

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA**



**MESTRADO INTEGRADO EM  
ENGENHARIA CIVIL**

**ÁREAS DE ESPECIALIZAÇÃO  
DISCIPLINAS E TEMAS DE DISSERTAÇÃO  
2010-2011**

# 1. INTRODUÇÃO

## **1.1 Docentes do Laboratório de Estruturas**

|                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| Adelino Lopes        | avlopes@dec.uc.pt  |
| Alberto Martins      | alberto@dec.uc.pt  |
| Alfredo Dias         | alfgdias@dec.uc.pt |
| Anísio Andrade       | anisio@dec.uc.pt   |
| João Negrão          | jhnegrao@dec.uc.pt |
| João Paulo Rodrigues | jpaulocr@dec.uc.pt |
| Luis Cruz Simões     | lcsimoes@dec.uc.pt |
| Paulo Providência    | provid@dec.uc.pt   |
| Ricardo Costa        | rjcosta@dec.uc.pt  |
| Sandra Monteiro      | sandra@dec.uc.pt   |
| Sérgio Lopes         | sergio@dec.uc.pt   |

## **1.2 Objectivos da Área de Especialização em Estruturas**

- 1) Concepção de projecto
- 2) Prática de projecto incluindo o uso intensivo de ferramentas computacionais
- 3) Nova regulamentação e normas de concepção e projecto estrutural
- 4) Materiais estruturais tradicionais / novos
- 5) Durabilidade e reabilitação de estruturas
- 6) Projecto de segurança ao fogo de estruturas

## **2. DISCIPLINAS**

## **2.1 Concepção e Dimensionamento de Estruturas**

Responsável: João H. Negrão

### **Descrição**

A disciplina propõe-se reforçar a formação no domínio da Análise e do Dimensionamento Estruturais, com especial ênfase na primeira.

Tendo os alunos recebido formação teórica em Análise de Estruturas, nas disciplinas de Estática Aplicada, Mecânica dos Materiais, Resistência dos Materiais e Teoria das Estruturas, pretende-se que esta disciplina exerça agora um papel integrador daqueles conhecimentos, nomeadamente pelo tratamento de sistemas estruturais reais e não correntes. Dando continuidade ao processo iniciado na disciplina de Projecto Assistido por Computador, do mesmo perfil, privilegia-se o recurso a cálculo automático como ferramenta imprescindível no projecto de estruturas. Estimula-se, no entanto, o uso consciente e criativo deste recurso, na convicção de que, ao invés de uma poderosa ferramenta de produtividade, este pode constituir um perigo potencial, se for conduzido sem o sentido crítico do projectista.

Sem prejuízo da eventual consideração de outros sistemas e modelos estruturais, os trabalhos e projectos-tipo apresentados, modelados e discutidos nos anos transactos, enfatizaram os seguintes problemas e topologias estruturais:

- 1) Funiculares e anti-funiculares: Arcos com diversas geometrias (catenária, parabólica, elíptica, circular);
- 2) Modelação de cúpulas geodésicas e radiais em madeira
- 3) Modelos de e.f. de estruturas planas (laminares);
- 4) Fundações sobre base elástica: reservatórios, piscinas, ensoleiramentos gerais;
- 5) Ponte pedonal.

### **Organização**

A avaliação da disciplina é feita por trabalhos de grupo (2 a 3 alunos). A apresentação dos trabalhos e a respectiva fundamentação teórica são feitas nas aulas. O processo de desenvolvimento do trabalho é predominantemente extra-escolar. É utilizado o programa de cálculo automático ROBOT Millenium, embora exista abertura para a livre opção por outros programas, desde que fiáveis.

### **Avaliação**

No final do período lectivo, existe uma discussão dos trabalhos com o docente, na qual os alunos deverão justificar aspectos específicos dos trabalhos e, de um modo geral, fazer prova da aquisição de competências nos domínios específicos estudados. Espera-se de cada grupo uma auto-avaliação de conjunto e de cada membro. A aprovação é conseguida com uma média ponderada de 10 valores.

## **2.2 Estruturas de Betão**

Responsável: Paulo Providência

### **Descrição**

Esta disciplina é complementar às disciplinas de Betão Armado I e II. Em relação a casos práticos de estruturas de betão armado pretende-se que os alunos consigam melhorar as suas capacidades de identificação do sistema estrutural e das acções actuantes sobre essas estruturas. Pretende-se também que consigam fazer o dimensionamento e a análise de elementos específicos, nomeadamente, vigas parede, muros de suporte e consolas curtas. Serão também abordadas estruturas pré-esforçadas e pré-fabricadas. De uma forma geral terão que se familiarizar com normas e regulamentos que contenham aspectos específicos relativamente aos tipos de estruturas tratados nesta disciplina, tantos os documentos respeitantes à definição dos materiais, como aos da definição das acções actuantes, como ainda aos correspondentes ao cálculo estrutural e execução de estruturas. A disciplina desenvolverá competências em várias vertentes. As principais competências instrumentais vão no sentido de uma melhor resolução de problemas. Como principal competência pessoal realça-se o raciocínio crítico. As principais competências sistémicas serão a criatividade e a capacidade em aplicar na prática os conhecimentos teóricos.

### **Organização**

A disciplina funcionará durante um semestre lectivo. Estão programadas 4 horas de aula por semana, sendo 75% das aulas do tipo teórico-prático e as restantes do tipo prático. Nas aulas teórico-práticas serão apresentados os vários assuntos da matéria e serão realizados exercícios de aplicação. As aulas práticas são reservadas para a resolução de exercícios práticos pelos alunos com supervisão do docente.

### **Avaliação**

Minitestes (25%); prova de avaliação final (75%).

## **2.3 Estruturas de Madeira e Alvenaria**

Responsável: Alfredo Dias

### **Descrição**

A disciplina pretende apresentar os conceitos fundamentais para a concepção, projecto e reabilitação de estruturas de madeira e alvenaria. Inicialmente serão apresentadas as noções mais importantes bem como as especificidades dos materiais que compõem este tipo de estrutura. Posteriormente serão apresentados os regulamentos que regem o projecto e dimensionamento das mesmas, nomeadamente o EC5 para as estruturas de madeira, EC6 para as estruturas de alvenaria e as normas conexas relevantes. A introdução destes conceitos será acompanhada, sempre que possível, de exemplificação com a apresentação de casos práticos e com a resolução de exercícios.

