBIO)

Moreira Rato (Setal Degremont)

Conforto em Edifícios

Edifícios I

Conservação e Manutenção do Património Edificado

Edifícios II

Geotecnia e Urbanismo

Geotecnia

Estruturas

Conservação e Manutenção de Estruturas e da sua Envolvente

Vias de Comunicação

Comissão Científica

Almeida Anes (ISEL)	Gil Marques (IST)	Manuela Vieira (ISEL)
Amadeu Leão Rodrigues (UNL)	Grandão Lopes (ISEL)	Margarida Mamede (UNL)
Amin Karmali (ISEL)	Helder Pita (ISEL)	Maria Cândida Dias (ISEL)
Ángelo Colombini (USP)	Isabel Pereira (FCUL)	M ^a Graça Alfaro Lopes (ISEL)
António Cabral (ISEL)	João Calado (ISEL)	Maria Helena Marecos (ISEL)
António Couto Pinto (ISEL)	João Carlos Palma (LNEC)	Maria Helena Vasques (ISEL)
António Cruz Serra (IST)	João Travassos (ISEL)	Maria João Rosário (IST)
António Manuel Casaca (ISEL)	Jorge Salvador Marques (IST)	Mário Figueiredo (IST)
António Silvestre (ISEL)	Jorge Santos Rocha (ISEL)	Mário Manso Correia (ISEL)
Armando Rito (ISEL)	José Bioucas Dias (IST)	Nuno Guimarães (FAC. CIÊNCIAS)
Armando Teles Fortes (ISEL)	José Carlos Quadrado (ISEL)	Octávio Carolo (ISEL)
Arnaldo Abrantes (ISEL)	José Coelho (ISEL)	Pedro Figueira (ISEL)
Beatriz Borges (IST)	José Luis Azevedo (U.AVEIRO)	Pedro da Silva Girão (IST)
Carla Costa (ISEL)	José Manuel Viegas (IST)	Pedro Manuel Carvalho (IST)
Carlos Duarte (ISEL)	José Manuel Leitão (IST)	Pedro Santos (IST)
Carlos Manuel Alegria (IST)	José Matos e Silva (ISEL)	Ramôa Ribeiro (IST)
Carlos Cabrita (UBI)	José Nascimento (ISEL)	Reinhard Schwarz (IST)
Carlos Meneses (ISEL)	José Virgílio Prata (ISEL)	Rodrigo Martins (UNL)
Conceição Azevedo (LNEC)	Júlio Cruz Morais (U.ÉVORA)	Ruben Leitão (ISEL)
Elmano Margato (ISEL)	Júlio Novais (ISEL)	Rui D' Aguiar (ISEL)
Fernando Chagas Gomes (ISEL)	Luis Carriço (UNL)	Rui Manuel Castro (IST)
Fernando Fortes (ISEL)	Luis Cnstódio (IST)	Sandra Gadanho (ISR)
Fernando Melício (ISEL)	Luis Gomes (UNL)	Silvério Coelho (ISEL)
Fernando M. Pires (U.ÉVORA)	Luis Marcelino Ferreira (IST)	Teresa Correia de Barros (IST)
Fernando Silva (IST)	Luis Osório (ISEL)	Vasco Soares (ISEL)
Fernando Sousa (ISEL)	Manuel Barata (ISEL)	Victor Mendes (ISEL)
Fernando Velez (UBI)	Manuel Vasques (ISEL)	Vitor Almeida (ISEL)
Feyo de Azevedo (FEUP)		Walter Vieira (ISEL)
Francisco S. Rodrigues (ISEL)		Zuzana Dimitrovová (ISEL)

Comissões Técnicas

Cristina Camus Acácio G. Baptista Anabela Silva João Silva Jorge de Sousa	Feliz J. Mil-Homens Braúlio Baptista Catarina Travassos Teresa Santos	Paulo A. C. Marques Jorge Pais Pedro Mendes Jorge	Pedro Figueira António Cabral Armando Teles Fortes Grandão Lopes José Matos e Silva	João Travassos João Calado Jorge Santos Rocha Octávio Carolo Rui D'Aguiar Zuzana Dimitrovová
---	--	---	---	---

Comissão Organizadora

José Carlos Quadrado
Jorge Santos Rocha
José Almeida Fernandes
Leonor Norton Brandão
M^a da Graça Alfaro Lopes
Paulo Alexandre Carapinha Marques

SECRETARIADO

Maria das Dores Delgado

Nilza Medeiros Gomes

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Gabinete de Informação e Imagem
Telefone: + 351 218 317 082, Fax: + 351 218 317 175

E-mail: ccte@isel.pt

www.isel.pt/ccte

Comunicações disponíveis

Tema:
Engenharia Civil

A avaliação imobiliária de fracções de escritórios

Maria Dulce Franco Henriques
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Resumo

Os escritórios são um segmento do mercado imobiliário actualmente muito activo, pois as empresas crescem, fundem-se e desaparecem, obrigando-se a frequentes procuras de novos espaços. Também em termos geográficos, numa mesma cidade vão havendo oscilações dos centros de gravidade dos negócios, uma vez que vão sendo criados novos parques de escritórios ou centros empresariais e deixando os anteriores de ser procurados. A presente comunicação começa por fazer uma abordagem dos principais métodos de avaliação, em que casos deve ser aplicado cada um e quais os dados necessários para que possam ser aplicados. Quanto à avaliação de fracções de escritórios pelo método comparativo de mercado, são discretizadas todas as variáveis explicativas de valor e é apresentada uma forma de as tratar numericamente, de modo a poder ser obtido o valor final de avaliação de uma forma objectiva e rigorosa.

1. Introdução

Avaliar é atribuir valor a um bem. Por sua vez, a avaliação imobiliária é a atribuição de valor a bens fixos como sejam os terrenos, os edifícios ou quaisquer outras construções. Os bens imobiliários podem ser avaliados segundo diversas perspectivas, obtendo-se por vezes valorizações diferentes para o mesmo bem, em função dessa perspectiva ou objectivo.

Os métodos de avaliação serão mais ou menos eficazes em função da sua escolha para cada situação, do fim ou óptica sob a qual se pretende a análise, e também do tipo de propriedade, nível de precisão exigido e quantidade de transacções análogas efectuadas.

A escolha dos métodos de avaliação apresenta-se ligada à óptica sob a qual o proprietário ou um potencial comprador deseja ver o imóvel avaliado. Para determinadas situações-tipo existem os métodos-base mais adequados. No entanto, mesmo sendo o valor de avaliação determinado pelo método ou técnica que melhor se enquadra ao caso em estudo, o avaliador não deverá deixar de determinar o valor por intermédio de outro método, e reflectir sobre as diferenças obtidas.

Existem também alguns casos que, não se enquadrando em nenhuma das situações-tipo, terão que ser avaliados obrigatoriamente por dois ou mais métodos, obtendo-se o valor de avaliação, como uma média dos vários valores apurados.

No caso que se irá apresentar na terceira secção e que é a temática central desta comunicação, o método a utilizar será apenas o Método Comparativo de Mercado, desde que a fracção se encontre integrada num espaço urbano onde exista um mercado deste tipo de imóveis (situação mais comum).

2. Métodos de avaliação imobiliária

2.1 - Método Comparativo de Mercado

Aplica-se este método sempre que alguém deseja ter a avaliação do imóvel numa óptica de mercado, ou seja com o fim mesmo que não imediato, de compra ou venda.

A avaliação de um imóvel pela técnica do valor comparativo de mercado é, sem dúvida, a que menores riscos implica e que maior consenso envolve. É aplicada sempre que se pretenda desocupar e vender um imóvel no estado em que se encontra, vendendo-o em situação concorrencial aberta e integrada no mercado local.

Este método é bastante verídico sempre que exista um mercado muito activo com fácil informação, como seja o caso da venda de fracções de habitação, escritórios, comércio ou terrenos. No entanto, a ponderação casuística na comparação dos preços de diferentes imóveis, como factor algo subjectivo que é, pode ainda assim originar algumas distorções.

2.2 - Método do Rendimento

Este critério refere-se à capitalização do rendimento existente e também potencial (como seja por exemplo uma renda), sendo um valor de continuidade de exploração. A preços constantes (R =rendimento do ano base), e em perpetuidade:

$$V = R / t \quad \text{em que:} \quad \begin{array}{l} V - \text{valor actual do imóvel} \\ R - \text{Rendimento líquido anual} \\ t - \text{taxa de capitalização} \end{array}$$

Este processo de avaliação tem como principal dificuldade a fixação da taxa de actualização, em especial quando estiverem em análise mercados pouco activos. É normalmente obtida empiricamente pela relação real existente entre os mercados de arrendamento e de venda numa determinada zona, para imóveis análogos.

Nos casos em que não há mercado, é necessário que o avaliador estipule a taxa de capitalização anual, sabendo que quanto mais especializado é o uso a que se destina a construção, mais elevada deverá ser a taxa de capitalização a empregar, pois a sua desactualização (física, funcional ou tecnológica) é mais rápida, e o risco do investimento é em geral maior.

2.3 Método do Investimento

Este método é aplicado sempre que se pretenda a continuidade da exploração de um imóvel, nas mesmas circunstâncias e características físicas em que este se encontra e para o qual não exista um mercado definido. Para os edifícios muito específicos, que só interessam ao fim para o qual foram concebidos (como por exemplo as fábricas), o método do investimento ou dos custos de substituição, será por vezes a única técnica de avaliação possível. Na maior parte dos casos, no entanto, este valor deve ser comparado com o valor comercial intrínseco do próprio imóvel e do terreno que lhe serve de suporte.

Por este método o apuramento do valor de avaliação é feito contabilizando o montante que seria necessário dispendir para a construção de um imóvel igual, pelo somatório das diversas parcelas constituintes do mesmo, incluindo todos os encargos relacionados com o projecto, licenças e construção e acrescido do valor de mercado do terreno, sendo-lhe deduzida depois a parcela correspondente à sua depreciação física, funcional e tecnológica.

O terreno nunca é depreciado, e pelo contrário, na maior parte dos casos vai-se valorizando em função das características de melhoramento da envolvente em que se insere.

2.4 Método do valor residual

Se o objecto a avaliar é um terreno devoluto, ou que possua construções que se entendam dever ser demolidas, o avaliador fará o estudo do valor potencial do mesmo, reflectindo este o rendimento que se poderá obter do terreno pelo desenvolvimento de um empreendimento novo.

O valor de referência apurado por este estudo deve ser confirmado com o valor de mercado dos terrenos de características semelhantes que se encontram à venda na mesma zona.

O valor residual do terreno é obtido pela diferença entre o valor comercial presumido do empreendimento acabado e o somatório de todos os custos que se prevê que o promotor venha a suportar ao longo do desenvolvimento de todo o processo, incluindo o custo do factor tempo.

A avaliação será realizada considerando a máxima ocupação possível do terreno, dentro dos parâmetros camarários definidos, e do que se entende ser tecnicamente correcto. Posteriormente estipula-se a estrutura de custos de investimento, faseada no tempo, que estará associada ao empreendimento.

Relacionando todos os factores intervenientes, obter-se-á o montante máximo que um investidor estará disposto a dar pelo terreno, de modo que, depois de incorridas todas as despesas, ele consiga ainda obter a margem que estipulou à partida. Este é o valor residual ou potencial do terreno.

Este método tem o inconveniente de fazer uma análise futurista, baseada em pressupostos do presente. Existe sempre incerteza nos resultados esperados, resultantes de acontecimentos não previstos, como sejam oscilações do mercado ou medidas administrativas.

3 – Avaliação de uma Fracção de Escritórios

3.1 - Aspectos Gerais

Apresenta-se agora um pequeno desenvolvimento da técnica subjacente à avaliação de um segmento de mercado muito específico, as fracções de escritórios, uma vez que este é um segmento muito activo na cidade de Lisboa e sobre o qual se tem escrito muito pouco. Apresentam-se as especificidades próprias da avaliação deste tipo de imóveis, que são bastante distintas das da habitação.

Desde que exista um mercado mais ou menos activo, a estimação do presumível valor de avaliação de uma fracção de escritórios será realizada pelo Método Comparativo de Mercado.

3.2 Variáveis e sub-variáveis explicativas de valor [1]

Atribui-se a designação de variáveis e sub-variáveis aos factores endógenos e exógenos ao imóvel em estudo e que são responsáveis pela fixação do seu valor comercial, referido-se estes a uma data e a uma situação socio-económica concretas, para cada avaliação realizada.

Para o caso específico das fracções de escritórios, considerou-se que o seu valor é explicado principalmente pelas cinco variáveis e respectivas sub-variáveis, que se apresentam:

L – Localização

Esta variável envolve todos os aspectos relacionados com o espaço físico alargado em que se insere o imóvel, seja em termos de características da malha urbana, seja de qualidade ambiental, ou de prestígio social.

Sub- variáveis:	L1 – Tipo de zona onde se localiza
	L2 – Grandes vias de acesso
	L3 – Visibilidade do logotipo da empresa a partir do exterior
	L4 – Nível paisagístico da envolvente urbana
	L5 – Proximidade de elementos naturais
	L6 – Prestígio social da zona

E – Equipamentos Envolventes

Esta variável envolve todo o comércio e serviços, públicos ou privados, que se localizam em torno do imóvel em estudo, e que foram aí colocados ou licenciados pelas edilidades, independentemente de os utentes da fracção de escritório os utilizarem ou não.

Teve-se em atenção ao definir esta variável, que ela abrangesse todas as necessidades quer da empresa, quer dos seus funcionários, dos seus visitantes ou dos seus clientes.

Inversamente, existe outro tipo de necessidades que não devem ser tidas em conta, como por exemplo os serviços de ordem social, que são tão importantes para um espaço habitacional, mas que são considerados para este segmento como pouco relevantes, uma vez que a maior parte das necessidades em equipamentos sociais de uma pessoa (centros de saúde, escolas, centros culturais, centros desportivos, unidades religiosas), devem ser satisfeitas no local onde esta habita e não onde trabalha. Consideram-se apenas destes, os serviços que poderão ser utilizados antes, durante ou depois de cumprido o horário de trabalho.

Sub-variáveis:

- E1 - Estacionamento público
- E2 – Autocarros
- E3 – Praça de táxis
- E4 – Metropolitano
- E5 – Comboio ou barco
- E6 – Restaurantes / Snacks
- E7 – Instituições bancárias / MB
- E8 – Zona comercial composta por mais de 15 lojas
- E9 – Correios, notário, finanças
- E10 – Piscina, ginásio, infantário

C – Características Arquitectónicas

Esta variável envolve os principais aspectos que se referem ao edifício e à fracção em estudo, independentemente do local onde este se encontra implantado.

Sub-variáveis:

- C1 – N° de pisos do edifício
- C2 – Estacionamento privativo
- C3 – N° de elevadores / velocidade
- C4 – Divisão do espaço
- C5 – Tipo de edifício / fracção
- C6 – Casas de banho
- C7 – Luz natural
- C8 – Hall de entrada
- C9 – Acabamentos da fracção
- C10 – Fachadas

As questões ligadas à depreciação física do edifício encontram-se contempladas nas sub-variáveis C8, C9 e C10 e as relativas à depreciação funcional, são contempladas pelas sub-variáveis C2 a C7.

D – Desempenho Tecnológico

Refere-se esta variável aos equipamentos fixos que são colocados no interior da fracção e também do edifício, não apenas quanto à sua existência, mas sobretudo quanto ao seu desempenho.

Pretende-se com a introdução desta variável, saber se o equipamento instalado corresponde às necessidades dos seus utilizadores, quer em termos de tecnologia (se está de acordo com as normas vigentes), quer em termos de fiabilidade, de facilidade de utilização, de abrangência de toda a área ou de localização no espaço de trabalho. A depreciação tecnológica da fracção e do edifício está aqui contemplada.

Sub-variáveis:

- D1 – Características do sistema de climatização
- D2 – Pavimento técnico ou calhas técnicas
- D3 – Porteiro ou segurança
- D4 – Segurança contra intrusão
- D5 – Segurança contra incêndio

A - Área

A área de cada fracção é um factor de grande importância na composição do valor de avaliação, pois para fracções em tudo semelhantes, a unidades adicionais de área correspondem incrementos de valor sucessivamente menores, ou seja, o valor comercial por m² e a área da fracção crescem em sentido inverso.

3.3 - A Homogeneização

A fim de ser possível tratar de forma numérica a não apenas intuitiva todas as variáveis anteriormente apresentadas, se não se dispuser de mais nenhuma ferramenta, dever-se-á proceder à técnica da homogeneização de valores.

Primeiramente, será necessário comparar valores de venda pretendidos para imóveis análogos e que se encontrem disponíveis no mercado. No entanto, a informação recolhida pelos avaliadores no trabalho de prospecção ou disponibilizada por outros meios nem sempre é imediatamente comparável com a propriedade que se analisa. E isto porque, como é óbvio, só muito dificilmente os imóveis de referência são iguais ao que é objecto de avaliação.[2]

Para que seja possível comparar será necessário que o avaliador efectue os ajustamentos que decorrem das diferenças entre as propriedades de referência e a propriedade em apreço. Este trabalho de ajustamento designa-se por homogeneização e consiste em dar um tratamento às sub-variáveis de modo a torná-los homogéneos, isto é, comparáveis ao imóvel em apreço.[2]

A homogeneização será então aplicada passo a passo a todas as sub-variáveis apresentadas anteriormente, dotando-as de um factor majorativo (superior a 1) ou minorativo (inferior a 1), consoante a sub-variável em análise apresente características piores ou melhores, respectivamente, no imóvel de referência que no a avaliar.

O valor atribuído pelo mercado a cada imóvel de referência, será alterado face ao imóvel em avaliação, pela seguinte expressão [2]:

$$V_{\text{hom}} = (V - A) \times c_{L1} \times c_{L2} \times c_{L3} \times \dots \times c_{C1} \times c_{C2} \times c_{C3} \times \dots \times c_n \dots \times c_A$$

em que:

V_{hom} - Valor homogeneizado do imóvel em referência

V - Valor de oferta do imóvel em referência

A - Valor de algum elemento acessório ou de benfeitoria não comum, que exista no imóvel de referência

c_i - coeficiente de homogeneização em função de cada sub-variável.

Deste modo, a média dos valores homogeneizados dos imóveis seleccionados para referência, será o valor de avaliação a atribuir ao imóvel em estudo.

Como exemplo, no que se refere à primeira sub-variável L1-Tipo de zona onde se localiza, ter-se-á a seguinte situação: Se o imóvel de referência se localizar numa zona de maior valor comercial para escritórios que o imóvel em estudo, o coeficiente a atribuir deverá ser inferior a 1, para que assim o seu valor possa baixar para níveis semelhantes aos do imóvel em avaliação. Inversamente, por um coeficiente superior a 1.

A questão que se coloca é a objectivação desses coeficientes. Em países com cartas de preços regionais ou com bases de dados operacionais, é relativamente simples determinar esses coeficientes. Em Portugal, apenas a intuição e experiência do avaliador poderão servir de suporte a esse exercício de ajustamento.(2)

Não esquecendo porém que se devem analisar todas as sub-variáveis uma a uma e ter em atenção para que estas não se cruzem, ou seja, nunca se fazer reflectir no coeficiente adoptado para uma sub-variável, os aspectos considerados noutra.

O coeficiente de homogeneização relativo à área, c_A , será tratado de uma forma objectiva, uma vez que se trata de relações numéricas e não empíricas. O c_A traduz a relação existente entre os valores de dois imóveis atendendo apenas ao facto de terem áreas distintas. Na aplicação deste factor, tem-se em conta o facto de os valores unitários dos imóveis serem tanto maiores quanto menores forem as respectivas áreas, o que se traduz pela seguinte fórmula:

$$c_A = (\text{área da fracção de referência} / \text{área da fracção objecto da avaliação})^K$$

em que K toma o valor de 1/4 ou 1/8, caso a diferença entre as áreas seja, respectivamente, inferior ou não a 30%. [3]

4 - Conclusões

Como ficou explícito, a arte de avaliar pressupõe uma dose bastante elevada de intuição e de experiência por parte do avaliador.

No entanto, e uma vez que a intuição é diferente de pessoa para pessoa, esse facto poderá conduzir a que se obtenham valores marcadamente diferentes para o mesmo imóvel se ele fôr avaliado por duas ou mais pessoas. Nesse sentido, é necessário dotar a ciência de avaliar, de metodologias, técnicas, modelos ou bases de dados que reduzam esse empirismo e que a tornem mais matemática, objectiva e credível. A técnica apresentada nesta comunicação para o Método Comparativo de Mercado, é apenas uma entre outras que existem e muitas outras que se pretende venham a ser criadas no futuro.

5 - Referências

- [1] Henriques, M. Dulce, “Fracções de Escritórios: Modelo de Avaliação da Renda”, Tese de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2001.
- [2] Figueiredo, Ruy Manoel Duarte de, "Jornadas de Avaliação da Propriedade Urbana" - Escola Superior de Actividades Imobiliárias, Lisboa, 1998.
- [3] Ferro, Jorge Manuel Moura, , "Jornadas de Avaliação da Propriedade Urbana - Caso prático do Método Comparativo de Mercado" - Escola Superior de Actividades Imobiliárias, , Lisboa, 1998.

Caracterização das condições ambientais de iluminação natural nos edifícios com base na avaliação “in situ”

SANTOS, António J.

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. DED/NAI

Av. Brasil, 101, 1700-066 LISBOA. PORTUGAL

Tel: 21 844 3831; Fax: 21 840 15 81; e-mail: asantos@lnec.pt.

Os métodos de análise em iluminação natural podem dividir-se em quatro grandes grupos: i) métodos analíticos (manuais, gráficos ou computacionais); ii) métodos de avaliação “in situ”; iii) medições em modelos reduzidos à escala e iv) métodos baseados na avaliação pelos ocupantes. Na presente comunicação apresenta-se uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edifícios baseada na avaliação “in situ” e em análises complementares adequada a regiões com predominância de céus não-encobertos.

Introdução

A iluminação natural e a radiação solar constituem dois dos principais aspectos condicionantes das condições de conforto ambiental no interior dos edifícios. O papel fundamental da iluminação natural consiste em proporcionar um ambiente visual interior adequado. Considera-se que esse ambiente luminoso é adequado quando permite assegurar as necessidades de conforto visual e quando permite a execução das diferentes tarefas visuais que tenham lugar no interior dos compartimentos [1].

O *Factor de Luz do Dia (FLD)* [2] é o parâmetro de uso mais generalizado na caracterização e quantificação das condições de iluminação natural nos edifícios. O FLD define-se como sendo o quociente (expresso em percentagem) entre a iluminância num dado ponto de um dado plano no interior de um compartimento devida a um céu de distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminância exterior num plano horizontal proveniente de um hemisfério desobstruído desse céu. A contribuição da radiação directa para ambas as iluminâncias é excluída.

A representatividade do FLD, restringe-se às condições de nebulosidade de um Céu Encoberto-Padrão da CIE [1], cuja distribuição teórica de luminâncias apenas traduz com rigor as condições de céus completamente encobertos por nuvens espessas e escuras. Em regiões onde predominem as condições de céus não-encobertos, o FLD embora possa ser usado no estabelecimento de critérios de condições mínimas de iluminação natural, revela-se insuficiente na caracterização das condições de médias anuais. Deste modo, e face às limitações das metodologias tradicionais, apresenta-se uma metodologia que se considera adequada para a caracterização “in situ” das condições de iluminação natural nos edifícios, para quaisquer condições de nebulosidade.

Caracterização do ambiente interior de iluminação natural “in situ”

Introdução

Em primeira análise, a iluminação natural disponível no interior dos edifícios está dependente da disponibilidade de luz natural no exterior [1]. Os aspectos quantitativos da iluminação natural nos edifícios dependem das condições de nebulosidade do céu, do período do dia e do ano, das características geométricas do edifício e dos compartimentos, das dimensões e características espectrofotométricas dos vãos envidraçados, do grau de obstruções exteriores e ainda das características reflectométricas dos materiais superficiais interiores. Para além dos aspectos relacionados com a expressão quantitativa da iluminação natural (que tem essencialmente que ver com a garantia de uma iluminação suficiente para a realização das tarefas visuais) há ainda que referir os factores adicionais relacionados com os aspectos qualitativos que regulam o encandeamento, a atenção e a distração e que se manifestam no conforto visual dos ocupantes.

De modo a poder “extrair-se” informação relevante dos edifícios relativamente ao desempenho dos seus sistemas de iluminação natural, é necessário desenvolver um conjunto de procedimentos de monitorização, mediante os quais seja possível dar resposta às questões: o que medir? e, como medir?. Esses procedimentos de monitorização são constituídos por um conjunto de medições e observações, e por análises complementares.

A metodologia proposta baseia-se em três níveis de monitorização “in situ” das condições de iluminação natural que pretendem traduzir o “grau de intensidade” da avaliação e a adequação em função dos objectivos da avaliação.

Considera-se que o Nível 1 é adequado a uma quantificação das condições mínimas de iluminação natural nos edifícios, sendo as medições efectuadas sob condições de céu encoberto e baseadas na medição de Factores de Luz do Dia em planos de referência.

A monitorização de Nível 2, deverá permitir a extrapolação do desempenho médio anual de iluminação natural. As medições deverão ser efectuadas sob condições de céu limpo (em períodos próximos do Solstício de Junho e também, se possível, em alturas próximas do Solstício de Dezembro e de um dos Equinócios) e sob condições de céu encoberto. O Nível 2 deverá incluir a avaliação dos aspectos quantitativos e qualitativos da iluminação, bem como a caracterização das propriedades dos materiais com influência no desempenho final. As avaliações/caracterizações complementares dependerão dos objectivos e do “grau de intensidade” da monitorização. O Nível 2 deverá ser considerado como nível-padrão para a caracterização das condições médias anuais de iluminação natural, para regiões onde predominem as condições de céu não-encobertos.

A monitorização de Nível 3 baseia-se na avaliação contínua de determinados parâmetros e adicionalmente, inclui também os procedimentos de Nível 2. A monitorização de Nível 3 poderá ser substituída por uma monitorização de Nível 2 com avaliações complementares [3]. Todavia, o Nível 3 poderá ser útil na avaliação do impacto das soluções de iluminação natural no desempenho energético global dos edifícios e, na avaliação rigorosa do desempenho dos sistemas de controlo (iluminação artificial, AVAC sistemas de sombreamento, etc.) que se relacionam com os aspectos quantitativos e qualitativos da iluminação natural. Na figura 1 sintetizam-se os procedimentos de monitorização em função do Nível de avaliação [4].

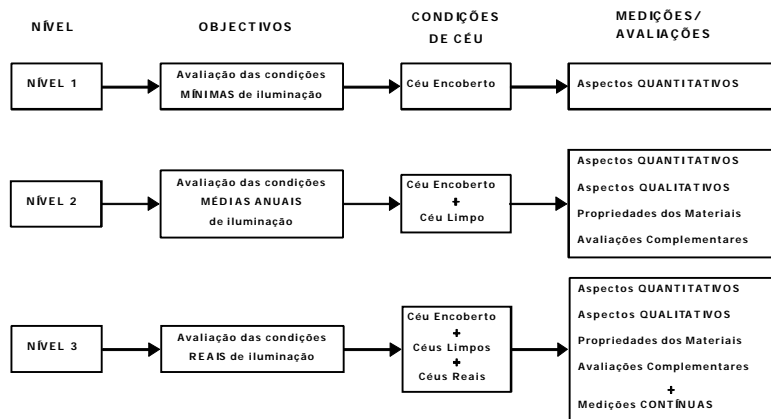


Figura 1. Esquema geral das características de monitorização de iluminação Natural “in situ” em função do Nível, dos objectivos, das condições de céu e do tipo de medições/avaliações.

Caracterização das propriedades dos materiais transparentes e opacos

As propriedades dos materiais com maior influência nas condições de iluminação natural nos edifícios são: *i*) a reflectância difusa visível das superfícies opacas (interiores e exteriores) e *ii*) a transmitância visível das superfícies transparentes e translúcidas (envidraçados). As propriedades de reflexão das superfícies interiores (paredes, tecto e pavimento, mobiliário, etc.) afectam o modo como a luz natural se distribui no interior dos compartimentos, manifestando-se tanto nos aspectos quantitativos como nos qualitativos da iluminação. De modo semelhante, as características de reflexão das superfícies exteriores fronteiras (obstruções) e do pavimento exterior, também contribuem para as iluminâncias finais interiores e para a qualidade do ambiente visual. Para além destes parâmetros é ainda de interesse conhecer outras características dos materiais como sejam a cor, a aparência e textura e o estado de conservação.

Avaliação dos aspectos quantitativos da iluminação

É habitual distinguir os aspectos quantitativos dos aspectos qualitativos da iluminação, embora ambos sejam complementares no que diz respeito à obtenção de um ambiente luminoso interior adequado [1]. Os aspectos quantitativos da iluminação relacionam-se essencialmente com os valores das iluminâncias disponíveis ao longo dos planos de trabalho, enquanto que os aspectos qualitativos têm essencialmente que ver com os factores que contribuem para a sensação global de conforto visual dos ocupantes. Seguidamente referem-se os principais aspectos quantitativos da iluminação que devem ser objecto de avaliação “in situ”.

Factor de luz do dia em planos de referência

A distribuição da luz no interior pode ser caracterizada através da medição de iluminâncias em todas as superfícies úteis: plano(s) de trabalho, paredes, écrans de computador, etc. Todavia, uma vez que a intensidade da iluminação natural varia, é habitual considerar o quociente entre a iluminância no interior e a iluminância horizontal exterior simultânea devida a um hemisfério de céu desobstruído. A este quociente dá-se

o nome de Factor de Luz do Dia (FLD) e exprime-se em percentagem [5]. Para medir o FLD, são necessários dois sensores de iluminâncias, bem como a garantia de que as duas medições são efectuadas simultaneamente. Durante as medições de iluminâncias, as condições de céu encoberto devem ser continuamente verificadas, assegurando que elas são próximas de um céu encoberto padrão, de modo a que as medições sejam reprodutíveis. As medições de iluminâncias no interior devem ser feitas ao longo de planos de trabalho numa grelha de pontos igualmente espaçados entre si.

Fluxo Luminoso

O conhecimento do fluxo luminoso total que penetra nos espaços interiores é útil como meio de expressão da eficiência dos sistemas de iluminação natural. A determinação do fluxo luminoso é efectuada mediante medição da iluminância vertical na face interior dos vãos envidraçados. As iluminâncias interiores são medidas verticalmente na face interior dos envidraçados das janelas e na direcção do exterior.

Avaliações quantitativas sob condições céu limpo

A predominância de céus limpos ou pouco encobertos é uma característica dos climas soalheiros dos países do Sul da Europa. Como consequência desta facto há necessidade de adoptar metodologias adequadas à avaliação das condições de iluminação natural sob condições de céu limpo que permitam caracterizar o efeito da luz do Sol e dos sistemas de protecção solar. Deste modo, a avaliação das condições de iluminação natural sob condições de céu limpo deverá ser efectuada recorrendo a dois procedimentos básicos: *i*) medição simultânea de iluminâncias interiores e exteriores, com e sem sistemas de sombreamento (nos Solstícios e num Equinócio), em três períodos do dia “simétricos“ em relação ao meio-dia solar verdadeiro e *ii*) caracterização do desempenho dos sistemas de sombreamento [4].

Avaliação dos aspectos qualitativos da iluminação

Os principais aspectos qualitativos da iluminação relacionam-se com a influência do ambiente visual interior no desempenho das tarefas visuais e no conforto visual dos ocupantes. De um modo geral, a avaliação dos aspectos qualitativos é efectuada através da medição de luminâncias no campo de visão dos ocupantes e na identificação de eventuais problemas de encandeamento [6].

Medição de Luminâncias

Um dos principais aspectos condicionantes da qualidade do ambiente visual e, consequentemente, do desempenho visual, é a existência de valores de luminâncias substancialmente diferentes no campo de visão de um determinado observador. Para que qualquer tarefa visual possa ser efectuada em condições de conforto, as luminâncias das superfícies no campo de visão normal, de um observador, deverão ser mantidas dentro de certos limites aceitáveis. Assim, as luminâncias no campo de visão do(s) ocupante(s) dos edifícios constituem o principal indicador da qualidade da iluminação. Devem escolher-se pontos de localização de referência para

as medições de luminâncias em função das tarefas visuais a realizar em cada caso específico. As luminâncias devem ser medidas na direcção das zonas onde são desempenhadas tarefas visuais relevantes, nas proximidades dessas zonas, e na direcção de superfícies afastadas. A medição de luminâncias deverá ser efectuada sob condições de céu encoberto e sob condições de céu limpo.

Identificação de Reflexões Veladas

Frequentemente, existem reflexões que causam incomodidade visual e criam problemas no desempenho das actividades visuais nos ocupantes dos edifícios. Para avaliar estas reflexões (geralmente denominadas “reflexões veladas”), que podem causar desconforto visual e que nem sempre são facilmente detectadas, procede-se conforme a seguir é descrito. Nos locais onde são desempenhadas actividades visuais, essencialmente do tipo de leitura ou escrita, coloca-se um espelho, sob os planos de referência (plano de uma secretária, por exemplo) de modo a poderem ser detectadas reflexões veladas. A avaliação das reflexões veladas poderá ser ilustrada através de registo fotográfico.

Encandeamento Directo e por Reflexão.

