

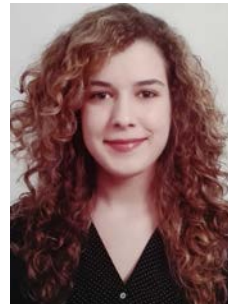
Estruturas porticadas de edifícios em betão armado em Portugal: amostragem e efeitos da aplicação da regulamentação europeia



Paulo B. Lourenço¹



Paula Assis²



Ana Rei³

Resumo

No presente artigo realiza-se, inicialmente, uma análise de projetos de estruturas de uma amostra com cerca de 160 edifícios entre 1 e 8 pisos, em termos de materiais utilizados, regulamentação aplicada e outras características relevantes. Para esta amostra, obtêm-se indicadores de consumo de betão e aço, e custo, na estrutura porticada dos edifícios, quer no caso da aplicação da regulamentação nacional (REBAP e RSA), quer no caso da aplicação das novas normas europeias (Eurocódigos). Em seguida, efetua-se uma análise paramétrica incluindo a localização dos edifícios, o tipo de aço, a classe de resistência do betão e a classe de ductilidade.

Concluiu-se que os projetistas parecem continuar a utilizar quase exclusivamente a regulamentação nacional em projetos de edificação corrente de betão armado (apesar da introdução das normas europeias em 2004), pois, a sua utilização representa 94% dos edifícios em análise.

Concluiu-se ainda que as novas normas europeias não introduzem alterações relevantes no custo da estrutura porticada, caso se adote uma classe de ductilidade baixa. As normas europeias exigem uma classe de ductilidade média para a maior parte do país, apesar de alguma flexibilidade do Anexo Nacional do Eurocódigo 8. Caso se adote esta classe, o acréscimo da quantidade de aço é cerca de 40% na estrutura porticada. Incluindo as lajes e fundações, o custo da construção aumenta apenas cerca de 5%. Admitindo, no entanto, que o custo global da estrutura e fundações possa representar cerca de 30% do valor total da construção, verifica-se que a passagem da regulamentação nacional para as normas europeias (ductilidade média) se traduz num aumento de custo na construção inferior a 1,5%.

Palavras-chave: CYPECAD; ductilidade; indicadores de consumo; custo de construção

¹ Universidade do Minho, ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal; e-mail: pbl@civil.uminho.pt

² Top - Informática, Lda., Braga, Portugal; e-mail: paula.assis@topinformatica.pt

³ Universidade do Minho, ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal; email: reimargaridaana@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os Eurocódigos foram desenvolvidos, a nível europeu, tendo em vista a uniformização de requisitos sobre ações, segurança, utilização e durabilidade das estruturas, encontrando-se ainda sem formalização na legislação portuguesa. Os Eurocódigos são atualmente utilizados em Portugal pelas instituições de ensino superior e por projetistas que procuram respostas complementares aos regulamentos nacionais. São também utilizados por obrigatoriedade, constante em eventuais cadernos de encargos, ou simplesmente pela vontade de conhecer e aplicar a nova regulamentação.

A Top, empresa responsável pela conceção e distribuição do software CYPE em Portugal, regista anualmente em média 10 600 ocorrências de assistência técnica (desde 2003), 10% envolvem a análise de obras que são enviadas pelos utilizadores. Ao longo de 25 anos de história, a Top enriqueceu a sua base de dados de obras que, com permissão dos utilizadores, são utilizadas internamente para testes ao *software*, bem como para análises e cálculos com objetivos específicos.

A vasta base de dados de modelos de edifícios reais permite obter inúmeras respostas relativamente aos dados das obras e resultados de cálculo. No presente trabalho, foi selecionada uma amostra de edifícios, da base de dados de obras da Top, tendo como objetivo nomeadamente a análise do nível de utilização dos Eurocódigos e dos regulamentos REBAP e RSA. A partir da amostra global foi realizada uma análise paramétrica de modo a avaliar o impacto da variação dos dados das obras ao nível das quantidades de aço necessárias e custo de construção.

Os Eurocódigos apresentam requisitos que conduzem a resultados distintos relativamente aos que se obtêm com os regulamentos REBAP e RSA. Avaliar esta diferença e as suas implicações do ponto de vista económico tem sido uma preocupação clara dos projetistas. Os cálculos efetuados aos edifícios da amostra permitiram obter indicadores de consumo de materiais e resultados económicos, procurando dar resposta a uma questão premente para os projetistas e donos de obra.

2. AMOSTRA DOS EDIFÍCIOS

Foram selecionados 20 edifícios de 1 a 8 pisos, Fig. 1, totalizando uma amostra de 160 edifícios, cuja categoria de utilização de espaços corresponde a “Compartimentos destinados a utilização de carácter privado” (RSA - Art.º 35) e “Atividades domésticas e residenciais” (EC1 - Parte 1-1 - 6.3.1.1). Para cada um dos edifícios foram recolhidos os dados gerais, tais como: ano de elaboração do projeto; área total por número de pisos; classe de betão; tipo de aço; normas e zona sísmica. Estes dados foram tratados e analisados, e os resultados apresentam-se na secção 3.