A aplicação destes conhecimentos será realizada através da elaboração de trabalhos práticos, baseados em situações reais, em que os alunos deverão conceber e dimensionar diversos componentes estruturais que cubram os assuntos leccionados na disciplina. Para desenvolver este trabalho serão utilizados programas de cálculo automático (Sap ou Robot) bem como ferramentas a desenvolver pelos alunos no âmbito da disciplina (ex: folhas de cálculo para verificação das disposições regulamentares). Este trabalho será desenvolvido não só durante as aulas mas também em períodos extra aulas. No período das aulas deverão ser definidos os aspectos estruturantes dos trabalhos com acompanhamento do docente, durante o período extra aulas os trabalhos deverão ser desenvolvidos com maior detalhe através do estudo de diferentes alternativas e complementados com os conhecimentos adquiridos em pesquisas sobre esses assuntos.

### **Organização**

A disciplina está organizada em aulas com uma vertente mais descritiva e aulas com uma vertente mais prática. As primeiras têm por objectivo a exposição das matérias enquanto que as segundas têm por objectivo o desenvolvimento trabalhos práticos. Os trabalhos práticos compreendem não só a aplicação dos conhecimentos adquiridos nas aulas mas também uma componente bastante forte de desenvolvimento de conhecimento realizada no espaço extra aulas.

### **Avaliação**

Frequências (40%) e trabalhos (60%).

## **2.4 Projecto Assistido por Computador**

Responsável: Adelino Vasconcelos Lopes

### **Descrição:**

A disciplina de Projecto Assistido por Computador tem como intenção principal criar um espaço de reflexão e discussão em torno de temas e questões fundamentais da prática actual de projecto de edifícios de Engenharia Civil, tendo em consideração quer a nova regulamentação aplicável quer o âmbito arquitectónico, empresarial e de mercado em que se insere. Os trabalhos a desenvolver pretendem, em particular, proporcionar aos futuros engenheiros a oportunidade de análise e dimensionamento de um edifício, nomeadamente, no que se refere à explicitação e concretização computacional de opções de concepção estrutural. Neste quadro, os principais objectivos do programa da disciplina de Projecto Assistido por Computador são:

- Reflexão e discussão em torno da aplicação dos Eurocódigos EC1990, EC1991, EC1992, EC1997 e EC1998 ao projecto de edifícios. Breve comparação à legislação Nacional (RSA e REBAP);
- Introdução à utilização do programa de cálculo estrutural SAP2000;
- Analisar, comparar e discutir os resultados obtidos de estruturas simples com base na utilização do Programa SAP2000;
- Promover a capacidade de realizar tarefas e sequências de situações de análise computacional, tais como a importação de dados, combinações de acções, visualização gráfica de resultados, exportação de resultados, etc.;
- Proporcionar aos futuros engenheiros instrumentos alternativos para o pré-dimensionamento;
- Promover a realização do projecto base de estruturas de edifícios envolvendo as seguintes fases.

### **Organização**

Todos estes trabalhos são compostos por uma componente escrita, onde deverá ser enumerado o objectivo a atingir, a metodologia mais adequada para o atingir, os resultados e conclusões, os quais correspondem em geral à apresentação do dimensionamento e desenhos daí resultantes.

### **Avaliação**

Exame final e trabalhos individuais.

## **2.5 Segurança ao Fogo de Estruturas**

Responsável: João Paulo Rodrigues

### **Descrição**

A segurança contra incêndio em edifícios tem vindo a merecer cada vez maior atenção, na sequência de ocorrências mais ou menos graves que periodicamente despertam a opinião pública. Com o objectivo de melhorar as condições de segurança contra incêndio em edifícios foi elaborada nos últimos anos a nível nacional regulamentação específica que trouxe algumas alterações na forma de projectar e de construir.

Paralelamente a aprovação das partes relativas ao cálculo estrutural ao fogo dos Eurocódigos Estruturais veio consubstanciar em métodos e regras de aplicação relativamente simples, os conhecimentos adquiridos nas últimas décadas sobre o comportamento das estruturas em situação de incêndio.

Esta disciplina visa dar formação aos alunos do Mestrado Integrado em Engenharia Civil nos vários aspectos da segurança contra incêndio em edifícios, e inclui uma apresentação e análise do Regulamento Nacional de Segurança Contra Incêndio em Edifícios e dos Eurocódigos sobre o cálculo estrutural ao fogo.

O aluno aprenderá a dimensionar ao fogo os diferentes tipos de estruturas: estruturas de betão (EC2), estruturas de aço (EC3), estruturas mistas aço-betão (EC4), estruturas de madeira (EC5), estruturas de alvenaria (EC6) e estruturas de alumínio (EC9).

### **Organização**

A disciplina funcionará com uma componente teórica de apresentação das diferentes matérias e uma componente prática de aplicação de conhecimentos.

O aluno realizará trabalhos práticos com temas de aplicação dos Eurocódigos Estruturais. ao longo do semestre.

### **Avaliação**

Exame final escrito - problemas sobre o dimensionamento ao fogo de estruturas (10 valores);  
Trabalhos práticos (10 valores)

## **3. TEMAS DE DISSERTAÇÃO**

### **3.1 Métodos Numéricos e Optimização**

Responsáveis: Luís Cruz Simões e João Negrão

#### **3.1.1- Estruturas Inteligentes (Adaptativas)**

Orientador: Luís Cruz Simões

Tipo: numérica / programação computacional

##### **Descrição**

Pretende-se melhorar o desempenho dinâmico de pontes de tirantes utilizando diversos dispositivos para o controlo activo. Ao contrário dos sistemas passivos em que se reduzem as vibrações utilizando dispositivos que absorvem ou dissipam energia, neste caso são estudados sistemas constituídos por materiais com determinadas propriedades, sensores e actuadores controlados através de algoritmos computacionais que provocam deslocamentos nos membros e apoios da estrutura de modo a reduzir os efeitos de carregamento na estrutura provocado por sismos e vento. Na base destes desenvolvimentos estão as metodologias aplicadas a estruturas flexíveis espaciais que têm vindo a ser aplicadas a estruturas de engenharia civil nomeadamente nas infra-estruturas das redes de alta velocidade. Vai ser analisada uma ponte tipo construída nos EUA para a qual foram disponibilizados pela ASCE os dados para servir de teste aos algoritmos propostos.