Um aspecto da iluminação natural, com impactes significativos no conforto visual dos ocupantes, é o encandeamento (directo ou por reflexão) devido à luz difusa do céu, cujos efeitos poderão ser avaliados por observação directa ou por análise da disposição dos postos de trabalho e por contacto com os ocupantes questionando-os quanto a eventuais problemas de desconforto devido à luz do céu.

Encandeamento Devido à Luz do Sol. Padrões de Penetração Solar

O encandeamento devido à luz do Sol constitui também um aspecto importante de desconforto visual nos edifícios. A satisfação das exigências de conforto visual dos ocupantes implica a ausência de incidência da radiação solar directa nos planos de trabalho fixos. De um modo geral, as observações referentes à incidência da luz solar nos planos de trabalho poderão ser referenciadas e registadas “in situ” mediante avaliação fotográfica. Complementarmente, os períodos de penetração solar nos edifícios (e conseqüentemente dos potenciais efeitos de encandeamento devido à luz directa do Sol) poderão ser identificados com recurso a cartas solares em função da profundidade dos compartimentos [7].

Avaliações complementares

Avaliação do Impacte Energético da Iluminação Natural

Ao utilizar, conscientemente, a luz natural para a iluminação dos espaços interiores, deve ter-se sempre em consideração as conseqüências de tal utilização ao nível energético. Podem distinguir-se essencialmente dois tipos de conseqüências: *i) positivas*, ao substituir a iluminação artificial e *ii) potencialmente negativas*, relacionadas com eventuais sobreaquecimentos (durante os períodos quentes) ou com arrefecimentos

excessivos (durante os períodos frios), ambas com implicações ao nível do conforto térmico ou do consumo energético (ao procurar atenuar esses impactes negativos).

A avaliação do impacte da iluminação natural na utilização de energia eléctrica de iluminação pode ser efectuada de vários modos, todavia os conceitos de *Indicador de Horas de Iluminação Natural*, *Necessidades de Iluminação Eléctrica* e *Contribuição da Iluminação Natural* [7,8] revelam-se particularmente adequados

A iluminação natural, não só deverá conduzir à diminuição do recurso à iluminação artificial, como também deverá permitir reduzir substancialmente a necessidade de se recorrer a dispositivos mecânicos de climatização. Neste contexto, os principais impactes energéticos da iluminação natural manifestam-se, essencialmente, mediante sobreaquecimentos potenciais durante os períodos de Verão, que podem originar o desconforto térmico dos ocupantes ou originar consumos energéticos suplementares para minoração desse desconforto. A avaliação do impacte da iluminação natural no desempenho térmico/energético dinâmico dos edifícios, constitui um problema complexo que não pode, regra geral, ser efectuado com rigor de modo simples, sendo habitual o recurso a aplicações informáticas de simulação sofisticadas .

Conhecimento da opinião dos ocupantes - avaliação pós-ocupação (APO)

O conhecimento da opinião dos utilizadores finais dos edifícios, relativamente às condições de iluminação que usufruem, pode ser de grande interesse para o esclarecimento de eventuais falhas ou lacunas do projecto. Esse conhecimento pode ser efectuado, mediante trocas de impressões informais, questionando individualmente uma população representativa de um determinado edifício ou mediante inquéritos formais de Avaliação Pós-Ocupação (APO) [9].

Outros Procedimentos e Caracterizações Complementares

Para além dos procedimentos de monitorização “in situ” referidos, poderão ser efectuadas caracterizações complementares, tendo como pressuposto a melhor e mais completa avaliação possível do ambiente interior de iluminação natural. De entre as caracterizações complementares podem citar-se as seguintes [4]:

- *Análise de Elementos de Projecto*
- *Caracterizações Geométricas / Dimensionais e Outras* (Áreas de pavimento, áreas envidraçadas, geometria, dimensões, tipo, orientação, localização, obstruções e características espectrofotométricas dos vãos envidraçados, etc.);
- *Parâmetros de Desempenho de Iluminação Natural* (valores máximo e mínimo das iluminâncias ou do factor de luz do dia; uniformidade das iluminâncias; factor de luz do dia médio; etc.)
- *Caracterização dos Sistemas de Iluminação Artificial* (luminárias, lâmpadas, controlos, etc.)
- *Caracterização dos Consumos Energéticos* (consumo total do edifício e consumos diferenciados)

- *Caracterização Uso do Edifício* (número de ocupantes; períodos de utilização; perfis de utilização dos dispositivos de iluminação artificial (por compartimento); perfis de utilização dos dispositivos de sombreamento (por compartimento), etc.)

Conclusões

As recomendações [1,11,12] referentes à avaliação das condições de iluminação natural e artificial nos edifícios resumem-se ao aconselhamento/verificação dos valores das iluminâncias (ou do FLD) em determinados pontos do(s) plano(s) de trabalho. Porém, apenas o conhecimento desses valores é insuficiente para uma caracterização completa das condições de iluminação dos espaços interiores. Se a este aspecto se adicionar o facto de as condições de referência para a medição/cálculo do FLD serem as do céu encoberto-padrão da CIE, então torna-se evidente a necessidade de existência de um conjunto sistemático e criterioso de medições (que podem ser variáveis consoante o tipo de aplicação ou objectivo a atingir) que permitam uma caracterização o mais completa possível do ambiente luminoso interior.

O conhecimento das iluminâncias e/ou dos FLD no plano de trabalho constitui um procedimento necessário mas manifestamente insuficiente para uma cabal caracterização das condições de iluminação nos edifícios. Não é raro encontrarem-se compartimentos em que os ocupantes manifestam o seu desagrado face às suas condições de iluminação e, no entanto, quando analisadas essas condições, é frequente encontrar problemas relacionados não com a “quantidade” da iluminação mas sim com aspectos específicos relacionados com a “qualidade” dessa iluminação. Pode pois afirmar-se que a existência de valores adequados das iluminâncias no(s) plano(s) de trabalho é uma condição necessária para uma iluminação adequada, mas não é, certamente, uma condição suficiente.

Neste sentido, propõe-se com a presente comunicação, uma metodologia que se considera permitir uma completa e adequada caracterização “in situ” das condições ambientais de iluminação natural nos exícios.

Referências

- [1] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE), “*Daylight. International Recommendations for the Calculation of Natural Light*”. Publication C.I.E. N° 16 (E-3.2), 1970.
- [2] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE), “*International Lighting Vocabulary*”, 4th Ed, IEC/CIE, 1987.
- [3] SANTOS, A.J. - “*Procedimentos de monitorização de iluminação natural em edifícios*”. Lisboa, LNEC, 1998.
- [4] SANTOS, A.J., “*Desenvolvimento de uma Metodologia de Caracterização das Condições de Iluminação Natural nos Edifícios Baseada na Avaliação in situ*”, Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2001.
- [5] HOPKINSON, R.G. et al - “*Iluminação Natural*”, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

- [6] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE) - "*Discomfort Glare in the Interior Working Environment*", CIE 55, 1983.
- [7] CARVALHO, L.C. - "*Insolação e Iluminação Natural dos Edifícios*". Doc. de apoio Mestrado Eng. Física da FCUL. FCUL, Lisboa, 1997.
- [8] CARVALHO, L.C. - "*Influência da iluminação natural nas necessidades de iluminação eléctrica dos edifícios*". Workshop sobre "Novas Tecnologias da Apoio ao Projecto e Gestão do Ambiente Construído, Lisboa,1997.
- [9] HYGGE, S.; LOFBERG, H.A.; POULTON, K. - *A Manual for Post-Occupancy Evaluation (POE) and Test-Room Studies*. Daylight-Europe Project Working Document. Gavle, RIT/CBE, 1996.
- [10] HYGGE, S.; LOFBERG, H.A.; POULTON, K. - *A Manual for Post-Occupancy Evaluation (POE) and Test-Room Studies*. Daylight-Europe Project Working Document. Gavle, RIT/CBE, 1996.
- [11] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE) - *Guide on Interior Lighting*. Publication C.I.E. N° 29 (TC-4.1), 1975.
- [12] BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI) - *Code of Practice for Daylighting*. BS 8206: Part 1: 1992, London, BSI,1992.

CONFE – Sistema de Controlo de Fumo em Edifícios

Hermínio Duarte-Ramos, João Paulo Lopes

Universidade Nova de Lisboa (FCT/DEE)

2825-516 Caparica

Telefone: 212 948 545, Fax: 212 948 532, hdr@fct.unl.pt

O controlo de fumo em edifícios na ocorrência de um incêndio constitui um dos objectivos da engenharia de segurança contra incêndios. Em Portugal foi publicada legislação sobre a matéria. As prescrições aí formuladas servem de base à concepção e construção dos sistemas de controlo de fumo. A fim de facilitar o projecto e a verificação da conformidade das instalações a esses regulamentos desenvolveu-se o sistema CONFE – Sistema de Controlo de Fumo em Edifícios. O cálculo implementado considera duas técnicas distintas de resolução do problema: uma passiva e outra activa. A aplicação, desenvolvida em C++ quanto ao cálculo matemático de base e Visual Basic para a apresentação gráfica, utiliza a tecnologia OLE na apresentação dos resultados, fazendo a ligação ao Autocad, com ficheiro de texto para que o utilizador se aperceba da utilização dada à aplicação.

Controlo do ambiente interior de edifícios

O controlo do ambiente interior de edifícios é habitualmente solicitado para possibilitar o bem-estar dos ocupantes dos espaços ou para tornar as condições do ambiente favoráveis, o mais possível, às utilizações a que se destinam.

O controlo de fumo em caso de incêndio num edifício é uma das vertentes de controlo do ambiente interior a que se deve dar especial atenção. Este cuidado será sempre uma medida preventiva, que só pode ser utilizada em caso de sinistro. Para isso, exige-se que a sua concepção assente numa base científica e tecnológica suficientemente robusta, alicerçando-se na informação resultante da experiência anteriormente adquirida. Mesmo que este controlo seja uma medida preventiva para reduzir os prejuízos inerentes a um sinistro, são objectivos principais do controlo de fumo em edifícios os seguintes:

- Tornar transitáveis, para os ocupantes do edifício, os caminhos a usar na evacuação e possibilitar que os meios de segunda intervenção possam actuar no local do sinistro;
- Limitar a propagação do incêndio, fazendo a extracção para o exterior do fumo resultante da combustão dos materiais existentes no local. A extracção do fumo do interior é uma forma de controlar o aquecimento do ambiente interno, diminuindo a possibilidade de propagação do incêndio;
- Promover a extracção do fumo de um incêndio após a circunscrição do sinistro que lhe deu origem.

Nestes objectivos evidenciam-se várias condições ambientais que podem afectar a eficácia de um sistema de controlo de fumo. De facto, para permitir que tais objectivos sejam atingidos, são condições essenciais:

- Manter a visibilidade interior satisfatória à mobilidade dos ocupantes;
- Reduzir ao máximo o teor de gases tóxicos na atmosfera ambiente;
- Preservar uma percentagem de oxigénio aceitável, de modo a facultar a respiração das pessoas sem perigo de vida;
- Impedir o rápido aumento da temperatura interior.

Protecção de pessoas

A legislação portuguesa [1], que se baseia essencialmente nas normas e regulamentos franceses, toma como principal preocupação, quanto ao controlo de fumo em edifícios, proteger os ocupantes dos edifícios destinados à presença, permanente ou temporária, de público em geral. Assim, os objectivos do sistema desenvolvido CONFE (Controlo de Fumo em Edifícios) têm em conta as caracterizações dessa legislação publicada oficialmente.

O objectivo essencial de um sistema de controlo de fumo consiste em tornar os caminhos de evacuação transitáveis para as pessoas que ocupam o seu interior, de maneira que atinjam um local com garantia de segurança na ocorrência de um incêndio. Por esta razão, uma das características destes sistemas consiste em tornar possível, ou previsível, que o ambiente fique livre de fumo até uma dada altura (cerca de 1,80 m) a partir do pavimento, a fim de promover a evacuação dos ocupantes em segurança e tornar a intervenção dos bombeiros eficaz e isenta de riscos desnecessários.

Protecção de bens materiais

A legislação portuguesa não se refere ao controlo de fumo em edifícios destinados ao sector industrial. Porém, como é evidente, ao proteger a evacuação das pessoas protegem-se também, indirectamente, os bens que estão alojados nos espaços do edifício. Apesar dessa lacuna legislativa, uma das etapas do trabalho desenvolvido tem em conta os projectos de edifícios com utilização industrial.

Os edifícios industriais dividem-se em dois grupos, no que respeita à análise do controlo de fumo. O primeiro grupo liga-se às actividades relacionadas com a fabricação ou transformação de qualquer produto, exibindo um grau de risco dependente da actividade produtiva. O segundo grupo de edifícios é formado pelos espaços destinados à armazenagem de produtos. Os armazéns têm um grau de risco que depende da carga térmica, apetência para a criação de fumos tóxicos e altura de armazenagem. Neste grupo de edifícios, os critérios de dimensionamento para um sistema de controlo de fumo não consideram a altura necessária para promover a evacuação das pessoas, mas sim a altura de armazenagem admitida como danificável pela invasão de fumo (a elevada temperatura).

Para que a aplicação resultasse significativa e credível, sob o ponto de vista prático da engenharia e quanto ao dimensionamento do sistema de controlo de fumo em edifícios industriais, foram seguidas de perto as especificações regulamentadas pela associação francesa reconhecida para o efeito.

A utilização do sistema CONFÉ pressupõe o conhecimento básico do utilizador acerca da divisão criteriosa dos espaços interiores a proteger pelo sistema de controlo de fumo. A divisão das várias partes do edifício em estudo obrigam a considerar a variação do pé-direito (altura de referência), a espessura da zona enfumada (altura de fumo), a utilização do espaço (industrial ou recebendo público) e as áreas máximas prescritas pela legislação [1]. Assim, antes de entrar no processo de cálculo, começa-se por repartir o edifício em cantões. O cálculo implementado através da aplicação dirige-se a estas partes do edifício em estudo, como ilustra a figura 1 [2], o que simplifica muito a abordagem.

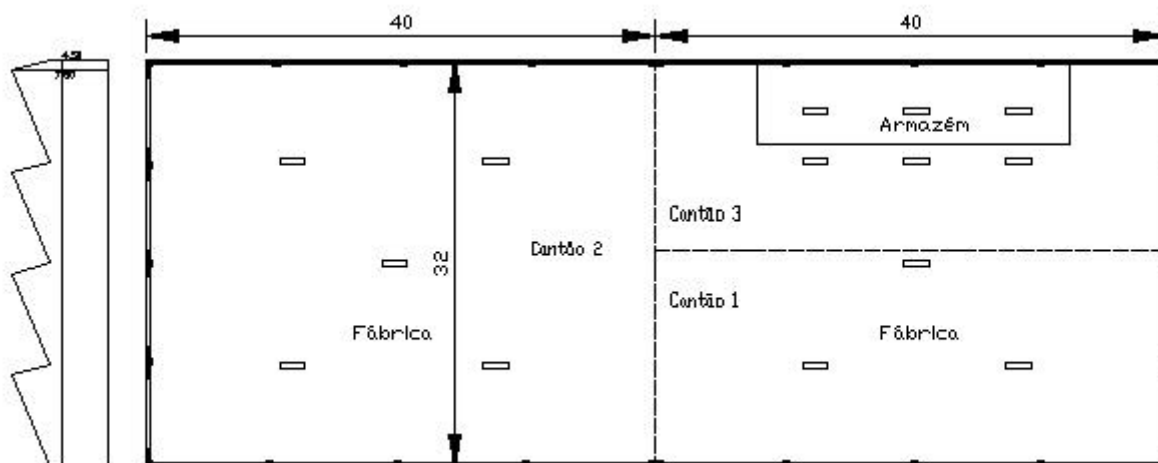


Figura 1. Exemplo da divisão de um edifício segundo as suas diversas utilizações e áreas admissíveis para cada cantão.

Desenvolvimento do sistema

A aplicação desenvolvida utiliza várias linguagens de programação [3], que são depois integradas através de diversos métodos. A base do cálculo está implementada através de um bloco em Visual C++ 6.0, com a criação de um ficheiro com extensão DLL (Dynamic Link Library) para possibilitar uma parte da integração do conjunto final dos blocos de programação. A apresentação gráfica de base do sistema desenvolvido foi desenhada com o Visual Basic 6.0 e o apoio de diversas técnicas de programação da linguagem. Na apresentação gráfica do resultado utilizou-se a tecnologia OLE (Object Linking and Embedding). Usou-se esta tecnologia para executar a aplicação Autocad, numa janela da aplicação apresentando um ficheiro de texto que é criado no final de cada cálculo. Este ficheiro de texto é um ficheiro script de Autocad, criado pela aplicação depois de cada cálculo, com os comandos de Autocad necessários para disponibilizar, ao utilizador do sistema, a solução gráfica na janela OLE de Autocad.

As duas técnicas de controlo de fumo em edifícios são a passiva e a activa. Na técnica passiva os métodos usados devem integrar o projecto geral desde o início, de modo que as características dimensionais dos espaços, aberturas e especificações utilizadas possam ser definidas logo numa fase embrionária do projecto. Quanto à técnica activa, segundo o método de pressurização, embora exista a obrigatoriedade da sua utilização em certos tipos de edifícios, pode ser considerada como uma solução para edifícios existentes, em que não exista ainda nenhum sistema de controlo de fumo. A aplicação, desenvolvida na plataforma

Windows, tem uma janela de apresentação, em que estão acessíveis os seus créditos e o direccionamento para o início do cálculo. Seguindo pelo caminho do cálculo, apresenta-se a opção de escolha entre as duas técnicas referidas.

Na técnica passiva consideram-se as características dimensionais e a utilização de cada cantão. A janela respeitante ao cálculo desta técnica passiva encontra-se ilustrada na figura 2.

Figura 2. Apresentação da aplicação através da janela do controlo passivo de fumo em edifícios.

Na técnica activa há que considerar cada parte distinta (escadas, corredores, locais sinistrados e átrios) do edifício em análise, para depois se ter uma apresentação gráfica semelhante à da técnica passiva. Na técnica activa distinguem-se dois métodos possíveis de controlo de fumo: varrimento forçado por exaustão electromecânica do fumo, com a sua libertação para o exterior, e pressurização relativa dos espaços, de maneira a impedir a progressão do fumo para o interior dos caminhos horizontais ou verticais de evacuação das pessoas.

Aplicabilidade ao projecto de edifícios de médio e grande volume

A aplicabilidade do sistema desenvolvido ao projecto de edifícios de médio e grande volume é, sem dúvida, uma das razões justificativas do desenvolvimento efectuado. Nos casos em que se preveja a concentração ou atracção de um significativo número de pessoas em espaços interiores fechados, as fases de projecto e de construção devem prever, entre outras características, a segurança do público geral existente no seu interior. Num eventual incêndio, a maior parte das vítimas não se verifica pelo contacto directo com o fogo, mas sim

por inalação de gases tóxicos contidos no fumo, provocando lesões graves no aparelho respiratório ou levando as vítimas ao desmaio, que as obriga a permanecer no local se não forem imediatamente socorridas. Como já se referiu, a inexistência de legislação aplicável aos edifícios de utilização industrial, com a falta de prescrições regulamentares que forcem à implementação de sistemas de controlo de fumo no respectivo projecto, não é possível obrigar que os projectos de médio e grande volume, de cariz industrial, tenham esse tipo de segurança. Ainda assim, observando o sector industrial nacional, toma-se consciência de que os investidores actuam no sentido de procurar estratégias que minimizem os custos a longo prazo. Esta perspectiva leva ao controlo dos efeitos nefastos de sinistros graves, que possam provocar a destruição maciça de grandes quantidades de produtos, prontos a colocar no mercado. Por isso, torna-se necessário que qualquer projecto atenda aos custos a longo prazo, usando métodos preventivos de segurança. Apesar da sua instalação representar um investimento inicial, mais tarde poderá revelar-se a sua importância social e económica.

Por uma questão de segurança, mas também para salvaguardar as condições ambientais para a população ocupante dos espaços interiores de um edifício, a utilização desta aplicação revela grande interesse prático, de modo a melhorar a qualidade final dos equipamentos sociais de médio e grande volume. Os sistemas de controlo de fumo de um edifício devem ser analisados como uma mais valia do projecto, a qual será potencialmente valorizada ao longo de toda a vida do edifício, ao contrário do que acontece ainda na generalidade dos casos, não representando simplesmente mais um acréscimo aos encargos financeiros a envolver na realização de cada projecto.

Discussão dos métodos de cálculo adoptados

Os métodos de cálculo adoptados no desenvolvimento do sistema CONFÉ correspondem às prescrições nos decretos regulamentares onde existe referência ao controlo de fumo em edifícios [1]. É nítido que a comissão técnica encarregue de elaborar esta legislação seguiu as normas e regulamentos franceses [4]. No sistema desenvolvido optou-se por normas conexas a outras utilizações, com prescrições fundamentais, não previstas na legislação nacional, destinadas aos edifícios industriais (fabricação ou armazenagem). Tendo por base os métodos de cálculo adoptados na legislação francesa, proposta pela associação do sector de segurança [5], entende-se ter optado por um procedimento correcto, já que se usam metodologias mais abrangentes do que as contidas na legislação publicada em Portugal.

No decurso do desenvolvimento desta aplicação, a investigação efectuada conduziu, sem margem para dúvida, a uma bipolarização aceitável, na qual surgem métodos de cálculo assentes em formulações empíricas em contraponto a fórmulas de carácter teórico e que seguem uma estrutura unitária não normalizada, certamente de mais difícil utilização. Estamos a referir as práticas euro-asiática e norte-americana. Neste contexto, adoptaram-se os métodos que assentam em prescrições normalizadas, com utilização de elementos de quantificação mais fácil e, eventualmente, menos controversos.

Validação de resultados em casos práticos

Para aferir os resultados num caso prático considerou-se uma caixa de escada de um edifício de habitação, mas que pode ser igualmente de um edifício do tipo administrativo, hospitalar, escolar, empreendimento turístico ou de um recinto de espectáculos ou divertimentos públicos. Trata-se de um edifício destinado a habitação com as seguintes características: número total de pisos: 5; actividade dos pisos: habitação.

Para as caixas de escada, a legislação [1] preconiza a mínima área útil da instalação de 1 m^2 . A área útil de desenfumagem dos exutores ou das vãos de fachada a utilizar deverá ser encontrada a partir do factor aerodinâmico destes equipamentos, determinado laboratorialmente por entidades acreditadas, que efectuem as suas homologações. Por isso, o fornecedor de um exutor deve indicar o valor desse factor aerodinâmico, que afecta a área geométrica para dar a respectiva área útil à saída de fumo para o exterior. Se não se conhecer esse valor utiliza-se, convencionalmente, apenas 0,3 para exutores e 0,5 nos vãos de fachada, em conformidade com a legislação em vigor [1].

A título de exemplo, refere-se que no projecto do exemplo atrás indicado e considerou um exutor de $1,20 \text{ m} \times 1,20 \text{ m} = 1,44 \text{ m}^2$ de área geométrica, resultando a área útil de $0,74 \times 1,44 \text{ m}^2 = 1,07 \text{ m}^2$ com o factor aerodinâmico igual a 0,74.

O sistema de desenfumagem previsto será accionado para permitir a abertura dos exutores e/ou aberturas de fachada, manualmente, a partir de botoneiras de emergência tipo “quebra-vidro” (colocadas nos pontos de acesso dos bombeiros) e, automaticamente, a partir da Central de Detecção de Incêndios e/ou pela rotura de fusíveis térmicos calibrados para $72 \text{ }^\circ\text{C}$ (montados junto dos actuadores dos equipamentos). O rearme ou fecho dos exutores e/ou aberturas de fachada será efectuado manualmente através das mesmas botoneiras tipo “quebra-vidro” que servem para o accionamento da desenfumagem.

Outro caso prático que se pode considerar diz respeito a um edifício genérico, ilustrado na figura 3, supondo um cantão com o comprimento $A = 30 \text{ m}$, largura $B = 30 \text{ m}$ e pé direito (altura de referência) $H = 9 \text{ m}$. A altura livre de fumo será $h_L = 5 \text{ m}$, o que conduz a uma altura da camada de fumo $h_F = 4 \text{ m}$, pois a altura de referência é $h_R = 9 \text{ m}$. Sabe-se que o espaço vai ser utilizado para armazenar artigos de faiança e louças com embalagens em caixas de cartão.

Iniciando a aplicação e escolhendo a técnica passiva para cálculo do sistema de controlo de fumo a dimensionar, segue-se a introdução dos dados relativos às características dimensionais do edifício e obtém-se a área útil de instalação $A_{UI} = 5,46 \text{ m}^2$. Então, escolhendo um exutor, por exemplo, com a secção livre de $1,40 \text{ m} \times 1,40 \text{ m}$ e um factor aerodinâmico $\lambda_E = 0,73$ vem a área útil do exutor $A_{UE} = 1,43 \text{ m}^2$. Este valor dá um resultado de $n_E = 4$ exutores, uma vez que se tem de adoptar o inteiro acima do resultado numérico obtido (igual a $A_{UI} / A_{UE} = 3,82$).

A utilização do exutor escolhido no projecto anterior, que tem $A_{GE} = 1,44 \text{ m}^2$ e $\lambda_E = 0,74$ ou $A_{UE} = 1,07 \text{ m}^2$, estabelece a montagem de 6 exutores, porque se calcula a relação $A_{UI} / A_{UE} = 5,10$. No entanto, pode-se reduzir o investimento apenas a 5 exutores, através de uma ferramenta desenvolvida no sistema, entrando com o factor de montagem η_{M} de um exutor central na distribuição de exutores no cantão. Este factor é superior à unidade para uma certa sobrelevação na montagem, relativamente à altura de referência. No caso

da sobrelevação deste exutor ser de 0,30 m, o factor de montagem é $\eta_{\text{a}} = 1,10$ e daí resulta uma maior eficácia, como se o equipamento tivesse uma maior área útil ($1,18 \text{ m}^2$ no lugar de $1,07 \text{ m}^2$).

Uma vez efectuado o dimensionamento, como uma solução possível, há que dispor os exutores no espaço do cantão (em planta). Para este processo é considerado o seguinte algoritmo: a figura cantonal (rectângulo ou quadrado) divide-se em n_E partes e coloca-se um exutor no centro de gravidade da figura criada pela divisão do cantão. Com 6 exutores há duas fiadas de três exutores cada uma (figura 3a) e no caso de 5 exutores insere-se um deles no centro dos restantes (figura 3b). Assim obtêm-se as variáveis necessárias para passar à etapa seguinte.

Nesta última etapa, o utilizador pode experimentar a visualização da solução antes calculada, através de simples clique no botão “Ver em Planta” da janela de controlo Passivo. Este clique irá iniciar um processo com a seguinte sequência de instruções:

- 1 – Criar o ficheiro cantao01.scr (script de autocad), com auxílio das variáveis antes criadas;
- 2 – Executar a aplicação Windows “Autocad” numa janela, através de uma ligação OLE;
- 3 – Dar o comando Run Script para o ficheiro criado antes.

O resultado, que ocorrerá no final deste processo, será o ilustrado na figura 3.

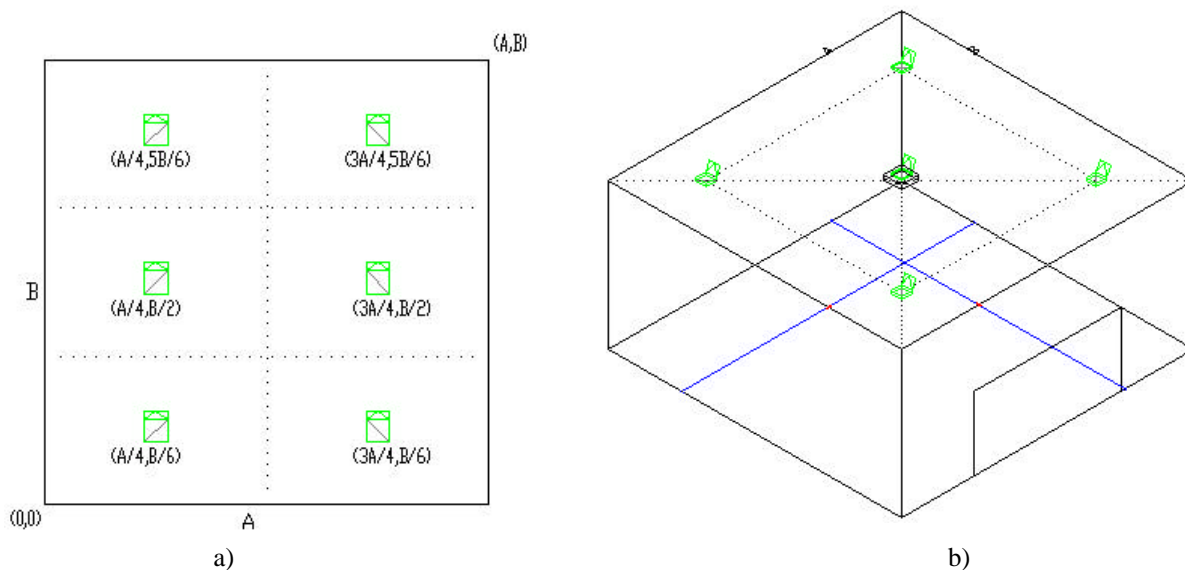


Figura 3. Apresentação da aplicação através da janela do controlo passivo de fumo em edifícios.

- a) Caso de 6 exutores (em planta).
- b) Caso de 5 exutores (em perspectiva).

No âmbito da técnica activa exemplifica-se com um corredor num hospital, tendo o comprimento de 45 m e a largura de 1,80 m, correspondente a duas unidades de passagem. Ora neste caso a legislação [1] prescreve que a sobrepressão relativa, em relação aos espaços adjacentes, deve ser entre 20 Pa e 80 Pa. Além disso, há que ter uma boca de insuflação até 5 m de cada extremo e um intervalo máximo de 30 m entre elas, o que realmente acontece no caso. Para dimensionar o insuflador necessário consideram-se 3 bocas de insuflação no espaço do corredor, com o caudal de ar fresco de $1,50 \text{ m}^3/\text{s}$. Este valor do caudal de dimensionamento dos

equipamentos electromecânicos permite obter a potência do insuflador, partindo das curvas características fornecidas pelos respectivos fabricantes.

Conclusões

Os casos apresentados para validação de resultados oferecidos pelo sistema desenvolvido abrangem situações comuns, embora se manifestem simples. Na prática, um projecto não se resume a dimensionar um cantão ou um insuflador de ar, mas sim ao projecto de um conjunto de equipamentos que completam o sistema de controlo de fumo do edifício, incluindo um eventual extractor de fumo.

O sistema CONFÉ, na sua versão final, possui uma estrutura de dimensionamento amigável, que fornece rapidamente os elementos necessários ao projectista ou ao instalador para a concepção ou a execução de instalações especiais com sistemas de controlo de fumo, quer passivos ou activos. Trata-se de uma ferramenta com utilidade na engenharia de segurança associada à construção civil de edifícios de grande porte, tal como é tendência nos actuais aglomerados urbanos.

Referências

- [1] «Regulamento das Condições Técnicas e de Segurança dos Recintos de Espectáculos e Divertimentos Públicos» Decreto Regulamentar N.º 34/95 de 16 de Dezembro, *DR 1ª série n.º 289*; «Regulamento de Segurança contra Incêndio em Edifícios de Tipo Hospitalar», Decreto-Lei N.º 409/1998 de 23 de Dezembro, *DR 1ª série n.º 295*; «Regulamento de Segurança contra Incêndio em Edifícios de Tipo Administrativo» Decreto-Lei N.º 410/1998 de 23 de Dezembro, *DR 1ª série n.º 295*; «Regulamento de Segurança contra Incêndio em Edifícios Escolares» Decreto-Lei N.º 414/ 1998 de 31 de Dezembro, *DR 1ª série n.º 301*.
- [2] H. Duarte-Ramos, «Projecto de Sistemas Passivos de Controlo de Fumos (1ª Parte)», *Electricidade*, n.º 358, Set. 1998, p. 215-221, Lisboa.
- [3] Microsoft Visual Studio 6.
- [4] «Instruction technique N.º 246, relative au désenfumage dans les établissements recevant du public», *Journal Officiel*, 4 mai 1982.
- [5] Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances Dommages (APSAD), «Règle17».

Estudo da utilização de escórias de R.S.U. na construção de pavimentos

Jorge dos Reis de Barros e Maria da Graça Lopes

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil

Neste trabalho apresenta-se uma revisão do estado do conhecimento no que concerne à utilização de escórias, provenientes da incineração de R.S.U., em aplicações no âmbito da construção de pavimentos rodoviários, expondo a postura de diferentes países, nomeadamente europeus, ao abrigo da política de gestão de resíduos. São ainda apresentadas as premissas que guiam um projecto de investigação recentemente iniciado na área particular da valorização de resíduos, financiado pelo Instituto Politécnico de Lisboa e cujo estudo incide sobre a viabilidade da aplicação das escórias produzidas na incineradora da Valorsul, S.A.. Este estudo inclui a realização de ensaios para determinação das características geotécnicas da matéria-prima. Os resultados obtidos são posteriormente comparados com os dos materiais convencionais usados na construção de pavimentos rodoviários. Com este trabalho pretende-se contribuir para o desenvolvimento no campo da reciclagem, o qual constitui uma das maiores preocupações, mas também um dos principais desafios da política europeia de gestão de resíduos.