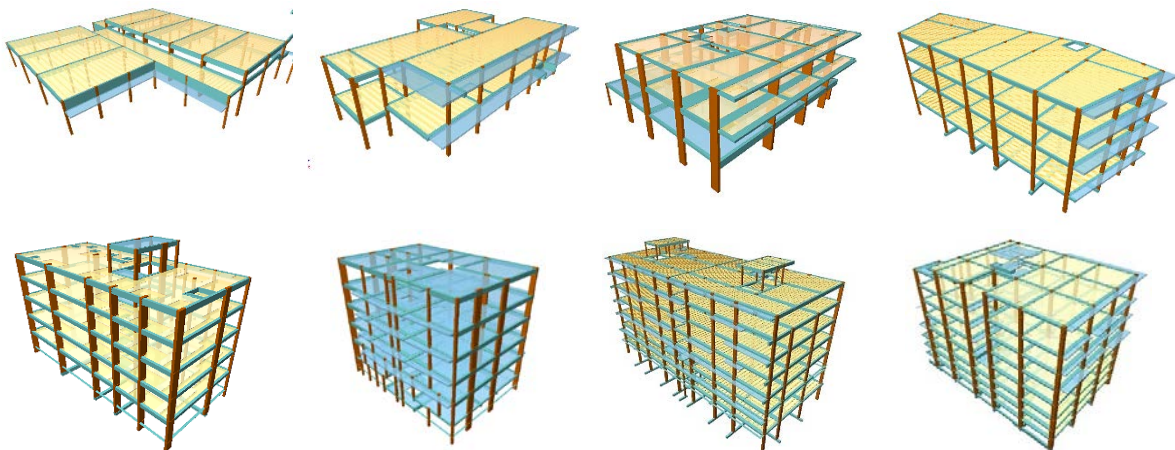


Figura 1. Exemplos dos edifícios de 1 a 8 pisos.

2.1. Análise da amostra

A Fig. 2 apresenta a percentagem de edifícios da amostra relativamente ao ano de elaboração do projeto. Pode-se observar que os anos 2008, 2009 e 2010 correspondem a 3 anos sucessivos de maior incidência da amostra, não obstante a mesma ser aleatória. É provável que neste período se tenha produzido o maior número de projetos de edificação corrente em Portugal, pois, corresponde aos anos de maior número de ocorrências da assistência técnica (média de 13 400 registos anuais).

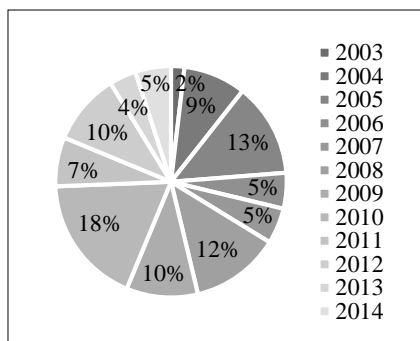


Figura 2. Ano de elaboração do projeto.

A Fig. 3 apresenta uma distribuição das áreas dos edifícios por número de pisos. Este gráfico evidencia a aleatoriedade dos edifícios da amostra, apesar de alguma concentração em edifícios com área de construção baixa e poucos pisos. É ainda notória alguma relação entre a área total de construção e o número de pisos.

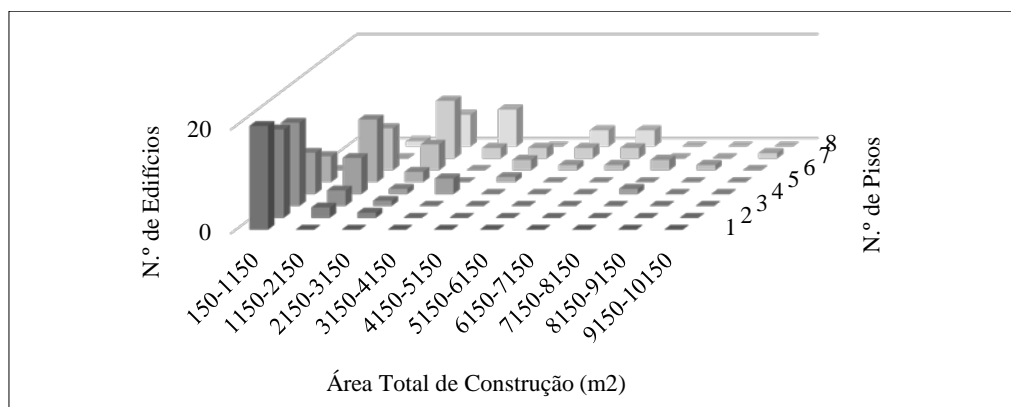


Figura 3. Área de construção por número de pisos dos edifícios.

Na Fig. 4 observam-se as percentagens de cada classe de betão e tipo de aço utilizadas nos projetos dos edifícios. Verifica-se que 49% dos edifícios em análise utilizam betão da classe C20/25 e 79% utilizam o aço A400.

