



LIGAÇÕES APARAFUSADAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Aprovisionar, executar e verificar

Na construção metálica a união entre as diversas peças em obra é com maior frequência conseguida através de ligação mecânica em detrimento da soldada. Quer por motivos económicos, de controlo de qualidade ou de execução, é inequívoco que esta é a solução adotada na larga maioria das nossas empreitadas. São elementos fundamentais na estabilidade, são dimensionados e não são meramente parafusos apertados para unir peças. Na realidade são elementos de transmissão de esforços entre peças concebidos com base num modelo de cálculo definido pelo projetista. Fazendo uma analogia com o betão armado, apesar de numa estrutura de betão armado vermos simplesmente volumes de betão, a armadura no interior tem configurações diferentes conforme o modelo de cálculo estabelecido. Neste texto não se pretende aprofundar os pressupostos de dimensionamento e conceção, pretende-se apenas reunir um conjunto de informação pertinente para apoiar a execução de obra e, conhecendo de antemão as dificuldades de impor determinadas práticas às equipas de

trabalho, perceber quais os limites não ultrapassáveis num contexto de fiscalização e controlo de obra.

> Ligações e parafusos

As ligações aparafusadas distinguem-se em dois tipos: i) ligações não pré-esforçadas (ou correntes); ii) ligações pré-esforçadas. Esta distinção depende do desempenho pretendido, isto é, no segundo tipo pretende-se mobilizar atrito entre as chapas de ligação, gerado pela força do pré-esforço atribuído aos parafusos.

Os parafusos distinguem-se pela forma (tipo de cabeça), pelo material, tratamento, dimensões (diâmetro, comprimento, comprimento de rosca e passo de rosca) e pela norma que o seu fabrico respeita.



FONTE: www.intec.pt

Este texto foca-se nas ligações correntes, as mais comuns na construção de estruturas metálicas enquadradas nas empreitadas da AOC e nos parafusos estruturais.

► Regulamentação

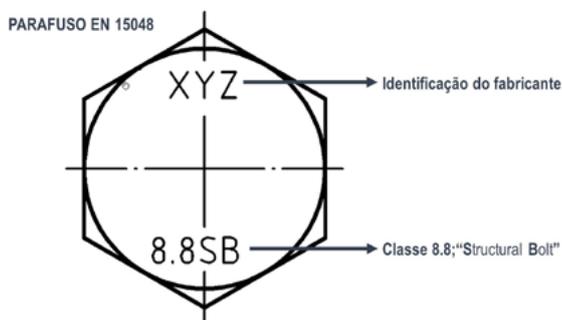
A execução de estruturas metálicas rege-se por duas normas principais:

- **NP EN 1993-1-8:2010** | *Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço; Parte 1-8: Projecto de ligações;*
- **NP EN 1090-2:2018** | *Execution of steel structures and aluminium structures; Part 2: Technical requirements for steel structures;*

Estas atribuem a definição de determinados requisitos noutras normas que no que concerne aos parafusos se salientam:

- **NP EN 15048** | *Elementos de ligação roscados de construção não pré-esforçados;*
- **NP EN 14399** | *Elementos de ligação roscados de construção de alta resistência aptos a pré-forço;*

Encontram-se com muita frequência no mercado parafusos segundo normas DIN ou ISO e existem tabelas informais de equivalências entre normas no entanto para estruturas são os parafusos segundo as normas da EN1090 que cumprem os requisitos legais. A NP EN 1090 deixa alguma abertura para a utilização de parafusos fabricados segundo outras normas no entanto refere que as suas propriedades devem ser especificadas identificando oito propriedades mínimas a especificar (NP EN 1090-2 Capítulo 5.1). Os parafusos conformes têm identificação na cabeça similar à da figura abaixo (correspondente a um parafuso segundo a NP EN 15048).



Na compra dos parafusos, porcas e anilhas deve ser sempre solicitada a documentação mínima obrigatória, que nestes elementos a NP EN 1090 impõe a definição na EN ISO 16228.