Introdução

Os resíduos sólidos urbanos (R.S.U.) têm, normalmente, como destino final a deposição em aterro sanitário. Atendendo à sua reduzida vida útil e às crescentes exigências de segurança ambiental, é cada vez mais limitada e dispendiosa a deposição de resíduos nestas infra-estruturas.

A indústria da construção de estradas necessita, só na Europa, de mais de 2 milhões de toneladas de agregados minerais, que podem ser substituídas por escórias, evitando-se simultaneamente a exploração de novas pedreiras. Paralelamente, pressões ambientais crescentes dificultam cada vez mais a exploração de novas pedreiras e a extracção de agregados aluvionares. Urge assim encontrar soluções alternativas, constituindo a valorização uma via com assinaláveis vantagens.

Existe uma pressão crescente no sentido de incrementar a utilização de materiais alternativos em aplicações de construção tais como estradas. Esta situação conduz, por um lado, à redução da quantidade de agregados naturais que têm de ser usados em estradas e possibilita, por outro, que materiais alternativos sejam usados ao invés de serem enviados para aterro sanitário. A maioria dos países Europeus empregaram taxas para a deposição em aterro e exploração de agregados naturais, por forma a encorajarem o uso de materiais alternativos. Apesar destas medidas, o uso de materiais alternativos na construção de estradas é ainda baixo. Tal situação está relacionada, por um lado, com a percepção de que estes materiais são resíduos e por isso inferiores, por outro com razões económicas e ainda por subsistirem preocupações relacionadas com o comportamento mecânico e ambiental destes materiais [1].

Valorização das escórias de R.S.U.: situação na Europa e E.U.A.

A Suécia gera cerca de 3 milhões de toneladas de R.S.U., conduzindo a uma produção anual de 0,34 Mt de escórias, que são usadas, na sua totalidade, como sub-base e base em estradas e em aterros [2,3].

No Reino Unido, são produzidas 0,25 Mt de escórias por ano, tendo ocorrido apenas aplicações localizadas em quantidades desconhecidas.

Na Finlândia, a produção anual de escórias ronda as 95 mil toneladas, das quais 80% são usadas em terraplenagens [3].

Na Alemanha, das 2,6 Mt de cinzas produzidas anualmente na valorização energética de resíduos, 1,8 Mt (68%) são utilizadas na construção de estradas [2].

Na Dinamarca são produzidas anualmente cerca de 0,42 Mt de escórias a partir da combustão de RSU e resíduos similares. As escórias são processadas por forma a lhes serem removidos os metais e a serem preparadas para a utilização final. Cerca de 80% são usadas em aplicações de Engenharia Civil. Consideram possível a utilização das escórias em pavimento de asfalto betuminoso quente e frio ou tratamentos de superfície e, eventualmente, a utilização em estruturas e em arranjos paisagísticos. Embora tendo utilização prática limitada em aterros e enchimentos, as escórias são geralmente aplicadas em bases granulares não ligadas ou camada de sub-base granular desde o início dos anos 80 [2,3].

Na Holanda, os aspectos ambientais desta política estão cobertos no Regulamento para Materiais de Construção. Este regulamento permite um impacto marginal na qualidade do solo ao longo de um período de 100 anos, existindo critérios que têm de ser cumpridos dentro deste plano. Na Holanda são produzidas 0,8 Mt/ano de escórias, usadas na sua totalidade em camadas de base não ligadas e aterros [2].

Em França, grande parte dos R.S.U. sofrem incineração e das 3 Mt de escórias produzidas anualmente, cerca de 67% são utilizadas como agregados [3].

Em Portugal, só no ano de 2000, foram produzidos cerca de 4 300 milhares de toneladas de R.S.U., dos quais cerca de 20% foram incinerados (930 milhares de toneladas), originando cerca de 171 mil toneladas em escórias que normalmente são depositadas em aterro [4].

Nos E.U.A., as escórias e as cinzas volantes resultantes da incineração dos R.S.U. são geralmente combinadas numa única corrente. Actualmente, a maioria das cinzas provenientes da incineração são utilizadas na cobertura de aterros de R.S.U. ou em misturas de betão betuminoso. Das 8 Mt provenientes da valorização energética de resíduos, apenas pequenas quantidades foram utilizadas, a maioria em estradas e cobertura de aterros sanitários e algumas em asfalto [2].

Pelo exposto, a valorização de escórias provenientes da combustão de R.S.U. parece bastante atractiva, contudo a viabilidade da sua utilização na construção de estradas, em substituição de agregados naturais deve ser objecto de estudos de viabilidade ambiental e geotécnica.

Estudo da viabilidade da utilização de escórias

Âmbito do estudo

O estudo em desenvolvimento incide sobre a viabilidade geotécnica e ambiental da utilização em estradas de escórias provenientes da incineração de R.S.U., levada a cabo na Central de Tratamento de R.S.U. da Valorsul S.A..

Do ponto de vista ambiental a preocupação predominante é o potencial poluente das escórias resultantes da combustão de R.S.U.. Assim, o estudo inclui as seguintes etapas: i) pesquisa bibliográfica sobre as experiências realizadas noutros países sobre a utilização de escórias em estradas; ii) definição das precauções e condições de colocação e utilização das escórias na construção de estradas, no sentido de evitar riscos ambientais; iii) definição das análises químicas a realizar para determinar a possibilidade de valorização das escórias, por aplicação na construção de estradas; iv) definição da necessidade ou não de tratamento antes de aplicação; v) definição do tipo e duração das operações de tratamento; vi) definição da necessidade de operações de triagem (magnética, por indução e aerúlica); vii) classificação das escórias segundo o seu potencial de poluição e consequentemente potencial de valorização.

O estudo de viabilidade geotécnica inclui a realização de ensaios para determinação das características geotécnicas das escórias e posterior comparação com as características dos agregados usados na construção de estradas.

Este estudo comporta as seguintes tarefas: i) caracterização das escórias relativamente à sua composição granulométrica; ii) densidade; iii) estabilidade; iv) durabilidade v) permeabilidade; vi) propriedades mecânicas sob acções estáticas e cíclicas. Finalmente, será efectuada a análise dos resultados e comparação com os valores médios obtidos para os materiais tradicionais utilizados nas bases de pavimentos rodoviários. Como base de comparação utilizar-se-ão os dados obtidos recentemente na acção COST 337 – Materiais granulares e ALT-MAT [5,3]. A análise dos resultados obtidos será efectuada conjuntamente com os resultados relativos à caracterização química das amostras, disponibilizados pela Valorsul, S.A., tendo em vista a avaliação da viabilidade ambiental de utilização destes materiais na construção rodoviária. Serão definidos critérios de aceitação/rejeição das escórias para utilização em bases de pavimentos rodoviários.

Produção das escórias

Da combustão dos R.S.U. resultam escórias, cinzas, resíduos de tratamento de gases e produção de energia eléctrica. São produzidas cerca de 200 kg de escórias por tonelada de R.S.U. incinerada. As escórias, de aspecto granular e cor cinzenta, são arrefecidas por projecção de água, sendo posteriormente encaminhadas sobre um crivo vibrante para remover os elementos grossos, maioritariamente metálicos, destinados à indústria recicladora. Posteriormente o material é sujeito a um campo magnético, para a serem removidos os elementos ferrosos grossos, também estes enviados para a indústria recicladora. Finalmente, as escórias produzidas na Valorsul S.A. são armazenadas para arrefecimento e secagem, sendo posteriormente enviadas para a Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias (I.T.V.E.), nas instalações pertencentes ao Aterro Sanitário de Mato da Cruz. Cada lote de escórias é identificado pelo mês de produção da incineradora [6].

Tratamento e valorização das escórias

Na Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias da Valorsul, S.A., é preconizado um processo tecnológico de maturação (tratamento de inertização) das escórias resultantes da incineração e extração de metais ferrosos e não ferrosos (valorização). A valorização das escórias na I.T.V.E. engloba um conjunto de actividades que de seguida se esquematizam na Figura 1.

A capacidade horária da instalação de tratamento e valorização de escórias é de aproximadamente 65 toneladas de escórias em bruto. Destas, 56.5% tem uma granulometria entre os 10 e os 30 mm, 20.0% tem um granulometria inferior a 10 mm. Os restantes 23.5% são constituídos por, rejeitados com granulometria superior a 30 mm (12.0%) e metais não ferrosos (11.5%) [6]. Uma armazenagem intermédia (3 meses, no mínimo) das escórias antes da utilização é necessária a fim de: i) assegurar uma maturação suficiente; ii) diminuir o teor em água na escória para cerca de 10%; iii) estabilizar quimicamente, por forma a evitar o risco de dilatação posterior; iv) dispor de quantidade suficiente para responder à procura.

Características geotécnicas e ambientais das escórias

O estudo das propriedades físicas, mecânicas e ambientais das escórias torna-se imprescindível dada a sua variabilidade, quer pelo tipo do processo de valorização energética de R.S.U. empregue na sua produção, quer pela própria composição dos R.S.U. que lhe estão na origem.

Propriedades físicas

Tal como se pode constatar na Tabela 1, a escória proveniente da combustão de R.S.U. de granulometria inferior a 19 mm é um material equivalente a uma areia bem graduada. Aproximadamente 60% das escórias inserem-se na categoria de um material agregado fino ($< 4,75$ mm). É expectável que a quantidade de finos (fracção inferior a 0,075 mm) nas escórias varie entre 1,3 e 16%.

As escórias apresentam valores de absorção superiores a 2%, conforme indicado na Tabela 1, enquanto os agregados convencionais exibem tipicamente valores inferiores.

Ensaio de limites de consistência efectuados em escórias produzidas na Valorsul, S.A., revelaram que estas apresentam um comportamento não plástico. No que respeita ao ensaio do equivalente de areia, este varia entre 53 e 65 %. No ensaio do azul de metileno obteve-se o valor médio de 0,25 mL/g [8].

A escória é um material relativamente leve comparado com areias e agregados, tal como se constata pela observação dos valores apresentados na Tabela 1. A massa volúmica aparente total das escórias – variando entre 0,96 e 1,4 Mgm^{-3} – é relativamente baixa quando comparado com os valores relativos aos agregados naturais [9]. A massa volúmica seca é inferior à dos agregados convencionais, variando entre 1,26 e 1,76 Mgm^{-3} .

O teor em água das escórias pode variar significativamente de aproximadamente 20 a 70%. Este teor em água relativamente elevado é devido ao arrefecimento brusco a que as escórias são sujeitas à saída do forno de combustão.

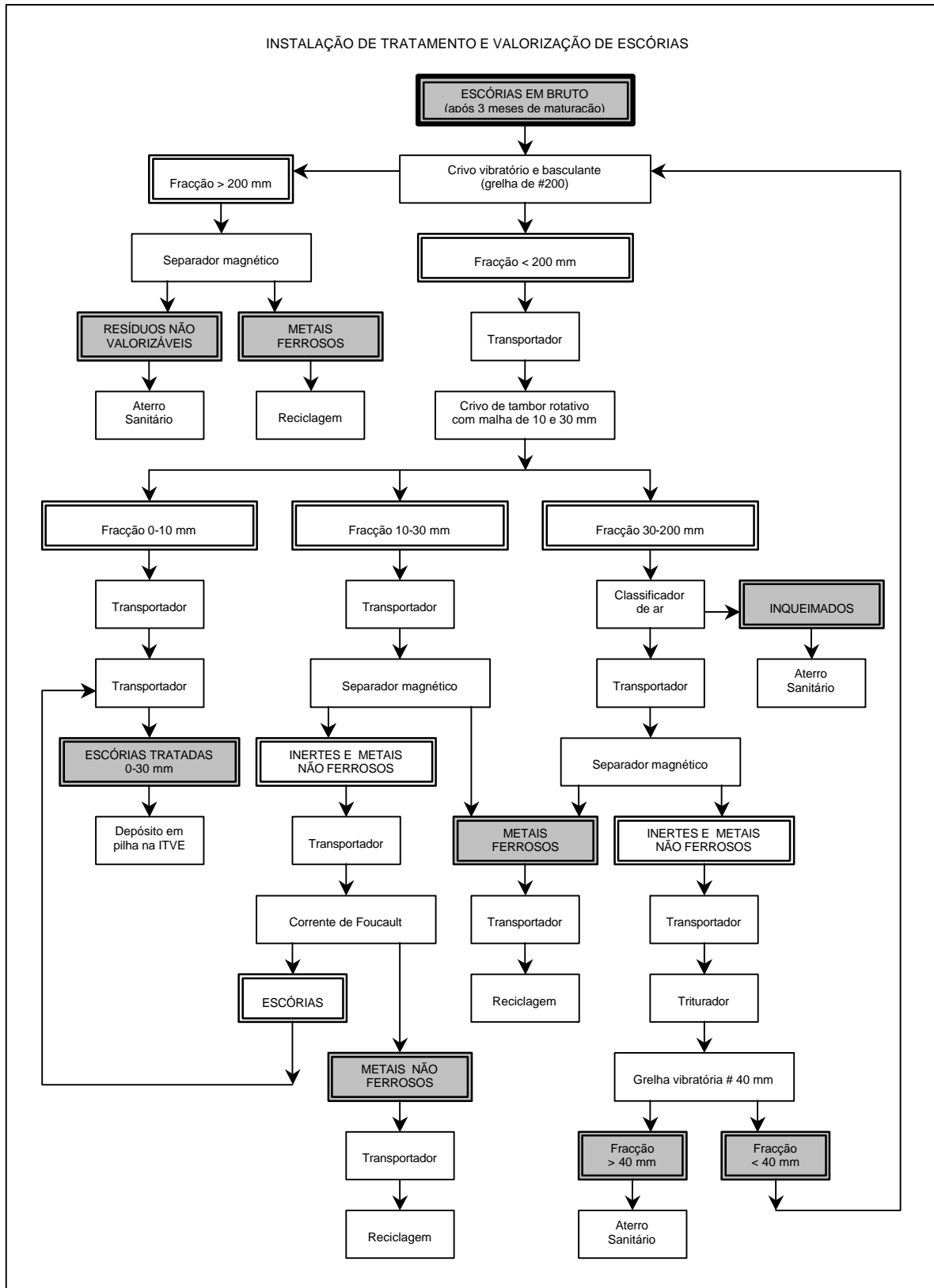


Figura 1. Diagrama esquemático do processo de valorização de escórias preconizado na I.T.V.E..

Tabela 1. Propriedades físicas das escórias.

Propriedade		Fonte		
		[7]	[8]	[9]
Granulometria (%)	< 4,75 mm	-	55,0-64,9	42-67
	< 2,00 mm	31,0-43,5	37,0-49,1	-
	< 0,075 mm	4,7-12,9	1,3-4,9	2-16
Absorção (%)	< 4,75 mm	-	6,4-11,9	5-17
	> 4,75 mm	-	3,8-4,9	4-10
Índice de Plasticidade (%)		N.P.*	N.P.*	-
Valor do azul de metileno (mL/g)		0,02-0,03	0,19-0,28	-
Equivalente de areia (%)		49-61	53-65	-
Proctor normal	ρ_d (Mg/m ³)	1,47-1,50	1,65-1,67	1,26-1,76
	ω_{OPN} (%)	21-22	13,5-16,0	22-62
Proctor modificado	ρ_d (Mg/m ³)	-	1,81-1,84	-
	ω_{OPM} (%)	-	11,0-13,4	-
Densidade das partículas sólidas < 4,75 mm		-	2,41-2,63	1,50-2,22

* - não plástico

Face às propriedades previsíveis para as escórias provenientes da incineração de R.S.U., este material poderá ser classificado como SW, segundo a classificação unificada. De acordo com a classificação AASHTO, as escórias pertencem ao grupo A-1-a [8,10].

Propriedades mecânicas

Conforme se mostra na Tabela 2, as escórias exibem uma baixa resistência das partículas, quando medida pelo ensaio de desgaste de Los Angeles. As referidas perdas variam aproximadamente entre 40 e 60 %.

Os valores de C.B.R. (*California Bearing Ratio*) das escórias podem variar entre 40 e 160%. Os resultados dos ensaios de CBR são semelhantes aos dos agregados britados bem graduados, sugerindo uma excelente capacidade resistente.

As escórias compactadas são um material com coeficientes de permeabilidade variando de 10^{-4} a 10^{-6} ms⁻¹. A aparente angulosidade das partículas de escórias contribui para valores elevados de resistência ao corte, medidos pelo ângulo de atrito interno, o qual varia entre 40 e 45° [9].

Materiais duros tais como todos os agregados naturais têm baixos coeficientes de resistência ao desgaste e todas as escórias analisadas apresentam coeficientes elevados [5].

Tabela 2. Propriedades mecânicas das escórias.

Parâmetro	Fonte		
	[7]	[8]	[9]
<i>Los Angeles</i> (%)	45-60	38-44	37,8-60,0
Friabilidade das areias	8,4-11,7	-	-
C.B.R. (%)	40-49	55,3-133,4	74-155
I.P.I. (%)	59-74	39,6-116,8	-
Fragmentabilidade (%)	2,0-2,1	-	-
Degradabilidade (%)	1,0	-	-
Permeabilidade (cm/s)	-	-	10^{-2} - 10^{-4}
Resistência ao corte (°)	-	-	40-45

* - limite de detecção

As escórias exibem ainda uma boa resistência a ciclos de secagem e molhagem, medida através do ensaio de estabilidade ao sulfato de sódio, exibindo valores de perdas de estabilidade 10-25 % e 2,9 %, respectivamente, para as fracções fina e grosseira.

Propriedades químicas

Os principais constituintes das escórias são a sílica, o alumínio, o ferro, o sódio e o potássio, conforme indicado na Tabela 3, variando o seu teor consoante o tipo de R.S.U. de que resultam. Contudo é expectável que o pH das escórias varie entre 8 e 9.

No ensaio de perda ao rubro os lixiviados apresentam valores entre 2,5 e 4,5 %, aproximadamente. A determinação da fracção solúvel conduz a valores inferiores a 2,24 % [7,8].

Embora os lixiviados das escórias contenham metais pesados (Tabela 4), as quantidades determinadas não são suficientemente elevadas para inviabilizarem a sua futura aplicação em estradas [3]. Após maturação, as propriedades das escórias são tais que este material obtém a classificação de resíduo não perigoso, segundo o Catálogo Europeu de Resíduos.

Tabela 3. Principais constituintes das escórias.

Constituinte	Valor (%)
SiO ₂	16,8-27,4
CaO	5,12-10,3
Fe ₂ O ₃	2,11-11,5
MgO	0,19-1,18
K ₂ O	0,72-1,16
Al ₂ O ₃	3,44-6,48
Na ₂ O	2,02-4,80

Tabela 4. Composição química dos lixiviados das escórias.

Parâmetro	[7]	[8]	[9]
Hg (mg/kg)	l.d.*	< 0,03	0,0002
Pb (mg/kg)	2,5-4,2	< 1,38	0,1-11
Cd (mg/kg)	l.d.*	< 0,12	0,025-1
As (mg/kg)	l.d.*	< 0,03	0,2-0,3
Cr ⁶⁺ (mg/kg)	l.d.*	0,26-1,46	0,1-0,2
SO ₄ ²⁻ (mg/kg)	l.d.*-8500	1832-4032	-
C.O.T. (mg/kg)	170-390	512-1524	-

* - limite de detecção

Considerações finais

A pertinência deste trabalho prende-se com o facto de utilizar pela primeira vez as escórias produzidas em Portugal, nomeadamente na C.T.R.S.U. da Valorsul, S.A., numa panóplia de ensaios com uma abrangência não contemplada até então no nosso país. Apesar de estudos semelhantes terem sido levados a cabo noutros países da Europa, a composição dos R.S.U. e o processo de valorização energética empregue diferem dos verificados em Portugal, com as consequentes diferenças de propriedades das escórias resultantes. Torna-se assim imperioso caracterizar as escórias produzidas pelo maior sistema de gestão de R.S.U. do país, por forma a possibilitar a sua valorização, nomeadamente na construção de camadas de pavimentos rodoviários. Tratando-se de um projecto de carácter tecnológico, não existem impactes éticos e sociais directos. No entanto, os avanços técnico-científicos, passíveis de ser atingidos com a investigação decorrente do projecto, trarão, certamente, impactos positivos ao nível social e sobretudo ambiental. Efectivamente, ao estimular-se a reutilização de resíduos, está-se implicitamente a promover uma economia de recursos naturais e uma diminuição dos custos inerentes ao destino final de resíduos. Tais medidas implicarão significativos impactos financeiro-ambientais, dados os quantitativos de R.S.U. com possibilidade de valorização e as inúmeras aplicações em estradas onde se julga poderem vir a ser utilizados.

Este estudo, ao permitir estabelecer critérios para a valorização/reutilização de escórias na construção de estradas, tem como objectivo último contribuir para o progresso, ainda pouco sensível no nosso país, no campo da reciclagem. Esta área constitui uma das maiores preocupações, mas também um dos grandes desafios da política de gestão de resíduos portuguesa para atingir as metas fixadas pela Directiva Europeia.

Agradecimentos

Um agradecimento especial é dirigido à Valorsul, S.A., particularmente ao Eng.º Carlos Dinis de Sousa, por toda a imprescindível colaboração prestada.

Agradece-se ao Instituto Politécnico de Lisboa por ter financiado o projecto de investigação que está a decorrer no âmbito do tema apresentado neste trabalho.

Referências

- [1] Reid, J.M., "The Use of Alternative Materials in Road Construction", *Transport Research Laboratory*, Ground Engineering, United Kingdom, 2000.
- [2] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, *Recycled Materials in European Highway Environments – Uses, Technologies, and Policies*, International Technology Exchange Program, American Trade Initiatives, Inc., Avalon Integrated Services, Inc., Washington, D.C., October 2000.
- [3] Reid, J.M., *et al.*, *ALT-MAT: Alternative Materials in road construction*, Interim Report, Deliverable D4, Volume 3, Version 1.0, Contract No.:RO-97-SC.2238, Project Founded by the European Commission Under the Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme, June 1999.

- [4] INR, *Resíduos Sólidos Urbanos - Conceção, construção e exploração de tecnossistemas – Projectos, metodologias e tecnologias aplicadas em Portugal no período de 1996 a 2001*, Instituto Nacional dos Resíduos, Portugal, Fevereiro de 2002.
- [5] Directorate-general for Energy and Transport, European Commission, *COST 337: Unbound Granular Materials for Road Pavements*, Final Report of the Action, European Co-operation in the field of Scientific and Technical Research, October 2000.
- [6] PROET – Projectos, Engenharia e Tecnologia, S.A., *Memória Descritiva do Projecto de uma Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos dos Municípios de Amadora, Lisboa, Loures e Vila Franca de Xira*, Volume I – Peças Escritas, Lisboa, Novembro 1996.
- [7] Nicolau, L.V., Lopes, M.L., Bastos, A.M., Figueiras, J., Cardoso, A., “Caracterização de escórias com vista à sua utilização em camadas de sub-base e base de pavimentos rodoviários”, *Geotecnia*, N.º 91, Mar. 2001, p. 85-94.
- [8] Núcleo de Pavimentos Rodoviários do L.N.E.C., *Estudo de viabilidade da aplicação de escórias de incineração de resíduos sólidos urbanos na construção rodoviária*, Proc.º 92/1/14358, Departamento de Vias de Comunicação do L.N.E.C., Lisboa, Portugal, 2001.
- [9] Chesner Engineering, P.C., John Emery Geotechnical Engineering Ltd., R.J. Collins & Associates, *Waste and Recycled Materials Use in the Transportation Industry*, NCHRP 4-21 – Information Database, Version 1.0.8, June 2000.
- [10] Transportation Research Board, National Research Council, *Pavement Base and Foundation Materials, Deformation Characteristics of subgrade, and Properties of Unconventional Aggregates*, Transportation Research Record No. 1577, National Academy Press; Washington, D.C., 1997.

A INFLUÊNCIA DA MASSA E DA EXPOSIÇÃO SOLAR NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

Por

António A. Almeida Anes¹

Resumo

Analisa a influência da massa em associação com a insolação, no comportamento térmico dos edifícios, clarificando a forma como se processa este fenómeno.

Define e caracteriza a transmissão de calor em regime variável que ocorre no Verão, através da noção do factor de atraso da onda de calor e factor de amortecimento da onda de calor.

Analisa a influência da inércia térmica no comportamento térmico dos edifícios e clarifica a assimilação deste conceito pelo regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

*Propõe medidas de carácter geral relativas à organização e características dos elementos construtivos dos edifícios com vista a tirar o melhor partido da massa, isolamentos e insolação e apresenta soluções técnicas passivas, concretas, por recurso à optimização: **massa/ insolação/ ventilação**.*

1-Introdução

A ideia de que a resolução dos problemas de conforto de Inverno (estação de aquecimento) e de Verão (estação de arrefecimento) através de técnicas passivas, se faz da mesma forma e exclusivamente à custa da introdução de camadas de isolamento térmico na envolvente, é ainda comum entre alguns técnicos intervenientes no processo construtivo dos edifícios.

Há de facto a tendência para considerar que se no Inverno, é preciso estancar as perdas de calor do interior para o exterior, através da envolvente, por adopção de coeficientes de transmissão térmica baixos, o mecanismo durante o Verão deverá obedecer ao mesmo princípio, em sentido inverso.

Ignora-se neste raciocínio, demasiado simplista, a ocorrência dum regime de transmissão variável de calor no Verão, em consequência das acentuadas amplitudes térmicas diurnas que se verificam no exterior e no Inverno o sobreaquecimento interior que pode ocorrer, em consequência da captação de cargas térmicas significativas, por radiação, através dos envidraçados orientados a Sul.

A forte insolação que ocorre em Portugal, quer no Verão quer no Inverno, desempenha uma influência predominante no comportamento e gestão térmica dos edifícios, em que a massa assume um papel relevante.

¹ Professor Adjunto do ISEL

Acresce ainda que, ao contrário por exemplo dos países do centro e norte da Europa, a necessidade dum regime contínuo de aquecimento, no Inverno, não é na maioria dos casos imperativo, o que conduz também a que o equacionamento da questão da optimização térmica dos edifícios se torne mais complexa.

Se os princípios da influência da massa, no comportamento térmico dos edifícios, são levados em conta no actual RCCTE, através da consideração, nomeadamente dos factores de: Inércia Térmica (I); Utilização dos Ganhos Solares (η) e ΔT_e diferenciados, dependentes da massa dos elementos, na formulação para o cálculo de N_v e N_i , a sua justificação não aparece muito evidenciada.

2-Transmissão de calor em regime variável

A transmissão de calor em regime variável, característica do Verão, resulta do facto de naquele período ocorrerem temperaturas no exterior a que correspondem amplitudes térmicas significativas se se tiver em conta a acção combinada da temperatura do ar e da radiação solar sobre a envolvente das construções.

A Figura 1 representa esquematicamente a variação das temperaturas, pelo exterior e interior, para as situações de Verão e Inverno.

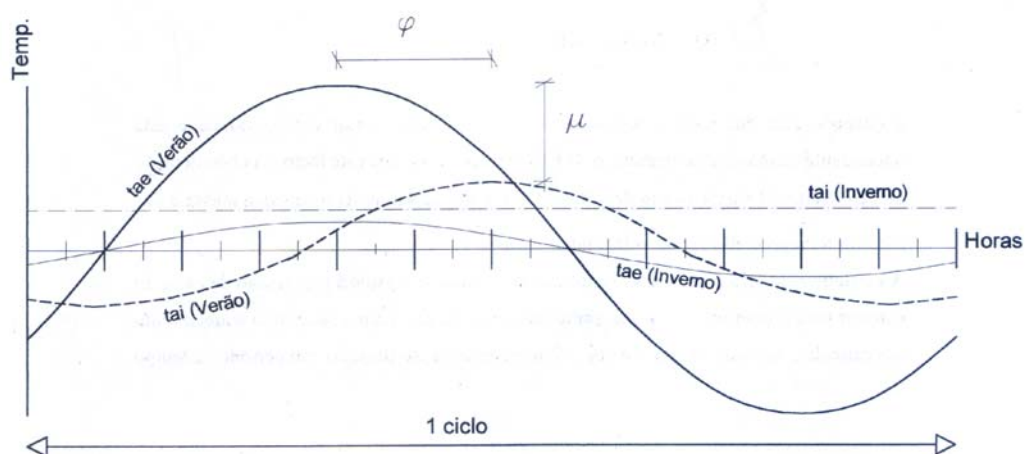


Figura 1-Transmissão de calor em regime variável (Verão) e permanente (Inverno)

Enquanto que na situação de Inverno, a transmissão de calor se processa num regime unidireccional, do interior para o exterior, pelo facto de os gradientes térmicos diurnos não serem tão acentuados como no Verão, permanecendo sempre, em situação de conforto, uma temperatura mais baixa no exterior, no Verão a transmissão de calor faz-se em regime variável. Isto significa que enquanto no Inverno a quantificação das perdas térmicas, através das paredes exteriores e coberturas se faz, numa forma aproximada, apenas com base na consideração dos respectivos coeficientes de transmissão térmica (K) pela expressão :

$$Q = \sum K_i A_i 24 GD$$

a quantificação dos ganhos térmicos no Verão, assume maior complexidade e está dependente da massa dos elementos. O RCCTE leva em conta este facto, na consideração de valores de ΔT_e para as paredes (Q.V.1) que faz depender da respectiva massa e dos factores de inércia das zonas independentes (Q.V.5).

A existência de ciclos de aquecimento diários, conduzem a que a progressão de calor do exterior para o interior se inicie às primeiras horas do dia, com o sucessivo aquecimento das camadas, fazendo-se sentir o seu

efeito no interior, só passado um período de tempo mais ou menos longo, dependente da massa dos elementos, do calor específico dos materiais constituintes e da existência de eventuais camadas de isolamento. Com o fim do dia e a conseqüente diminuição das temperaturas exteriores, assiste-se a um processo de regressão de calor conforme se esquematiza na Figura 2.



Figura 2 -Progressão e regressão da onda de calor, no Verão, em paredes de massa elevada

Este mecanismo poderá conduzir, no caso de elementos de massa muito elevada ($> 500 \text{ Kg /m}^2$) a situações em que a onda de calor não se chegue sequer a fazer sentir no interior, caso em que teoricamente, para uma situação de envolvente totalmente constituída por elementos deste tipo e sem janelas, a temperatura no interior não seria superior ao valor médio das temperaturas nocturnas. Esta situação configura, muito aproximadamente, o que ocorre no R/C de edifícios com paredes em alvenaria de pedra com espessura apreciável, piso térreo e reduzida fenestração, sem qualquer isolamento na envolvente, a que correspondem situações de Verão com temperaturas ambientes interiores pouco elevadas. Trata-se porem, por falta de isolamentos, de situações muito precárias sob o ponto de vista de conforto de Inverno.

A quantificação do Factor de Atraso de Onda de Calor (φ) e do Factor de Amortecimento de Onda de Calor (μ) que se definem, no primeiro caso, como sendo o tempo que medeia, em horas, entre a ocorrência do máximo da temperatura no exterior e o máximo da temperatura no interior e no segundo caso, como a relação entre o máximo de temperatura no interior e no exterior, pode fazer-se através da formulação e ábacos de Mackey e Wright (2).

O RCCTE não recorre na sua formulação aos conceitos de φ e μ visto que, de facto, estas grandezas apenas caracterizam, duma forma isolada, os elementos opacos e não têm em conta o efeito global do conjunto das paredes, pavimentos e coberturas que fazem parte da construção, nem tão pouco o efeito do calor que por radiação se introduz no interior, através dos vãos envidraçados.

O facto de nos termos referido aqui, aquelas grandezas, tem em vista a melhor compreensão da importância da massa como elemento retardador da progressão da onda de calor, através dos elementos opacos da envolvente exterior e a possibilidade de através dela, exclusivamente, poder conseguir, em regimes variáveis, situações que limitam substancialmente a entrada de calor no interior dos edifícios, ou por outras palavras, que conduzem a poupanças significativas de energia de refrigeração durante o Verão.

É no entanto, com base na consideração do conceito de Inércia Térmica Interior (I) que a compreensão da

influência da massa dos elementos e da localização dos isolamentos, no comportamento térmico dos edifícios, melhor se assimila.

3-Inércia térmica interior de uma zona independente

Pode entender-se por Inércia Térmica Interior, a maior ou menor capacidade que os elementos interiores e da envolvente, numa zona independente, têm em captar e armazenar o calor em excesso, do ambiente interior, que entrou do exterior por condução, através dos elementos da envolvente exterior e muito particularmente, por radiação, através dos vãos envidraçados. O seu valor, está fundamentalmente dependente dos elementos interiores com massa elevada e sem qualquer camada isolante (situação vulgar em paredes interiores). No que se refere aos elementos da envolvente exterior, o maior contributo virá das situações com elevada massa e camadas isolantes localizadas junto da face externa, por forma a impedir que a massa interior (m_i) não aqueça pelo lado exterior. Este aspecto, será especialmente relevante nas fachadas orientadas a Sul, Nascente e Poente e evidentemente nas coberturas. As fachadas orientadas a Norte, não estando sujeitas a incidência directa do Sol, serão sempre, entre as paredes exteriores e em igualdade de circunstâncias, as que fornecem maior contributo para a Inércia Térmica Interior.

A existência de revestimentos de pavimentos com características isolantes será penalizadora para o respectivo contributo para a Inércia Térmica, visto que impede a passagem de calor para a laje que lhe serve de base. O mesmo acontecerá para o caso da aplicação de materiais isolantes em paredes, pelo interior, eventualmente com vista a melhorar o ambiente acústico dos locais.