#### **3.1.2- Dimensionamento de Estruturas Utilizando Fiabilidade Estrutural**

Orientador: Luís Cruz Simões

Tipo: numérica / programação computacional

##### **Descrição**

Em paralelo aos Eurocódigos estruturais que são baseados em factores de segurança parciais (Nível I) o JCSS (*Joint Committee for Structural Safety*) desenvolveu códigos europeus para a análise e dimensionamento de métodos e estruturas com base no método dos segundos momentos (média, desvio padrão das distribuições probabilísticas das resistências e carregamento designado Nível II e a análise em que se admite um comportamento totalmente aleatório (Nível III). Os métodos de Nível II são muito populares nos países nórdicos enquanto que os de Nível III são essencialmente utilizados em estruturas importantes, designadamente plataformas offshore. Com esta dissertação pretende-se comparar o dimensionamento de uma estrutura utilizando estas três metodologias em alternativa.

#### **3.1.3- Optimização de Estruturas**

Orientador: Luís Cruz Simões

Tipo: numérica

#### Descrição

Para o projecto assistido por computador de estruturas dimensionadas por engenheiros mecânicos e aeronáuticos é habitual recorrer a algoritmos de optimização. Em engenharia civil é mais comum efectuar reanálises de uma forma mais ou menos cega até que sejam cumpridos os objectivos de dimensionamento. Não se considera o custo do material necessário ou a melhoria do comportamento da estrutura tendo em vista o tipo de acções que nela actuam. Neste trabalho são aplicados algoritmos de optimização para variáveis de decisão contínuas e discretas em estruturas reticuladas cujos nós têm um comportamento semi-rígido.

### **3.1.4- Métodos discretos de optimização estrutural**

Orientador: João Negrão

Tipo: numérica/programação computacional

#### Descrição

A optimização de problemas de variáveis discretas pode ser abordada por duas vias: a) tratando o problema como se de variáveis contínuas e ajustando à solução assim encontrada um conjunto aproximado de variáveis discretas que resulte numa solução ainda admissível, ou b) utilizando métodos discretos de natureza estocástica, que não exigem a continuidade nem a diferenciabilidade da função objectivo e se baseiam na avaliação de candidatos aleatórios, atingindo uma solução tendencialmente óptima com base num critério de selecção pré-estabelecido. Neste grupo inserem-se os algoritmos genéticos, as redes neuronais, os algoritmos evolucionários e outros.

O objectivo do tema proposto é o implementar um ou vários destes métodos, testando-o em aplicações de optimização estrutural, pretendendo-se assim criar paulatinamente uma biblioteca de rotinas genéricas de optimização que possam ser utilizadas numa diversidade de problemas.

## 3.2 Estruturas de Betão

Responsáveis: Sérgio Lopes e Adelino Vasconcelos Lopes

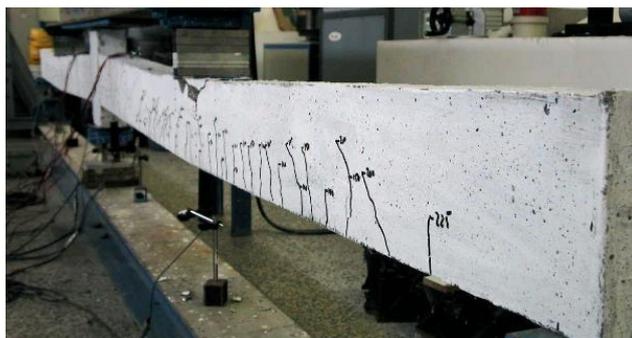
### 3.2.1- Comportamento de Vigas de Betão Armado: vários tópicos

Orientadores: Sérgio Lopes e Adelino Lopes

Tipo: laboratorial, numérico ou de síntese

#### Descrição

A ductilidade das vigas, mais especificamente a capacidade de rotação plástica das secções críticas, é incontornável para a realização de uma análise em que a distribuição de esforços é diferente da prevista pela análise linear elástica. Por isso os regulamentos exigem que, na análise linear com redistribuição de esforços, na análise não linear e na análise plástica, as secções críticas tenham determinadas características para garantir que essas secções são capazes de comportar as rotações plásticas necessárias para se atingir a distribuição de esforços idealizada, sem que previamente ocorra uma rotura local. No seguimento do trabalho de investigação que vem sendo realizado em Coimbra (ver Figura), este é um dos tópicos que se propõe. Outros tópicos dentro deste tema global poderão também dar origem a teses de mestrado. Como exemplo, o estudo do comportamento de vigas ao esforço transversal é um tema possível. A utilização das nanotecnologias poderá ser outro tópico a estudar. Caso o aluno contacte o orientador com muita antecedência (preferencialmente 4 meses antes do início dos trabalhos), será possível programar-se um conjunto de ensaios laboratoriais.



### 3.2.2- Lajes de Betão Armado

Orientadores: Sérgio Lopes e Adelino Lopes

Tipo: laboratorial, numérico ou de síntese

#### Descrição

As lajes de betão armado estão ainda mal estudadas no que respeita à evolução dos seus esforços internos. Por exemplo nas lajes vigadas, persistem algumas dúvidas, sobretudo na zona da ligação viga - laje. Essa distribuição é diferente para condições de carga de serviço ou de Estado Limite Último de Resistência. Há ainda alguma incerteza em saber-se até que ponto a perda de rigidez torsional das vigas corresponde efectivamente a um erro pouco significante

e que justifica o procedimento generalizado da não consideração de esforços de torção no dimensionamento destas peças (torção de compatibilidade). Na tese proposta estudar-se-á esta questão. No âmbito de uma outra tese de mestrado, já foram ensaiadas algumas lajes em Coimbra. No entanto, é ainda necessário prever um programa experimental para este tema.



### 3.2.3- Projecto de Edifícios de Betão Armado - Optimização da Geometria tendo em Consideração os Estados Limites de Serviço

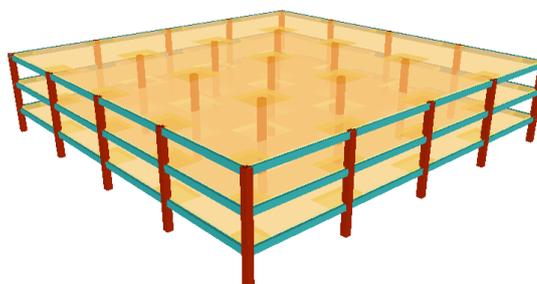
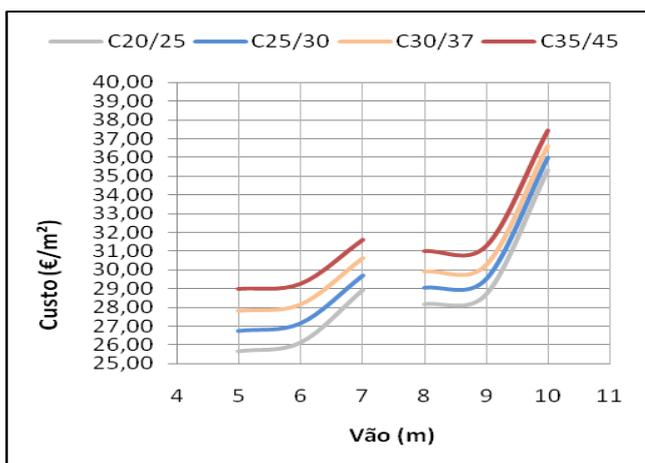
Orientadores: Sérgio Lopes e Luís Costa Neves