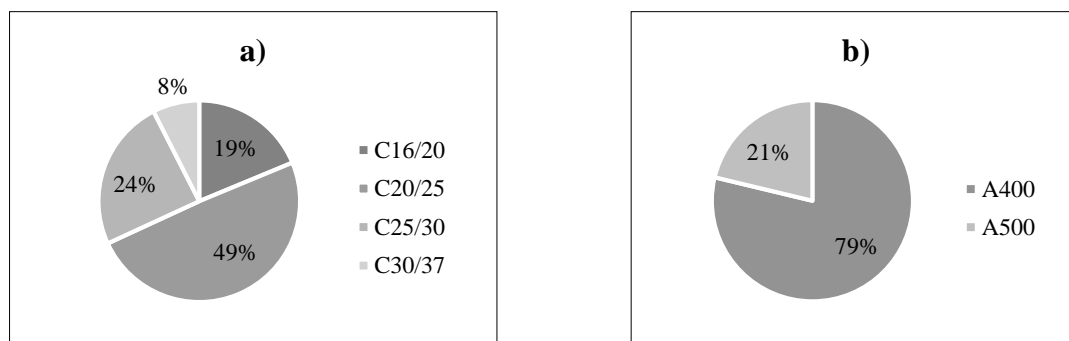


Figura 4. a) Classes de betão; b) Tipo de aço.

Uma vez que não existe oficialmente nenhuma informação sobre o número de projetos realizados com os Eurocódigos face ao REBAP e RSA, entendeu-se ser importante abordar o assunto neste trabalho. A Fig. 5 a) apresenta as normas utilizadas no cálculo e dimensionamento dos edifícios da amostra. Surpreendentemente verifica-se que 94% dos projetos são realizados com os regulamentos REBAP e RSA e apenas 4% utilizam integralmente os Eurocódigos. Estes dados permitem concluir que ainda poucos projetistas utilizam as novas normas. Uma vez que não existe obrigatoriedade relativamente à utilização dos Eurocódigos e, provavelmente, face ao aumento de custo e novo zonamento sísmico, os projetistas não se encontram motivados para a sua utilização.

A Fig. 5 b) mostra o zonamento selecionado. Dado o reduzido número de edifícios realizados com os Eurocódigos, apresenta-se apenas o zonamento selecionado para o RSA. Conclui-se que 52% dos projetos são realizados para a zona A e 33% para a zona D, como seria de esperar face à localização das maiores cidades do país. As zonas B e C surgem com menor peso.

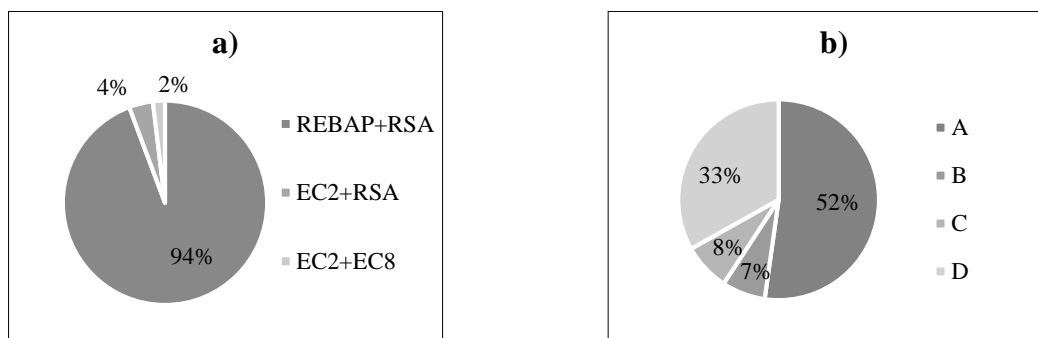


Figura 5. a) Regulamentos e Normas; b) Zonamento sísmico segundo o RSA.

2.2. Software CYPECAD

O CYPECAD é o programa da biblioteca CYPE utilizado para o cálculo e dimensionamento das estruturas dos edifícios da amostra. O CYPECAD trabalha em conceito BIM, a sua integração com *softwares* da biblioteca CYPE permite gerar o modelo BIM desde o projeto da estrutura até ao orçamento, caderno de encargos, plano de manutenção e sustentabilidade. No presente trabalho para além do cálculo e dimensionamento das estruturas obtêm-se preços com vista à determinação de indicadores de consumo de materiais da estrutura e custos totais.

O CYPECAD é um programa vocacionado para o projeto de edificação corrente, com estruturas de betão armado e mistas, com geração automática das ações verticais e horizontais, e com discretização automática da estrutura. O programa contém opções que permitem configurar parâmetros de cálculo e dimensionamento para os vários elementos estruturais: lajes de piso e de fundação, escadas, vigas, pilares, paredes, sapatas e maciços de encabeçamento de estacas.

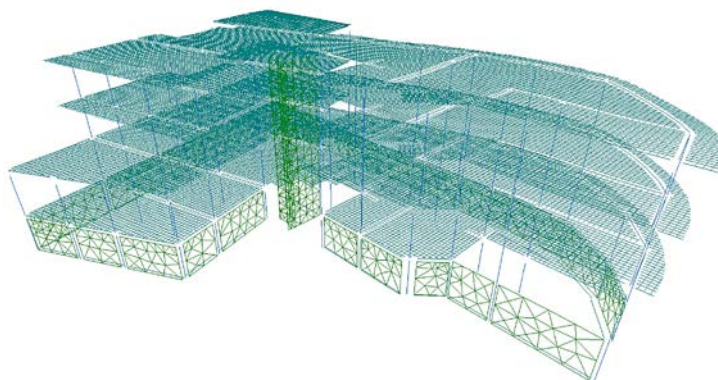


Figura 6. Edifício discretizado pelo CYPECAD.