Numa situação dum compartimento com elementos da envolvente de massa elevada, sobre a totalidade dos quais, pelo lado da face interior, se aplicasse uma camada de elevada resistência térmica, conduziria a um valor para a Inércia Térmica de 0 (ZERO).

Este exemplo, pretende salientar a importância da localização dos isolantes nas paredes e coberturas.

A quantificação da Inércia Térmica faz-se, segundo o RCCTE, com base na consideração das massas superficiais úteis (M_i) dos vários elementos que constituem a construção (paredes exteriores, pavimentos e coberturas). Os valores de M_i resultam da consideração da massa dos elementos e da localização dos isolantes, caso existam, de acordo com o que se define no ponto 3 do ANEXO VI do RCCTE, adoptando regras simplificadas que passam por não levar em conta, no caso dos elementos da envolvente exterior, a orientação das fachadas e fixando limites máximos para M_i de 150 Kg/ m² para o caso dos elementos da envolvente e 300Kg /m² para o caso dos elementos interiores .

A expressão utilizada é:

$$I = \sum M_i S_i / A_p$$

em que M_i são as massas superficiais úteis referidas, S_i as áreas em m² dos elementos de construção (paredes, pavimentos, coberturas) e A_p a área útil do pavimento.

A consideração da Inércia Térmica, pelo RCCTE, faz-se, para efeitos da determinação de N_{ic} , através do Factor de Utilização dos Ganhos Solares que depende da Inércia Térmica e da relação entre Ganhos Solares

Brutos /Necessidades Brutas de Aquecimento (Vd Fig. IV. 2 do RCCTE). O cálculo de Nv está dependente do Factor de Inércia (Vd. Quadro V.5) que assume valores entre 0,9 e 1,2.

4-Organização e características dos elementos construtivos

No contexto do País, em que subsistem situações de Verão e Inverno, enumeram-se e comentam-se, a seguir, algumas medidas de caracter geral relativas à organização e características dos elementos construtivos dos edifícios, com vista a tirar o melhor partido da massa, isolamentos e insolação.

a) As paredes exteriores e coberturas devem ser pesadas, com a incorporação de camadas de isolamento térmico junto à face externa. As paredes interiores, devem possuir massa elevada.

Esta concepção conduz a um bom contributo para a Inércia Térmica, visto que o isolamento impede o aquecimento pela face externa, aumentando o potencial da absorção de calor interior, especialmente nas coberturas e nas fachadas a Sul, Nascente e Poente , onde a incidência da radiação solar no Verão é especialmente intensa. Sob o ponto de vista de Inverno, para situações de ocupação permanente, a localização das camadas de isolante não têm relevância em termos da quantificação das perdas térmicas*.

Chama-se ainda a atenção para que a localização das camadas isolantes, junto à face externa, minimiza também o risco de condensações internas que deve ser considerado, especialmente nas soluções de cobertura em terraço em que a camada impermeabilizante se localiza sobre o isolamento.

Quanto aos elementos interiores, será desejável que tenham massa elevada e não disponham de camadas com boas características de isolamento térmico nos seus revestimentos, por forma a potenciar ao máximo a sua capacidade de absorção de calor interior.

O facto de se tratar de elementos preservados do aquecimento pelo exterior, permite que toda a sua massa possa ser considerada como capaz de absorver calor interior, pelo que o RCCTE estabelece para eles um máximo de 300Kg/m^2 e no caso dos elementos interiores, separadores de zonas independentes, a sua participação por ambas as faces ($2 \times 150\text{ Kg/m}^2$).

O RCCTE estabelece ainda que se considere apenas 0,5 de Mi, para as situações de revestimentos com isolamento térmico entre 0,14 e $0,50\text{ m}^2\text{°C/W}$, muito correntes nos pavimentos, em que se considera haver obstrução significativa , à absorção de calor.

b) Boa ventilação dos elementos da envolvente e adopção de cores claras nos revestimentos exteriores, com especial relevância para as coberturas

* Só em situações de construções de **utilização esporádica** em zonas climáticas de **Invernos rigorosos e Verões suaves** (I3; V1) como é o caso, por exemplo, de uma habitação de fim de semana, a adopção de isolamentos junto à face interna, poderá justificar-se, como forma de potenciar a eficácia e rapidez no aquecimento ambiente interior. Deste modo, evita-se dispendir energia no aquecimento das massas dos elementos exteriores de que não se tira partido, dado a utilização sem continuidade.

As coberturas são os elementos da envolvente exterior em que, no Verão, a insolação é mais intensa e persistente e como tal, são especialmente responsáveis, a par dos vãos envidraçados, pelo sobreaquecimento do ambiente interior dos edifícios, durante a estação de arrefecimento.

Acentua-se neste contexto, a sua especial importância em edifícios com poucos pisos em que, a cobertura afecta toda ou uma grande percentagem da área utilizável, como é o caso das construções unifamiliares e dum modo particular os edifícios escolares, onde as actividades se desenvolvem em período diurno e há necessidade duma boa iluminação natural, só possível, dum modo geral, com a adopção de protecções solares nos envidraçados pouco eficazes. Daqui, toda a vantagem na adopção de coberturas com ventilação acentuada e revestimentos de cores claras. Esta atitude, contribuirá também, no caso de coberturas em terraço, para diminuir os gradientes térmicos nas telas de impermeabilização e assim aumentar a sua durabilidade.

Como exemplo bem característico da falta de sensibilidade para os aspectos referidos, é a adopção, ainda bastante corrente, de soluções de telhados em construções unifamiliares, com desvãos não ventilados e revestimentos com placas de ardósia, telhas pretas, ou elementos equivalentes, muito ao estilo da arquitectura de algumas regiões do Centro e Norte da Europa, onde não se colocam problemas de conforto de Verão.

O RCCTE propõe, no Quadro V.3, que se adoptem para as coberturas valores de ΔT_e diferentes, tendo em conta o tipo de cobertura, a cor dos revestimentos e a existência ou não de desvãos ventilados.

Na Figura 3 apresenta-se uma solução de cobertura dum edifício escolar a que corresponde uma nítida preocupação de garantir uma boa ventilação, da cobertura.



Figura 3-Solução de cobertura ventilada, num edifício escolar

c) Predomínio de vãos envidraçados nas fachadas para o Quadrante Sul e respectivas protecções solares

Durante o período de Verão as orientações dos envidraçados a Nascente e Poente são especialmente nefastas, dado que as inclinações pronunciadas, relativamente à vertical, conduzem à invasão dos compartimentos com elevadas cargas térmicas. Já a orientação a Sul, não é tão penalizante, pelo facto de o Sol ao meio-dia se encontrar muito próximo da vertical.

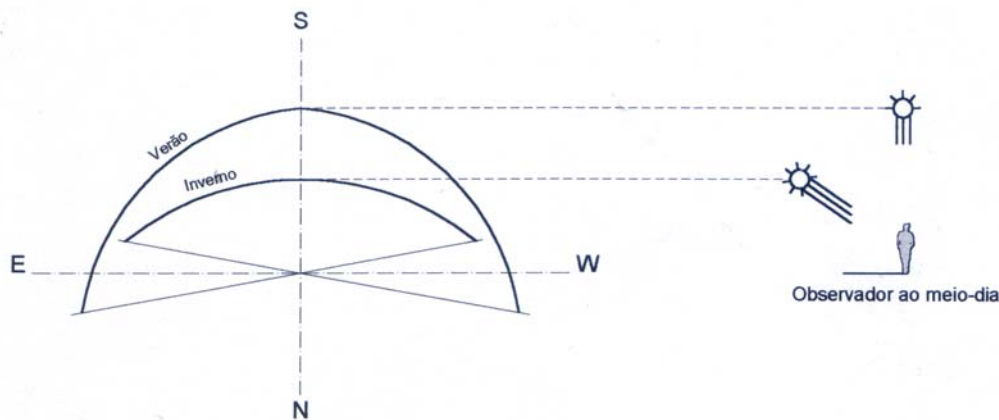


Figura 4-Trajectória do Sol no Verão e Inverno com observador ao meio-dia

No Inverno, só as cargas térmicas resultantes da incidência do Sol nos envidraçados orientados a Sul, são suficientemente significativas, dada a intensidade da radiação solar ao meio-dia e a sua inclinação. Nestas circunstâncias, será desejável que a maioria dos envidraçados se localize nas fachadas orientadas para o quadrante Sul, evitando os envidraçados a Nascente e Poente.

Na Figura 4, esquematizam-se as trajetórias do Sol em termos de Verão e Inverno.

Alguns envidraçados, com área reduzida a Norte, poderão ser convenientes, no sentido de com a sua abertura, no Verão, poder gerar correntes de ar que contribuam para amenizar as temperaturas interiores.

A associação de protecções solares nos envidraçados com palas de balanço relativamente reduzido, eventualmente constituídas por lâminas reguláveis, podem otimizar a gestão da energia através dos envidraçados a Sul. A Nascente e Poente a adopção de palas para protecção solar não têm grande eficácia, dada a acentuada inclinação do Sol.

O RCCTE propõe, nos Quadros VI.8 e VI.9, para efeito do cálculo de NV e NI, os valores dos Factores Solares dos envidraçados a adoptar em situações correntes. Nos Quadros III.2 e V.4 quantificam-se os Ganhos Solares a considerar no Inverno e Verão, respectivamente.

5-Soluções técnicas passivas por recurso à optimização massa/insolação/ventilação

Apresentam-se a seguir, algumas soluções práticas, cuja utilização conduz à melhoria da qualidade térmica dos edifícios, tirando partido da massa dos elementos, da orientação dos envidraçados, da adopção de dispositivos e técnicas de ventilação natural e da utilização de painéis solares.

a) Parede de TROMBE .

Trata-se de paredes exteriores de massa elevada (betão, alvenaria de pedra) à frente das quais se dispõe um envidraçado transparente, com uma caixa de ar de 10 a 20 cm de espessura, normalmente com dispositivos

com possibilidade de abertura, tal como se esquematiza na Figura 5. Podem, complementarmente, adoptar-se dispositivos de protecção solar para utilizar no Verão.

Na caixa de ar, atingem-se temperaturas muito elevadas que poderão ser da ordem dos 60°C.

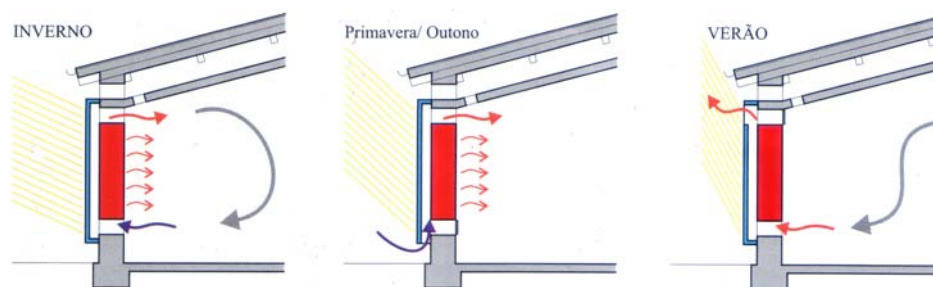


Figura 5-Esquema de funcionamento duma parede de TROMBE, com dispositivos de ventilação [6]

A adopção de orifícios de ventilação será especialmente importante em espaços com utilização ou ocupação diurna, com vista a reduzir o atraso no processo de transferência de calor para o interior. As paredes sem circulação, só são recomendáveis para espaços com ocupação nocturna exclusiva.

b) Efeito de estufa

Trata-se da adopção de vãos envidraçados de grande superfície, no encerramento de varandas ou corpos emergentes, sem oposição à transmissão de calor por radiação, com orientação Sul e (ou) próxima da horizontal, que no Inverno, em dias de Sol, captam elevadas quantidades de energia calorífica. Esta energia estender-se-à, por convecção, aos compartimentos contíguos, ou será armazenada em elementos de massa elevada que se disponham na separação entre a zona da estufa e os compartimentos adjacentes.

No Verão, o seu sombreamento deve ser concretizado através de elementos de protecção solar eficazes e será desejável que se possa proceder à abertura total ou parcial dos envidraçados.

A Figura 6, apresenta um exemplo deste tipo de situação com a curiosidade de o sombreamento, no Verão, se fazer através da presença de vegetação de folha caduca.



Figura 6 -Construção com estufa [6] - situação de Inverno



Figura 6 -Construção com estufa [6] - situação de Verão

c) Dispositivos de ventilação

A adoção de espaços de ar em paredes e coberturas, dispendo de dispositivos de fecho ou abertura, constituem também soluções para a regulação térmica dos edifícios.

No caso das coberturas inclinadas, a introdução de desvãos ventilados, constituem desde logo uma medida fundamental no conforto térmico de Verão.

Também se pode tirar partido, no Verão, da abertura de janelas em fachadas opostas dos edifícios.

Em fachadas leves, a adoção dum elemento exterior em vidro (pára- chuva) a uma distância entre os 15 e 25 cm da componente da fachada leve interior, materializando uma caixa de ar parado ou fortemente ventilada, por fecho ou abertura de dispositivos na base e no topo do edifício, pode constituir uma solução com elevado significado energético na gestão da climatização dos espaços interiores. A situação de ar parado corresponderá, nas fachadas a Sul, à captação de quantidades significativas de energia por radiação, com efeitos benéficos no interior dos compartimentos, durante o Inverno. No Verão, a abertura dos dispositivos de ventilação, conduzirá à criação de uma corrente de ar, que varre uma boa parte do calor que se instala na referida caixa de ar. A adoção de estores ou vidros coloridos contribuirão para o aperfeiçoamento do sistema.

A Figura 7 esquematiza a situação descrita.

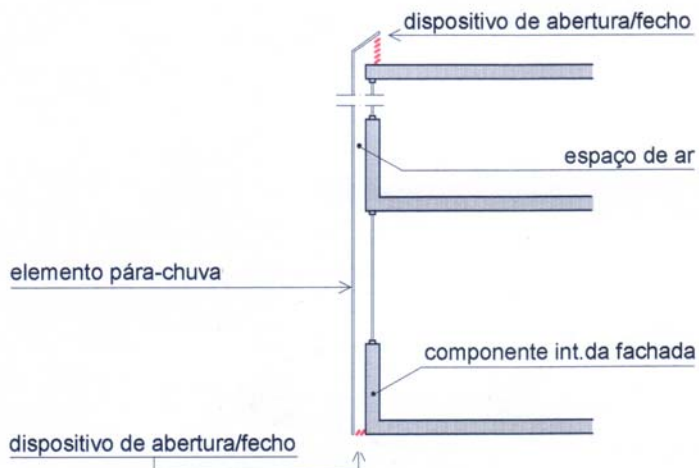


Figura 7-Esquema de fachada ventilada

d) Protecções solares dos envidraçados e orientação de clarabóias

Para além das soluções tradicionais de protecção solar cuja eficácia é quantificada no Quadro VI-8 do RCCTE, através dos respectivos valores dos factores solares, salienta-se a importância da adopção de palas sobre as janelas incorporadas nas fachadas orientadas para o quadrante Sul, visto que, dada a inclinação do Sol no Inverno e no Verão, aquelas não impedem a entrada de calor por radiação durante o Inverno e evitam a entrada de Sol no Verão. A sua concretização pode fazer-se através de elementos opacos ou por lâminas metálicas orientáveis, tal como se apresenta na Figura 8.

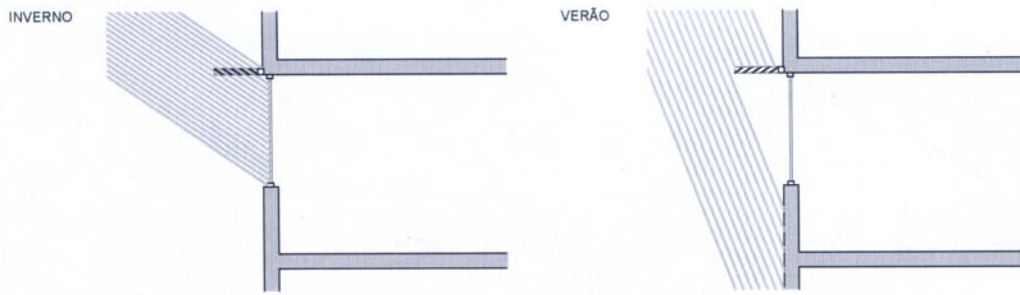


Figura 8-Palas de lâminas metálicas orientáveis

A Figura 9, esquematiza solução de clarabóia com dupla orientação que permite ganhos térmicos por radiação no Inverno e evita ganhos no Verão.

e) Painéis solares

Trata-se de equipamentos que se baseiam no princípio da captação de energia por absorção da radiação solar, através duma superfície negra que se localiza por trás dum envidraçado transparente e com uma orientação e inclinação que permitam a maior duração possível, da incidência dos raios solares.

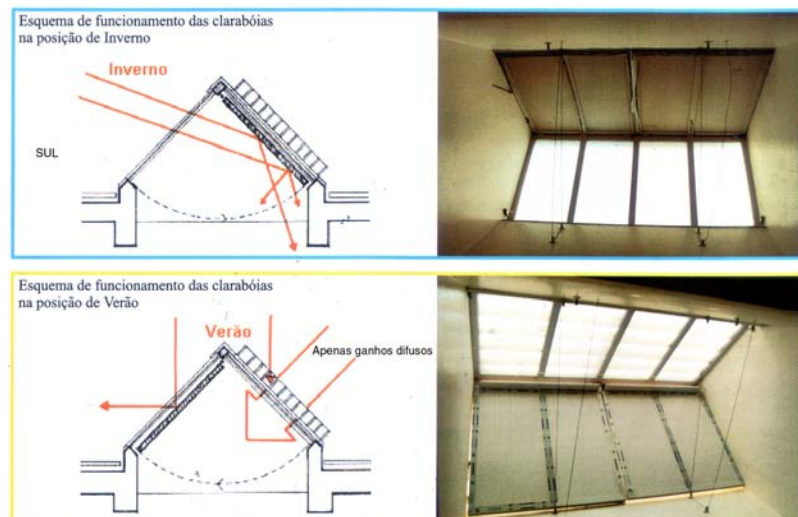


Figura 9-Clarabóia com dupla orientação [6]

A adopção de painéis solares como elementos complementares para o aquecimento ambiente dos edifícios, afigura-se também como uma solução eventualmente recomendável, por exemplo, em situações de construções unifamiliares, com utilização não permanente, que integrem sistemas de aquecimento central, em locais com teores de humidade relativamente elevados e em que se queiram manter ambientes higrotérmicos interiores com qualidade mínima, nos períodos de não utilização da habitação, por forma a evitar o aparecimento de condensações interiores.

Em Portugal Continental, a radiação solar média, por m² (em plano horizontal) é de cerca de 1700Kwh/ano, com a seguinte distribuição mensal:

Janeiro-60	Fevereiro-85	Março-125	Abril-170	Maió-210	Junho-220
Julho-240	Agosto-210	Setembro-150	Outubro-110	Novembro-70	Dezembro-60

A Lisboa, aplica-se a situação média referida.

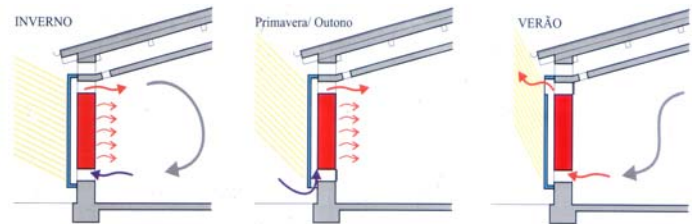
Referências

- [1] PAIVA, J.V.: *Conservação de energia nos edifícios*, LNEC, Lisboa, 1985.
- [2] GOMES, Ruy: *Condiçõamentos climáticos da envolvente dos edifícios para habitação*, Memória N°181, LNEC, Lisboa, 1962.
- [3] ROCHA, M.S.: *Radiação solar global em Portugal Continental*, INMG, Lisboa, 1982.
- [4] Decreto-Lei 40/90 de 6 de Fevereiro, *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios*, (RCCTE).
- [5] AAVV: *Energy in Architecture- The European Passive Solar Handbook*, CEC, s.l., 1992.
- [6] AAVV: *1º Curso Física das Construções e Tecnologias Solares Passivas*, ISEL, Lisboa, 1999.

A Influência da Massa e da Exposição Solar no Comportamento Térmico dos Edifícios

António Armando Almeida Anes
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

- A influência da massa no comportamento térmico dos edifícios.
- Transmissão de calor em regime variável.
- Definição de inércia térmica.
- Conforto térmico dos edifícios por via da optimização: massa/insolação/ventilação.
- Soluções técnicas passivas.



INSPECÇÃO E ESTUDOS DE REABILITAÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA EM ANGOLA



Cristina MACHADO

Professora Adjunta
ISEL



Armando RITO

Professor Coordenador
ISEL

RESUMO

Em 1990, um dos tirantes de retenção da ponte da Barra do Kwanza, construída entre 1970 e 1975, rompeu, levando a obra à beira do colapso. Na altura foi feito um reforço provisório que permitiu manter a obra em funcionamento. Nesta comunicação apresenta-se uma breve descrição da obra, desse trabalho de reparação, do estado actual da obra e da solução preconizada para a sua reabilitação.

1. INTRODUÇÃO

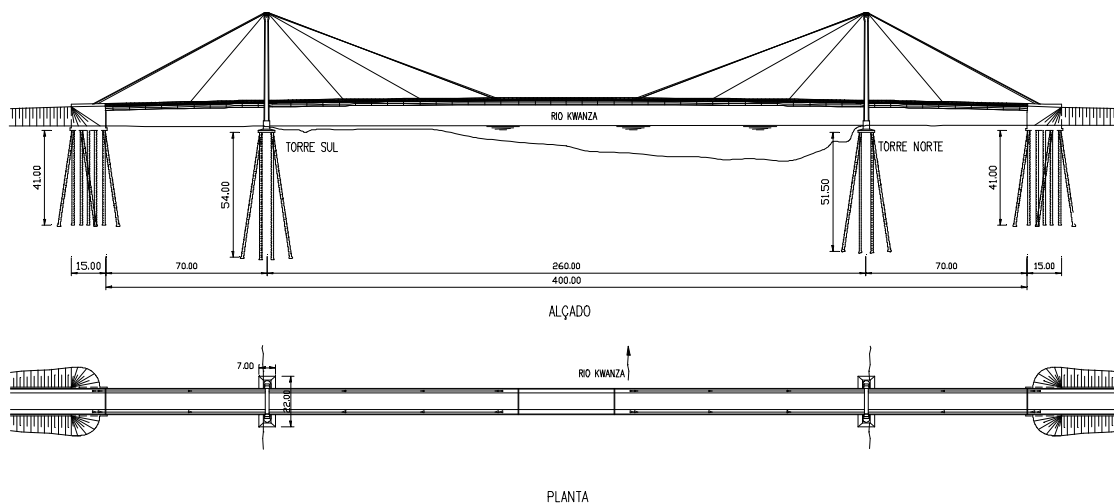
A ponte em causa é uma ponte mista aço-betão, de tabuleiro atirantado auto-ancorado, com dois vãos extremos de 70,00 metros e um vão central de 260,00 metros. O tabuleiro tem pois um comprimento total de 400,00 metros.



Ponte da Barra do Kwanza

O tabuleiro tem uma largura de 11,30 metros e comporta uma faixa de rodagem de 7,20 m e dois passeios de 2,05 m cada um. Este tabuleiro é suspenso de duas torres, onde também se apoia, por três pares de tirantes por torre, dois dos quais (tirantes 1 e 2) se juntam num único tirante, do lado dos tramos de margem.

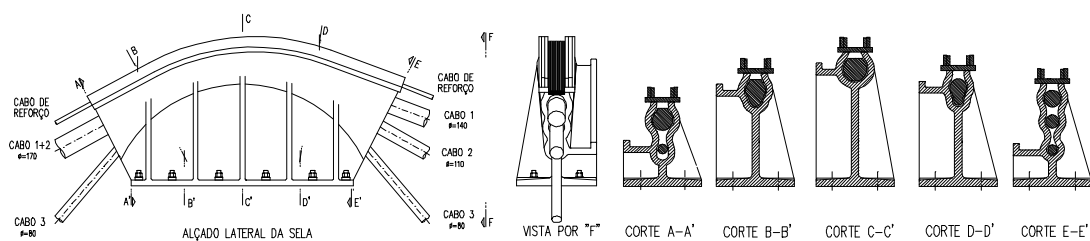
Os sistemas de ancoragem são sistemas clássicos em que as ancoragens no tabuleiro são constituídas por troncos de cone de aço vazado nos quais mergulham os fios que constituem os tirantes



O sistema de amarração nessas ancoragens é constituído por um preenchimento do tronco de cone por uma liga metálica de chumbo, antimónio e estanho que envolve os próprios fios do tirante e, também, fios adicionais de travamento. Este enchimento foi tamponado com resinas.

A protecção dos tirantes é feita por galvanização dos próprios arames, seguidamente envolvidos por um revestimento constituído por uma hélice de espiras unidas em arame de aço galvanizado que, por sua vez, foi coberto por uma espessa pintura com tinta de base epoxi.

Os cabos são desviados no topo das torres sobre selas, em aço vazado, tendo as selas desta obra uma concepção muito peculiar.



Com efeito, os três tirantes juntam-se num só feixe de arames no topo da sela (corte C-C') desviando-se os fios, a partir daí, até formarem os cabos individuais à saída das selas.

Porém, os cabos 1 e 2 que se encontram separados desde a saída das selas até às ancoragens do lado do tramo central, mantêm-se ligados num só desde o topo das selas até aos encontros (corte A-A'), formando um único tirante do lado dos tramos de margem. Nesta configuração temos pois, por torre, 2 x 2 tirantes em cada tramo extremo e 2 x 3 tirantes no tramo central.

Quer as selas quer as ancoragens não dispõe de qualquer dispositivo que permita substituir os tirantes ou, sequer, corrigir as forças neles instaladas. É pois fácil de ver que não há nenhuma possibilidade de substituir, em cada sela, um tirante sem substituir, também, os outros dois.

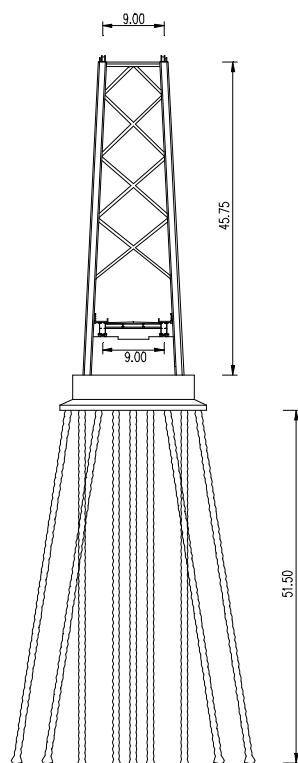
Na montagem os cabos foram cortados segundo os comprimentos previamente calculados, tendo a afinação da sua montagem sido feita por calagem com placas de aço colocadas entre os cones de ancoragem e os blocos que os suportam no tabuleiro.

A colocação em tensão dos tirantes foi obtida pela simples montagem sucessiva dos vários troços da estrutura do tabuleiro (vigas, travessas, laje da plataforma e restante carga permanente).

As torres são em betão armado e têm uma altura total de 45,75 m, dos quais 40,55 acima do tabuleiro.

A ponte, foi terminada em 1975 em condições particularmente difíceis e, em certa medida, sem se saber ao certo, quais as condições em que foi executada. A partir da sua entrada em serviço, não foi possível dar-lhe adequada manutenção.

No início de 1990, a parte correspondente, no tirante de retenção 1+2 do lado de jusante da margem direita, ao tirante 2 do tramo central rompeu obrigando a uma intervenção de emergência para evitar o colapso da obra e restabelecer o tráfego.



As medidas preconizadas pelo Prof. Eng.º Edgar Cardoso, projectista da obra, para resolver o problema foram, resumidamente, as seguintes:

- aliviar a carga permanente do tabuleiro, demolindo os passeios no vão central, que seriam substituídos por passeios metálicos, e removendo o tapete betuminoso da faixa de rodagem;
- colocar quatro cabos suplementares para reforço de cada um dos tirantes de retenção e repor a obra na sua configuração original;
- emendar o cabo que rompeu, por forma a restabelecer o seu funcionamento;

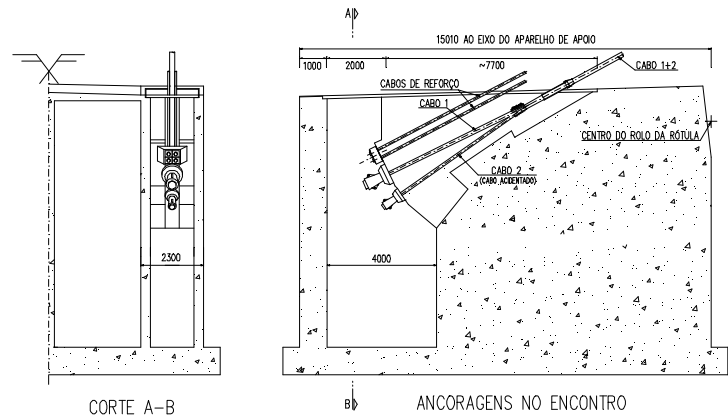
Destes trabalhos apenas foram realizados, embora não completamente, os dois primeiros.

No entanto, a medida preconizada no ponto c) não poderia nunca repor o integral funcionamento do tirante. Com efeito, a ancoragem que rompeu corresponde à ancoragem do cabo 2 o qual, logo à saída das ancora-

gens no encontro, se liga ao cabo 1 num único tirante, só se voltando a dividir em dois à saída da sela para o lado do tramo central.

Nestas condições, seria impossível restabelecer as forças no cabo 2 sem actuar, por arrastamento, no cabo 1 e na sela na torre, desequilibrando, assim, todo o jogo de forças na estrutura.

Para repor o funcionamento original teriam pois que se desmontar completamente os três tirantes.



2. RESULTADOS DA INSPECÇÃO

Na inspecção à obra foi possível observar o seguinte:

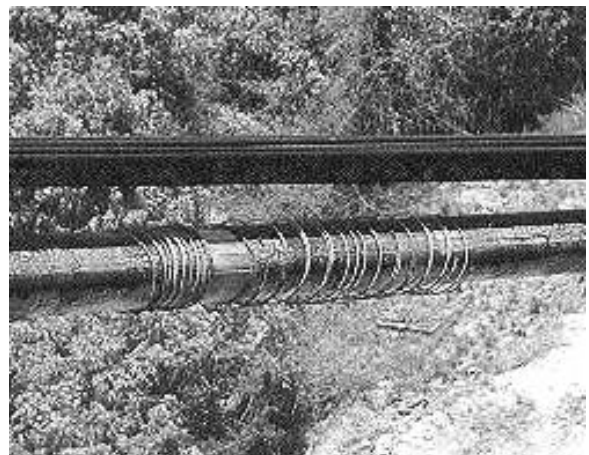
- Existe corrosão generalizada em todos os elementos metálicos, embora tenha sido feita uma pintura de manutenção, mas aplicada sem preparação prévia das superfícies.
- Os tirantes têm a sua protecção anticorrosão muito deteriorada, estando os fios que os constituem já expostos em vários pontos e em extensão razoável.

É pois de admitir que possam encontrar-se já em estado de corrosão avançada.

Destaca-se, ainda, a existência de corrosão muito acentuada nas entradas dos cabos nas selas, zonas onde termina o enrolamento de protecção.

A pintura de protecção encontra-se completamente deteriorada.

- Regista-se a existência de diversos fios partidos e outros com reduções consideráveis de secção. Admite-se, também, que haja fios partidos no interior das selas, embora a sua observação não seja possível dada a sua localização.
- Nas ancoragens verifica-se, em geral, escorregamento, em relação aos fios, dos tamponamentos epoxídicos e fendilhação e desagrega-

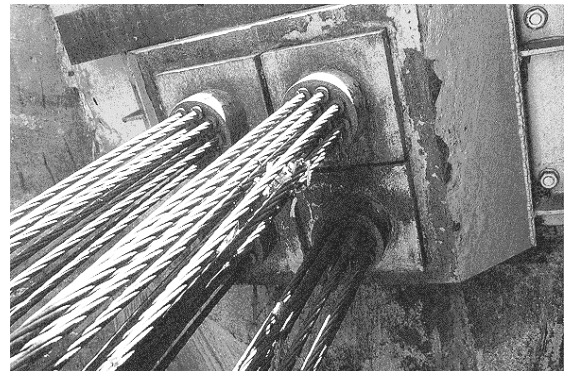


ção acentuada de partes dos mesmos, pondo a descoberto diversos arames. Ignora-se se esses arames pertencem aos cabos, o que indicaria que já há algum escorregamento no interior das ancoragens, ou se são apenas os fios adicionais colocados para travamento do conjunto.

- Constatou-se a existência de placas de chumbo entre cada ancoragem nos encontros e o betão em que apoiam, placas essas que, por estarem em contacto directo com a estrutura em aço, podem ter causado corrosão de origem galvânica.
- Os tirantes de retenção 1+2, do lado de jusante da margem direita, encontram-se na seguinte situação:
 - a) a parte correspondente ao tirante 2 está totalmente inutilizada, por rotura completa da sua ancoragem.
 - b) a parte correspondente ao tirante 1 também não oferece confiança, por indícios de rotura parcial da ancoragem (extrusão da argamassa de resinas e deslizamento dos fios no seu interior).
 - c) Os 4 tirantes, de 12 cordões cada um, colocados para substituir, ou complementar, as funções do tirante 1+ 2, estão, todos eles, num estado de degradação acentuada, pois não têm qualquer protecção.
 - d) Destes tirantes, os únicos cabos que estão activos são os de jusante da margem direita, os quais substituem o tirante de retenção na parte correspondente ao tirante N.º 2 e, supõe-se, também parcialmente o tirante N.º 1. Dois dos cordões destes cabos estão já partidos.