- NP EN 10204** | Produtos metálicos; Tipos de documentos de inspecção
- » Parafusos EN 15048: Mín. certificado 2.1
 - » Parafusos EN 14399: Mín. certificado 3.1

Sucintamente, um certificado 2.1 é um certificado de conformidade que atesta o cumprimento dos requisitos da norma de fabrico do parafuso. Já o certificado 3.1 apresenta adicionalmente os valores obtidos em ensaios.

No caso de parafusos EN 14399 o certificado 3.1 tem algumas particularidades que devem ser tidas em consideração e são referidas na Tabela 1 do Capítulo 5.2 da NP EN 1090-2.

ções pré-esforçadas obrigam à utilização de parafusos aptos para tal (EN14399), nas ligações correntes podem ser utilizados parafusos aptos ou não aptos para pré-esforço (EN14399 ou EN15048).

A aquisição de uma estrutura metálica implica a escolha de um fornecedor com marcação CE no fabrico. Importa referir que isto significa que esse fornecedor cumpre a NP EN 1090 no fabrico, mas não obrigatoriamente na montagem porque à data não existe essa imposição regulamentar, ou seja, apesar de existirem capítulos na norma referentes à montagem, estes não são abrangidos pela certificação das empresas. Não existe neste momento certificação de empresas na montagem segundo a NP EN1090.

► Aperto

Este é o motivo pelo qual o tema foi selecionado. Não é claro para todos os intervenientes qual o aperto a verificar e o método de abordagem e análise em cada projeto.

Numa situação de execução de uma ligação pré-esforçada, deve ser considerado um dos quatro métodos de aperto definido na NP EN 1090 e uma força mínima de pré-esforço igual a:

$$F_{p,C} = 0,7f_{ub}A_S$$

onde,

- f_{ub} = Tensão de rotura do parafuso
 A_S = Área da secção resistente do parafuso

Os métodos de aperto referidos acima podem ser definidos pelo projetista ou em caso de omissão pela entidade executante sendo boa prática solicitar sempre parecer do projetista.

Nas ligações correntes o aperto não é diretamente relevante para a resistência da ligação pelo que a NP EN1090 refere que apenas deve ser garantido o contacto firme, com o aperto mínimo equivalente à força de um homem com uma chave corrente sem braços extensíveis. O Eurocódigo deixa a indicação que por questões de segurança da estrutura ou garantia da boa qualidade da execução o projetista poderá prescrever um aperto de 50% $F_{p,C}$. De facto não é inequívoca a definição do momento de aperto a aplicar em ligações correntes. Este reveste-se de alguma importância ao verificarmos que circulam nas obras diversas tabelas de momentos

de aperto e que é comum ouvir os colaboradores referirem que quanto mais apertado estiver o parafuso melhor. Hoje em dia é raro o aperto sem ser com recurso a equipamentos mecânicos de impacto e facilmente em parafusos de secções inferiores pode ser atingida a cedência. Na realidade o maior problema do aperto excessivo acontece antes da cedência com a deformação da rosca, reduzindo a durabilidade. Podem ser utilizados parafusos aptos a pré-esforço indiscriminadamente para não ocorrer o risco de dano no parafuso, no entanto esta solução não é económica. Posto isto, como boa prática é recomendado o valor indicado no Eurocódigo como referência para o aperto de parafusos não aptos a pré-esforço, não sendo correto chamar-lhe força de pré-esforço mas sim força de aperto:

$$50\%F_{p,C}$$

Alguns estudos identificaram danos na rosca em valores acima dos 65% pelo que desta forma pode ser garantido um aperto mínimo sem correr o risco de se atingirem tensões excessivas num parafuso que não está apto para tal.

Esta questão não termina aqui, a conversão da força de aperto em momento de aperto está fortemente dependente do atrito parafuso-porca. Este valor depende de diversas variáveis (ex: comprimento da rosca, passo, material, tratamento de superfície), numa situação ideal este valor deveria ser fornecido pelo fabricante, no entanto isso só acontece nos parafusos EN 14399, que também nestes apenas é dado um intervalo de valor, então qual o valor a considerar? Este K varia usualmente entre 0,1 e 0,2, ou seja, um limite é o dobro do outro(!). Acredito que as normas estão do lado da segurança dando indicações fortemente experimentadas e fundamentadas pelo que não creio que será um fator limite do colapso. No entanto propõe-se que, do lado da salvaguarda do parafuso, se considere o valor mínimo (k=0,1) e em obra caso se verifique a ineficácia do aperto poderá reajustar-se o aperto conhecendo o limite (k=0,2).