Para efetuar a análise dos resultados, podem-se realizar consultas no ambiente de trabalho do CYPECAD, criar listagens para a impressora ou ficheiro para edição. As armaduras resultantes do dimensionamento são personalizáveis.

3. INDICADORES DE CONSUMO DE MATERIAIS PARA A ESTRUTURA

Pretende-se apresentar indicadores de consumo de aço para a estrutura dos edifícios de cada grupo de pisos, utilizando os regulamentos REBAP e RSA, e os Eurocódigos. Antes de efetuar os vários cálculos dos edifícios foi necessário rever, verificar e validar os dados das obras, ao passar de uma regulamentação para a outra. Neste processo é necessário garantir que os dados são equivalentes, pois, só assim os resultados serão comparáveis.

Visto que a amostra geral de edifícios estava genericamente preparada pelos seus utilizadores para a combinação REBAP e RSA, no estabelecimento da respetiva correspondência ao Eurocódigo 8 definiu-se que a ductilidade normal, segundo o RSA, seria correspondente à ductilidade baixa, de acordo com o Eurocódigo 8. Desta forma, admite-se que se garante um nível de ductilidade equivalente.

Consideram-se as mesmas secções de betão quer para a regulamentação nacional quer para as novas normas e analisa-se a variação do aço. As Figs. 7 e 8 representam os indicadores de consumo de betão, relativamente à área de construção, para vigas, pilares e pórticos. Não se faz a distinção entre regulamentos, uma vez que as secções são iguais.

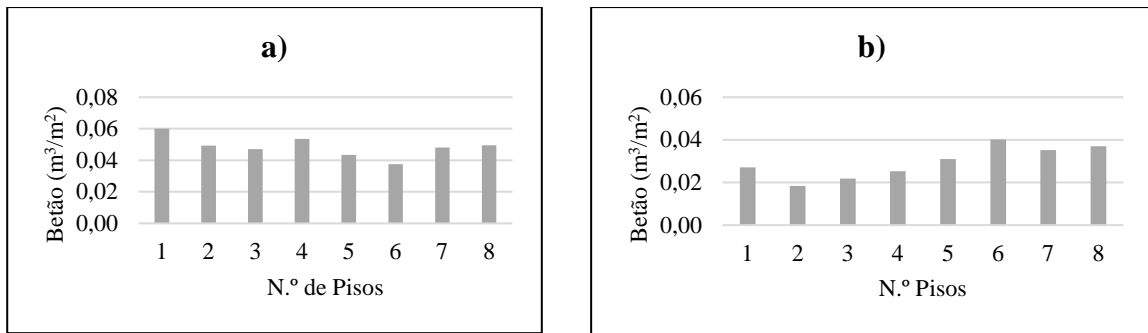


Figura 7. Indicadores de consumo de betão por m^2 de construção. a) Em vigas. b) Em pilares.

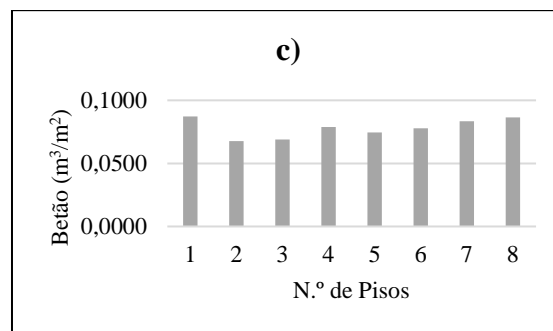


Figura 8. Indicador de consumo de betão em pórticos por m^2 de construção.

Os indicadores de consumo de aço são agora apresentados, Figs. 9, 10 e 11. Primeiramente para vigas e pilares e depois para pórticos, estes são apresentados para a regulamentação nacional e para as novas normas, por área de construção e volume de betão.

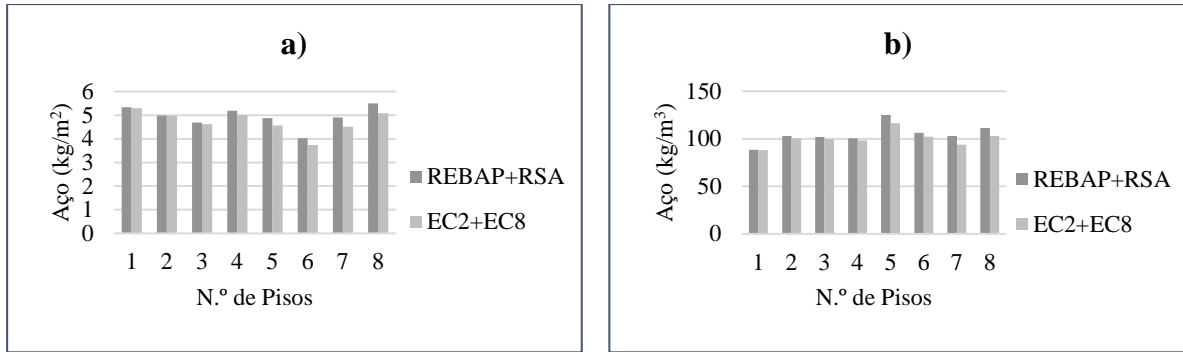


Figura 9. Indicadores de consumo de aço em vigas. a) Por m² de construção. b) Por m³ de betão em vigas.