Os restantes cabos estão desactivados, pois não chegaram a ser colocados em tensão, aparentando ter sido neles instalada apenas a força necessária para segurar as cunhas no lugar e, assim, impedir a sua queda. Aliás, alguns têm já fios partidos e dois deles já romperam totalmente.

e) As ancoragens dos cabos de reforço estão mal montadas e desprotegidas, sendo constituídas por simples placas de ancoragem de pré-esforço. Os cordões encostam, na sua parte superior, às placas de anco-



ragem constituindo aí um ponto anguloso que pode levar à sua rotura.

f) De acordo com o documento de fixação de forças nos cabos, emitido em 1992 pela empresa que procedeu aos trabalhos, os cordões estão esticados a tensões normalmente usadas em cabos de pré-esforço (75 a 80% Rg), portanto bastante superiores aos 45% da tensão de rotura usualmente utilizados nos tirantes.

- Os montantes e travessas das torres apresentam, em geral, um estado de conservação aceitável, excepto em algumas zonas em que aparece microfissuração dispersa nomeadamente na parte superior das travessas de coroamento, e fissuras paralelas e transversais à travessa na torre Norte, onde se rompeu o tirante, envolvendo a totalidade da secção com aberturas até 1,8 mm e também na ligação fuste/travessa, com aberturas até 4,5 mm. Estas fissuras na travessa da torre Norte foram causadas pelo acidente.

- Os embasamentos das torres têm fissuração generalizada, com aberturas até 1,2 mm, predominantemente vertical e apresentando-se diagonal junto aos fustes.
- Os encontros têm fissuração dispersa, com aberturas chegando a atingir 1,5 mm.

3. SOLUÇÃO ADOPTADA PARA A REABILITAÇÃO DA OBRA

Os estudos de reabilitação da obra tornaram-se particularmente difíceis por já não existir qualquer documentação a ela referente. Com efeito, praticamente toda a documentação existente em Angola foi destruída, excepto um dimensionamento geral da obra, uns desenhos dispersos referentes a pormenores do sistema de ancoragem, um parecer do Prof. Edgar Cardoso referente à reparação do tirante que rompeu e uma carta da empresa que procedeu à reparação, referindo-se às tensões a aplicar nos cabos de reforço colocados em 1992.

Nestas condições, aproveitou-se a deslocação de uma equipa do ISQ a Luanda para realizar uma inspecção detalhada à ponte, tendo-se realizado várias acções reconhecidas como necessárias, e também prioritárias, para permitir dar andamento aos estudos, nomeadamente:

- Levantamento das dimensões dos vários elementos constituintes da obra para se poder avaliar o seu peso e estabelecer um modelo de cálculo.
- Levantamento do estado de conservação da estrutura e das ancoragens e dos tirantes.
- Avaliação das forças instaladas nos tirantes.
- Obtenção e análise de algumas carotes do betão da obra.
- Nivelamento geral da obra.

Foram encaradas duas hipóteses de reabilitação, que sucintamente se descrevem a seguir, tendo sido adoptada a 2ª delas:

3.1 Reforço dos Tirantes Existentes

Para esta solução encararam-se como possíveis dois tipos de intervenção:

- O primeiro consistiria em substituir apenas os cabos de reforço actuais por cabos novos, devidamente protegidos, bem como as suas ancoragens, contra a corrosão.

Esta solução correspondia a uma solução de curto prazo, idêntica à que tinha sido já realizada, até se proceder a uma intervenção geral na obra. Os equipamentos e materiais assim utilizados e as verbas despendidas, não teriam qualquer utilidade para a sua reabilitação futura.

Os novos cabos de reforço seriam formados por feixes de cordões auto-protegidos e amarrados em ancoragens apropriadas para tirantes.

- O segundo, que a prevalecer a opção de reforço parecia mais aconselhável, seria constituído pelas seguintes acções:
 - a) Substituição dos cabos adicionais provisórios existentes, com aumento da sua capacidade por forma a habilitar a obra a receber sobrecargas mais elevadas.

- b) Montagem de cabos adicionais, para reforçar os cabos 2 e 3, dado o estado de degradação em que se encontram todos os tirantes.
- c) Reposição da protecção anticorrosão nos tirantes de origem, utilizando tecnologias modernas.

3.2 Substituição Total do Sistema de Atirantamento

Esta solução, que é a mais completa embora bastante mais difícil de realizar, e que foi a adoptada, passa pela substituição integral dos tirantes.

Note-se que chegou a ser encarada a modificação do sistema existente, através do aumento do número de cabos por forma a transformar o actual sistema num sistema do tipo “suspensão contínua”, modificação essa complementada com uma reabilitação integral da obra.

Porém, razões diversas ligadas à concepção original e consequente funcionamento estático da estrutura levaram a que essa solução fosse preterida em favor de uma simples substituição do sistema existente.

Com efeito, o acréscimo de custos, e de riscos pela particular delicadeza das operações, não seria compensado visto que:

- As modificações necessárias eram extensas e esbarravam com a inexistência de elementos relativos quer ao projecto, quer à execução da obra, quer ao estado das fundações, além de que as condições locais não são presentemente favoráveis a condições de trabalho que permitam um fiável e completo levantamento da situação.
- A época e as condições locais de construção da obra, com tecnologias pouco evoluídas, permitiam uma durabilidade previsível da ordem dos 50 anos, dos quais já se passaram 24, admitindo que o controle de qualidade da construção, para os padrões da altura evidentemente, tivesse sido adequado o que, manifestamente, não foi o caso.

A isto acresce a falta de manutenção e o ambiente agressivo (flúvio-marítimo) em que a mesma se encontra, o qual agravou bastante a situação.

- A faixa de rodagem é relativamente estreita, e impossível de alargar, e estando a ponte inserida num itinerário fundamental é de prever que o crescimento do tráfego dentro dos próximos 20 anos venha a impor a construção de uma nova ponte já com características adequadas.

Assim, adoptar uma solução que passasse pela substituição integral dos tirantes existentes por tirantes de cordões auto-protégidos dotados de ancoragens apropriadas, complementada com o reforço dos coroamentos das torres e a reparação e pintura gerais da obra.

As operações de substituição dos tirantes serão conduzidas da seguinte forma:

1. Reparação e reforço das travessas do coroamento das torres.
2. Montagem das ancoragens e das selas dos tirantes provisórias o mais junto possível das actuais.
3. Montagem progressiva dos cabos provisórios que assegurarão a total transferência de forças dos cabos a substituir, acompanhada do corte dos fios dos tirantes existentes, procedendo, assim, à transferência gradual, por patamares, das forças destes para os cabos provisórios.

4. Desmontagem dos tirantes existentes e montagem das ancoragens definitivas no tabuleiro e nas torres.
5. Instalação dos tirantes definitivos e transferência, cordão a cordão, das forças dos tirantes provisórios para os definitivos.
6. Remoção dos tirantes provisórios, pesagem geral da obra e operações de reajustamento de forças e de nivelamento finais.

Simultaneamente irão sendo realizadas as restantes operações de reabilitação, nomeadamente as injeções das fissuras e a pintura e reparação da estrutura metálica.

Apesar da extrema delicadeza das operações de substituição dos tirantes, não se prevê que seja necessário impor restrições significativas ao tráfego na obra. Apenas serão impostos condicionamentos pontuais durante operações críticas, tais como o corte dos tirantes e as operações de aplicação de forças, pesagem e nivelamento.

Os trabalhos de reabilitação foram iniciados em Junho de 2001 e deverão estar concluídos em finais de 2002.

MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO DE CUSTOS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Method of Estimate Costs in Rehabilitation Building

Manuel Botelho Moreira Braga
Engenheiro Civil (IST) , Mestre em Construção de Edifícios (IST) ,
Professor Adjunto do Quadro do ISEL

RESUMO

Apresenta-se um método próprio para Estimação de Custos , informatizado, baseado em dois conceitos base :

- Determinação do estado de degradação do edifício.
- Discretização do edifício em elementos/componentes (ESTRUTURA DE CUSTOS).

ABSTRACT

It is developed an informatized method to estimate costs, wich is based in two basic concepts :

- Determination of the degradation of the building.
- Definition of the building's costs structure.

1 – BASES DO MÉTODO

O método que se propõe apresenta como funcionamento principal, e original, em relação aos poucos métodos conhecidos neste domínio, a ligação entre :

- a) estrutura de elementos de construção padrão, especificamente concebida para o método;
- b) estruturas de custos padrão, baseados na estrutura de elementos de a), de tipologias de edifícios representativos do parque de edifícios a reabilitar;
- c) processo específico de diagnóstico do grau de deterioração dos edifícios a analisar;
- d) associação dos níveis de degradação física dos diferentes elementos, a níveis correspondentes de degradação económica.

A definição das estruturas de custos das tipologias referidas em b), baseiam-se na :

- selecção dos tipos de edifícios representativos;
- idealização da reconstrução de todo o edifício, de forma a colocá-lo no estado novo, ao nível de qualidade pré-definido, tendo em conta as condições actuais.

O nível de qualidade pré-definido será equivalente ao nível de qualidade inicial, do ponto de vista de qualidade da solução construtiva, acrescido do aumento de qualidade por introdução de equipamentos suplementares, que tenham a ver com a melhoria, até ao nível da qualidade próxima da regulamentação actual, dos aspectos de conforto e salubridade (nomeadamente a construção adicional de casa de banho).

Poderá contudo, admitir-se um nível de qualidade superior ao pré-definido, através da introdução do coeficiente de qualidade suplementar.

A associação do processo de diagnóstico com os níveis do custo da degradação obrigaram, na medida do possível, a definição de patologias ou formas de degradação típicas para cada elemento da estrutura de elementos concebida como padrão.

A inspiração para a criação desta metodologia resultou de reflexões sobre as diferentes fontes referidas no capítulo anterior, de análise sobre casos específicos da Mouraria ou Bairro Alto e da experiência do autor em avaliações de edifícios de habitação, nomeadamente de imóveis degradados.

2 - MÉTODO DE ESTIMAÇÃO PROPOSTO

O método proposto baseia-se nos seguintes procedimentos :

- a) selecção das tipologias das estruturas de custos mais próximas das do edifício em estudo;
- b) determinação da "**estrutura de custos de cálculo**" para estimação do custo de reabilitação do edifício em estudo, com base na ponderação das estruturas de custos mais próximas (a determinação da "estrutura de custos de cálculo" implica a correspondente determinação das percentagens de custos P_{ij} correspondentes aos elementos E_{ij});
- c) levantamento do grau de deterioração física i_j dos diferentes elementos E_{ij} ;

d) determinação do coeficiente de qualidade, CQ (nos casos correntes igual a 1) (correspondente ao nível de qualidade pré-definida);

e) determinação do coeficiente de elementos adicionais, CA (correspondente a uma melhoria suplementar de qualidade, em termos de equipamentos ou outros elementos adicionais, nomeadamente elevadores, melhorias nos equipamentos de cozinha e outros);

f) determinação do coeficiente de "condições de realização dos trabalhos", CR;

g) cálculo dos graus de deterioração económica ij , correspondentes aos diferentes elementos E_{ij} da estrutura de elementos padrão (Quadro 1), ij representará a percentagem relativa do custo de reabilitação do elemento E_{ij} em relação ao custo de reabilitação total desse elemento (até ao nível de qualidade pré-definida); a determinação de ij a partir de ij é feita através de uma função de relação (por meios manuais ou informáticos);

h) estimação do peso do custo da reabilitação de cada elemento E_{ij} no custo total de reabilitação, dado por

$$ij \times pij;$$

i) estimação do grau ou percentagem de degradação económica total do edifício, dado por

$$= (ij \times pij);$$

j) estimação do custo total para a operação, isto é, o custo total de todos os elementos a reabilitar, C_t , dado por

$$C_t = [(ij \times pij)] \times [(C_n \times A_b) \times (C_Q \times C_A \times C_K)]$$

em que :

C_n - custo/m² de área bruta do edifício padrão correspondente à "estrutura de custos de cálculo", admitindo a reabilitação total de todos os elementos E_{ij} (isto é, admitindo a reabilitação/reconstrução total, até ao nível de qualidade pré-definida);

A_b - área bruta total do edifício em estudo

3 - ESTRUTURAS DE CUSTOS

3.1 - Estrutura de elementos concebida

A estrutura de elementos concebida, que serve de base às estruturas de custos padrão, foi criada com base nos seguintes princípios ou objectivos:

- número de elementos e sub-elementos necessário e suficiente para os objectivos da estimação;

- agrupamento em elementos principais e sub-elementos, de modo a flexibilizar o grau de pormenor nas aplicações, de acordo com a diferente situação;

- divisão em elementos de construção funcionais, de vários tipos - primário secundário e outros - sem ficarem agarrados a especificações concretas de materiais ou soluções construtivas;

- estruturação em grandes elementos (envolvente exterior, tóscos, zonas comuns, etc.) e elementos componentes (revestimentos, vãos, etc.) que permitam uma fácil análise do grau de deterioração em termo de vistoria ao local da obra.

- Para atingir os objectivos enunciados, para além da reflexão específica sobre o problema, foram também consultadas outras estruturas de elementos, elaboradas com outro fim, e de que se salientam:

- estruturas de elementos novos;

- estrutura de elementos correspondente a trabalhos de reabilitação, incluídos nos diversos orçamentos de obras do Bairro Alto e da Mouraria analisadas.

A - Obras (comuns) exteriores

- Cobertura;
- Fachada principal;
- Fachada tardoz;
- Empenas.

B - Obras (comuns) interiores

- Caixa de escadas e átrio;
- Instalações (prumadas e ligações ao exterior).

C- Obras no interior - Fogos

- Descrição dos trabalhos por fogo

A estrutura de elementos proposta, fundamentada em tudo o atrás exposto, é apresentada no Quadro 1.

3.2 - Tipologias de edifícios

As tipologias do conjunto dos edifícios do Bairro Alto e Mouraria que, após análise geral dos tipos existentes, se consideram como representativos ou padrão, foram os seguintes:

- Tipologia 1

Edifício com 3 pisos (edifício corrente com área bruta média de 200 m²/pisos);

- Tipologia 2

Edifício com 4 pisos (edifício corrente com área bruta média de 80 m²/pisos);

- Tipologia 3

Edifício com 4 pisos (edifício "nobre" com área bruta de 420 m²/pisos);

- Tipologia 4

Edifício com 5 pisos (edifício corrente com 50 m² de área bruta/pisos);

- Tipologia 5

Edifício com 6 pisos (edifício corrente com 60 m² de área bruta/piso).

Admite-se após análises posteriores, que o número de tipologias possa ser reduzido, se as estruturas de custos relativas aos edifícios correspondentes construídas de novo não forem tão estratificadas como aqui foi considerado.

Contudo, o sistema informático desenvolvido, foi aberto, desde já, para as 5 tipologias referidas.

Admite-se ainda, em trabalhos de continuação futura, a possível definição de um coeficiente de área, que permita uma determinação mais correcta de estrutura de custos de cálculo, considerando a área real do edifício em estudo.

Admite-se também que, apesar de o universo dos edifícios a que é aplicável o modelo ser constituído pelo conjunto dos imóveis da Mouraria e do Bairro Alto, aquele seja também aplicável a outros tipos de edifícios de zonas históricas do país, com características semelhantes.

Repare-se que as diferentes tipologias referidas poderiam ser classificadas de outro modo, nomeadamente em termos históricos, e ainda que parcialmente, por exemplo, para a Mouraria, do seguinte modo:

- edifícios dos séculos XV-XVI

- . escada de tiro;
- . 1 fogo/piso, sendo o r/chão e 1º andar em "duplex"

- edifícios pré pombalinos

- . escada de tiro;
- . 2 fogos/piso, com um maior que outro (escada não centrada);

- edifícios pombalinos ("risco ao meio")

- . escada central;
- . 2 fogos/piso, com dimensões sensivelmente iguais (esquerdo e direito).

Pensa-se que noutros locais da cidade e do país existirão muitos edifícios, das mesmas épocas, aos quais o método desenvolvido será provavelmanete também aplicável.

3.3 - Estrutura de custos considerada

Conforme foi referido em 3.2 o modelo desenvolvido e o programa informático que o suporta estão já abertos para a inclusão de 5 tipologias padrão.

Pretende-se que o utilizador compare o edifício (ou a operação com conjunto de edifícios) em estudo e escolha a tipologia padrão mais próxima. Poderá também dar ponderação de aproximação a duas ou mais tipologias de forma a obter-se a estrutura de custos de cálculo como ponderação das estruturas das tipologias próximas.

Contudo o estabelecimento das estruturas padrão para os 5 edifícios implicaria meios em termos financeiros e de tempo que não estavam no âmbito desta dissertação, nomeadamente para:

- medição e orçamento dos edifícios padrão, em número suficiente para cada tipo, de modo a não só ter em conta a variabilidade para uma tipologia, tendo em atenção o número de pisos, mas também poder vir eventualmente, se se verificar conveniente, introduzir no futuro (como já está explícito no início do programa), aperfeiçoamentos com base em:

- . coeficiente de área bruta/piso;
- . coeficiente de perímetro exterior/área bruta;
- . coeficiente do número de compartimentos;
- . coeficiente de fundações e caves;
- . coeficiente de abertura e vãos;
- . coeficiente de pé-direito.

- análise comparativa com valores relativos a edifícios reabilitados.

Em face das restrições existentes optou-se por elaborar as medições e orçamento do edifício padrão mais típico ou representativo do parque a reabilitar na Mouraria e Bairro Alto, que se considerou ser o correspondente à tipologia 4 referida em 3.2.

Salienta-se que o sistema informático desenvolvido está também concebido para, ao longo da sua utilização futura, poder ser aplicado aos edifícios após a reabilitação, no sentido de melhorar as bases de dados em que se apoia (nomeadamente as estruturas de custos). Haverá portanto um funcionamento em termos de sistema integrado, com sucessiva melhoria de um Banco de Dados a construir. Julga-se que as Câmaras Municipais de maior dimensão - ou a Associação dos Municípios Portugueses e o próprio Estado - teriam todo o interesse em promover Bancos de Dados deste tipo para apoiar às operações de reabilitação que promoveram ou apoiaram.

A estrutura de custos padrão respectiva, para os diferentes elementos Eij é apresentada no Quadro 1.

QUADRO 1
ESTRUTURA DE CUSTOS PARA EDIFÍCIOS

CAPÍTULO	SUB-CAPÍTULO	%
1 - ELEMENTOS ESTRUTURAIIS	1.1 - Fundações e muros de suporte	3,40
	1.1.1 - Fundações propriamente ditas	3,40
	1.1.2 - Muros de suporte	-
	1.2 - Estrutura portante vertical	20,55
	1.2.1 - Estruturas reticuladas	-
	1.2.2 - Paredes resistentes	20,55
	1.3 - Estruturas de escadas e pavimentos	8,32
	1.3.1 - Lajes (estrutura de)	7,51
	1.3.2 - Escadas (estrutura de)	0,81
2 - ENVOLVENTE EXTERIOR	2.1 - Pavimento térreo	1,13
	2.2 - Revestimento de paredes exteriores	0,82
	2.3 - Vãos	12,38
	2.3.1 - Caixilhos e vidros	8,02

QUADRO 1 (CONT.)

CAPÍTULO	SUB-CAPÍTULO	%
2 - ENVOLVENTE EXTERIOR	2.3.2 - Elementos de ocultação	4,36
	2.4 - Cobertura	4,14
	2.4.1 - Estrutura	2,20
	2.4.2 - Revestimento	0,78
	2.4.3 - Outros	1,16
3 - TRABALHOS INTERIORES (FOGOS)	3.1 - Paredes não resistentes	5,73
	3.2 - Revestimentos	16,38
	3.2.1 - Pavimentos	4,28
	3.2.2 - Paredes	5,92
	3.2.3 - Tectos	6,18
	3.3 - Equipamentos	4,63
	3.3.1 - Cozinhas	3,32
	3.3.2 - Casas de banho	1,31
	3.4 - Instalações	6,22
	3.4.1 - Águas (incluindo torneiras)	1,38
	3.4.2 - Esgotos	0,82
	3.4.3 - Electricidade e Telecomunicações	4,02
	3.5 - Vãos interiores	5,13
4 - TRABALHOS INTERIORES (ZONAS COMUNS)	4.1 - Revestimentos	5,76
	4.1.1 - Circulações	5,76
	4.1.1 - Pavimentos	1,66
	4.1.1 - Paredes e Tectos	4,10
	4.1.2 - Outros	-
	4.2 - Instalações	2,44
	4.2.1 - Águas	0,14
	4.2.2 - Esgotos	0,20
	4.2.3 - Electricidade e Telecomunicações	2,10
	4.3 - Outros	2,61
5 - TRABALHOS E EQUIPAMENTOS SUPLEMENTARES	5.1 - Equipamentos não contemplados no edifício padrão	-
	5.1.1 - Elevadores	-
	5.1.2 - Outros	-
	5.2 - Elementos de apoio	-
	5.2.1 - Andaimos	-
	5.2.2 - Outros	-
CR	CONDIÇÕES DE REALIZAÇÃO DOS TRABALHOS	-
		100,00

4 - DIAGNÓSTICO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO

Conforme foi referido na apresentação do método proposto, em 2, uma das fases da sua aplicação consiste na determinação do grau de deterioração ij para os elementos E_{ij} .

Essa determinação que é, evidentemente, essencial para a aplicação do método de estimação, poderá também construir um primeiro passo importante para o apoio à elaboração do projecto de operações de reabilitação.

A ficha de inquérito proposta é constituída praticamente pelos mesmos elementos da "estrutura de elementos padrão" (V. Quadro 1), como se pode observar no Quadro 2.

As diferenças residem, basicamente :

- na diferente ordenação dos vários elementos, de modo a corresponder ao percurso seguido pelos técnicos na realização das vistorias;
- na colocação de colunas para descrição do estado sumário de degradação física;
- na colocação de uma coluna correspondente à colocação do valor do grau de degradação ij decidido pelo técnico em face do estado de degradação de E_{ij} .

Os valores de ij poderão variar entre 1 e 4 com aproximação às décimas, tendo por enquadramento os seguintes limites:

- 1 - Elemento em muito mau estado (inexistente)
- 2 - Elemento em mau estado (reparação importante)
- 3 - Elemento em estado razoável (reparação ligeira)
- 4 - Elemento em bom estado (sem intervenção significativa)

Os valores de ij assim obtidos e colocados na ficha correspondente ao Quadro 2 serão depois introduzidos directamente como dados pelo utilizador na operação com o programa.

QUADRO 2
DIAGNÓSTICO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO

CAPÍTULO	ELEMENTOS	ESTADO	ij
1 - CONDIÇÕES DE REALIZAÇÃO DOS TRABALHOS			
2 - ENVOLVENTE EXTERIOR	2.1 - Pavimento térreo		
	2.2 - Revestimento de paredes exteriores		
	2.3 - Vãos		
	2.3.2 - Elementos de ocultação		
	2.4 - Cobertura		
	2.4.1 - Estrutura		
	2.4.2 - Revestimento		
	2.4.3 - Outros		

3 - ELEMENTOS ESTRUTURAIIS	3.1 -	Estrutura portante vertical		
		3.1.1 - Estruturas reticuladas		
		3.1.2 - Paredes resistentes (Tôsko)		
	3.2 -	Fundações e muros de suporte		
		3.2.1 - Fundações propriamente ditas		
		3.2.2 - Muros de suporte		
	3.3 -	Estruturas de escadas e pavimentos		
	3.3.1 - Lajes (estrutura de)			
	3.3.2 - Escadas (estrutura de)			
4 - TRABALHOS INTERIORES (ZONAS COMUNS)	4.1 -	Revestimentos		
		4.1.1 - Circulações		
		Pavimentos		
		Paredes e Tectos		
		4.1.2 - Outros		
	4.2 -	Instalações		
		4.2.1 - Águas		
		4.2.2 - Esgotos		
		4.2.3 -Electricidade e Telecomunicações		
	4.3 -	Outros		

QUADRO 2 (CONT.)

5 - TRABALHOS INTERIORES (FOGOS)	5.1 -	Paredes não resistentes			
	5.2 -	Revestimentos			
		5.2.1 -	Pavimentos		
		5.2.2 -	Paredes		
	5.3 -	5.2.3 -	Tectos		
		Equipamentos			
		5.3.1 -	Cozinhas		
	5.4 -	5.3.2 -	Casas de banho		
		Instalações			
		5.4.1 -	Águas (incluindo torneiras)		
	5.5 -	5.4.2 -	Esgotos		
		5.4.3 -	Electricidade e Telecomunicações		
		Vãos interiores			
6 - TRABALHOS E EQUIPAMENTOS SUPLEMENTARES	6.1 -	Equipamentos não contemplados no edifício padrão			
	6.1.1 -	Elevadores			
		6.1.2 -	Outros		
	6.2 -	Elementos de apoio			
		6.2.1 -	Andaimes		
		6.2.2 -	Outros		

A pouca experiência existente entre nós no domínio da Reabilitação Urbana, sobretudo no que diz respeito a "**ESTIMAÇÃO DE CUSTOS**", não permite que seja possível dispor de grande quantidade de informação. Deste facto resulta a dificuldade de conseguir amostras estatisticamente significativas, sendo os valores normalmente utilizados, consequência da análise de poucos edifícios. Ficará aberta a hipótese de, ao longo do tempo, se construir um banco de dados que permita utilizar valores com outra segurança.

5 - INFORMATIZAÇÃO DO MODELO

O modelo proposto foi informatizado, utilizando uma folha de cálculo.

Com o auxílio do programa foram construídos quadros, para cada capítulo resultante da discretização do edifício, cada um contendo 4 graus de degradação e tendo, como base, a seguinte relação:

- 1 - Em muito mau estado
(refazer totalmente) ----- 120% (1,2)
- 2 - Em mau estado
(reparação importante) ----- 75% (0,75)
- 3 - Em estado razoável
(reparação ligeira) --- ----- 35% (0,35)
- 4- Em bom estado
(intervenção sem significado) ----- 0% (0,0)

A utilização da folha de cálculo permite efectuar a multiplicação por colunas, obtendo os valores pretendidos das percentagens de degradação (ou seu complemento). O valor total da percentagem de degradação, multiplicado pela área bruta do edifício e pelo custo unitário do

edifício-padrão, permite obter o valor (em milhares de escudos) do custo da operação de reabilitação.

BIBLIOGRAFIA

BEZELGA, A. - Edifícios de Habitação - Caracterização e Estimação Técnico-Económica. Lisboa, Imprensa Nacional-Casa da Moeda, 1984.

CENTRE D'ÉTUDES TECHNIQUES POUR L'AMÉLIORATION DE L'HABITAT (CETAH) - MER - Manuel de l'enquêteur - Méthode d'Évaluation Rapide. Genève, CETAH - Université de Genève, 1981.

Moreira Braga, M. - Reabilitação de Edifícios de Habitação - Contribuição para a Estimação de Custos. Lisboa, Instituto Superior Técnico, 1990. Dissertação de Mestrado.

OS DESAFIOS DO AMBIENTE NO ENSINO DA ENGENHARIA CIVIL

Pedro David Lopes de Mendonça

ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (Departamento de Civil)

pedro.mendonca@netcabo.pt

Abstract. *O período de crescimento económico sem preocupações ambientais acabou. De dono da Terra, o Homem terá de passar a administrador de bens emprestados pelas gerações futuras. A União Europeia é líder mundial nesta preocupação. Em Portugal o problema é essencialmente de educação e comportamento.*

O ambiente deve ser incluído na prática diária dos cidadãos, políticos e agentes económicos e cruzar horizontalmente a sociedade: está nas mãos de todos nós e não só nas do Governo, de uma Direcção Geral ou de uma comissão de especialistas.

O ISEL deve associar-se aos diversos actores sociais na sensibilização do seu público interno para uma "consciência ambiental"; todos os professores têm obrigação de participar neste desiderato, transmitindo valores e comportamentos, não apenas porque o Instituto deve ter protagonismo na educação ambiental, mas sobretudo porque os alunos vão ser parte fulcral da mudança de atitudes e comportamentos das instituições e empresas em que vão trabalhar.

Planeta TERRA em vias de Extinção?

1. Ambiente: uma preocupação mundial

O jornal "The Economist" afirmou recentemente que o verde é a nova cor política, a nível mundial: hoje em dia, quase todos os políticos de renome mundial têm evidenciado preocupações públicas com a espessura da camada de ozono, derrube de florestas tropicais, emissões poluentes, etc...

As marés negras nas costas atlânticas, as chuvas ácidas ou a explosão de um reactor em Chernobyl e a precipitação radioactiva, as dioxinas na carne de frango belga, a BSE ou a febre aftosa, são catástrofes que suscitaram uma espectacular tomada de consciência por parte dos cidadãos, cuja sensibilização face aos problemas do ambiente não pára de aumentar.

As reivindicações de melhoria da qualidade do ambiente e de preservação dos recursos naturais que inicialmente eram feitas a nível local e regional, passaram a ser preocupações globais.

Na década de 90 surgiu um novo paradigma ambiental: o Desenvolvimento Sustentado. Segundo o Relatório Brundtland (O nosso futuro comum) da Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento, consiste num "progresso económico, social e político de forma a assegurar a satisfação das necessidades do presente sem

comprometer a capacidade das futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades”. Esta nova tese atribui uma importância fundamental à dimensão inter-geracional das políticas de ambiente.

Cada dia cresce o número de pessoas que consideram que os valores da vida não passam por um crescimento económico que permita apenas o aumento da produção de bens materiais, mas por um desenvolvimento económico que preserve o ambiente como um dos mais importantes legados às gerações futuras.

Dentro de breves anos, para quem não tiver bons sistemas de gestão ambiental instalados, será cada vez mais difícil manter a confiança dos bancos, da comunidade local, dos investidores e dos seus próprios empregados.

Deverá competir aos Estados a gestão dos recursos naturais e a resolução dos conflitos que resultam das suas diversas afectações. No entanto, deverão ser associados à formulação e implementação das políticas ambientais, os diversos actores sociais: empresários, instituições de ensino, autarquias, Organizações Não Governamentais, consumidores, entre outros.

Em relação aos princípios que fundamentam a intervenção dos poderes públicos, tem vigorado na OCDE e na UE, o Princípio do Poluidor-Pagador.

Este princípio significa que os custos das medidas ambientais devem ser suportados pelos agentes que contribuem para a degradação do ambiente e pelos benefícios da utilização dos recursos que se pretende proteger: obriga à "internalização" dos custos por parte do agente poluidor, evitando que seja a colectividade a suportá-los.

Apesar de um ambiente menos poluído poder significar custos de produção mais elevados, muitas empresas aumentarão as suas receitas por via do aumento dos custos de outras. Mesmo as empresas que tiverem de suportar custos mais elevados, terão obrigatoriamente de assumir esse ónus, porque o mercado será cada vez mais exigente em relação à qualidade ambiental.

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento (ECO/92) realizada no Rio de Janeiro, com a presença de mais de 100 Presidentes de República e de primeiros ministros e outros tantos presidentes das maiores companhias do mundo, foram debatidos temas como: biodiversidade, florestas tropicais, alterações climáticas, agenda XXI (os grandes desafios ambientais a enfrentar no Século XXI).

Apesar de os resultados obtidos terem ficado muito aquém das expectativas criadas, foi despertada a consciência mundial para os problemas do ambiente. Seguiu-se-lhe uma série de reuniões que culminaram na de Quioto, dedicada ao Aquecimento Global.

A possibilidade da temperatura da superfície terrestre estar a subir, significativa e permanentemente (se a tendência se mantiver, estima-se uma subida do nível das águas do mar, de 20 a 30 centímetros, nos próximos cem anos), chamou a atenção do público a partir de Dezembro de 1997, quando representantes de 160 países, convocados pelas Nações Unidas, em Quioto, no Japão, adoptaram um Protocolo que previa a limitação das quantidades de dióxido de carbono e de outro tipo de gases poluentes que são libertados pela atmosfera (entre 2008 e 2012, redução das emissões de gases com efeito de estufa para um valor médio 5,2% inferior aos níveis de

1990). Embora não tenha sido ratificado pelo Senado dos EUA e o Presidente Bush se tenha recusado a dar-lhe seguimento, porque põe em causa a economia dos EUA¹ (e contudo, são responsáveis por 23% de todo o CO₂ lançado na atmosfera), as reduções decididas terão de alterar radicalmente a forma como operam os países mundiais. Não admira, portanto, que no Forum Económico Mundial de Davos, na Suíça, em 2000, os líderes mundiais tenham votado as alterações climáticas globais como o assunto mais premente para a comunidade empresarial².

Mais do que uma questão ambiental, o cumprimento dos critérios de redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEEs), definidos no protocolo de Quioto, pode transformar-se numa oportunidade de negócio. Um produto financeiro vai surgir nos mercados mundiais: o carbono. A tonelada do carbono terá uma cotação no mercado e será negociada em bolsa. As entidades que reduzam as suas emissões além dos objectivos impostos, podem vender os créditos em excesso às empresas para as quais o custo das medidas ambientais seja superior ao valor de mercado dos créditos. Isto é, as empresas vão ter de incluir no seu planeamento esta variável: a interiorização das questões ambientais na estratégia de cada país e de cada empresa é uma questão de tempo. E as simulações já começaram a ser feitas. Vai haver um mercado mundial de emissão entre países.