Todas as disposições aqui referidas estão relacionadas com o aperto acontecer pela porca. Caso tal não seja possível, a norma prevê um procedimento específico.

➤ Anotações Construtivas

Cuidados no aperto

A norma faz referência a cuidados referindo-se às ligações pré-esforçadas, no entanto estas devem também ser seguidas nas restantes ligações como boa prática. O aperto deve ser iniciado na peça mais rígida e terminar na peça menos rígida, isto é, de dentro para fora do conjunto de parafusos. Deve ser aplicado de forma suave contínua pois usualmente o coeficiente de atrito estático é superior ao dinâmico. Após todos os parafusos estarem apertados deve ser analisada a eventual necessidade de algum reaperto.

Roscas salientes

A norma NP EN 1090 refere que o comprimento de rosca deve ultrapassar o limite da porca após o aperto, especificando um passo de rosca para ligações correntes e 4 passos de rosca para ligações pré-esforçadas.

Comprimento roscado

É comum a escolha entre parafusos parcialmente roscados ou totalmente roscados recair em quem prepara e aprovisiona os materiais, no entanto deve estar salvaguardado que o projetista considerou a secção roscada no cálculo (situação mais comum), e não a secção lisa, de modo a garantir o cumprimento da área de aço de projeto no plano de corte. Há que garantir também que após o aperto existe rosca suficiente para uma eventual necessidade de reaperto.

Anilhas

É boa prática a utilização sempre de uma anilha do lado do elemento que roda. Adicionalmente devem ser consideradas duas anilhas: i) na fixação de chapas finas (ex: madres); ii) em ligações com apenas um parafuso ou uma fila de parafusos; iii) sempre que as furações não sejam normalizadas segundo tabela 11 da NP EN1090;

Corrosão

A corrosão de um parafuso, porca ou anilha traduz-se num defeito da ligação que poderá, ou não, comprometer a estabilidade. Não se pretende abordar os diversos tratamentos disponíveis para os parafusos, mas sim o cuidado que deve ser tido em anular o contacto entre metais de nobrezas diferentes, evitando a corrosão galvânica. Para este efeito podem ser utilizadas anilhas de borracha.



Chumbadouros

O Eurocódigo prevê a possibilidade de utilização de chumbadouros com rosca executada em metalomecânica (e não exclusivamente em fábrica de fabrico exclusivo) admite uma redução de 25% da capacidade do chumbadouro no dimensionamento.

Contudo, e como forma de redundância, é boa prática a utilização de duas porcas para garantir a capacidade resistente das rosças. Esta medida é particularmente importante nas ligações condicionadas pela resistência à tração.

Chapas de ligação

Sobre as chapas de ligação, objetivamente sobre a superfície de contacto, é comum face aos métodos de fabricação e tratamento o não encosto entre chapas. Este tema não será abordado neste texto, deixa-se, no entanto, a nota em como estas situações não são obrigatoriamente não conformes, pois as normas permitem alguns empenos e/ou desalinhamentos.

Bucha química

Um pouco a título de curiosidade, numa ligação por bucha química, deverá ser consultada a documentação técnica associada, que dará um momento de aperto de referência para evitar a rotura por fendilhação. Como exemplo, uma bucha Hilti HIT-HY 200-A HIT-Z M20 tem como valor de referência o momento de aperto 150Mm.

► Caso Prático

Dados do projeto

- **Classe de execução:** não definida;
- **Tipo de ligações:** correntes;
- **Classe dos parafusos:** 8.8;
- **Diâmetros necessários:** M12; M16; M20

Compra

Parafusos fabricados segundo norma EN 15048 com fornecimento de certificado 2.1.

Se por algum motivo forem adquiridos parafusos separados da porca, há que garantir que a rosca de ambos cumpre o mesmo sistema.