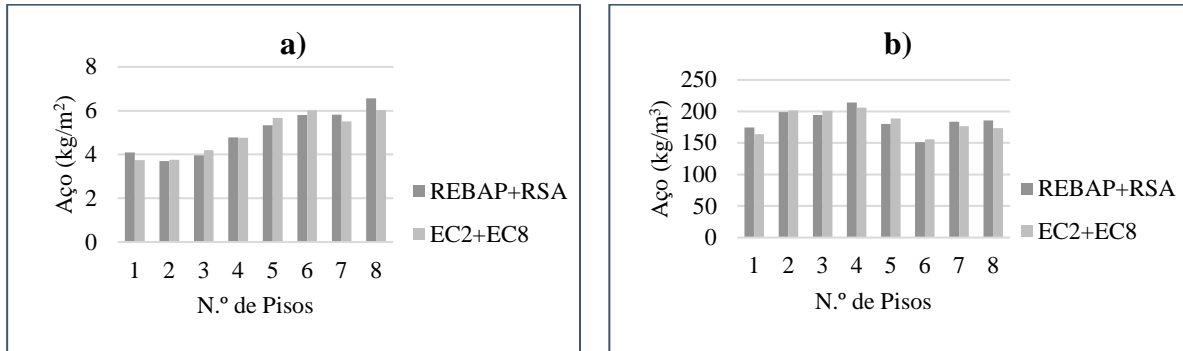


Figura 10. Indicadores de consumo de aço em pilares. a) Por m² de construção. b) Por m³ de betão em pilares.

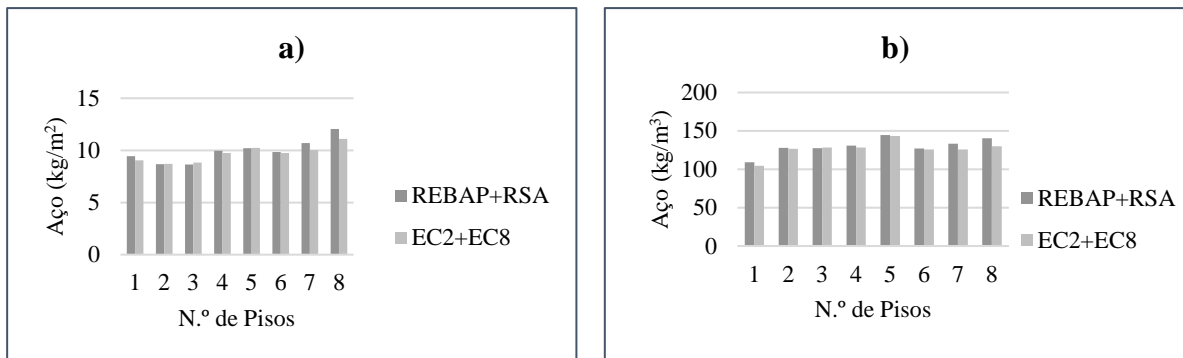


Figura 11. Indicadores de consumo de aço em pórticos. a) Por m² de construção. b) Por m³ de betão em pórticos.

No que concerne aos indicadores de consumo de aço por m² de construção, no caso das vigas, o dimensionamento segundo o REBAP e RSA origina valores 5% superiores quando comparados com os dos Eurocódigos. No caso dos pilares, conclui-se que são cerca de 1% superiores. Ao nível dos pórticos os valores do dimensionamento segundo o REBAP e RSA são 3% superiores aos dos Eurocódigos.

Relativamente aos indicadores médios de consumo de aço por m³ de betão, no caso das vigas, conclui-se que os valores obtidos segundo o REBAP e RSA são 5% superiores aos dos Eurocódigos. No caso dos pilares não se observa variação percentual significativa. Ao nível dos pórticos os valores do dimensionamento segundo o REBAP e RSA são superiores em cerca de 3% quando comparado com os Eurocódigos.

Ao observar os resultados obtidos para os vários pisos, verifica-se que não existe uma relação linear entre estes. Isto deve-se ao tamanho da amostra, pois parece revelar-se pequeno. Note-se que se trata de edifícios de obras reais. Não existindo tal linearidade optou-se por determinar indicadores de consumo globais, estes representam os valores médios obtidos através dos vários edifícios da amostra.

O Quadro 1 apresenta os valores dos indicadores de consumo globais. No caso do betão apresentam-se por m² de construção. No caso do aço apresentam-se por m² de construção e por m³ de volume de betão.

Quadro 1. Indicadores de consumo globais.