Nos próximos anos, vamos assistir ao desenvolvimento de grandes questões a nível mundial, como o transporte e eliminação de resíduos tóxico-perigosos, o problema das florestas tropicais (relacionado com a questão da dívida externa de diversos países, nomeadamente do Brasil), a espessura da camada de ozono e o aquecimento do planeta, com o crescimento das emissões poluentes, entre outras.

Em suma, embora o observador comum possa já sentir condições climáticas poucos usuais, as grandes alterações ainda estão para vir; e há áreas de negócio mais susceptíveis de serem afectadas directamente, pelo que terão de agir mais depressa.

O período de crescimento económico sem preocupações ambientais acabou. O problema do ambiente não é um problema que deva preocupar apenas os governantes ou as instituições internacionais. O problema do ambiente respeita a todos nós, em especial, aos mais esclarecidos.

2. Ambiente: uma preocupação europeia

Os acidentes que infelizmente vão sucedendo (Chernobyl, produtos químicos no Reno em Basileia, etc.) recordam regularmente que a poluição não conhece fronteiras. Isto é, se podemos apontar um Estado soberano culpado, nas consequências encontramos muitos, senão todo o Planeta: o buraco do ozono é um exemplo. A dimensão transnacional dos problemas ambientais constitui uma das razões que justificam, na Europa, a sua abordagem ao nível comunitário.

A UE procura, com a política de ambiente, para além da preservação dos recursos naturais e da qualidade de vida dos cidadãos, a manutenção de condições equilibradas no comércio e na concorrência entre os Estados-membros.

A Comissão decidiu considerar a dimensão ambiental em todos os seus projectos e propostas. As práticas estabelecidas constituem um código de conduta da Comissão para a sua própria gestão, em particular no que respeita à política de compras e gestão de resíduos e economia de energia: tal ilustra a «vontade de dar o exemplo em matéria de integração da dimensão ambiental nas outras políticas comunitárias».

O Tratado de Maastricht é um *tratado verde*. O Fundo de coesão destina parte significativa das suas verbas à protecção do meio ambiente, através do apoio à reconversão industrial.

A degradação ambiental dos países de Leste vai obrigar a Europa a um acréscimo de solidariedade, no sentido da sua resolução. A criação da Agência Europeia para o Ambiente, a introdução de incentivos financeiros e fiscais na área do ambiente e do desenvolvimento de sistemas de harmonização e fiscalização a nível europeu, são iniciativas já presentes na preocupação crescente dos políticos. E a opinião pública tem vindo num crescendo progressivo de preocupação neste domínio. Há camadas populacionais que já não compram produtos de certas empresas porque sabem que elas são irresponsáveis do ponto de vista ambiental ³.

A dependência energética do petróleo deverá diminuir com a crescente utilização de fontes de energia alternativas, com características não poluentes, como é o caso, entre outros, do gás natural.

Segundo o protocolo de Quioto, a UE tem de reduzir em 8 % as suas emissões até 2012, em relação aos níveis de 1990 e há uma proposta de directiva na UE que permite o estabelecimento do comércio de emissões a partir de 2005: um país que esteja com dificuldades em cumprir a sua meta, pode comprar créditos de poluição a outros que, ao contrário, consigam ir além dos seus compromissos. Isto traduzir-se-á ao nível das empresas, mas o esquema proposto pela Comissão Europeia limita, numa primeira fase, o comércio de emissões apenas às grandes indústrias e ao sector da energia (o que soma cerca de 50% das emissões de dióxido de carbono da UE). A cada uma dessas empresas — 4.000 a 5.000 — serão atribuídas anualmente quotas de emissão de dióxido de carbono e no ano seguinte faz-se um balanço da poluição lançada e actua-se em conformidade.

Consequentemente, a UE está claramente empenhada tanto em ratificar como cumprir o Protocolo de Quioto: é o líder mundial desse desiderato. Mas nem todos os seus membros têm actuado com a mesma determinação. Por exemplo, os alemães, muito consciencializados para os problemas do ambiente, mostraram que simples mudanças no modo de vida podem culminar em reduções significativas das emissões de gases, um terço das quais é da responsabilidade das famílias: reciclar latas e papel, reduzir aquecimentos, melhorar o isolamento e desligar luzes quando não são precisas, ajudou a Alemanha a reduzir as suas emissões em 18,5% desde 1990, ultrapassando claramente a meta estabelecida em Quioto. A Inglaterra também reduziu as emissões em 14%. Portugal, em contrapartida, que foi autorizado a aumentar 27% da produção de GEEs entre 1990 e 2008, segundo um estudo da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, a emissão disparou e calcula-se que até 2010 atinja 53%, representando a produção e o consumo de energia cerca de dois terços das emissões totais; os transportes, em especial o rodoviário, são o principal responsável, contribuindo com perto de 50% do aumento

global e são a principal fonte de emissão de GEEs, à frente do sector de produção de energia (electricidade, gás natural e refinarias) e do sector industrial. Se não forem adoptadas brevemente medidas fortemente restritivas, com um Governo corajoso, sem medo de eleições, Portugal será posteriormente penalizado.

3. Ambiente: uma preocupação portuguesa?

Grandes desafios que se põem a Portugal:

- Maior disputa do espaço, pela pressão crescente de investimentos públicos e privados, o que tornará cada vez mais exigentes os critérios da gestão do solo e do ordenamento do território.
- Aumento das pressões turísticas sobre o litoral, exigindo uma atenção crescente do poder central e local.
- Implementação dos princípios do poluidor-pagador, do utilizador-pagador e de incentivos fiscais a uma economia amiga do ambiente.
- Políticas florestais adequadas que favoreçam a biodiversidade, em detrimento da monocultura.
- Tratamento adequado dos resíduos sólidos urbanos e tóxico-perigosos.
- Fiscalização eficaz do cumprimento da legislação sobre o ruído.
- Aperfeiçoamento das técnicas de extracção dos recursos minerais, de forma a evitar impactes ambientais negativos, a degradação dos próprios recursos e a perturbação da vida das populações próximas.

Em Portugal, há ainda grandes passos a dar para, aos diversos níveis, operacionalizar estes desafios em linhas de orientação estratégica eficazes.

A Educação Ambiental é uma das vertentes chave desse processo, tem sido pouco considerada pela opinião pública e insuficientemente trabalhada nos estabelecimentos de ensino. E contudo, o principal problema do Ambiente em Portugal é um problema de educação e de mudança de comportamentos. A Lei de Bases do Sistema Educativo reconhece que a Educação Ambiental faz parte dos novos objectivos de formação dos alunos, a todos os níveis de ensino, mas tal não está a ser levado à prática.

Infelizmente, o professor de todos os graus de ensino entende que o ambiente é assunto para especialistas do ambiente. O ambiente está no gesto de cada um de nós; não está só nas mãos das Instituições internacionais, do Governo, de uma Direcção Geral ou de uma Comissão de especialistas. Todos os empresários, gestores e quadros em geral têm de deixar de o considerar somente no noticiário da noite (quando a Quercus ou a Greenpeace anunciam as suas últimas iniciativas) para o encontrarem durante o dia, permanentemente, na própria secretária ou local de trabalho.

Deve ser integrado horizontalmente em cada Escola, em cada aula, para transmitir valores e comportamentos. As problemáticas contemporâneas devem estar na base de uma Educação para os Valores: não há professores que podem e outros que não podem falar de Ambiente, da mesma forma que outros temas como Prevenção Rodoviária, Direitos Humanos, Paz, Cidadania/Civismo, Ética, Expressão Artística.

Um exemplo retirado dos jornais ⁴: numa viagem entre Lisboa e Porto, um veículo a 160 Km/hora produz mais 43 kg de dióxido de carbono do que outro com uma velocidade média de 120 Km/h. Tendo em conta que a AE1 é percorrida diariamente por 33.684 veículos, são emitidas menos de 660 toneladas de dióxido de carbono, se não se ultrapassar a velocidade limite. Mas se forem conduzidos a 160 Km/h, as emissões globais atingem as 1.150 toneladas. Ora, num estudo da Quercus, verificou-se que 78% dos carros circulam na AE1 a mais de 120 Km/h e 56% entre 140 e 170; e a partir de 2010, cada tonelada de dióxido de carbono representará um custo que o Estado português (isto é, todos nós) irá suportar.

Há uns anos, um conceituado e conhecido industrial português, quando se queria desfazer de um determinado produto químico líquido, determinava regularmente que o camião-cisterna o carregasse numa viagem ao Porto, com a torneira de saída mal fechada. Quando a viatura regressava à empresa, já tinha o problema resolvido...

Não passa pela cabeça do cidadão da Europa evoluída que lhe sejam ocultadas informações sobre a acção administrativa; nem passa pela cabeça dos titulares de cargos públicos ou dos técnicos, tentar esconder seja o que for; os próprios industriais seguem o princípio de que tanto os empregados como os que habitam na vizinhança podem, a qualquer momento, inteirar-se do que se passa quanto a alterações do ambiente...

E a grande diferença entre nós e os cidadãos da Eurolândia evoluída não está, afinal, tanto nas tecnologias (que se compram com relativa facilidade), nem nos empresários (que também sabem fazer contas como os seus colegas eurolandeses), nem nos políticos que em toda a parte sabem farejar o voto. No fundo, a grande diferença está na própria massa civil do país.

Quantas Câmaras do País se preocupam efectivamente com o Ambiente? Quantas comissões se formaram para reivindicar à sua Câmara um papel mais activo, por exemplo, para a instalação de eco pontos, recolha selectiva de pilhas ou contra os lixos hospitalares ou contra a poluição feita pelas pessoas nas praias durante os fins de semana solarentos? Algum meio de comunicação social fará notícia com a entrevista de um dos condutores que diariamente produz mais 43 kg de dióxido de carbono na AE de Lisboa-Porto, por a percorrer a 160 Km/hora? Há muito alarido à volta da co-incineração e um silêncio ensurdecedor sobre estes temas.

O ambiente tem de ser incluído na prática diária dos cidadãos, políticos e agentes económicos e cruzar horizontalmente toda a sociedade, à semelhança do que se passa com o bom senso ou a justiça social, sem que para tal seja necessário criar uma Comissão do Bom Senso, em paralelo com as Comissões Técnicas criadas no passado para vigiar a qualidade do ar de Souselas...

A experiência dos países escandinavos ensina que a profunda mudança efectuada a partir dos finais dos anos 60 se deve, em grande medida, à acção dos cidadãos organizados em associações cívicas ou de consumidores, influenciando dentro e fora das empresas; e hoje, a consciência ambiental dos suecos ou dinamarqueses é um dado de cultura, um empenho colectivo que inspira o cidadão comum, o industrial e o governante. Este último sabe que as medidas que preconiza e efectiva serão julgadas pelos eleitores conforme as suas consequências ambientais. O

industrial sabe que a viabilidade do seu empreendimento depende das garantias ecológicas que oferecer juntamente com o produto. O papel de cada empresa ou instituição e de cada um de nós é vital: assim como somos todos consumidores, também somos (ou não ?) poluidores.

Medir o desempenho ambiental das empresas, desenvolver programas de investigação e desenvolvimento na área do ambiente, elaborar relatórios ambientais, incluir no relatório anual uma referência à actuação em matéria de ambiente (em paralelo com os desempenhos da actividade comercial ou de produção), abrir as suas portas à comunidade, estimular a criação de comissões de acompanhamento, são alguns dos aspectos que, enquanto não fizerem parte do nosso dia-a-dia, serão sintomas do nosso atraso em relação aos países do "pelotão da frente".

De dono da Terra, o Homem terá de passar para a postura de Administrador de bens, que lhe foram emprestados pelas gerações futuras. Daí a necessidade de gerir, tendo em conta o carácter finito (reduzir, reciclar, não desperdiçar, encorajar a reutilização), a necessidade de racionalizar a produção e consumo de energia, a necessidade de modificar comportamentos, a necessidade de sermos mais exigentes connosco e com todos aqueles que estão na nossa área de influência ou persuasão. São as pequenas acções individuais que provocam as grandes mudanças.

É um erro tremendo pensar que não se pode fazer nada porque os Governos e as empresas multinacionais são poderosos: os governos precisam de votos e as empresas precisam dos consumidores. Somos nós que lhes damos (ou não!)

Competirá (?) a todos os Professores, de todos os graus de ensino e de todas as especialidades, sensibilizar, formativa e informativamente, os seus alunos, para a necessidade de se criar um verdadeiro «espírito de ambiente».

E o ISEL não se pode alhear: muito pelo contrário, deve associar-se aos diversos actores sociais (empresas, autarquias, organizações não governamentais, consumidores, entre outros) na sensibilização do seu público interno — docentes, não docentes e discentes — para uma "consciência ambiental", não apenas porque o Instituto deve ter protagonismo central na educação ambiental, mas sobretudo porque os seus alunos vão ser parte fulcral da mudança de atitudes e comportamentos das instituições e empresas em que trabalham.

Bibliografia

- [1] www.unep.org (propriedade do Programa de Ambiente das Nações Unidas)
- [2] www.unep.net (rede de informação do Programa de Ambiente das Nações Unidas)
- [3] www.europa.eu.int/pol/env/ (União Europeia)
- [4] www.eea.eu.int (Agência Europeia para o Ambiente)
- [5] www.europa.eu.int/comm/eurostat/ (orgão de estatística da União Europeia)
- [6] www.eionet.eu.int (rede europeia para a informação e observação do ambiente)

- [7] www.ambiente.gov.pt (Ministério do Ambiente)
- [8] www.iambiente.pt (Direcção Geral do Ambiente)
- [9] www.ipamb.pt (Instituto de Promoção Ambiental)
- [10] www.iied.org/ (Instituto Internacional para o Ambiente e Desenvolvimento)
- [11] www.nasa.gov (site da NASA)
- [12] www.earthobservatory.nasa.gov (site da NASA dedicado às alterações climáticas)
- [13] www.globalchange.nasa.gov (site da NASA com descrições das pesquisas sobre mudanças climáticas)
- [14] www.oneworld.net (ONG sobre direitos humanos, desenvolvimento, paz e solidariedade)
- [15] www.quercus.pt (ONG sobre ambiente)
- [16] www.greenpeace.org/ (ONG sobre ambiente)
- [17] www.igc.apc.org (Association for Progressive Communications)
- [18] www.comw.org/poc/ (Commonwealth Institute)
- [19] www.altavista.com/ (motor de pesquisa)
- [20] www.hbr.org/ (revista de gestão da Universidade de Harvard)
- [21] www.economist.com (revista)
- [22] www.fortune.com (revista)
- [23] www.msnbc.com/news/environment/ (livraria virtual sobre ambiente)
- [24] www.worldenvironment.cim (noticias sobre ambiente)
- [25] www.euronews.net (canal televisivo europeu de informação)
- [26] Boulding, Kenneth, “The economics of the coming spaceship Earth, The John Hopkins Press, 1966
- [27] Costanza, Robert e outros, “The value of the world’s ecosystem services and natural capital, Nature, 15 de Maio de 1997
- [28] The EarthWorks Group, 50 coisas simples que você pode fazer para salvar a Terra, Difusão Cultural, 1991.

[¹] Protocolo de Quioto - Os EUA teriam que reduzir as suas emissões em 7%, a União europeia em 8% e o Japão em 6%. Como as economias mundiais estão a crescer, os cortes exigidos são bastante maiores, na ordem dos 35 a 50%.

[²] Harvard Business Review, Julho/Agosto de 2000 (www.hbr.org/)

[³] Boletim da UE, consultado *on-line*: em sondagem efectuada em Setembro de 2000, constatou-se que 72% dos europeus consideram que o desenvolvimento económico e a protecção do ambiente devem ser considerados conjuntamente.

[⁴] Expresso de 9 de Setembro de 2000.

Ponte do Ervedal sobre a Albufeira do Maranhão

Beneficiação, Recuperação e Reforço

CARLOS DE AZEVEDO FERRAZ

MARIA ANJINHO VIEGAS

Prof. Edgar Cardoso – Engenharia Laboratório de Estruturas, Lda.

Introdução

Devido à construção da Barragem do Maranhão, foi encomendado ao Prof. Edgar Cardoso, entre outros projectos relacionados com esta barragem, uma ligação permanente entre as aldeias do Ervedal e a de Figueira e Barros, dando origem à Ponte do Ervedal sobre a Albufeira do Maranhão.

Conforme consta no projecto original “*A necessidade da construção duma ponte sobre a albufeira do Maranhão e as características gerais a que a mesma deve obedecer encontram-se bem explicitas no despacho que Sua Excelência o Ministro fez sobre o assunto:*

“... Reconheço que é indispensável, para que não fiquem seriamente prejudicadas as actividades agrícolas em relação às propriedades na margem direita em frente de Ervedal, assegurar a possibilidade de transposição da albufeira não só por pessoas - proprietários e trabalhadores - como pelos carros agrícolas (carros de parrelha).

Assenta-se portanto na construção de uma obra de arte ligeira capaz de preencher estes objectivos cujo encargo será assumido pela Obra do Sorraia com a possível participação do Fundo do Desemprego, incluindo a reconstrução do caminho vicinal de acesso à ponte nas duas margens.

O perfil transversal da ponte será reduzido ao mínimo indispensável para uma viatura, adaptando-se o tipo de obra e a localização que conduzirem a maior economia e prejuízo da finalidade a atingir ...”

Trata-se de uma obra com um vão a vencer da ordem dos 140 m, factor que em conjunto com o tipo de tráfego que a obra iria servir à época para uma carga máxima correspondente a tractores até 6 t. deu origem a uma solução em ponte suspensa, com pilares e encontros em betão simplesmente armado, tabuleiro em madeira, cabos em fios de aço de alta resistência e pendurais em aço macio. Esta solução cumpriu assim os objectivos propostos, minoração dos custos e possibilidade de evolução ao nível do tabuleiro, bem como do aumento futuro das acções a considerar, já que os pilares e encontros eram definitivos e evolutivos previstos para suportar

maiores cargas e o tabuleiro de madeira (considerado a título precário) foi preparado para uma vida útil de apenas 10 anos, tendo no entanto servido quase 4 vezes mais.

Apesar da obra ter ficado interdita a veículos desde 1985, servindo apenas à passagem de pessoas e gado desde então, o que deu origem a estes estudos de beneficiação e reforço foi um caso singular ocorrido cerca de 10 anos mais tarde.

Conta-se que uma desavença entre locais teve como resultado que um deles largou fogo ao tabuleiro, tendo ardido um pequeno trecho no início do tabuleiro lado do Ervedal tornando mesmo assim o atravessamento da ponte inviável em condições normais de segurança.



Figura 1. Ponte antiga, em madeira, onde se evidencia a parte queimada do tabuleiro.

Na sequência deste incidente a C.M. de Avis convidou o Gabinete do Prof. Edgar Cardoso através do ofício 1579 datado de 96-Jul-4 para proceder aos estudos de beneficiação da Ponte do Ervedal, realçando desde logo à cerca da obra “... o seu valor como obra de arquitectura e engenharia ...”.

Após o levantamento da situação, através de visitas ao local e estudo do projecto de construção da ponte original, desde logo se concluiu ser possível aumentar substancialmente a capacidade da ponte. Este aumento deveu-se a que o projecto inicial previa já a colocação de uns segundos cabos, encontrando-se para tal os pilares e encontros preparados para suporte e amarração dos mesmos.

Descrição Geral da Obra

Excerto da memória do projecto original da autoria do **PROF. EDGAR CARDOSO**

A obra projectada é constituída por 3 vãos, sendo extremos de 22,50 m e o central de 80,00 m entre eixos de apoios. A ponte é suspensa, sendo o tabuleiro construído em madeira de pinho nacional. A largura útil ao nível do corrimão é de 2,80 m e ao nível do tabuleiro 2,54 m. A altura total das vigas de rótula, que além de constituírem as vigas de rigidez do tabuleiro servem de guardas, é de 1,50 m

A estrutura resistente principal é formada por 2 cabos cada um com 49 fios paralelos de aço galvanizado de alta resistência de 5 mm de diâmetro agrupados em 7 feixes de 7 fios cada que se amarram aos tardoz dos encontros e se suspendem no alto das torres. Ao conjunto destes 7 cabos compostos depois de devidamente impregnado de betume asfáltico atado com uma hélice de arame de aço de \varnothing 1,5 mm que receberá também conveniente pintura. Sobre esta hélice é então colocada uma fita metálica e nova pintura de modo a preservar o conjunto da corrosão. Sob a acção do peso próprio do tabuleiro os cabos tomam uma forma parabólica sendo a flecha de cálculo do vão central de 8 m (num vão de 80 m) e ficando o ponto de amarração teórico nos encontros situado a uma cota 2 m abaixo da cota do vértice da parábola do vão central. Os cabos são lançados e presos às amarrações mais curtos para que depois de estarem carregados com as cargas permanentes do tabuleiro e uma fracção da sobrecarga fiquem com a forma de cálculo - da parábola de 8 m de flecha no vão central. Encurtar-se-á de 24,6 cm no total. Os pendurais de aço macio \varnothing 3/4" que suportam o tabuleiro suspendem-se dos cabos parabólicos com o afastamento de 4 m na horizontal. As ligações dos pendurais aos cabos são feitas por meio de chapas de aço forjado que realizam o aperto necessário à fixação dos pendurais por meio de 2 parafusos. Os pendurais ligam-se inferiormente às carlingas do tabuleiro sendo roscados na sua parte inferior para se poderem colocar porcas de ajustamento onde descansam as carlingas por intermédio de anilhas. Os pendurais e os cabos situam-se num plano oblíquo com o jorramento negativo de 5 %. Este estreitamente na parte inferior faz com que as oscilações devidas às acções transversais à ponte amortecem mais rapidamente do que sucederia se os pendurais e os cabos se situassem num plano vertical.

O tabuleiro, que é construído em madeira (pinho) tem 2 vigas de rótula, às quais se liga o pavimento com tirafundos. O pavimento é formado por 2 camadas de pranchões de $0,17 \times 0,05 \text{ m}^2$ sobrepostas e colocadas obliquamente formando um ângulo de 60° com o eixo longitudinal da ponte. A razante do tabuleiro é parabólica com uma flecha máxima a meio do vão central de 0,45 m para a temperatura

média ambiente. A estrutura resistente do tabuleiro é constituída por duas vigas de rotula com 1,50 m de altura sendo os banzos formados por 4 peças de 0,20x0,08 m² colocados ao cutelo e a alma constituída por diagonais de 0,10x0,10 m² em número de 6 em cada painel de 4 m. As diagonais são ligadas aos banzos por meio de parafusos de ½" (4 em cada diagonal) e as ligações entre si das peças que constituem os banzos, é feita por meio de samblagens e empregando cobrejuntas de madeira e parafusos de 5/8", em cada ligação.

As torres são de betão armado cada uma constituída por 2 montantes contraventados e encastrados na base (secção 1,40x0,40 m²) em sapatas com 2,80x1,80x1,20 m³. A sua altura é, sensivelmente 22,00 m e são articuladas ao nível do pavimento do tabuleiro permitindo a rotação para um e outro lado, o que subtrai as secções da base dos esforços consideráveis a que ficariam sujeitas quando duma distribuição assimétrica das sobrecargas, se tais dispositivos não fossem adoptados. Contudo tais articulações são provisoriamente fixadas com varões de cobre para as torres terem só por si estabilidade durante a montagem dos cabos e a execução do tabuleiro. Transversalmente os dois montantes têm largura constante mas longitudinalmente as faces tem um jorramento de 2 % pelo que no alto das torres a secção é 0,52x0,40 m² e na base, junto da sapata 1,40 m. No vértice das torres, em cada montante, colocam-se coxins de aço vasado para a passagem dos cabos a 0,10 m da face interior para distribuírem as pressões no betão.

Cada encontro é formado por dois pórticos de betão armado do tipo triangulado ligados superiormente pela laje do tabuleiro e inferiormente pelas sapatas interiores e contraventamentos. Sobre as sapatas interiores dos encontros constrói-se em ambos maciços de pedra seca que impedem o levantamento dos encontros pela acção das fortes tracções que o esforço nos cabos produz nos montantes dos pórticos. Funcionam como autênticos maciços de amarração. Os quartos de cone dos encontros são formados de pedra arrumada assim como parte do tardo dos encontros, em cerca de 5 m.

Não só as torres como os encontros estão já preparados para receberem novos cabos, de uma ponte com tabuleiro reforçado e de maiores sobrecargas. Os encontros ficam até, para esse efeito, já com tubos de aço galvanizado colocados para o enfiamento dos cabos.



Estudos desenvolvidos

Levantamento do existente e apreciação do estado geral da obra

O levantamento do estado de conservação da obra foi elaborado ao longo de várias visitas, tendo-se procedido à observação, para o estudo em causa, fundamentalmente dos elementos estruturais que se pretendem manter, e que são os pilares, encontros, cabos de suspensão, coxins e amarrações.

No caso dos pilares, a observação permitiu concluir que todo o betão que se encontra à vista se apresenta em muito boas condições, havendo um ou outro pequeno descasque de betão localizado. A zona das rótulas situada logo abaixo do nível do tabuleiro encontra-se também em razoável bom estado, bem assim como as zonas das selas dos cabos principais que encabeçam os dois montantes de cada pilar. Haverá assim que prever trabalhos menores de conservação, nas superfícies de betão na sua generalidade e na zona das rótulas, criando-lhes novas superfícies regulares e protegendo por selagem com material apropriado essas articulações constituindo como que uma cinta. Prevê-se ainda a limpeza das superfícies vistas de betão e pintura da totalidade desses elementos a tinta de borracha clorada.

Quanto aos encontros, a estrutura de betão armado apresenta-se igualmente em excelentes condições. No entanto os quartos de cone, executados em pedra arrumada à mão, requerem alguma conservação, havendo que retirar toda a vegetação, desenraizar mesmo algumas árvores e refazer, com pedra semelhante à existente esses quartos de cone onde necessário. Da mesma forma prevê-se a limpeza e beneficiação das superfícies de betão onde seja preciso, seguida de pintura dos elementos estruturais a tinta de borracha clorada.

Pelas razões já aduzidas, não se pensou intervir em qualquer reforço de fundações já que esses elementos estão preparados para resistir a sobrecargas de maior monta.

Quanto aos cabos principais, em princípio só a sua protecção está em causa, encontrando-se muito danificada, sendo imprescindível a sua remoção e substituição por outra semelhante como se pormenorizou nas peças desenhadas e Caderno de Encargos. Em relação às amarrações, dos cabos nos encontros pôs-se a descoberto uma das quatro, junto ao encontro do Ervedal, lado de Poente montante, concluindo-se estar em belíssimas condições de conservação.

Condicionamentos

Condicionamentos viários e de sinalização

Dadas as condições iniciais de projecto, manteve-se o perfil transversal já adoptado na Ponte, isto é, um tabuleiro com a largura útil de 2,85 m. Tendo-se igualmente mantido o perfil longitudinal, desenvolvendo-se em todo o seu comprimento nos 144 m em parábola com uma flecha a meio do vão central de 0,45 m, igual à prevista no projecto original.

No caso da sinalização, e devido às limitações próprias da obra previu-se sumariamente implantar sinais de: limitação de largura do tráfego viário - 2,5 m; e de limitação de carga – 30 t nos trechos de acesso à obra e junto à obra, de sentido único com prioridade de quem parte do Ervedal e de limite de velocidade a 40 km/h.

Condicionamentos estruturais

No projecto inicial vem referido que a obra foi concebida de forma a poder suportar não só sobrecargas superiores, às consideradas para o tabuleiro de madeira de 0,500 tf/m (5 kN/m) e no futuro de 0,800 tflm (8 kN/m) bem como a possibilidade de suportar um tabuleiro de betão ou de aço, que no conjunto, considerando as torres e os maciços de amarração, que foram calculados para as máximas solicitações das sobrecargas e das cargas permanentes futuras, fossem 2,8 vezes superiores, às do tabuleiro de madeira.

Naturalmente que as fundações, como já se disse, estão em conformidade, pelo que não haverá que proceder ao seu reforço.

Acções adoptadas

As acções adaptadas foram as constantes do RSA da classe II veículo tipo, composto de 3 eixos de 100 kN cada, com afastamentos entre si de 1,50 m e de 2,00 m entre rodados. Em relação à classe de sobrecarga distribuída adoptou-se também a relativa à classe II de 3 kN/m² resultando uma carga linear equivalente de 9 kN/m dispensando-se a carga linearmente distribuída de 20 kN/m por se considerar irrealista neste caso.

Em relação à variação de temperatura tomou-se uma amplitude de $\pm 35^{\circ}\text{C}$.

Quanto ao vento adoptou-se uma pressão de 0,9 kN/m² significando uma força transversal de 1,5 kN/m.

Para a acção sísmica, dado tratar-se de uma estrutura de baixa frequência tomou-se o sismo tipo 2, zona B fundada em terreno tipo I uma vez que se está em presença de rocha com uma tensão de segurança de 8 a 10 kg/cm².

Condicionamentos Estéticos

Tratando-se de uma obra singular com características estéticas excepcionais os estudos de recuperação foram conduzidos numa óptica conservativa. Dado que os elementos estruturais de betão estavam já preparados para acções superiores, como vimos referindo ao longo deste texto, facilitou em muito a tarefa da recuperação, não sendo necessário introduzir novos elementos estruturais que modificassem a leitura do ponto de vista estético da obra, excepto no caso dos encontros onde se tornou necessário uma amarração préesforçada do tabuleiro para contrariar deslocamentos verticais. Sendo o tabuleiro original de madeira constituído por elementos esbeltos de madeira maciça, foi fácil e possível conceber uma nova estrutura, com a “traça” do anterior, praticamente substituindo os elementos de madeira por outros de aço, em tubo RHS, com dimensões muito semelhantes ou iguais às existentes.

Breve descrição estrutural da recuperação, do reforço e da beneficiação

A recuperação, reforço e beneficiarão da Ponte do Ervedal foi concebida, por forma a diminuir ao máximo o número de intervenções, havendo por isso que estudar o Projecto inicial (1957), concluindo-se que haverá apenas e com expressão, substituição do tabuleiro e lançamento de uns segundos cabos, além da beneficiação e tratamento dos elementos existentes que permanecem. O tabuleiro projectado é formado na sua quase totalidade por perfis tubulares metálicos, em que o peso próprio total é próximo do de madeira existente, sendo a estrutura praticamente igual à original, já descrita, pelo que apenas se acrescenta o julgado indispensável.

A estrutura do tabuleiro é composta de duas vigas de rótula com 1,50 m de altura cada, sendo os seus banzos formados por 4 perfis tubulares dois em baixo e dois em cima de 200 x 100 cada, colocados a cutelo. Sobre os banzos inferiores assenta a estrutura do pavimento, formada por carlingas de 150 x 100 x 10 afastados entre si de 1,00 m, ligados por 2 longarinas de 120 x 80 x 6,3, constituindo o apoio do pavimento propriamente dito, em miniquadrícula. O tabuleiro é dividido em módulos de 4,00 m que se vão interligando entre si. Esta modulação está relacionada com a dos pendurais que é igualmente 4 m. Estes pendurais têm uma inclinação de 5% em relação à vertical. Cada um destes módulos é contraventado por duas cantoneiras de 80 x 8. Dado que os pendurais passam entre os perfis dos banzos, houve que conferir uma inclinação às vigas. Essa inclinação foi dada através de chapins de apoio das carlingas com a pendente respectiva. A fixação do tabuleiro aos pendurais é feita ao nível inferior dos banzos, através de uma chapa de 280 x 280 x 20 furada ao centro, para deixar passar os pendurais e garantir o apoio das porcas de fixação e ajuste de nivelamento. Os perfis que constituem a estrutura do tabuleiro são em aço Fe 510. Os segundos cabos com que se dotou o reforço da ponte são formados por 7 strands cada, do tipo autoembainhado abrangendo as celas de suporte aos pendurais, ambos os cabos, o antigo e o novo. O equilíbrio da distribuição das forças pelos cabos foi executado através de macacos colocados de ambas as margens dando-se puxes alternados até se atingir a situação de equilíbrio.

Quanto aos trabalhos de recuperação foram iniciados pela beneficiação dos elementos de betão e arranjos dos quartos de cone junto dos encontros. Paralelamente foram executadas as novas celas dos segundos cabos a lançar, através da aplicação de chapas de aço nas torres, sob as celas existentes a que se seguiu a furação das mesmas para colocação das novas celas. Os trabalhos prosseguiram então com os reforços dos apoios dos pilares e encontros, bem como a colocação dos aparelhos de apoio sobre esses elementos de betão e ainda à recuperação dos cabos existentes. Deu-se então início aos trabalhos de desmontagem do tabuleiro de madeira e início da montagem do tabuleiro em aço. Esta operação começou com um trecho junto ao encontro do lado do Ervedal, sempre suspensão dos cabos originais, tendo prosseguido do mesmo lado até cerca de $\frac{1}{4}$ do vão central do lado do Ervedal, indo a produzir-se situação idêntica a partir da margem de Figueira e Barros. Na sequência foram lançados os novos cabos e desmontado e arreado o tabuleiro de madeira por módulos e içados os aço e montados, concluindo a estrutura do tabuleiro nos restantes cerca de 40 m centrais do meio vão. Seguiram-se trabalhos de montagem do pavimento em prodil de aço e pintura da totalidade das superfícies.