Execução

Não é obrigatório cumprimento de um momento de aperto específico, no entanto devem ser dados os valores referência às equipas de montagem para o aperto.

ID	f_{ub} (N/mm^2)	A_S (mm^2)	D (mm)	MA (K=0,1) ($N \cdot m$)
M12	800	84,3	12	28,32
M16	800	157,0	16	70,34
M20	800	245,0	20	137,20

Calculados da seguinte forma (ex: M20):

$$MA = K \cdot D \cdot F_{aperto}$$

$$MA = K \cdot D \cdot 50\% F_{p,C}$$

$$MA = K \cdot D \cdot 0,5 \cdot 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_S$$

$$MA = 0,1 \cdot 20 \times 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 0,7 \cdot 800 \cdot 245$$

$$MA = 137,20 N \cdot m$$

Por hipótese, foi verificado que o lote de parafusos M20 recebido ao ser aplicado com o momento de aperto calculado não dava garantias de estar bem apertado (por exemplo, por estar algo lubrificado considera-se K=0,15).

$$MA = 0,15 \cdot 20 \times 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 0,7 \cdot 800 \cdot 245 = 205,80 N \cdot m$$

Saliento que apenas queremos garantir que os parafusos ficam apertados, mas nunca excedendo um valor que os danifique.

Verificação

Estando a classe de execução omissa no projeto, segundo o Eurocódigo dever-se-á considerar classe de execução 2 (EXC2). Tratando-se de ligações não pré-esforçadas, não existe qualquer implicação desta definição na execução. A NP EN 1090 apenas refere que deve ser feita uma inspeção visual.

► Conclusões

Existem dois grupos de ligações, não pré-esforçadas e pré-esforçadas, em que apenas a segunda exige uma metodologia de aperto e verificação de aperto específica. Nas ligações não pré-esforçadas, as mais comuns, as normas não obrigam à aplicação de um aperto específico, no entanto este pode ter de ser efetuado se:

- O projetista o definir por questões de durabilidade e boa execução;
- O cliente o exigir. Neste caso o cliente deve definir que momento de aperto pretende verificar e deve ser feita uma análise de adequabilidade com os parafusos adquiridos;

Não obstante as equipas devem ser informadas dos valores de referência para não danificar os parafusos. Abaixo são apresentadas tabelas com os valores dos momentos de aperto de referência para parafusos classe 8.8 e classe 10.9.

A compra de parafusos para estruturas deve cumprir as normas definidas na NP EN 1090 que no caso das ligações não pré-esforçadas, uma forma comum de os identificar é a designação «SB» na cabeça do parafuso.

MOMENTOS DE APERTO (N.mm) - Parafusos classe 8.8

	M12	M14	M16	M18	M20
MA (k=0,10)	28	45	70	97	137
MA (k=0,15)	42	68	106	145	206
MA (k=0,20)	57	90	141	194	274
	M22	M24	M27	M30	M42
MA (k=0,10)	187	237	341	471	1318
MA (k=0,15)	280	355	511	707	1977
MA (k=0,20)	373	473	682	942	2637

MOMENTOS DE APERTO (N.mm) - Parafusos classe 10.9

	M12	M14	M16	M18	M20
MA (k=0,10)	35	56	88	121	172
MA (k=0,15)	53	85	132	181	257
MA (k=0,20)	71	113	176	242	343
	M22	M24	M27	M30	M42
MA (k=0,10)	233	296	426	589	1648
MA (k=0,15)	350	444	639	884	2472
MA (k=0,20)	467	591	852	1178	3296

► Agradecimentos

Porque este texto só foi possível na sequência do apoio de diversos intervenientes nesta área, intitulo e destaco este parágrafo como forma de enaltecer a partilha de conhecimentos, que será sempre uma ferramenta fundamental para o crescimento como equipa e sociedade que somos. Por isto, deixo um agradecimento especial ao Professor Rui Simões (FCTUC/CT 182 IPQ), ao Eng. Hugo Pimenta (JP Engenharia), ao Eng. João Vieira (JGV Consultoria), ao Eng. Ricardo Justiniano (JetSJ) e ao Eng. Rui Reto (Constálica). ■

I Engº Samuel Carreira | Engenheiro Civil