Elemento	Betão[m ³ /m ²]		Aço[Kg/m ²]		Aço [kg/m ³]	
	REBAP+RSA=EC2+EC8	REBAP+RSA	EC2+EC8	REBAP+RSA	EC2+EC8	
Vigas	0,0486	4,94	4,72	104,96	100,18	
Pilares	0,0295	5,01	4,96	185,49	183,36	
Pórticos	0,0781	9,94	9,68	130,10	126,58	

4. ANÁLISE PARAMÉTRICA

Neste capítulo desenvolve-se uma análise paramétrica de modo a avaliar o impacto da variação dos dados das obras ao nível das quantidades de aço necessárias. Consideram-se relevantes para esta análise os seguintes dados: localização dos edifícios, tipo de aço, classe de resistência do betão e classe de ductilidade. A análise paramétrica realiza-se para as novas normas.

Para o efeito considerou-se uma amostra com apenas os edifícios de 4 pisos, representando este número de pisos um valor intermédio relativamente à amostra inicial. Os resultados apresentam-se em comparação com os valores de referência, obtidos na secção 3 para os Eurocódigos, para o mesmo número de pisos. No caso da ductilidade os dados de referência coincidem com os cálculos para classe de ductilidade baixa, efetuados na secção 3, dado ter sido esta a ductilidade selecionada ao efetuar a equivalência dos dados da regulamentação nacional para as novas normas.

A Fig. 13 mostra a quantidade de aço em vigas e pilares por distrito. Foram estudados os distritos do Porto e Lisboa porque estes são os dois distritos de maior importância do ponto de vista de habitantes, e com diferenças muito significativas ao nível da ação sísmica. Verifica-se um acréscimo total de quantidade de armadura, do Porto para Lisboa, de 28%.

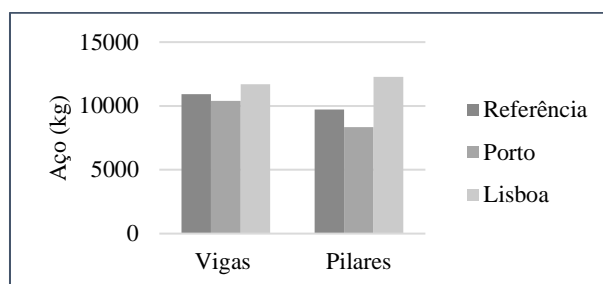


Figura 13. Quantidade de aço em vigas e pilares por distrito.

A Fig. 14 apresenta a quantidade de aço em vigas e pilares por tipo de aço. Verifica-se no total um decréscimo de 5% ao passar do aço A400 para o A500.

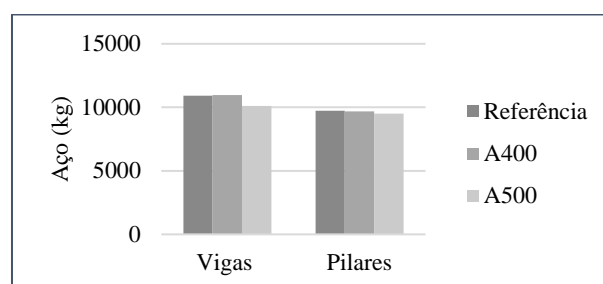


Figura 14. Quantidade de aço em vigas e pilares por tipo de aço.

Na Fig. 15 observa-se a quantidade de aço em vigas e pilares por classe de betão. Verifica-se no total um decréscimo da quantidade de armadura, do C20/25 para C25/30, de 2%.

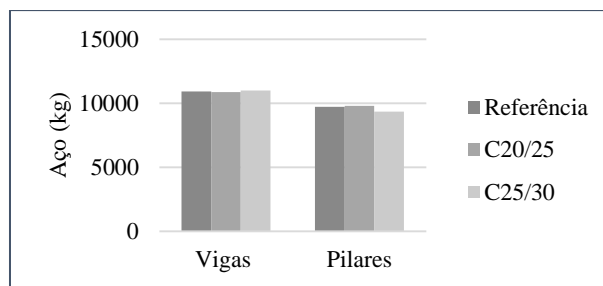


Figura 15. Quantidade de aço em vigas e pilares por classe de betão.

A Fig. 16 mostra a quantidade de aço em vigas e pilares para as classes de ductilidade baixa, média e alta. Verifica-se um acréscimo total de quantidade de armadura de 40% quando a ductilidade passa de baixa para média e um acréscimo de quantidade de armadura de 66% quando a ductilidade passa de baixa para alta.

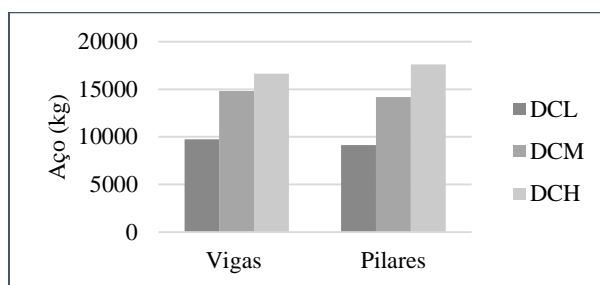


Figura 16. Quantidade de aço em vigas e pilares por classe de ductilidade.

Tal como referido a análise paramétrica permite-nos avaliar o impacto da variação dos dados das obras. A análise efetuada permite concluir que, no que concerne à ação sísmica, tanto a classe de ductilidade como a localização são parâmetros com impacto, que se traduz num aumento de custo da obra. Relativamente aos restantes parâmetros, conclui-se que o seu impacto não tem significado.