Processo de cálculo

Para obtenção dos esforços actuantes, recorreu-se a um programa de cálculo automático de elementos finitos, Robot V6, onde se consideraram todos os elementos estruturais constituintes da ponte, em modelo tridimensional, exceptuando-se os encontros, cuja compatibilização foi feita através das reacções obtidas.

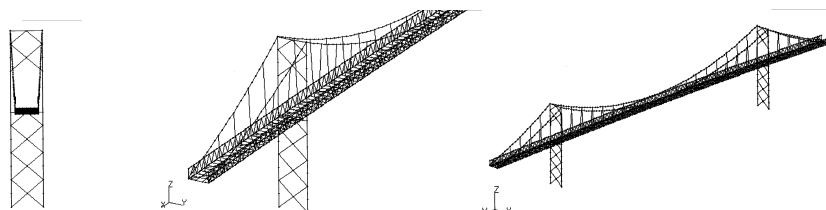


Figura 2. Esquemas do modelo de calculo automático

Realça-se que estes cálculos foram acompanhados e verificados por meio de métodos práticos utilizados neste tipo de estruturas.

A ponte foi verificada para dois tipos de funcionamento, o primeiro considerando-se sujeita somente ao peso próprio, apoiada nos encontros e livre sobre os pilares, transportando o seu peso para os pendurais e cabos principais, o segundo a ponte sujeita às sobrecargas apoiadas nos encontros e pilares transferindo grande parte das reacções sobre estes elementos.

Procedeu-se à verificação da segurança em termos de estados limites últimos de resistência, encurvadura e bambeamento, estados limites de utilização e resistência à fadiga.

Para o efeito recorreu-se ao estipulado no regulamento de estruturas de aço e ao Eurocódigo 3 - de Estruturas metálicas para a verificação da segurança dos elementos e das ligações.

Ensaio de carga

Antes de se abrir a ponte ao trânsito foi a mesma sujeita a ensaios de carga. Esses ensaios foram realizados pelo gabinete do Professor Edgar Cardoso e pelo DECivil, neste último caso dirigidos pelo Professor Catedrático Engº Fernando Branco.



Figura 3. Esquemas dos ensaios finais de carga

Sistemas estruturais em madeira lamelada colada

Maria Dulce Franco Henriques
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Resumo

A temática da construção em madeira apresenta pertinência sempre que se pretendam cruzar as questões do desenvolvimento técnico com a preservação do ambiente, pois numa época em que se procura cada vez mais a utilização de materiais cujo processo produtivo seja o menos poluente possível e em que ganha fôlego a importância da sustentabilidade do desenvolvimento, o retorno em Portugal à utilização da madeira como material estrutural, justifica-se plenamente. Na presente comunicação será feita inicialmente uma chamada de atenção para os benefícios que a utilização deste material comporta e depois serão apresentadas as suas principais características, potencialidades de utilização e tipos de construção para que é apropriada. O processo industrial para a obtenção deste material é descrito nesta comunicação com algum pormenor, tal como as ligações entre elementos em obra. Por fim, serão tecidas algumas considerações sobre a implementação em Portugal das estruturas em lamelados colados.

1. A utilização da madeira como material estrutural

A madeira é um dos materiais estruturais mais antigos utilizados pelo homem na construção de edificações. No entanto, verificou-se nas últimas décadas em Portugal, uma quase total substituição da sua utilização como material estrutural pelo betão armado e pelo aço, tendo passado a madeira apenas a ser utilizada em elementos secundários e revestimentos. Agora, e à medida que vai crescendo uma tomada de consciência para as questões de preservação do nosso planeta, o impacto ambiental dos materiais de construção torna-se cada vez mais um critério de escolha, tomando níveis de importância quase tão elevados como o preço e a qualidade. A madeira constitui actualmente, o único material de construção estrutural oriundo de uma fonte de regeneração contínua, a floresta, desde que sejam adoptadas regras para a sua utilização e reflorestação. Sublinha-se que a floresta labora sem concorrer com o homem no consumo de energia, na sua função de produção de matéria prima. Por outro lado, a transformação dos produtos florestais para a construção é realizada com um consumo mínimo de energia decorrente da sua facilidade de laboração e baixo peso específico [1]. Além de que os desperdícios resultantes desse processo são totalmente aproveitáveis. A madeira como material de construção, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável, permitindo satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias, não constitui resíduo no final

da sua vida útil uma vez que poderá ainda ser reutilizada. Apresentam-se de seguida duas tabelas contendo informação sobre as características físicas e comportamentais da madeira.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da madeira maciça

<p><u>As suas principais vantagens são:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Abundância na natureza - Elevada resistência em relação à baixa densidade - Facilidade de trabalho e de ligação das peças entre si - Bom isolante térmico - Amortecedor de ondas sonoras - Regulador higro-térmico do ambiente - Baixo índice de emissividade radioactiva - Estabilidade comportamental ao fogo, quando em elementos de médias dimensões - Inalterabilidade perante ambientes químicos 	<p><u>As suas desvantagens são:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Variações dimensionais originadas pela humidade - Consequente tendência para fender - Combustibilidade, quando em elementos de pequenas dimensões - Ataque por agentes biológicos - Degradação pelos agentes atmosféricos - Baixa durabilidade quando em situações de secagem/molhagem - Alguma deformação por fluência ao longo do tempo
--	---

Tabela 2 - Comparação de características entre a madeira maciça e outros materiais estruturais [2] [3] [4]

<p><u>Condutibilidade térmica (λ – W/m°C)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Madeira resinosa 0,18 - Betão armado 1,5 - Aço 52 - Alumínio 230 	<p><u>Massa volúmica (ρ – kg/m³)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Madeira resinosa 650 - Betão armado 2.500 - Aço 7.850 - Alumínio 2.700
<p><u>Relação entre a Energia necessária para a produção de uma tonelada de matéria relativamente à da madeira</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Betão 4 vezes mais - Aço 60 vezes mais - Alumínio 250 vezes mais 	<p><u>Relação entre o peso dos principais materiais estruturais e o da madeira maciça, para a mesma resistência mecânica</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aço 1,5 vezes mais - Betão Pré-esforçado 3,5 vezes mais - Betão 5 vezes mais

3. O Material lamelado colado

3.1 Em que consiste

Para que fosse possível disfrutar de todas as vantagens da madeira obviando aos seus inconvenientes, foi desenvolvida a técnica dos lamelados colados, pela utilização de colas de elevada resistência e durabilidade. Este material, sendo composto por lamelas de madeira coladas por sobreposição, permite que se proceda a uma escolha criteriosa das peças de madeira e à eliminação das deficiências maiores antes da colagem. Esse processo torna as vigas mais homogêneas e evita a tendência para a fendilhação, uma vez que as tensões geradas por uma lamela são contrariadas e absorvidas pelas outras. É assim possível obter elementos com características superiores aos que se obteriam com uma peça maciça de madeira de igual secção. É também possível com a técnica dos lamelados colados obter-se elementos de grandes dimensões e harmonia de formas

que com a madeira maciça seriam impensáveis. A sensação de conforto que proporciona ao seu utilizador, aliada ao aspecto agradável da madeira conduzem normalmente a construções de grande beleza e de um equilíbrio nunca conseguido com outros materiais.



Figura 1 - Hall de entrada do Parlamento Europeu em Strasburgo

Quanto às questões de durabilidade física da madeira, bastará que os cuidados a ter com o seu corte, secagem e manutenção dos elementos seja o correcto. Também deverão os projectistas ter o pleno conhecimento do tipo de elementos da construção que podem ser realizados em madeira, para que o edifício possa apresentar um comportamento de longevidade. Relativamente à madeira maciça, os lamelados colados apresentam as vantagens do aproveitamento de peças de pequena espessura, de constituírem um material mais homogéneo onde os defeitos que reduzem a resistência mecânica na madeira maciça estão dispersos e limitados à espessura da lâmina onde ocorrem. Como outra vantagem refere-se uma relativa imunidade ao ataque de xilófagos em grande parte devido às colas empregues, que são normalmente possuidoras de toxinas. Além disso, a devida impregnação de produtos preservadores faz parte da sua tecnologia.

Tabela 3 - Características mecânicas e tipos de agressões a que resiste

<u>Principais características mecânicas</u>	<u>Tipos de agressões a que resiste:</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Excelente relação entre o peso e a resistência mecânica, - Perfeita homogeneidade e isotropia; - Grande estabilidade dimensional; 	<ul style="list-style-type: none"> - ao fogo; - a ambientes quimicamente agressivos - às variações higrotérmicas, tanto de exterior como de interior; - às solicitações mecânicas ligadas ao transporte, montagem e manutenção - ao cloro das piscinas - a ambientes marítimos

Este é o material estrutural mais apropriado para ambientes quimicamente agressivos, como sejam indústrias químicas ou laboratórios, uma vez que não sofre qualquer corrosão ou oxidação. É também imune às acções dos cloretos da água do mar e à acção do cloro das piscinas, razão pela qual a sua larga utilização em coberturas desse tipo. Podem-se produzir madeiras lameladas coladas a partir de várias espécies de árvores, sobretudo resinosas, no entanto a mais utilizada é a Epicea, árvore de grande porte, muito comum nos países

Nórdicos. Em termos de normalização, a produção e projecto das estruturas em lamelado colado devem-se submeter ao seguinte, nos países da União Europeia:

- ◆ EN 386 – Regulamenta a produção dos lamelados colados;
- ◆ EUROCÓDIGO 5 (EC5) (desde 1 Janeiro 1999) – Regulamenta a construção em madeira serrada e em madeira lamelada colada.

3.2 Tipos de produtos

Arcos ou Pórticos Curvos

Este tipo de produtos permite o vencimento dos maiores vãos (até mais de 100m), com largas vantagens relativamente a quaisquer outros produtos estruturais. No entanto tornam-se bastante dispendiosos, só sendo aplicáveis em grandes obras ou de grande importância social.

Vigas Planas

Podem ser de inércia constante ou variável, apresentando três grandes tipos de utilização:

- ◆ Vigas simplesmente apoiadas não ultrapassando em geral os 25 metros.
- ◆ Pequenas vigas associadas em treliças, formando grandes elementos.
- ◆ Elementos secundários funcionando à tracção ou à compressão, com utilização em escadas e guardas, ou como complemento aos grandes elementos.



Figura 2 - Piscina coberta na Dinamarca realizada com elementos planos em treliça.

3.3 Processo de fabrico

As estruturas em estudo são constituídas pela sobreposição de lamelas coladas nas faces. Estas lamelas, por sua vez, são realizadas pela colagem de diversas peças de madeira de comprimento variável, topo-a-topo. As colas mais utilizadas são à base de ureia-formaldeído para o interior de edifícios, e de resorcinol-formaldeído para exteriores. A este propósito foi realizado pelo LNEC em 1985[5] um conjunto de ensaios de colagem para condições de exterior com madeira de pinho bravo, onde se pôde observar o bom desempenho do conjunto (lamelas e cola), sendo a resistência média da junta, em muitos casos superior à da madeira. A ligação topo a

topo das diferentes peças de madeira constituintes de uma lamela, é realizada por juntas em bisel ou pela utilização da técnica de entalhes múltiplos (finger joint), processo este muito mais divulgado, por se adaptar bem à produção em série e reduzir o desperdício de madeira [6](ver figura 3). A criação de elementos curvos é conseguida utilizando cimbres metálicos com a forma do intradorso pretendido para o arco ou pórtico, contra os quais são prensadas as lamelas durante o período de colagem. Estes cimbres podem-se deslocar sobre carris, o que lhes confere a possibilidade de definir a forma geométrica pretendida. Descrevem-se de seguida os princípios gerais de fabrico, sem no entanto esquecer que existem inúmeras variantes de processos.

1ª operação: Secagem ou Estabilização

A madeira deve estar armazenada em pranchas e a primeira operação consiste em conduzir a sua humidade aos valores requeridos para o fabrico, que dependerão do tipo de madeira e do facto desta ter recebido tratamento anterior ou não

2ª operação: Limpeza, corte e ligação topo a topo

Devem nesta fase ser cortadas as peças que constituirão as lamelas, por forma a rejeitar os nós, bolsas de resina ou defeitos da secagem. Um nó é considerado ponto de fraqueza quando é perpendicular à fibra da madeira e o seu tamanho é $\geq 2/3$ da largura da lamela. São então cortados os topos, no formato requerido para os entalhes e procede-se à união das peças topo-a-topo, até se obter o comprimento desejado de lamela [7]. A limpeza das pranchas e os cortes efectuados para as diferentes ligações, conduzem a cerca de 30% de desperdícios.

3ª operação: Aplainamento das lamelas

Antes de serem coladas, as lamelas de madeira devem ser aparelhadas até adquirirem a dimensão desejada. Esta operação é efectuada no máximo, 24 h antes da colagem.

4ª operação: Colagem das lamelas

A colagem é constituída por duas fases: fase de montagem em aberto e fase de montagem em fechado [5]. A primeira consiste na aplicação da cola sobre as lamelas, mas sem as sobrepor. A segunda fase consiste na montagem das lamelas na posição definitiva, esperando a aplicação da pressão de colagem. Actualmente, estão a ser aplicadas com êxito as colas resorcinas mussantes ou expansivas. A expansão da cola permite compensar as irregularidades das superfícies até cerca de 2mm, assegurando também uma melhor segurança da colagem, uma vez que diminui os riscos de fraca aderência devida às irregularidades do aplainamento[4].

5ª operação: Colagem sob pressão

A pressão a aplicar sobre o elemento deve ser a necessária para permitir um perfeito contacto das faces a colar, bem como para assegurar a exsudação do excesso de cola ao longo da linha de colagem. Deve ser constante e de cerca de 7 kgf/cm^2 para resinosas (com o mínimo de $6,2 \text{ kgf/cm}^2$). O tempo de colagem é variável consoante o tipo de cola empregue, a higrometria do ar ambiente e as condições de aquecimento, se este fôr aplicado.

6ª operação: Aplainamento, preservação e acabamento

Tratam-se essencialmente de operações de aplainamento até se obter a espessura desejada. Procede-se depois ao lixamento e regularização das superfícies, por forma a se conseguir uma superfície lisa e “macia”. Depois deste tratamento devem ser aplicados os produtos preservadores por um processo de auto-clave. Finalmente, são aplicados vernizes, ceras ou velaturas para proteger a superfície final e dotá-la do aspecto estético desejado.

3.5 Ligações entre as peças

Existem dois tipos essenciais de ligações: as que se efectuam durante o processo de fabrico para a constituição das lamelas (já referido) e as que se destinam a ligar em obra as vigas já fabricadas. As ligações realizadas em obra são normalmente necessárias por questões do processo construtivo e impossibilidade de transportar vigas além de determinada dimensão e formato, mas representam inevitavelmente uma perda de resistência aos momentos flectores, sendo por vezes significativa. É por isso que muitas vezes os projectistas optam por assumir a perda da continuidade estrutural e realizar as ligações por rótulas. Os diversos tipos de ligações a realizar em obra, são:

- ◆ Por encaixe de madeira com madeira;
- ◆ Por órgãos metálicos;
- ◆ Por junção de elementos metálicos e cola

Do primeiro tipo têm-se as uniões “finger-joints” que, se forem realizadas paralelas às fibras de madeira lamelada, conduzem a uma eficiência da ligação de 80% para os momentos flectores. Se as ligações forem executadas formando um certo ângulo com as fibras, a eficiência da união desce para valores mais baixos, devido à inferior resistência da madeira.

Apresentam-se de seguida alguns exemplos de ligações:

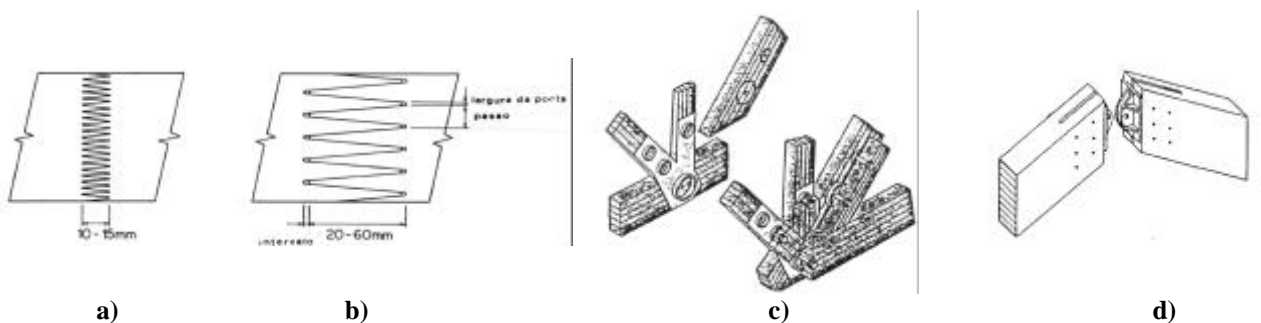


Figura 3 a) Mini “finger joints” para colagem de peças constituintes das lamelas; b) “Finger-joints” para colagem de elementos estruturais; c) Ligação por elementos metálicos e colagem (sem rotação); d) Ligação por rótula

4. A produção e aplicação do lamelado colado em Portugal

Em Portugal, existe actualmente uma unidade de fabrico instalada (operando com pinho importado) e diversas outras empresas de importação e montagem. Existem já diversas obras realizadas com este material, muitas delas anteriores a 1998, essencialmente de edifícios públicos. No entanto, a cobertura do Pavilhão Multiusos em Lisboa, executada em 1998, será com certeza a grande obra impulsionadora da aplicação dos lamelados colados. Esse era, à data em que foi montado, o maior vão da Europa em madeira, medindo 113 m. Após essa obra, tem sido registada bastante curiosidade por parte de construtores e de pessoas singulares no que respeita ao material lamelado colado.

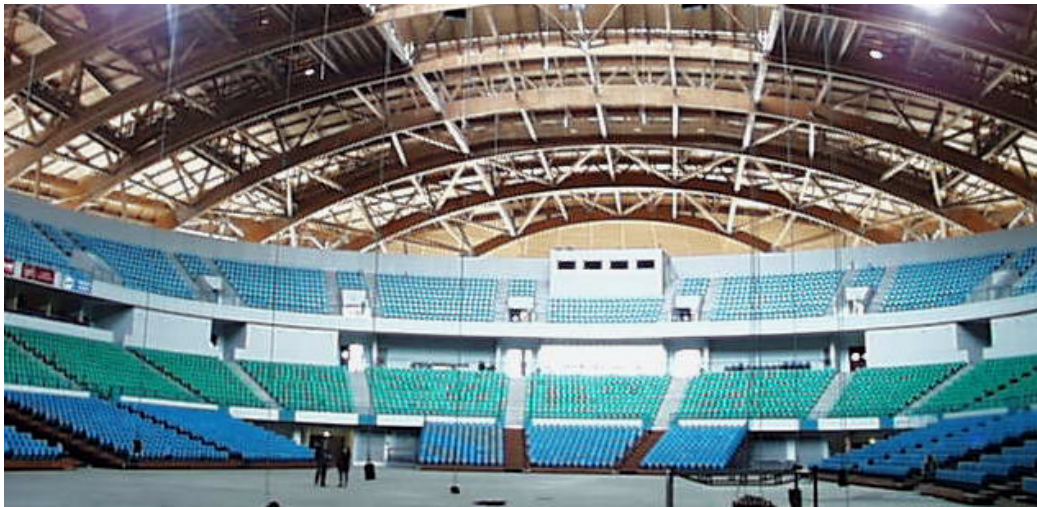


Figura 4 – Sala Atlântico do Pavilhão Multiusos – Parque das Nações - Lisboa

No entanto, crê-se que a utilização desse material no nosso país, será sobretudo possível ao nível dos elementos planos. Se se analisar a evolução das tendências actuais, ver-se-á que por toda a Europa central se deu desde meados dos anos oitenta uma grande diminuição da aplicação de vigas curvas, que constituíam as coberturas de edifícios de prestígio e sua substituição por vigas planas e pelos pequenos elementos ligados em treliças. Esta nova utilização dos lamelados colados, tem vindo a conquistar um tipo de construção tradicionalmente reservada ao aço e betão, como sejam os armazéns industriais, os edifícios comerciais e a habitação. A referida evolução foi possível, graças ao abaixamento dos custos de produção dos produtos planos resultante do desenvolvimento da sua automação industrial e da produção em série. Este tipo de indústria é perfeitamente possível de incrementar em Portugal, seja com pinho nórdico, seja com o pinho português, desde que seja seguida uma correcta política de reflorestação.

No que respeita à agressividade do nosso clima, sobretudo de Verão, que se apresenta demasiado sêco para as madeiras brandas como são os pinhos, ela obriga a que a utilização deste material em estruturas fique confinada aos interiores das construções, devidamente protegidas do exterior.

5 . Conclusões

Pelo que ficou dito, o incremento da construção em lamelados colados entre nós, não só é possível como é desejável. Para isso, terá que haver uma mudança de mentalidades que deverá ser necessariamente acompanhada pelo estudo universitário e a investigação nesse domínio, para que possa ser correctamente aplicado pelos projectistas e construtores.

Torna-se então necessário

- ◆ Proceder a uma efectiva reflorestação do país, sobretudo no que respeita às espécies resinosas;
- ◆ Implementar o estudo da madeira como material estrutural nas escolas de engenharia e arquitectura do país. (Diga-se, a título de nota, que existiu até há cerca de uma década a cadeira de Construções em Madeira no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa);
- ◆ Promover a formação de técnicos especializados para a indústria madeireira;
- ◆ Re-incrementar a investigação laboratorial sobre os desempenhos do pinho Português;
- ◆ Incrementar a investigação sobre os desempenhos das madeiras resinosas nórdicas no nosso clima (para utilização em exteriores);
- ◆ Desenvolver estudos económicos aprofundados sobre a comparação das construções utilizando lamelados colados e outros tipos de materiais estruturais;
- ◆ Incrementar a investigação laboratorial sobre os tipos modernos de produtos preservadores da madeira, face aos agentes xilófagos actuantes no clima português;

6 . Referências

- [1] Construção Industrializada de Madeira - Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Lisboa, 1976;
- [2] Piedade, A. Canha - Textos de apoio à disciplina de "Princípios da Construção de Edifícios" - 8º Mestrado em Construção - Instituto Superior Técnico - Lisboa, 1988;
- [3] Charpente Cénomane - documentação técnica: informações gerais - Requeil, France, 1999;
- [4] *Bois Lamellés Collés en Europe* - France, 1992;
- [5] Cruz, Helena - *Aplicação da Madeira de Pinho Bravo em Estruturas Lameladas Coladas - Ensaios de Colagem para Uso em Condições de Exposição Exterior* - Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Lisboa, 1985;
- [6] Moody, R.C. - "Glued Laminated Timber Research at the Forest Products Laboratory", *Forest Products Journal* - Madison 20(9), 1970;
- [7] Fichas do "Syndicat National des Constructeurs de Charpentiers en Bois Lamellé Collé" - Paris, 1998;

Tectos estucados sob fasquias ou abóbadas em edifícios antigos: Caracterização construtiva

Paulo Alexandre Malta da Silveira
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Câmara Municipal de Lisboa

Resumo

Segundo a actual teoria da conservação, entende-se que nas intervenções realizadas em edificações antigas, as técnicas de construção tradicionais serão muitas vezes as mais adequadas, de modo a assegurar a reversibilidade das intervenções, a compatibilidade entre o existente e o novo, ou mesmo a durabilidade das soluções escolhidas. Pretende-se com a presente comunicação contribuir para o conhecimento das técnicas antigas relativas aos estuques executados em tectos, para que estas possam, sempre que possível, ser utilizadas nas intervenções realizadas. A comunicação começa por referir os tipos de pavimentos dos edifícios antigos. Descrevem-se depois as soluções estruturais sob as quais podia ser executado o revestimento estucado dos tectos. Descrevem-se primeiro as soluções solidárias com o piso superior, fasquiadas ou sob arcos e abóbadas de alvenaria, e posteriormente as soluções fasquiadas independentes do piso superior. Refere-se depois o modo de execução do fasquiado, e por fim a composição e execução do revestimento estucado.

1 - Introdução

As técnicas e soluções tradicionais materializam a história dos nossos antepassados e garantem muitas vezes elevada durabilidade, comprovada pela existência física de elementos e materiais originais, muitas vezes com centenas de anos. Além disso, os tectos estucados constituem muitas vezes autênticas obras de arte, que como tal interessa conservar ou reparar, a fim de preservar algo do nosso passado que a todos diz respeito. Numa sociedade que já atingiu um razoável estado de desenvolvimento, com as necessidades mais básicas das populações satisfeitas, será consensual que chegou a época em que se deverá atender de forma preponderante à conservação do património histórico edificado. As acções de conservação a empreender deverão no entanto não se cingir às fachadas, mas chegar também aos acabamentos interiores.

2 - Tectos estucados

Os edifícios antigos construídos desde a época pombalina até aos anos 40 do século XX, tinham de um modo geral os pavimentos e respectiva estrutura de elevação, executada com elementos de madeira. A partir de meados do século XIX, começam no entanto a surgir nas zonas húmidas, situadas em geral no tardo, pavimentos em estrutura mista de perfis de aço e abobadilhas de tijolo cerâmico maciço. As caves e rés-do-chão dos edifícios menos comuns, podiam ter o tecto formado por abóbadas de alvenaria de pedra ou de tijolo. Os tectos estucados ordinários podiam ser assentes sob o vigeamento dos pavimentos e coberturas, ou ser executados em *esteira*. Na primeira situação, quer sob os tectos de alvenaria em abóbada, quer sob estruturas de madeira, o revestimento estucado era assente na estrutura existente. Na segunda situação, era necessária a colocação do chamado *vigeamento de esteira*, desligado do piso superior.

2.1 – Soluções solidárias com o piso superior

Nestas situações, o revestimento do tecto era assente directamente sob a estrutura do pavimento do piso superior, sob os degraus das escadas, ou sob a estrutura da cobertura. Era a solução mais económica e de mais fácil execução. Mais tarde, com a generalização da utilização das placas de estafe, passou-se a utilizar a sustentação das placas através de tirantes metálicos.

O soalho dos pavimentos era assente numa série de vigas ou barrotes paralelos, afastados entre eixos de 0,30 a 0,40 m, e apoiados nas paredes através de dois processos, com as extremidades embebidas nestas, ou apoiados sobre frechais de madeira. Os vãos a vencer eram por vezes elevados, acima de 4 a 6 m, apesar de as alturas das secções utilizadas nos barrotes, cerca de 0,20 m, apontarem para vãos máximos da ordem dos 4 m [1]. A fim de reduzir os riscos de empenamento do pavimento, realizava-se o tarugamento das vigas, através de troços de viga transversais a estas.

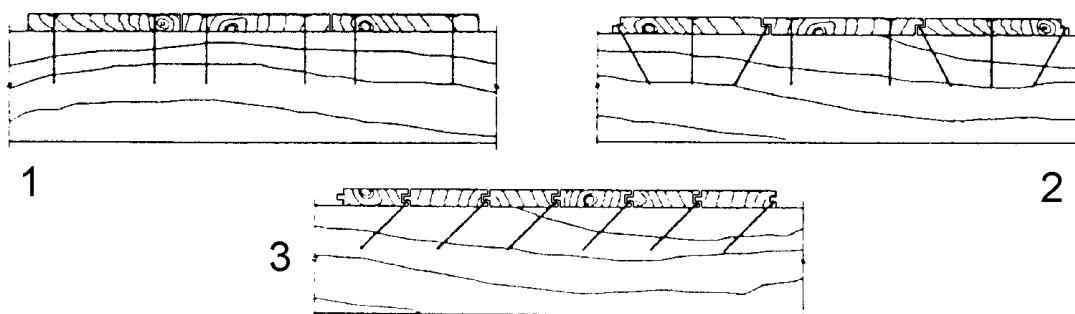


Figura 1. Tipos de ligação das tábuas de soalho [1]

As tábuas de soalho pregadas sobre as vigas, com espessuras de 0,022 a 0,028 m, completavam a estrutura do pavimento. Nos soalhos de construções executadas de forma pouco cuidada, as tábuas de soalho justapõem-se

(§1 fig. 1), sem qualquer encaixe, o que não permitia contrariar a abertura das juntas ou mesmo o efeito da fluência ao longo do tempo. Na construção de tipo mais cuidado, era utilizado o soalho à portuguesa, com a ligação das tábuas feita à meia madeira (§2 fig. 1), ou o soalho à inglesa, com encaixe macho e fêmea (§3 fig. 1), ficando os pregos aparentes no primeiro caso e ocultos no segundo. As madeiras mais utilizadas eram o pinho, a casquinha e o *pitch-pine* [2].

Na construção ordinária, o tecto era assente sob o pavimento de madeira por ser esta a solução de execução mais fácil e económica. Consistia na pregagem do fasquiado directamente sob o vigamento de madeira e perpendicular a este, ao que se seguia a aplicação das camadas de estuque. As distâncias entre as régua ou *fasquias* eram de cerca de 1 cm, garantindo-se desta forma a resistência da ligação com o reboco, para a argamassa melhor poder suportar o seu peso próprio. Era por vezes necessário *calçar* o fasquiado, para que a superfície exterior do tecto se apresentasse de nível [2].

A execução do tecto sob abóbada ou abobadilha originava os tectos estucados de menos complexa execução. Era o caso dos pavimentos à base de arcos e abóbadas de alvenaria, ou dos pavimentos de abobadilha de tijolos entre vigas de aço (fig. 2). O revestimento destes tectos iniciava-se pelo reboco de cal e areia, ao que se seguiam as camadas do estuque. As abas das vigas de aço, quando à vista, eram pintadas com tinta de óleo de linhaça [3].

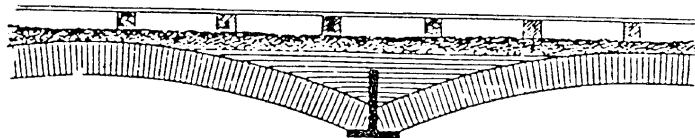


Figura 2. Abobadilha com vigas de aço [4]

2.2 – Suspensões independentes do piso superior

Nos edifícios de maior qualidade, o fasquiado era pregado a uma estrutura de madeira independente do vigamento do piso superior. Este tipo de solução impedia a transmissão das vibrações e ruídos do piso superior, além de permitir uma melhor ventilação da madeira, essencial para o aumento da sua durabilidade. Podiam ser criados vários tipos de estruturas destinadas exclusivamente a suportar os tectos e seu revestimento estucado, de que se descrevem a seguir três exemplos: o vigamento de esteira ordinária; esteiras para tecto de masseira e tecto sanqueado; esteira *engradada*.

A disposição vigamento de esteira ordinária (fig. 3) era semelhante à dos vigamentos para pavimentos, com as vigas (§V fig. 3) dispostas segundo os menores vãos dos compartimentos, afastadas cerca de 0,40 m entre eixos, ou 0,30 entre elas. Em compartimentos até 3,5 m de comprimento, as secções andavam à volta de 0,12 x 0,06 m a 0,14 x 0,07 m. Os vigamentos eram tarugados (§T fig. 3), como nos pavimentos, prevenindo-se

desta forma a ocorrência de oscilações que pudessem fender os tectos uma vez estucados. Para áreas de pequenas dimensões, as esteiras podiam ser constituídas apenas por sarrafões de 0,08 m x 0,05 m.

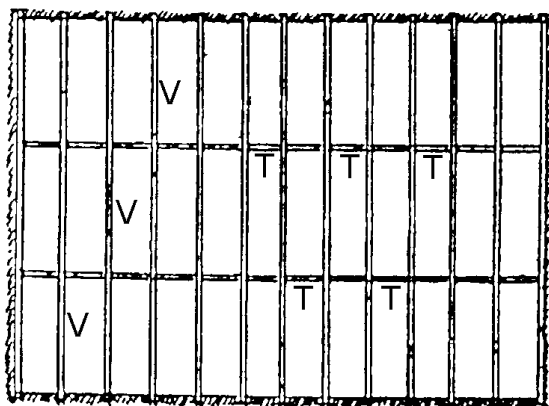


Figura 3. Esteira ordinária [3]

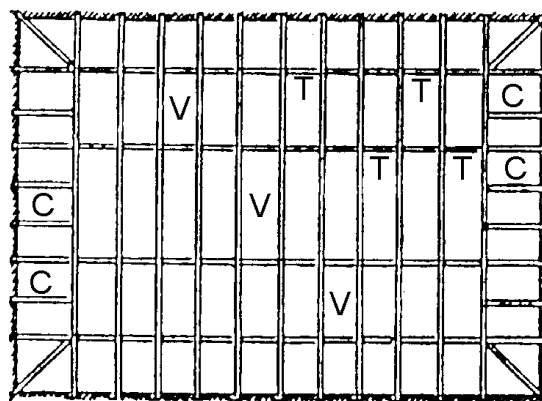


Figura 4. Esteira para masseira [3]

Nos vigamentos para esteiras de tectos em masseira (fig. 4) ou sanqueados, a disposição do vigamento (§V fig. 4) apenas se distinguia das esteiras vulgares na zona junto às paredes. Construía-se primeiro a esteira comum, devidamente tarugada (§T fig. 4), em que se reforçava depois o tarugamento junto às paredes, no sentido transversal das vigas, através de chincaréis (§C fig. 4). Junto às paredes os chincaréis podiam apoiar-se na alvenaria, ou numa viga existente junto à parede, como se vê na figura 6.