Tipo: numérico

#### Descrição

Este trabalho, predominantemente voltado para projecto de estruturas de edifícios de betão armado, surge na sequência de um trabalho anterior (Figuras) onde foram dimensionadas e medidas para quantificação do custo por  $m^2$ , diversas estruturas de betão armado, de um só tipo, mas com distintos vãos, espessuras, e tipos de laje.

Pretende-se agora incorporar no dimensionamento as limitações resultantes do estado limite de deformação excessiva de estruturas de BA.



### **3.2.4- Pré-fabricação: vários tópicos**

Orientador: Sérgio Lopes

Tipo: laboratorial, numérico ou de síntese

#### **Descrição**

A utilização da pré-fabricação na construção de Estruturas de Betão Armado tem crescido nos últimos anos, sobretudo ao nível de viadutos e pontes. Existem soluções típicas de pré-fabricação cujo dimensionamento requer um conjunto complementar de conhecimentos em relação às matérias que em geral são cobertas num curso de mestrado integrado em Engenharia Civil. Este tema pode dar origem a várias teses uma vez que existem vários tópicos que podem ser estudados. Como exemplo, a comparação das diversas soluções da indústria portuguesa para estruturas pré-fabricadas de passagens inferiores rodoviárias, é um dos temas que pode ser desenvolvido.

### **3.2.5- Avaliação computacional da fissuração em peças de BA**

Orientador: Adelino Vasconcelos Lopes

Tipo: Numérica

#### **Descrição**

Segundo os Eurocódigos, os Estados Limite de Utilização SLS, e em particular o controlo da fissuração, é uma das verificações a efectuar no dimensionamento de estruturas de Betão Armado. A avaliação da fissuração depende não só das características resistentes do betão e do aço, mas principalmente da distribuição das armaduras, correspondente recobrimento, e principalmente dos níveis de tensão instalados, os quais têm vindo a crescer principalmente por motivos económicos.

O regulamento europeu para o projecto de estruturas de BA, o Eurocódigo 2, propõe duas alternativas de verificação da segurança: a primeira recorrendo a requisitos simplificadas que permitem a dispensa do cálculo, ou, a segunda por recurso ao cálculo propriamente dito, confrontando o valor obtido com base em expressões mais ou menos complexas com um limite imposto.

Neste contexto pretende-se dar início ao desenvolvimento e implementação computacional de uma metodologia capaz de avaliar a fissuração no âmbito dos SLS de estruturas de BA, com o objectivo de confrontar com os requisitos simplificados de dispensa da verificação e/ou corrigir as referidas expressões indicadas do EC2.

### **3.2.6- Avaliação dos níveis de tensão em vigas de BA**

Orientador: Adelino Vasconcelos Lopes

Tipo: Numérica

#### **Descrição**

Segundo os Eurocódigos, os Estados Limite de Utilização SLS, e em particular a limitação das tensões nos materiais aço e betão, é uma das verificações a efectuar no dimensionamento de estruturas de Betão Armado BA. A avaliação dos níveis de tensão depende não só dos esforços instalados nestas peças de BA, os quais têm vindo progressivamente a aumentar por motivos económicos, mas principalmente das características resistentes do betão e do aço, para além da distribuição do aço no seio do betão.

Neste âmbito, o regulamento europeu para o projecto de estruturas de BA, o Eurocódigo 2, propõe diversos limites para a verificação da segurança relativamente aos quais se constatou existirem algumas incongruências. Contudo, esta regulamentação não fornece qualquer indicação para a avaliação destas tensões. Assim, esta avaliação tem sido normalmente efectuada recorrendo ao princípio estático de equilíbrio de tensões internas das secções da viga admitindo o comportamento linear dos materiais

Neste contexto pretende-se não só analisar os requisitos propostos no EC2 para as verificações de limitação de tensões, como também propor algumas expressões simplificadas para a avaliação rigorosa das tensões instaladas no betão e no aço nas peças de BA.

### **3.2.7- Análise e dimensionamento de paredes de contenção em edifícios de BA**

Orientador: Adelino Vasconcelos Lopes

Tipo: Numérica

#### **Descrição**

Actualmente, decorrendo da necessidade de se construir em altura, os edifícios são concebidos com um ou mais pisos “enterrados” no subsolo. Sendo esta disposição arquitectónica interessante, pelo menos ao nível da estabilidade das fundações, introduz contudo alguma dificuldade ao nível da concepção, análise e dimensionamento das paredes de contenção dos solos.

De acordo com a nova regulamentação (Eurocódigos), quer a definição das acções, quer a análise propriamente dita, carecem de algumas considerações adicionais no sentido de se proceder ao dimensionamento adequado deste tipo de elementos de BA. De salientar que, no caso do EC2, apenas algumas referências a paredes, que podem ser ou não de contenção, são indicadas no capítulo das disposições construtivas.

Neste contexto, importa agora desenvolver uma estratégia simplificada para estimar, quer as acções a considerar, quer os efeitos produzidos por estas acções, de modo a permitir uma eficiente avaliação dos valores dos esforços associados aos estados limites últimos e correspondente dimensionamento.

### **3.2.8- Actualização das tabelas de dimensionamento de secções de BA**

Orientador: Adelino Vasconcelos Lopes

Tipo: Numérica

#### **Descrição**

As tabelas de dimensionamento de secções de peças de betão armado usadas em Portugal, foram concebidas tendo por base o estipulado no Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP), em particular a classificação atribuída a cada classe de betão e o diagrama de comportamento do betão.

Entretanto, e por motivo das alterações impostas pelo Eurocódigo 2, nomeadamente as relativas às classes de betão, ao diagrama a assumir para o comportamento do betão e, principalmente, ao valor máximo a admitir para a tensão máxima de rotura à compressão, importa agora proceder à actualização dos valores tabelados necessários ao dimensionamento de secções de Betão Armado.

### **3.3 Estruturas de madeira e mistas madeira-betão**

Responsáveis: João Negrão e Alfredo Dias

#### **3.3.1- Resistência ao fogo de vigas mistas madeira-betão**

Orientador: João Negrão

Tipo: 80% modelação computacional; 20% programação

Descrição

As vigas mistas madeira-betão constituem uma interessante possibilidade de reabilitação e reforço de vigas ou pavimentos de madeira, obtendo-se pela ligação de uma lajeta de betão, destinada a funcionar como banzo comprimido, à viga de madeira. A ligação é geralmente realizada com conectores metálicos, mas pode igualmente recorrer-se a colagem com resinas epoxídicas ou outras colas estruturais. O objectivo do trabalho proposto consiste em investigar o comportamento ao fogo deste tipo de estrutura, numa primeira fase para a tipologia com conectores e, posteriormente, para a solução colada. Será estudada a evolução das isotérmicas em função do tempo e, com base nestas, nos métodos simplificados do EC5-1-2 e nas leis de variação de propriedades mecânicas dos materiais intervenientes em função da temperatura, avaliar-se-á a resistência residual das secções.

Nota: Este tema poderá eventualmente ser dividido por dois trabalhos.



#### **3.3.2- Modelação numérica de ligações resistentes a momentos**

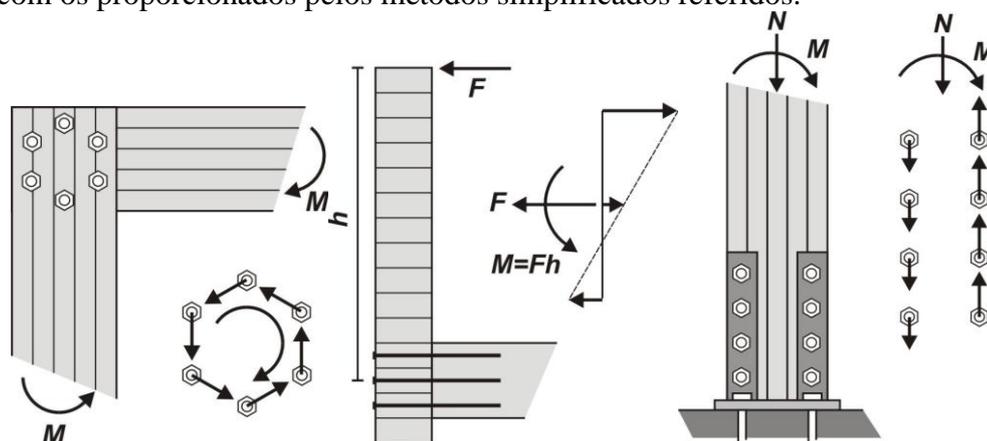
Orientador: João Negrão

Tipo: numérica (modelação)

Descrição

Embora evitáveis, sempre que possível, as ligações resistentes a momentos são necessárias nalgumas situações de projecto de estruturas de madeira, como nós de pórticos, guardas de pontes ou passadiços, configurando outros tantos modelos de comportamento mecânico. Os métodos de dimensionamento baseiam-se na assumpção de hipóteses simplificativas, que permitem a consideração de distribuições lineares de tensões. O presente tema consiste na

modelação por Elementos Finitos das configurações indicadas, para diferentes modelos constitutivos dos materiais intervenientes, e na comparação dos resultados assim obtidos com os proporcionados pelos métodos simplificados referidos.



### 3.3.3- Modelação numérica e avaliação experimental de estrutura de madeira em serviço

Orientadores: Alfredo Dias e Luís Jorge

Tipo: numérico / experimental

Descrição

Pretende-se com este trabalho avaliar o desempenho mecânico de uma estrutura de madeira em serviço (ponte ou cobertura). Este trabalho compreende a realização simulações numéricas a realizar com um programa de elementos finitos (ex: SAP). Os resultados destas simulações serão validados por comparação com os resultados obtidos com recurso a modelos analíticos. Esta avaliação compreende a inspeção e monitorização da estrutura e análise dos respectivos resultados (a realizar parcialmente pelo aluno). Os resultados obtidos nos ensaios/inspeções serão comparados com os obtidos numericamente de forma a para avaliar não só a aproximação do comportamento previsto mas também a validade dos pressupostos considerados na modelação e dimensionamento. Como resultado desta análise poderão ser sugeridas alterações a considerar futuramente nos modelos de dimensionamento, de forma a melhorar a aproximação dos seus resultados.



### **3.3.4- Avaliação experimental e numérica de ligações madeira-madeira com elementos de secção circular**

Orientador: Alfredo Dias

Tipo: levantamento de resultados / laboratorial

#### **Descrição**

Este trabalho enquadra-se num projecto de investigação actualmente em curso que tem como objectivo aplicação de madeira de Pinho bravo de secção circular, em utilizações estruturais. Pretende-se com este trabalho avaliar o desempenho mecânico de ligações madeira-madeira para elementos de secção circular realizadas com varões colados. A configuração base destas ligações está definida à partida, pretendendo-se neste trabalho avaliar quais as influências que eventuais imperfeições (ex: inclinação das faces, inclinação dos varões, existência de fendas etc...) podem ter no desempenho mecânico das ligações.

Neste trabalho serão realizadas, simulações numéricas (domínio elástico) com recurso a software de elementos finitos (abaqus). Inicialmente serão desenvolvidos modelos e realizadas simulações de ligações sem quaisquer imperfeições. Numa segunda fase serão introduzidas no modelo as imperfeições e realizadas as respectivas simulações. Com base nestes resultados será avaliada a influência de cada uma das imperfeições no comportamento mecânico das ligações. A validação dos resultados numéricos será baseada nos resultados experimentais existentes. Poderão ser realizados novos ensaios experimentais de ligações com imperfeições definidas à partida.



### **3.3.5- Dimensionamento de estruturas com elementos de secção circular**

Orientador: Alfredo Dias

Tipo: numérico

#### **Descrição**

Este trabalho enquadra-se num projecto de investigação actualmente em curso que tem como objectivo aplicação de madeira de Pinho bravo de secção circular, em utilizações estruturais. Tendo como ponto de partida as características dos elementos estruturais base, (propriedades mecânicas e características geométricas dos elementos e ligações), pretende-se avaliar as potencialidades deste tipo de elemento estrutural para diferentes tipologias estruturais. Este trabalho dá continuidade a um trabalho semelhante elaborado no ano transacto em que foram

analisadas coberturas com uso de sistemas treliçados espaciais. O trabalho inicia-se pela selecção da tipologia estrutural que será a base deste estudo. As propriedades dos elementos estruturais e respectivas ligações, serão utilizados para realizar dimensionamentos de diversas configurações dentro da tipologia seleccionada (sempre que possível baseados em possíveis aplicações reais). Pretende-se, no final do trabalho conhecer quais as capacidades e limitações deste sistema estrutural para a tipologia em estudo.



### **3.3.6 - Selecção e caracterização de madeira de secção circular para postes de linhas aéreas**

Orientador: Alfredo Dias

Tipo: Experimental

#### **Descrição**

Com este trabalho pretende-se realizar uma selecção e posterior caracterização de elementos de madeira de secção circular para aplicação em postes de linhas aéreas. É um trabalho essencialmente experimental com uma forte componente de caracterização e classificação de madeira. Numa primeira fase deverão ser seleccionados elementos de madeira de secção circular com características adequadas para uso em postes de linhas aéreas, tendo em atenção diversos aspectos, passíveis de ser avaliados visualmente de forma expedita.

Estes elementos serão detalhadamente caracterizados, nomeadamente no que respeita a características visuais (ex: dimensões, taxa de crescimento, nós e outros defeitos). Após essa caracterização os elementos serão sujeitos a ensaios destrutivos. Os resultados obtidos nestes ensaios serão analisados conjuntamente com os dados recolhidos na caracterização. Com base nessa análise serão propostas alterações aos vários parâmetros usados na selecção com o objectivo de otimizar as propriedades do material seleccionado.

### **3.4 Análise não linear de estruturas**

Responsável: Paulo Providência

#### **3.4.1- Análise e modelação da aderência aço-betão em estruturas de B.A.**

Orientadores: Paulo Providência e Ricardo Costa

Tipo: numérica / computacional

##### **Descrição**

Na análise estrutural estática de estruturas betão armado a aderência aço-betão tem um papel tão importante como o de cada um desses dois materiais de per si. Este tema insere-se num projecto de investigação cujo objectivo é o estabelecimento de modelos comportamentais rigorosos para nós de estruturas reticuladas de betão armado, visando a caracterização do seu funcionamento em função das suas características geométricas e mecânicas. Este trabalho é fundamentalmente numérico e apoiar-se-á num programa de cálculo automático já desenvolvido e disponível.



#### **3.4.2- Comportamento geométrica e materialmente não-linear de estruturas porticadas**

Orientadores: Paulo Providência e Pedro Gala (IPL)      Tipo: numérica / computacional

##### **Descrição**

A conjugação do método iterativo P-Delta (MPD) com qualquer software de cálculo estrutural constitui uma forma simples de incluir o efeito da não-linearidade geométrica de estruturas porticadas. O método das forças fictícias (MFF) generaliza o MPD introduzindo igualmente a não linearidade material, o que o qualifica para a análise não linear de estruturas reticuladas de qualquer tipo de material (betão armado, aço, alumínio, madeira, etc.).

O trabalho está focalizado na análise de estruturas simples de betão armado (pilares de pontes) e apresenta três objectivos: (i) validade da aproximação das relações constitutivas por uma lei com dois troços rectos; (ii) possibilidade da consideração de mais troços na aproximação da relação constitutiva; (iii) consideração de estruturas reticuladas com mais elementos, como estruturas em pórtico.

Este trabalho é fundamentalmente numérico e apoiar-se-á num programa de cálculo automático por elementos finitos já desenvolvido e disponível.

### 3.4.3- Análise de estruturas de alvenaria pelo mét. elementos discretos

Orientadores: Paulo Providência e Gilberto Rouxinol (IPV) Tipo: numérica / computacional

#### Descrição

O método dos elementos discretos é um método dirigido à análise de sistemas inerentemente discretos. Em Engenharia Civil este método revela-se fundamental para estudos no âmbito da geotecnia e também para a análise de estruturas em alvenaria, que constituem um sistema de blocos efectivamente discreto, o que dificulta a utilização de métodos especialmente vocacionados para a descrição contínua das estruturas como o método dos elementos finitos, O objectivo deste trabalho é a caracterização de estruturas de alvenaria, como paredes ou arcos, e sua análise em diversas circunstâncias, como quando sujeitas a patologias estruturais. Este trabalho essencialmente numérico apoia-se num programa de cálculo automático que se encontra disponível.

### 3.4.4- Contraventamento de vigas de secção de parede fina aberta susceptíveis de encurvadura lateral por flexão-torção

Orientador: Paulo Providência

Tipo: numérica / computacional

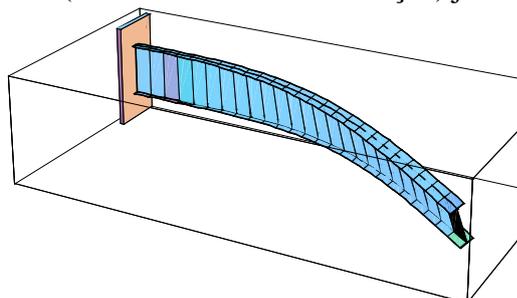
#### Descrição

A encurvadura lateral por flexão-torção (ou bambeamento) de uma viga é um fenómeno de instabilidade por bifurcação de equilíbrio associado à ocorrência simultânea de flexão no plano de menor inércia e de torção. As vigas de secção de parede fina aberta são particularmente susceptíveis a este fenómeno em virtude da sua reduzida rigidez à torção.

A distância entre secções contraventadas, a configuração local destes contraventamentos e as suas características mecânicas jogam um papel fundamental na resistência à encurvadura lateral por flexão-torção. Pretende-se neste trabalho (i) avaliar a eficiência de vários tipos de contraventamento, tanto em vigas não-prismáticas, de forma a identificar tipologias e disposições óptimas, (ii) estudar o efeito do contraventamento nas propriedades dinâmicas da viga e (iii) actualizar/complementar os procedimentos de verificação da segurança e as ferramentas de cálculo desenvolvidos no âmbito do Eurocódigo 3, de forma a que seja possível contemplar na prática de projecto a presença destes contraventamentos.

Outros tópicos a estudar / aprofundar neste tema: (a) estudo comparativo dos diversos tipos de contraventamento para estruturas deste tipo e respectiva análise de custos; (b) dimensionamento do contraventamento.

Este trabalho é fundamentalmente numérico, baseando-se num modelo matemático e em programas de cálculo automático (elementos finitos e colocação) já desenvolvidos.



Encurvadura lateral por flexão torção de consola com secção em I

### **3.4.5- O modelo escora-tirante na análise de estruturas de betão armado**

Orientador: Paulo Providência

Tipo: análise

#### **Descrição**

A verificação da segurança aos estados limites últimos de estruturas de betão armado pode ser feita com base no modelo escora-tirante, aplicação do princípio estático da análise limite. Neste trabalho serão analisados dois problemas específicos com vista ao estabelecimento de regras gerais simples para o seu dimensionamento óptimo.

### **3.5 Segurança ao Fogo de Estruturas**

Responsável: João Paulo Correia Rodrigues e João Negrão

#### **3.5.1- Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado**

Orientador: João Paulo Correia Rodrigues

Tipo:

##### **3.5.1.1 Modelo de Comportamento do Efeito de “Spalling” em Estruturas de Betão Armado.**

Nesta tese pretende-se de forma experimental e numérica estudar o fenómeno de Spalling e propor formas de o considerar nos métodos de cálculo previsto no EC2 parte 1.2 . Para isso com base nos resultados de alguns ensaios de resistência ao fogo em elementos de betão realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas do DEC e simulações numéricas realizadas com o programa de elementos finitos ABAQUS, tentar-se-á desenvolver um modelo de numerico-computacional de fissuração do betão a altas temperaturas.

##### **3.5.1.2 Caracterização do Efeito de “Spalling” em Elementos de Betão Auto-compactável.**

Neste tese pretende-se estudar de forma experimental o efeito de “spalling” em elementos de betão autocompactável. Os parâmetros a estudar serão a composição do betão, a idade do betão, a humidade, a geometria do elemento, a percentagem de carregamento e o tipo e quantidade de fibras mais apropriadas. Nos ensaios serão medidas as temperaturas, as tensões e as pressões a vários níveis, dentro da estrutura do elemento de betão.

Como complemento serão realizadas simulações numéricas utilizando o programa de elementos finitos ABAQUS ou ANSYS.

O resultado final deste trabalho será a produção dum manual para a fabricação de betões autocompactáveis de comportamento melhorado ao fogo.



### 3.5.1.3 Avaliação da Capacidade Resistente Residual de Elementos de Betão Após Incêndio.

Nesta tese pretende-se estudar a capacidade resistente residual dos elementos de betão armado após incêndio. Assim serão realizados alguns ensaios de estabilidade em elementos de betão após um ciclo de aquecimento – arrefecimento. Alguns elementos serão arrefecidos lentamente ao ar, outros serão arrefecidos bruscamente com água. Após arrefecimento os elementos serão levados à rotura e a capacidade resistente residual determinada.

Serão também realizadas simulações numéricas de comportamento de elementos de betão armado após aquecimento e arrefecimento . Para isso usar-se-á o programa de elementos finitos ABAQUS ou o ANSYS.

O desenvolvimento de métodos que permitam aos projectistas determinar duma forma expedita e rápida a resistência mecânica residual dos elementos após incêndio e assim escolher o melhor método de reparação para cada caso, é um dos principais objectivos.

### 3.5.1.4 Avaliação da Capacidade Resistente de Elementos de Betão Reparados Após Incêndio.

A determinação da capacidade resistente dos elementos reparados após incêndio é o objectivo deste trabalho. No Laboratório de ensaio de materiais e estruturas serão aquecidos alguns elementos no forno de resistência ao fogo e depois arrefecidos até à temperatura ambiente. Alguns elementos arrefecerão lentamente ao ar e outros arrefecidos bruscamente por água. Os elementos serão depois reparados usando algumas das técnicas de reparação mais comuns usadas na construção civil nacional. Alguns dos elementos reparados serão novamente

ensaiados em termos de resistência ao fogo, sendo outros ensaiados à rotura para determinação da sua capacidade resistente residual.

As técnicas de reparação a usar serão várias, destacando-se: o betão projectado, as preparações de fibras minerais projectadas, os rebocos à base de gesso, a colagem e fixação mecânica de chapas de aço e a colagem de laminados ou tecidos de fibras de carbono CFRP (carbon fiber reinforced plastic) ou de mantas ou fios de fibra de vidro GFRP (glass fiber reinforced polymer).

Serão também realizadas simulações numéricas de aquecimento e de comportamento ao fogo de elementos de betão armado reparados com vários materiais. Para isso usar-se-á os programas de elementos finitos ABAQUS ou ANSYS.

### **3.5.1.5 Comportamento ao Fogo de Pontes e Viadutos de Betão Após Rotura duma Conduto de Gás**

A utilização de gás natural em Portugal, obrigou nos últimos anos à construção duma rede de condutas extensa e complexa. Os prazos apertados e a redução de custos levou a que o traçado da rede nem sempre fosse o melhor. As condutas de gás natural tiveram que atravessar estradas, rios e vales. Em alguns casos esse atravessamento foi feito através da sua suspensão nas pontes e viadutos.

A rotura duma conduta de gás, acidentalmente ou por sabotagem, seguida de incêndio pode ter complicações nefastas para a estrutura do viaduto ou ponte. Para além da degradação do betão com o aquecimento e dos vulgares danos por “spalling” do betão, desenvolver-se-ão importantes esforços de origem térmica na estrutura que poderão ter consequências mais complicadas para a estrutura da ponte. Este trabalho envolve um estudo numerico-computacional de simulação do comportamento ao fogo de pontes em caso de rotura duma conduta de gás.

## **3.5.2- Estruturas de Aço e Mistras Aço-Betão**

### **3.5.2.1 Instabilidade a Altas Temperaturas de Pilares de Aço e Mistos de Aço – Betão.**

Este trabalho engloba uma parte numérica e uma parte experimental de instabilidade de pilares de aço e mistos aço betão a altas temperaturas. Ao nível experimental serão realizados alguns ensaios de instabilidade a altas temperaturas para diferentes condições de rigidez da

estrutura circundante, tanto à dilatação axial como à rotação. Neste ensaios o pilar será aquecido até determinado nível de temperatura, atingido essa temperatura, aumentar-se-á a carga até à sua rotura. Os ensaios permitir-nos-ão determinar as cargas de instabilidade a cada temperatura dum determinado tipo de pilar e conseqüentemente determinar o seu comprimento de encurvadura para essa temperatura.

Os resultados dos ensaios experimentais em conjunto com simulações numéricas e analíticas permitirão verificar da validade dos valores indicados nos Eurocódigos 3 e 4 para o comprimento de encurvadura a altas temperaturas de pilares de aço e mistos de aço e betão.

### 3.5.2.2 Resistência ao Fogo de Elementos de Aço Enformados a Frio.

Neste trabalho pretende-se estudar o comportamento ao fogo ao fogo de perfis de aço galvanizado enformado a frio, tanto ao nível numérico como experimental. Assim no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas do DEC/FCTUC, realizar-se-ão alguns ensaios experimentais de resistência ao fogo em pilares e vigas deste tipo de material. Nos ensaios serão medidas as temperaturas, as forças de restrição geradas, as deformações e a resistência ao fogo dos elementos.



O trabalho de investigação será depois seguido dum conjunto de simulações numéricas com recurso aos programas de elementos finitos ABAQUS e ANSYS.

Com os resultados deste trabalho de investigação pretende-se propor um método simplificado de cálculo para dimensionamento deste tipo de secções que possa ser considerado em futuras revisões do EC3 parte 1.2.

### 3.5.3- Estruturas de Madeira

#### 3.5.3.1 Comportamento ao Fogo de Ligações em Elementos de Madeira.

Neste trabalho pretende-se estudar sob a forma numérica e experimental o comportamento ao fogo de alguns tipos de ligações em elementos de madeira. Serão realizados no Laboratório de Ensaio de Estruturas e Materiais do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, alguns ensaios mecânicos a altas temperaturas em ligações de elementos de madeira. Nestes ensaios serão estudadas tanto ligações com elementos mecânicos como ligações coladas. Pretende-se com o trabalho desenvolver ligações de comportamento melhorado ao fogo.

Estes ensaios serão depois complementados com simulações numéricas com recurso ao programa de elementos finitos ABAQUS ou ANSYS para confirmação dos resultados obtidos.

Espera-se que este estudo permita o desenvolvimento de métodos simplificados de cálculo para avaliação da resistência de alguns tipos de ligações em estruturas de madeira em situação de incêndio.

### 3.5.3.2 Comportamento ao Fogo de Elementos de Madeira Reforçados Segundo Várias Técnicas.

Neste trabalho pretende-se estudar sob a forma numérica e experimental o comportamento ao fogo de elementos de madeira reforçados. Serão realizados no Laboratório de Ensaio de Estruturas e Materiais do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, ensaios de resistência ao fogo e ensaios mecânicos a altas temperaturas e após aquecimento e arrefecimento em elementos de madeira reforçados segundo diferentes técnicas. As técnicas de reforço a estudar serão os cabos de aço pré-esforçados, chapas de aço coladas ou fixadas com elementos mecânicos, laminados ou tecidos de fibras de carbono CFRP (carbon fiber reinforced plastic) ou de mantas ou fios de fibra de vidro GFRP (glass fiber reinforced polymer) colados com epoxi ou varões de aço colados com epoxi.

Estes ensaios serão depois complementados com simulações numéricas, realizadas com auxílio aos programa de elementos finitos ABAQUS ou ANSYS.

Espera-se que este estudo permita o desenvolvimento de métodos simplificados de cálculo de avaliação da resistência mecânica ao fogo de elementos de madeira reforçados. Estes métodos devem ser de fácil aplicação pelo projectista comum.

### 3.5.4- Outros Temas

#### 3.5.4.1 Protecção ao Fogo de Elementos de Aço com Gesso Reforçado com Fibras.

Neste trabalho pretende-se desenvolver um sistema de protecção à base de gesso reforçado com fibras para isolamento de elementos de aço. O material a desenvolver terá que ser tão isolante quanto possível, com resistência mecânica a frio e a quente e de preço mais baixo que as soluções actualmente existentes no mercado. Este material deverá ter propriedades que permitam a sua aplicação aos elementos construtivos de forma manual, projectado ou através de “coquilhas” pré-fabricadas.

Nos laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas do DEC serão ensaiados ao fogo alguns elementos de aço, protegidos com os materiais de protecção desenvolvidos no âmbito deste trabalho de investigação.

O trabalho experimental será complementado com um estudo numérico de simulação do aquecimento de elementos de aço protegidos com materiais à base de gesso com recurso aos programas de elementos finitos ANSYS e/ou ABAQUS.



#### 3.5.4.2 Comportamento ao Fogo de Elementos de GFRP.

Neste trabalho serão realizados ensaios experimentais e desenvolvidos modelos numéricos de modo a estudar o comportamento ao fogo de perfis de GFRP. Serão também desenvolvidos diferentes tipos de sistemas passivos (revestimentos intumescentes e inorgânicos, placas de gesso) e activos (arrefecimento por circulação de ar ou água) de protecção ao fogo, cuja eficácia será avaliada experimental e numericamente.

O estudo numérico será realizado com apoio dos programas de elementos finitos ABAQUS ou ANSYS.

3.5.4.3 Caracterização das Propriedades Mecânicas a Altas Temperaturas ou Após Incêndios dos Aços para Betão Armado e Pré-esforçado ou dos Betões usados na Construção Civil Nacional.

3.5.4.4 Comparação de Resultados Utilizando os Métodos Simplificados e os Métodos Avançados de Cálculo.

3.5.4.5 Programação dos métodos simplificados de cálculo dos EC2, ou EC3, ou EC4, ou EC5 ou EC9.

3.5.4.6 Estudo comparativo da resistência ao fogo dos materiais de construção correntes.

Orientador: João Negrão

Tipo: numérico/computacional (modelação)

#### Descrição

Cada material de construção estrutural apresenta vantagens e desvantagens comparativas, no respeitante ao comportamento em situação de incêndio. A baixa condutibilidade térmica da madeira confere-lhe uma prolongada resistência ao fogo, em termos de tempo, mas a combustibilidade do material origina o seu consumo no processo e a libertação de gases tóxicos. O aço tem uma elevada condutibilidade térmica, pelo que não dispensa o uso de revestimentos protectores, sem o que a sua resistência diminui drasticamente num curto intervalo de tempo. O betão é incombustível e pode, inclusivamente, ser frequentemente reutilizado após uma situação de incêndio, mas a elevada massa das secções correntes torna-as frequentemente inadequadas para muitas situações de risco, como coberturas.

O objectivo deste trabalho é o de definir soluções, com os três materiais, para situações típicas de projecto (viga, laje, montante) e, utilizando os métodos especificados nas partes 1-2 dos EC2, EC3, EC4 e EC5 (e, eventualmente, os EC6 e EC9) fazer o estudo comparativo dessas soluções.