5. ANÁLISE ECONÓMICA

Adicionalmente para a análise económica consideram-se as quantidades de cofragem necessárias para os elementos estruturais. A quantidade de cofragem é determinada a partir dos rendimentos definidos na base de dados interativa Gerador de Preços CYPE. Utiliza-se esta mesma base de dados para a obtenção dos preços do betão, do aço e da cofragem.

O Gerador de Preços CYPE fornece, entre outros dados: rendimentos de materiais, maquinaria e mão-de-obra; preços compostos; instruções de utilização e manutenção; especificações técnicas para caderno de encargos; energia incorporada e emissões de CO₂; custos de manutenção decenal e resíduos gerados. Os preços dependem de vários fatores, tais como: localização geográfica da construção; área dos pisos e total; tipologia da obra; número de pisos e condições de mercado. O Gerador de Preços CYPE encontra-se disponível na internet, tem cerca de 1500 consultas diárias, e é gratuito.

5.1. Comparação de custos entre a regulamentação nacional e as novas normas

Pretende-se dar uma resposta sobre o impacto do ponto de vista dos custos, resultante da passagem da regulamentação nacional para as novas normas, ao nível da estrutura porticada, admitindo dados equivalentes, quer para o REBAP e RSA, quer para os Eurocódigos, incluindo a ductilidade.

Para a análise económica consideram-se as quantidades de betão e aço identificadas para o cálculo dos indicadores de consumo, realizado na secção 3, e as quantidades de cofragem calculadas com base no Gerador de Preços CYPE.

A Fig. 17 apresenta, para a estrutura porticada, o custo da cofragem, betão, aço e betão armado, por m² de construção, resultante dos cálculos efetuados para o REBAP e RSA e para os Eurocódigos. O custo de betão armado corresponde somente ao somatório dos materiais enumerados. Conclui-se através da leitura dos gráficos da Fig. 17, que as novas normas não introduzem alteração relevante ao custo da estrutura porticada.

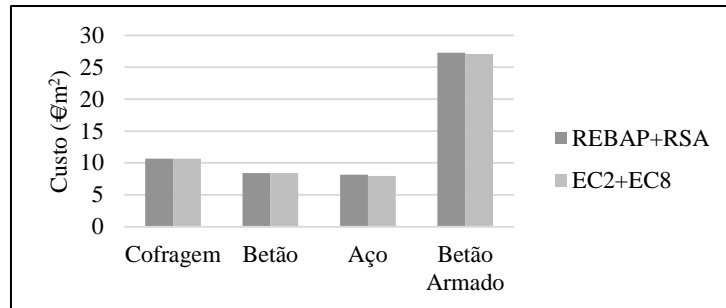


Figura 17. Custo de cofragem, betão, aço e betão armado da estrutura porticada por m² de construção.

5.2. Comparação de custos entre as classes de ductilidade

Na Fig. 18 pode-se observar o custo do betão armado da estrutura porticada, por m², para as várias classes de ductilidade.

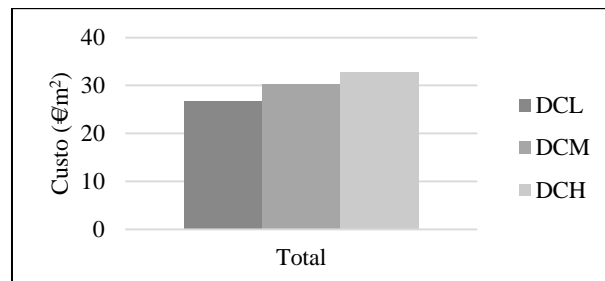


Figura 18. Custo do betão armado da estrutura porticada por m² para as várias classes de ductilidade.

Constatou-se anteriormente que a quantidade de aço aumenta substancialmente ao passar para uma classe de ductilidade superior, Fig.16, este aumento provoca um aumento no custo do betão armado da estrutura porticada. De acordo com o gráfico da Fig. 18, verifica-se que este acréscimo de custo é de 12% quando se passa de uma classe de ductilidade baixa para média e de 19% quando se passa de uma classe de ductilidade baixa para alta.

O Eurocódigo 8 recomenda que a classe de ductilidade baixa seja apenas usada nas zonas de baixa sismicidade, genericamente no Norte de Portugal. O Anexo Nacional do Eurocódigo 8 permite alguma abertura para que a ductilidade baixa possa ser considerada com alguma tolerância, mas limitada a edifícios regulares e de classe de importância não superior a II.

Uma vez que o Eurocódigo 8 exige uma classe de ductilidade média para a maior parte do país, então o aumento do custo do betão armado da estrutura porticada, por m² de construção, será genericamente de 12%.

5.3. Aumento do custo de construção com a utilização dos Eurocódigos

Pretende-se apresentar o aumento do custo de construção ao passar da regulamentação nacional para os Eurocódigos. Os resultados apresentam-se para a ductilidade média, uma vez que esta é exigida para a maior parte do país. Para a análise houve necessidade de incluir o custo das lajes e fundações, de modo

a obter o custo total da construção. Não se consideram relevantes os restantes custos relativos a maquinaria, mão-de-obra e outros materiais, uma vez que a sua variação será muito reduzida.