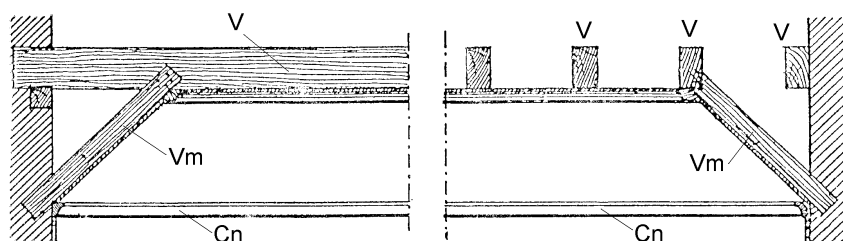


Figura 5. Tecto de masseira [3]

A esteira de masseira (fig. 5) ou a esteira sanqueada (fig. 6), eram formadas respectivamente pelas vigotas de masseira (§Vm fig. 5) ou pelas cambotas (§Cb fig. 6), que assentavam superiormente nos chincaréis (§C fig. 6) ou nas vigas (§V fig. 5 e 6), e eram inferiormente encastradas na parede. A transição entre a parte sanqueada ou inclinada do tecto e a parede, podia ser feita por uma cornija (§Cn fig. 5 e 6).

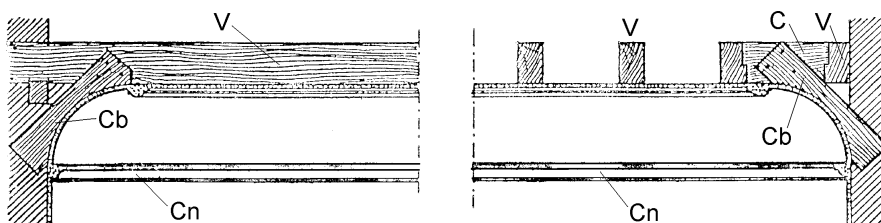


Figura 6. Tecto sanqueado [3]

Recorria-se à esteira *engradada*, quando não era possível ou conveniente a utilização de grandes vigas, ou quando os efeitos decorativos eram acentuados, e se temia o comportamento das vigas quanto a oscilações, torções ou outros empenos. Uma solução simples para este sistema (fig. 7) era a disposição de tábuas (§T fig. 7) com 0,03 m de espessura, dispostas com larguras de 0,18 ou 0,20 m ao alto, encastradas pelas extremidades nas paredes, e tarugadas (§Tr fig. 7) em fiadas de tábuas da mesma espessura e largura.

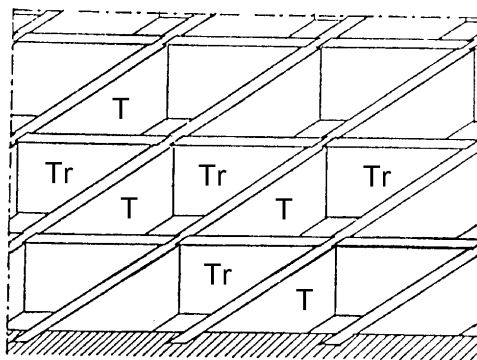


Figura 7. Esteira *engradada* de tábuas ao alto [3]

2.3 – Assentamento das fasquias

Uma vez acabado o sobrado do piso superior ou a esteira, assentava-se o fasquiado (fig. 8). Este antigo sistema deixou mais tarde de se utilizar, dando lugar às placas de estafe que foram utilizadas até quase aos nossos dias. Os primeiros fasquiadores eram carpinteiros civis e as suas ferramentas eram apenas a serra, o martelo, o formão largo, uma enxó e um cordel para o destorcimento do fasquiado. Mais tarde, com o grande desenvolvimento que esta actividade teve, criou-se a classe dos fasquiadores que realizava o trabalho sempre de empreitada. Esta operação realizava-se em geral com ripas de secção trapezoidal, pregadas na parte inferior de todas as vigas (§V fig. 8). As fasquias (§f fig. 8) tinham espessuras de 0,015 ou 0,018 m, e largura máxima de 0,02 m, ficando separadas umas das outras cerca de 0,010 a 0,015 m. Este último espaço era calculado pelo fasquiador como sendo a espessura do seu dedo polegar [3]. As fasquias eram apenas serradas, sem serem aplainadas e, no caso de a serra utilizada deixar pouco *traço* (marcas do corte), era preciso realizar com a enxó alguns cortes pouco profundos, tornando áspera a superfície da madeira e melhorando desta forma a aderência da argamassa às fasquias [5].

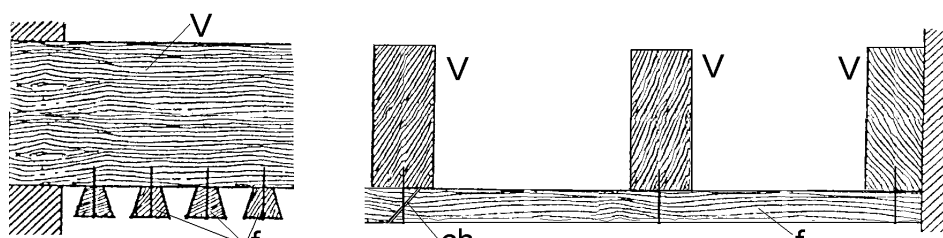


Figura 8. Fasquiado em tecto (cortes transversal e longitudinal)

Quando as vigas ou sarrafões apresentavam alguma saliência na sua face inferior, esse defeito era *tosquiado* com a enxó. Quando se verificava a existência de qualquer reentrância ou lasca, realizava-se um calçamento local da viga com uma ripa ou cunha de madeira, de acordo com a profundidade encontrada. As fasquias eram pregadas com a base mais estreita para cima, e dispostas na perpendicular do vigamento. As ligações de topo entre as fasquias eram feitas por chanfros (corte rampeado) e realizavam-se apenas sob as vigas (§ch fig. 8). Para o bom desempenho estético do tecto, as fasquias deviam ficar desempenadas, bem alinhadas e niveladas. Nos tectos sanqueados ou em masseira, as fasquias acompanhavam respectivamente as cambotas ou as vigotas de masseira, tal como ilustrado nas figuras 9 e 10.

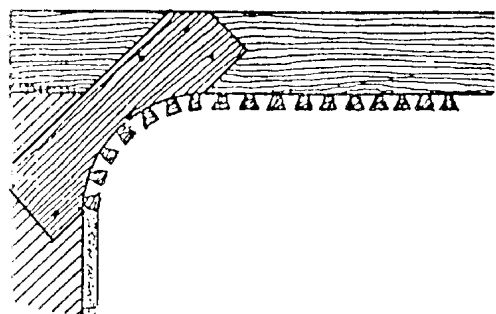


Figura 9. Sanca fasquiada [3]

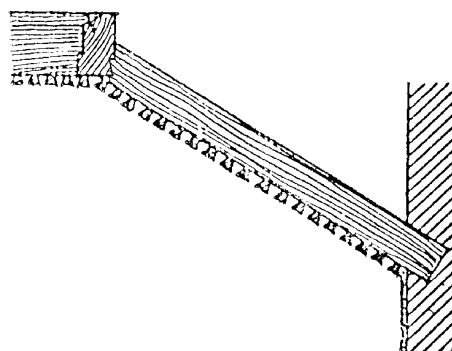


Figura 10. Dobra de masseira fasquiada [3]

Nas edificações de construção mais cuidada, a madeira do fasquiado era a casquinha, pois as suas qualidades de resistência e estabilidade dimensional eram consideradas de primeira categoria. Na edificação ordinária, utilizava-se o fasquiado de pinho que, para se poder pregar sem rachar, devido à esbelteza das peças, era embebido em água durante algum tempo e pregava-se no estado húmido [3]. Eram também utilizadas ripas de secção rectangular, por vezes demasiado espaçadas, ou cabeças de pregos salientes, em soluções de execução mais fácil, mas menos duráveis ao longo do tempo.

Na bibliografia britânica consultada [6] [7], a solução tradicional indicada consistia mesmo na utilização de ripas de secção rectangular de 40 x 10 mm, espaçadas cerca de 10 mm. A realização deste tipo de trabalho

podia ser francamente má, quando se pregava o fasquiado sobre o vigamento seco, e a evolução do estado das madeiras originava o aparecimento de fissuras nos tectos já estucados. Além disso, o enchimento do fasquiado com o reboco, originava uma evolução no estado do tecto, porque o trabalho se realizava com as fasquias não estabilizadas quanto ao teor de humidade e estado dimensional. Com a casquinha, estes maus resultados não surgiam tanto, pois nesta madeira as contracções higrotérmicas são inferiores às do pinho. O encarecimento da casquinha generalizou o emprego do fasquiado de pinho e contribuiu para o gradual abandono dos tectos de fasquiado, como solução ordinária [3]. A aplicação posterior de placas de estafe, possibilitaram uma maior rapidez na execução do tecto, e constituíram um passo dado no processo de pré-fabricação da construção.

3 – Revestimento estucado

O número e características das camadas do revestimento estucado era muito variável, sendo no entanto tradicionalmente executado nas seguintes três camadas: o reboco era uma argamassa de cal aérea, que assentava no suporte; o esboço era uma pasta de cal com gesso e areia de esboço executado numa espessura de 3 a 5 mm; o estuque era uma pasta ou argamassa de gesso e cal aérea, com cerca de 3 mm de espessura.

O reboco tinha por finalidade regularizar e uniformizar a base e podia assentar sobre fasquias ou directamente sobre abóbadas ou arcos de alvenaria. Sob estas bases de alvenaria era em geral constituído por uma argamassa de cal apagada, ao traço volumétrico entre 1:1,5 a 1:3 [8] e quando aplicado em camada única deveria ter uma espessura de 10 a 15 mm [9]. Em tectos fasquiados o traço mais comum da argamassa andava pelos 1:1 a 1:2 [3], e deveria ter uma espessura de até 1 cm sob a face inferior do fasquiado. A distância entre as fasquias, na face inferior, devia ser de cerca de 1 cm, para por um lado não dificultar a introdução da argamassa, e por outro favorecer a sua ligação. Quando se pretendia executar um estuque pesado, não só as fasquias tinham de ter maior secção, como se introduzia uma porção de gesso no *pardo*, a fim de lhe dar maior e mais rápida coesão [4].

O comum esboço de regularização era formado por uma argamassa bastarda de cal apagada com areia de esboço, à qual se adicionava gesso escuro no momento de aplicação. O traço volumétrico tradicional para o gesso, cal em pasta e areia era 1:2:1, e era aconselhável o emprego de retardadores de presa [10]. O esboço realizava-se, só depois do *pardo* estar bem seco, utilizando a trolha e a colher para a sua aplicação, e o esparável para o seu alisamento.

A camada de estuque de acabamento obtinha-se de uma mistura de cal aérea, à qual se podia adicionar areia muito fina ou pó de pedra, e se juntava gesso no momento da aplicação. A proporção aproximada de cal aérea, gesso e areia era de 3:1:1 a 1:1:0 [10]. O gesso era branco e de granulometria fina e eram utilizados

retardadores de presa. Esta camada era aplicada à talocha, que se encostava pelo bordo, e se resvalava no paramento, sendo depois feitos acertos à colher do estucador [4]. A superfície era por fim passada em diversas direcções, com um pano molhado e dobrado, desfazendo qualquer imperfeição.

Referências

- [1] Baião, Manuel; Appleton, João, “Pavimentos de madeira de edifícios antigos. Constituição, patologia e reabilitação.” in 2º. *Encore, Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios*. LNEC, Lisboa, 1994, p. 233-242.
- [2] Segurado, João Emílio dos Santos, *Trabalhos de carpintaria civil. Biblioteca de instrução profissional*. Livraria Bertrand, 8ª. edição revista, Lisboa.
- [3] Costa, F. Pereira da, *Enciclopédia prática da construção civil*. Edição do autor, Portugália editora, Lisboa, 1955.
- [4] Leitão, Luiz Augusto, *Curso elementar de construções. Elaborado segundo o programa da escola central da arma de engenharia*. Imprensa nacional, Lisboa, 1896.
- [5] Macedo, J. de Castro (tradução), *Manual do carpinteiro de moveis e edifícios*. Guillard, Aillaud & Cª., Lisboa, 1893.
- [6] Ashurst, John; Ashurst, Nicola, *Mortars, plasters and renders. Practical building conservation, volume 3. English heritage technical handbook*. Gover technical press, Aldershot, 1989.
- [7] *Conservation of plasterwork. A guide to the principles of conserving and repairing historic plasterwork. Technical conservation research and education division, historic scotland*. Crambeth Allen, Edinburgh, 1994.
- [8] Lucas, José A. Carvalho, *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*. ITE 24. LNEC, Lisboa, 1990.
- [9] Veiga, Maria do Rosário; e outros, *Curso de especialização sobre revestimentos de paredes*. LNEC, Lisboa, 1995.
- [10] Branco, J. Paz, *Manual do pedreiro*. LNEC, Lisboa, 1981.
- [11] Silveira, Paulo Malta da, *Estuques antigos: Caracterização construtiva e Análise patológica*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção. IST, Lisboa, Dezembro 2000.

Utilidade e valorização de inertes reciclados provenientes de resíduos da construção

Paulo Alexandre Malta da Silveira
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Câmara Municipal de Lisboa

Resumo

Pode-se definir desenvolvimento sustentável como sendo aquele que permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias. Quando o crescimento económico de uma sociedade aumenta, o volume de resíduos não susceptíveis de ser naturalmente absorvidos aumenta e reduz-se a quantidade de recursos naturais não renováveis. O crescimento ilimitado dos resíduos é fisicamente impossível e constitui um limite do crescimento. É neste contexto que se considera a hipótese de gestão e reciclagem dos resíduos produzidos na construção. Baseado no que já se vai realizando em alguns países da União Europeia, a presente comunicação começa por referir os aspectos relacionados com a produção de inertes reciclados, como sejam a demolição selectiva, o processo tecnológico de fabrico e os parâmetros económicos envolvidos. Faz-se depois uma rápida abordagem do estado da arte no que diz respeito à investigação.

1 - Introdução

A maior parte dos materiais utilizados no passado encontra-se ainda incorporado nas edificações, redes e estradas, a eles juntando-se continuamente novas construções. A acumulação destes materiais é estimada, nos países desenvolvidos, em cerca de 300 t per capita, parte dos quais em betão armado [1]. Neste processo de demolição/construção, parte do imobiliário transforma-se em detritos e entulhos, cujo descargo a vazadouro provoca danos significativos ao ambiente. O problema agrava-se continuamente, sendo necessário ir procurar cada vez mais longe dos centros urbanos, terrenos de vazadouro, cada vez mais difíceis de encontrar. Por outro lado a extracção de inertes naturais origina alterações nos ecossistemas, nomeadamente nos rios e lagos, no caso dos inertes sedimentares. Ao enorme volume de material extraído corresponde ainda um baixo valor comercial, razão pela qual a exploração para ser lucrativa, não suporta grandes custos de transporte. Assim se difunde o aparecimento de novas pedreiras sempre o mais perto possível dos locais de consumo. É neste contexto que se coloca a questão de saber, até que ponto seria viável o reaproveitamento dos resíduos resultantes de construções e demolições, nomeadamente o reaproveitamento destes materiais como agregados.

2 – Produção de inertes reciclados

2.1 - Demolição selectiva

Até há pouco tempo, a demolição de um edifício era considerada um processo pouco técnico, em que interessava sobretudo a rapidez. Uma das mais importantes condições para que seja possível a reciclagem dos resíduos da construção, é a separação cuidadosa de todas as categorias de materiais, sempre que se realiza uma demolição. Através de uma demolição selectiva, mais lenta e onerosa, os ganhos estão mais a jusante, na melhoria dos materiais a reciclar, e na redução dos trabalhos de selecção na estação de reciclagem. Neste tipo de demolição, os trabalhos realizam-se de maneira inversa à seguida no processo construtivo, sendo os elementos são desmontados pela seguinte ordem: vãos, divisórias leves, acabamentos removíveis, elevadores, ar condicionado, coberturas, aparelhos e rede eléctrica, tubagens de águas, gás e esgotos. Antes da demolição da alvenaria e estrutura, deve-se evitar a presença de todos os outros materiais, em especial o fibrocimento, gesso, madeiras, polímeros, arames e quaisquer tipos de acabamentos não cerâmicos ou hidráulicos. Finalmente procede-se à demolição das paredes de alvenaria, e por fim à própria estrutura. A demolição selectiva entende-se como uma actividade demorada, com grande incorporação de mão-de-obra, que só será rentável se houver mercado para os produtos de demolição e o custo de material indiscriminado levado a vazadouro for suficientemente elevado, para ser desincentivado.



Figura 1. Britador móvel de betão [2]

2.2 - Processo tecnológico

Existem duas alternativas quanto à recolha e tratamento dos entulhos resultantes das demolições. Pelo primeiro processo é feita uma pré-britagem do material na zona da obra, para o que é necessário reservar um determinado espaço, não só para o equipamento mas também para armazenagem de material. Por um segundo processo, o material desmontado é directamente removido do local da obra sem qualquer tratamento. As condições locais do estaleiro e as distâncias de transporte, são factores a ter em conta na decisão da alternativa escolhida. Há várias tecnologias disponíveis, mas a mais comum é o chamado tratamento por via seca. Outro tipo de processamento que exige equipamento mais sofisticado, mas que origina inertes de maior qualidade, é o chamado tratamento por via húmida. O processamento por via seca,

está bastante difundido em vários países europeus, através de estações móveis de reciclagem (fig. 1), destinadas a permanecer em estaleiro.

Devido a uma longa experiência na comercialização de inertes reciclados, as mais importantes empresas de reciclagem flamengas (Bélgica), estão agrupadas numa associação, em que todos os seus centros de tratamento de resíduos, têm que satisfazer as seguintes exigências mínimas [1]:

- ◆ Ponte de pesagem para pesar o entulho recebido e os agregados vendidos;
- ◆ Zona de armazenagem destinada aos vários entulhos, e os vários tipos de agregados produzidos;
- ◆ Equipamento para eliminar impurezas (madeiras, metais, plásticos), e reduzir os volumes totais através de macacos hidráulicos;
- ◆ Peneiro preliminar para eliminar terra, areia e gesso;
- ◆ Britador primário em geral de maxilas;
- ◆ Separador magnético para remover o aço;
- ◆ Conjunto de peneiros primário, para segregar o material nas diferentes fracções dimensionais;
- ◆ Peneiro ventilado ou instalação de lavagem, para separar madeira, papel e textéis dos agregados;
- ◆ Britador e peneiros secundários, para reduzir o tamanho dos grãos e a separá-los por granulometrias;

2.3 - Parâmetros económicos

Do ponto de vista económico, a obtenção de inertes reciclados só é atractiva quando o produto obtido é competitivo com o material natural, em termos de custo e qualidade. Os inertes reciclados só são pois competitivos onde exista falta de material natural ou falta de vazadouros autorizados. A reciclagem trará nestas condições, poupanças no transporte e entrega de entulhos. Os factores económicos desta indústria são influenciados são só pelas soluções técnicas, mas também pela legislação relativa aos entulhos e são os seguintes: custo de transporte dos resíduos; preço de entrega do material; taxas de entulho a vazadouro; custo de processamento, preço de mercado dos inertes reciclados [3].

Apesar dos custos operativos poderem ser controlados, e o mercado da reciclagem poder funcionar quanto ao preço de entrega do material, existe a influência das taxas de entulhos, que são fixas de acordo com a política de resíduos do Estado. Em alguns países, estão já em vigor taxas fortemente dissuasoras da não reciclagem. Na Dinamarca, desde 1990, é aplicada uma taxa de 16 € por cada tonelada de resíduos não reciclados. Um estudo macro-económico realizado por alemães e dinamarqueses, nos anos noventa, apontou os principais custos associados ao processo [4]:

- ◆ Transporte: 0,05 a 2,5 €/hora.km (0,05 € a distância > 50 km; 2,5 € a distância < 25 km)
- ◆ Descarga: 7 a 26 €/hora (material não contaminado)
- ◆ Britagem: 5 a 10 €/hora (dependendo do tipo de estação e da sua capacidade)

2.4 - Situação na União Europeia

Não existem dados seguros sobre a produção de resíduos de demolições nos países da União Europeia, estima-se no entanto que, com os seus 350 milhões de habitantes, sejam anualmente produzidos cerca de 0,55 tonelada por habitante, ou seja cerca de 190 Mt [4].

A Flandres, situada na metade norte da Bélgica, é uma zona plana densamente povoada (425 hab/km²), onde a falta de recursos naturais é muito acentuada, tendo por isso já sido implementado um sistema de recolha de resíduos de demolições. Indicam-se na tabela 1, os custos de entrega de material, em 1993, nos centros de reciclagem flamengos. Os custos são agravados na medida em que a qualidade do material entregue seja mais baixa, podendo mesmo ser recusada a entrega no centro de reciclagem, quando se tratar de entulho com grande mistura de diferentes materiais. Além dos custos de entulho seleccionado indicados existia já em 1993, uma taxa ambiental de 9 € por tonelada de resíduos produzidos.

Tabela 1. Custos de entrega de residuos na Flandres [1]

Fracção	Custo (€/ t)
Betão limpo, não armado, < 70 cm	0 a 0,75
Betão limpo, armado, < 70 cm	2,5 a 3
Betão limpo, armado, > 70 cm	3,75 a 4,5
Alvenaria limpa	3,75 a 4,5
Alvenaria com contaminação < 10 %	5,75 a 7,5
Terra não discriminada	12,5 a 25

Existem cerca de 80 estações de reciclagem distribuídas por todo o território, reciclando já em 1997 cerca de 3 Mt por ano de resíduos, o que representava cerca de 65 % do total. Os agregados reciclados são utilizados essencialmente em obras hidráulicas, construção de estradas, ou para a execução de camadas de sub-base. Em 1993, na Frandres, o preço médio dos agregados reciclados de betão (4/32 mm) era de 5,5 a 6 € / t, cerca de 2,5 € abaixo do preço dos agregados naturais, e o preço dos agregados reciclados de alvenaria (0/56 mm) andava pelos 3,75 a 4,25 € / t. A areia reciclada, utilizada apenas para fins rodoviários, tinha um baixo valor comercial (2 €/t) [1].

No Leste de Inglaterra, muitos dos antigos campos de aviação da 2ª. Grande Guerra, bem como antigos edifícios, forneceram já muito betão velho, que foi britado e reutilizado sob a forma de agregados [2]. No Reino Unido os entulhos reciclados, destinam-se sobretudo a aterros e enchimentos. Os inertes reciclados empregues na construção representam no entanto já 10 % do consumo total.

Na Alemanha a demolição selectiva é obrigatória, sendo os entulhos dos elementos demolidos entregues em centrais de reciclagem. Em 1996 a produção anual alemã de agregados reciclados provenientes de resíduos de demolições foi de 50 Mt, representando 7 % do mercado total de agregados. No entanto, destes apenas 10 Mt têm propriedades adequadas à utilização em betões, e a maioria é empregue para fins rodoviários [3].

Exceptuando alguns casos pontuais, a reciclagem de entulhos para a produção de agregados, é em Portugal quase nula. Tem sido frequente a reutilização de fragmentos de alvenaria, em bases de pavimentos e betonilhas que suportam cargas moderadas. Mais recentemente, a demolição de paredes de alvenaria e de elementos de betão de construções na zona da Expo 98, em Lisboa, permitiu a reciclagem de agregados e sua reutilização como sub-base de pavimentos rodoviários [6].

Um importante trabalho realizado entre nós, em que inertes reciclados foram empregues no fabrico de betão estrutural, foi na reconstrução da pista de aterragem da base aérea militar de Monte Real. O betão antigo, com cerca de 30 cm de espessura e 40 anos de idade, foi desmontado e britado, dando origem a agregados reciclados que, conjuntamente com inertes naturais, foram incorporados nas novas lajes de betão. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à flexão do betão foram muito satisfatórios [7].

3 – Estudo dos inertes reciclados

A utilização de inertes reciclados, de dimensão superior a 4 mm, no fabrico de betão, foi objecto de uma proposta de especificação do RILEM de 1993. Este documento propõe uma classificação dos inertes grossos em 3 categorias, de acordo com a tabela 2. Quanto à utilização de areia reciclada, considerou-se que a sua utilização deve ser limitada por esta conter muitas vezes substâncias prejudiciais, por a sua influência na durabilidade e resistência do betão não estar ainda bem determinada e não existir ainda um fiável método de determinação da sua resistência mecânica.

Tabela 2. Classificação de inerte grosso reciclado – RILEM [8]

Categoria	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Origem	Entulhos de Alvenaria	Entulhos de Betão	≥ 80 % inerte natural e ≤ 10 % de inerte tipo I
Massa volúmica seca mínima (kg/m ³)	1500	2000	2400
Máxima absorção de água (%)	20	10	3
% máxima de metais, vidros e mat. Leves	5	1	1

Na sequência desta proposta de especificação foi criada uma norma belga relativa à utilização de inertes grossos reciclados. Esta norma, prevê a utilização de 2 tipos de inertes, em correspondência de características com os tipos I e II, definidos pelo RILEM. É permitida a total substituição do inerte grosso por material

reciclado, mas a areia tem de ser de origem natural. São definidos limites diferentes para a classe dos betões, e definidas condições de exposição ambiental, de acordo com a tabela 3.

Tabela 3. Características dos inertes reciclados (NBN N11) [1]

Tipo de inerte (grosso)	Máxima classe de resistência do betão	Exposição ambiental permitida
I	C 16/20	- Interior de edifícios com ambiente seco - Contacto com solo não agressivo ou água sem gelo
II	C 30/37	- Interior de edifícios com ambiente seco - Contacto com solo não agressivo e/ou água

A normalização alemã relativa a betões e agregados não contempla a utilização de agregados reciclados no fabrico de betão. Está no entanto em preparação, uma especificação sobre a utilização de inertes reciclados provenientes de betão, abrangendo as fracções grossa e fina. As classes de resistência mecânica do betão acima de C 30/37 serão permitidas, bem como a maioria das classes de exposição ambiental. Os inertes reciclados têm no entanto de ser misturados com inertes naturais. Apresentam-se de forma simplificada na tabela 4, as quantidades máximas de material reciclado, em função dos níveis de exposição ambiental.

Tabela 4. Limites máximos de material reciclado, na mistura de inertes [3]

Agressividade do meio ambiente	Inerte grosso (> 2 mm) % em volume	Inerte fino (< 2 mm) % em volume
Fraca	50	20
Média	40	20
Forte	30	---

Alguns resultados mostraram já, que a resistência do betão velho tem uma influência reduzida no betão de agregados reciclados, e que o seu desempenho é inferior ao betão de inertes naturais. O referido projecto, que é financiado da associação alemã das empresas de betão pronto, pretende estudar os betões das classes C 20/25 e C 35/45 e manter a consistência constante, controlada por plastificantes.

Em Portugal o campo de investigação no domínio dos agregados reciclados é reduzido, existindo no entanto algumas excepções. Efectuou-se na Maia, na central de betão pronto da Betopal, um estudo orientado por Joaquim Sampaio [6], professor da FEUP, visando inertes reciclados provenientes de ensaios efectuados sobre provetes cúbicos de betão. Neste tipo de aproveitamento os agregados são obtidos sem materiais estranhos, e as únicas operações que se efectuam são a fragmentação e peneiração do material. As partículas finas são rejeitadas, devido à sua elevada absorção de água, e substituídas por areia natural (fig. 21). Foram ensaiadas duas dosagens de cimento, e utilizada areia natural. A quantidade de água foi calculada para manter constante o resultado de abaixamento no ensaio do Cone de Abrams. A trabalhabilidade poderia ter

sido conseguida através de plastificantes, em vez de se aumentar a água de amassadura. As conclusões mais importantes foram as seguintes:

- ◆ Os desperdícios de betão originam bons agregados reciclados grossos;
- ◆ Devido à sua elevada absorção de água devem-se substituir as partículas finas por areia natural;
- ◆ A trabalhabilidade e características físicas do betão de agregados reciclados é satisfatória, sendo apenas é necessário aumentar a água de amassadura;
- ◆ A menor resistência mecânica do betão de inertes reciclados (fig. 2) deve-se à maior razão água/cimento;
- ◆ Para a mesma quantidade de cimento e trabalhabilidade, o betão de agregados reciclados está uma classe de resistência abaixo do obtido com agregados naturais.

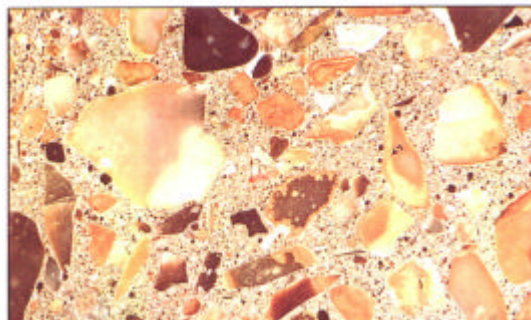


Figura 2. Betão com inertes reciclados de betão velho [2]

Encontra-se também em desenvolvimento um estudo [9] dirigido por Saíd Jalali, professor da Universidade do Minho visando o aproveitamento de entulhos da indústria cerâmica, que se sabe serem 10 % da produção total, para o fabrico de betões de alto desempenho, ou seja um betão muito mais resistente e durável que o betão convencional. O estudo prévio verificou que as argilas brancas e vermelhas, têm propriedades que permitem a substituição de parte dos inertes, finos e grossos, e mesmo de parte do cimento, no processo de fabrico do betão. Depois de moídos até dimensões muito reduzidas, parte dos resíduos cerâmicos reagem com a cal do cimento, adquirindo propriedades de ligante. Outra parte preenche os vazios intersticiais do betão, aumentando fortemente a sua compactidade e impermeabilidade. Obtém-se assim um betão muito mais resistente ao avanço da carbonatação e à difusão dos cloretos.

Mais recentemente efectuou-se também um projecto de investigação no IST, no âmbito de uma tese de Mestrado [10]. À semelhança do outro trabalho referido, os inertes grossos reciclados foram obtidos a partir de entulhos de provetes de cubos de betão e a areia utilizada foi de origem natural. A trabalhabilidade procurou-se no entanto manter através da adição adjuvantes, para compensar a elevada absorção de água.

4 – Conclusões

Entre nós pode-se dizer que, salvo raras excepções, o mercado para reaproveitar materiais de demolições é quase inexistente. A reutilização de entulhos para agregados, só poderá ser posta em prática, se existir um

quadro legislativo adequado, um controlo eficaz, e o mercado a funcionar. O aproveitamento de agregados para as grandes obras de aterros e trabalhos hidráulicos, pode no entanto iniciar-se desde logo, se forem tomadas medidas que desincentivem o vazadouro de entulhos não tratados. Os custos de remoção para vazadouro e de obtenção do produto natural, terão de ser progressivamente agravados, bem como eficazmente controlada a sua actividade, a fim de possibilitar a viabilidade económica das centrais de tratamento e reciclagem de inertes. A competitividade do preço dos inertes reciclados terá de ser suportada pelas taxas de exploração das pedreiras, custo de entrega de materiais seleccionados para reciclagem, e taxas de material conduzidos a vazadouro.

Referências

- [1] “Demolition and reuse of concrete and masonry” – *Proceedings of the third international RILEM (Réunion Internationale des Laboratoire d’Éssais et de recherches sur les Matériaux et les construction) symposium*, Odense, Dinamarca, Out 1993.
- [2] Stevenson, Jim e Spooner, David, “Concrete and environment”, *Magazine ATIC n.º 12*, Lisboa, Mai 1993.
- [3] Aßbrock, Olaf e Budnik, Joachim, “Recycling and reuse of concrete – Present situation and future trends in processing and concrete production. Part I: Fresh concrete. Part II: Hardened concrete”, *congresso ERMCO 98 (Organização Europeia para o Betão Pronto)*, Lisboa, Jun 1998.
- [4] Lauritzen, Erik e Hahn, Niels Jorn, “Producción de residuos de construcción y reciclaje”, revista *Residuos n.º 2*, Madrid, Set 1997 (Internet, 1999).
- [5] “Reciclaje de los residuos de demolición y construcción”, *Devoconsa – Demoliciones, voladuras y contratas SA* (Internet, 1999).
- [6] Sampaio, Joaquim, “Recycled concrete obtained of waste concrete produced in ready mixed concrete plant of BETOPAL – Betões preparados, SA in Oporto”, *congresso ERMCO 98 (Organização Europeia para o Betão Pronto)*, Lisboa, Jun 1998.
- [7] *Reciclagem de pavimentos rígidos na Força Aérea Portuguesa*, 1996.
- [8] “Specifications for concrete with recycled aggregates, RILEM recommendation, TC 121-DRG”, revista *Materials and Structures*, vol. 27, n.º. 173, Nov 1994.
- [9] Carmo, Luís Vaz do, “Entulho reciclado”, jornal *Expresso*, Lisboa, 6 Fev 1999.
- [10] Gonçalves, Ana Paula, *Análise do desempenho de betões obtidos a partir de inertes reciclados provenientes de resíduos da construção*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção. IST, Lisboa, 2001.
- [11] Silveira, Paulo Malta da, *Inertes reciclados provenientes de construções e demolições*. Monografia de avaliação da cadeira Construção Sustentável e Inovação Tecnológica, do curso de mestrado em Construção. IST, Lisboa, 1999.