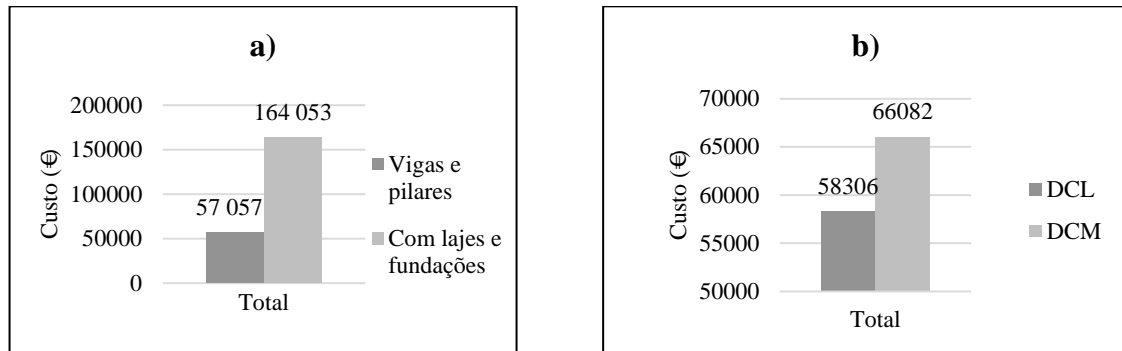


Figura 19. a) Custo total sem e com lajes e fundações. b) Custo total para DCL e DCM.

Na Fig. 19. a) pode-se observar que o custo total do pórtico (vigas e pilares) representa 35% do custo total da estrutura e fundações (vigas, pilares, lajes e fundações). Na Fig. 19. b) pode-se verificar que o custo total do pórtico aumenta 13% ao passar de ductilidade baixa para média.

Face aos números expostos, ao passar da estrutura porticada para a mesma incluindo lajes e fundações, bem como da ductilidade baixa para média, o custo aumenta cerca de 5%. De acordo com o descrito na secção 3 a ductilidade baixa segundo as novas normas corresponde à ductilidade normal da regulação nacional.

Admitindo que o custo global da estrutura e fundações representa cerca de 30% do valor total da construção, verifica-se que a passagem da regulamentação nacional para as novas normas, considerando ductilidade média, se traduz num aumento de custo na construção inferior a 1,5%.

6. CONCLUSÃO

A recolha de dados, para tratamento e análise, prevê um processo simples quando se dispõe de registos em bases de dados. A base de dados da Top foi a fonte que permitiu realizar o trabalho apresentado neste artigo, utilizando uma amostra de obras de clientes, de 160 edifícios entre 1 e 8 pisos, introduzidas no CYPECAD.

A partir da análise dos dados das obras foi possível concluir que 94% dos projetistas de edificação corrente continuam a utilizar o REBAP e RSA. Este valor é representativo do estado da arte, dado que o *software* é líder de mercado. Conclui-se também que 52% das obras correspondem à zona sísmica A, seguida da zona D com 33%, sendo ambas as zonas do antigo zonamento sísmico. A classe de betão mais utilizada é a C20/25 e o tipo de aço o A400.

Uma análise paramétrica permitiu concluir que o zonamento sísmico e a ductilidade são os dados de obra com maior impacto sobre o aumento da armadura.

A partir dos dados de obra definidos pelos utilizadores foram determinados e apresentados, para a regulamentação nacional e novas normas, os indicadores de consumo da estrutura porticada, considerando para as normas europeias ductilidade baixa. Ao efetuar a comparação dos resultados obtidos para o REBAP e RSA e para os Eurocódigos verifica-se que estes são semelhantes. Consequentemente conclui-se que os custos são idênticos para ambos os regulamentos.

Situação distinta ocorre se for utilizada a ductilidade média, neste caso o acréscimo da quantidade de aço é cerca de 40%, implicando um aumento de custo de 13% na estrutura porticada. Considerando, agora, para além do custo dos pórticos também o das lajes e fundações, verifica-se que este valor se

reflete num aumento de apenas 5%. Por fim, verifica-se que a passagem do REBAP e RSA para os Eurocódigos (ductilidade média) se traduz num aumento de custo na construção inferior a 1,5%.

REFERÊNCIAS

- [1] Rei, A. (2015). Definição de Indicadores para Estimar Custos de Projeto e Análise Paramétrica dos Eurocódigos Estruturais.
- [2] Top Informática, Lda. (2016). CYPECAD Memória de Cálculo.
- [3] RSA. Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes. Dec.-Lei n.º 235/83. Dec.-Lei n.º 357/85.
- [4] REBAP. Regulamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado. Dec.-Lei nº349-C/83.
- [5] NP EN 1991-1-1 (2009). Eurocódigo 1 - Acções em Estruturas. Parte 1-1: Acções gerais.
- [6] NP EN 1992-1-1 (2010). Eurocódigo 2 - Projeto de Estruturas de Betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.
- [7] NP EN 1998-1-1 (2010). Eurocódigo 8 - Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios.