

Museu de Arte, Arquitetura e Tecnologia

Autores: Rui Furtado, Miguel Pereira, Pedro Pereira (fazem parte da equipa técnica do Projeto das engenharias do MAAT [afaconsult – info@afaconsult.com; Cais do Luga, 224, 4400-492 V.N de Gaia; T: +351 223 776 700]).

Descrição do Projeto

O MAAT, Museu de Arte Arquitetura e Tecnologia, situado na Avenida de Brasília, a Nascente do Museu da Eletricidade e junto ao rio Tejo, em Belém, Lisboa, cujo Projeto de Arquitetura é da autoria da Arquiteta Britânica Amanda Levette em estreita colaboração com a equipa técnica de projeto da afaconsult e execução a cargo do Empreiteiro Alves Ribeiro, S.A. foi promovido pela Fundação EDP e teve recentemente a sua pré-inauguração em Outubro de 2016.

Com uma arquitetura complexa com formas curvilíneas, no MAAT, entre outros espaços técnicos, encontram-se três grandes e fluidos espaços expositivos que representam uma área total de cerca de 3000m² de área, num total de cerca de 7.500m² de área bruta interior, compostos por três espaços integrados e interligados, que podem funcionar combinados entre si ou totalmente independentes (Oval Gallery, Main gallery e Project Room). Para tal, a abordagem estrutural baseou-se num espaço totalmente aberto, com paredes estruturais, que para além de maximizar a escala e flexibilidade das exposições, permitiu que o Museu se enchesse de luz, potenciando a experiência dos visitantes.

A principal sala de exposição, a Oval gallery, consiste num espaço de duplo pé-direito que se abre a partir da entrada principal, que aproveita a altura de 8m e engloba uma área de cerca de 800m², à qual se associa uma galeria rampeada e espaço de circulação, ao longo da curva sinuosa que desce pelo interior do edifício, desde o átrio de entrada (+6,00m) até piso térreo (+1,20).

Conceptualmente, o percurso pedonal da frente ribeirinha vai-se transformando, à medida que se levanta até se tornar na cobertura pedonal e ciclável do edifício, uma praça que poderá funcionar como espaço multiusos com uma vista panorâmica de 360°, regressando depois à cota baixa (média +3,60m), onde se funde com a paisagem envolvente do Museu da Eletricidade e do passeio ribeirinho.

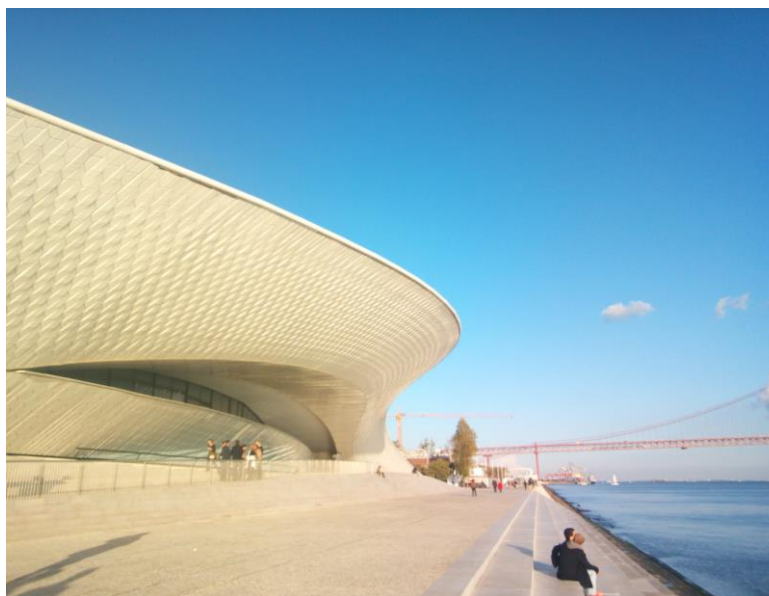


Imagem 1 – Vista ribeirinha do edifício

A Estrutura

A estrutura do museu apresenta um comprimento de cerca de 160m, sendo a sua largura variável entre 60 e 20m. As áreas técnicas dos lados Poente e Nascente são separadas da restante estrutura por juntas de dilatação, ficando o corpo principal central com um comprimento de 120m.

Os elementos estruturais verticais são maioritariamente compostos por paredes e núcleos em betão armado, sendo de destacar as paredes com curvatura variável que delimitam os vários espaços de exposição. Todas as estruturas de cobertura do edifício

principal, bem como as estruturas de pavimento das zonas acessíveis ao público são metálicas e mistas. As principais estruturas metálicas que compõem o edifício são os pavimentos do piso 1, a claraboia da “Main Gallery”, a cobertura da “Oval Gallery”, o arco de suporte à cobertura do lado Sul e a estrutura de suporte à fachada Sul.

Estrutura do Piso 1

A estrutura dos pavimentos do piso 1 é composta por lajes mistas em betão com chapa metálica colaborante apoiadas sobre vigas metálicas. A ligação das vigas metálicas às lajes é materializada por conectores tipo perno, conferindo-lhes um funcionamento misto.

Na zona da entrada principal os vãos máximos a vencer pelas vigas são de 16.7m entre a parede mais a sul e a parede da zona central e de 15.4m entre esta parede e a parede mais a Norte. Tendo em conta que a parede intermédia não abrange todas as vigas, algumas delas apoiam-se indiretamente numa outra viga metálica “perpendicular”. As vigas metálicas são compostas por perfis IPE500, HEB500, ou em alguns casos em perfis reconstituídos soldados (PRS) com 500mm de altura, sendo o vão a vencer pela laje colaborante de 2.50m na direção perpendicular às vigas.



Imagem 2 - Estrutura metálica do piso 1 (zona da entrada)

Para a laje que se apoia nestas vigas prevêem-se duas soluções distintas. Nas zonas públicas do edifício pretende-se um pavimento em betão aparente polido que incorpore no seu interior um sistema de tubagens para pavimento radiante e uma camada de isolamento acústico. Mediante estas exigências optou-se por uma laje maciça com 20cm de espessura. Para evitar a utilização de cofragens entre vigas metálicas e para permitir a incorporação do isolamento acústico sob a laje de betão utilizou-se uma chapa de aço colaborante apoiada sobre os perfis metálicos. Nas zonas periféricas do edifício preconiza-se uma laje mista tradicional com chapa colaborante com 13cm de espessura apoiada diretamente sobre os perfis metálicos.

Claraboia da “Main Gallery”

Na zona da claraboia sobre a “Main Gallery” pretende-se uma estrutura que sirva de apoio aos vãos envidraçados da claraboia e que minimize a obstrução à passagem de luz natural. Utilizaram-se vigas metálicas “I” em perfis reconstituídos soldados com 20cm de largura e com alturas variáveis entre 565mm e 785mm consoante o vão a vencer, que atinge um máximo de 16.5m. Por imperativo arquitetónico o banzo inferior das vigas é eliminado no atravessamento da claraboia, formando nesta zona vigas em “T”.



Imagem 3 - Vigas de apoio da claraboia da "Main Gallery"

Além do suporte aos vãos envidraçados estas vigas servem também de apoio à estrutura de pavimento do restaurante que se situa imediatamente a Norte da claraboia e a uma cota 2.0m mais elevada. Esta é uma estrutura ligeira em vigas IPE e "pilares" tubulares apoiados sobre as vigas metálicas. Sobre as vigas IPE adotou-se uma laje mista com chapa colaborante com 13cm de espessura total.

Cobertura da "Oval Gallery" e do Project Room

Para libertar a maior sala de exposições ("Oval Gallery") de quaisquer elementos verticais de apoio visíveis a cobertura desta zona vence um vão máximo na direção Norte-Sul de 25.7m. Utilizam-se treliças metálicas tipo "Pratt" espaçadas de 5m, com um rácio vão-altura de aproximadamente 12 e com apoio simples nas paredes periféricas da sala.

Na cobertura sobre o "Project Room" prevêem-se também treliças afastadas de 5m apoiadas em paredes de betão sendo o vão máximo neste caso de 26.8m. Tendo em conta que a altura disponível para colocação das treliças não é suficiente para o vão em causa, incluiu-se uma nova treliça com 19.2m de vão na direção perpendicular que confere um apoio elástico intermédio às restantes treliças.



Imagem 4 - Treliças de cobertura da "Oval Gallery"



Imagem 5 - Treliças da cobertura do "Project Room"

A ligação entre as treliças de cobertura e o coroamento das paredes de betão é estabelecida através de pilares metálicos que em determinados locais são complementados por contraventamentos em cruz. Esta solução resultou da decisão de não prolongar o coroamento das paredes de betão até à laje cobertura com cota variável, reduzindo deste modo a interligação entre os trabalhos de execução da estrutura metálica e da estrutura de betão armado.



Imagem 6 - Travamentos da cobertura

Sobre as treliças apoiam-se madres IPE220 espaçadas de 2.5m que vencem o vão de 5m. Sobre as madres preconiza-se uma laje mista com chapa colaborante com 13cm de espessura total, o que lhes confere um comportamento misto relevante.

Todas as treliças e madres são inclinadas e paralelas à superfície variável que compõe o revestimento final da cobertura. Deste modo consegue-se minimizar o enchimento a aplicar sobre a laje e maximizar o pé direito dos espaços. Todas as madres são posicionadas com a sua face superior 2.5cm acima da face superior das treliças que lhes servem de apoio, de modo a garantir que a espessura da laje não é afetada pela inclinação da cobertura na interseção com o banzo superior do perfil da treliça.

Arco de suporte à cobertura do lado Sul

Tendo em conta a impossibilidade de introduzir qualquer elemento vertical na “Main Gallery”, para a zona de cobertura mais a Sul sobre o restaurante dispõe-se apenas de um alinhamento de apoio vertical constituído pela parede Sul da “Oval Gallery”. Desde esta parede até à sua extremidade Sul a cobertura terá que vencer um vão máximo de 25.0m. Tendo em conta que a altura de teto disponível não permite vencer este vão em consola, revelou-se necessário incluir um apoio intermédio na direção Poente-Nascente.

Nas fases iniciais de projeto optou-se pela introdução de uma treliça do tipo “Pratt” com desenvolvimento entre o piso 1 e a cobertura, vencendo um vão máximo de 40m. Embora esta solução cumprisse o objetivo de não introduzir elementos verticais na “Main Gallery” (piso 0), a presença de perfis robustos na varanda do restaurante (piso 1) tinha um impacto expressivo, quer na vista sobre o Rio Tejo a partir da varanda, quer na leitura arquitetónica da fachada sul.

Com o objetivo de procurar também eliminar a presença de qualquer elemento estrutural visível ao nível da varanda do restaurante, optou-se por substituir a treliça por um arco posicionado num plano inclinado a 32.4º com a vertical e inserido na geometria curva do teto da varanda e da fachada Sul. Sobre o arco apoiam-se treliças do tipo “Pratt” nos mesmos alinhamentos das treliças da “Oval Gallery” que vencem um vão máximo de 14m entre a parede de apoio e o arco e de 12m em consola a Sul do arco. Note-se que, embora estas treliças estejam sobre os mesmos alinhamentos das treliças da sala adjacente, optou-se por não conferir continuidade de momentos sobre a parede que lhes serve de apoio. Deste modo as treliças de ambos os lados têm comportamento estrutural independente e passam a ser isostáticas, o que garante um conhecimento mais preciso das cargas aplicadas sobre o arco.

O arco que se desenvolve entre o piso 1 e a cobertura tem os seus pontos de arranque do lado Poente à cota 6.60 e do lado Nascente à cota 5.60, sendo que o seu ponto mais alto, posicionado sensivelmente a meio vão, se situa à cota de 14.55. O seu vão livre é de 73m entre pontos de apoio, apresentando um rácio vão-flecha de 7.3 medido no plano do arco.

A configuração do arco não é circular nem parabólica, mas sim a correspondente ao antifunicular das cargas aplicadas. Sendo assim, o arco é composto por segmentos retos de perfil com mudança de inclinação na interseção com as treliças.

A determinação da geometria final do arco passou numa primeira fase pela determinação exata das forças exercidas pelas treliças de cobertura sobre o arco perante a ação de todas as cargas permanentes e da sobrecarga uniformemente distribuída. Impondo as

coordenadas dos pontos de arranque, chegada e de cota máxima é possível, por aplicação da estática gráfica, determinar a cota de todos os pontos de aplicação de cargas de modo a que a configuração final do arco seja o antifunicular das cargas aplicadas.

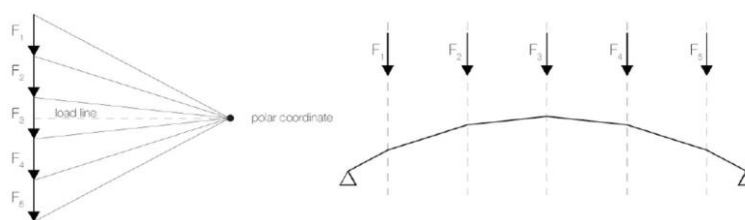


Imagem 7 - Estática Gráfica

A secção utilizada para o arco é tubular redonda com 711mm de diâmetro exterior e 60mm de espessura (CHS 711x60) acabada a quente de acordo com a norma EN10210 em aço S355NH. A adoção de uma secção tubular prende-se com a sua elevada resistência à encurvadura, permitindo a otimização do seu dimensionamento. A utilização de um perfil acabado a quente permite ainda minimizar as imperfeições de fabrico, o que se afigura como vantajoso do ponto de vista da verificação de segurança pela possibilidade de adoção da curva de encurvadura “a” da NP EN 1993-1-1.

De modo a reduzir o comprimento de encurvadura do arco, materializou-se uma treliça no seu plano mediante a introdução de diagonais, perfis ao nível da laje de cobertura e perfis ao nível da cota inferior do teto. Esta treliça permite ainda conferir a resistência necessária para fazer face a eventuais carregamentos assimétricos. O esforço axial de cálculo máximo instalado no arco obtido através do modelo global de elementos finitos foi de 35.1MN, sendo este valor muito semelhante à estimativa obtida através do método gráfico.

Os apoios do arco são compostos por paredes de betão armado com 1.20m de espessura, desligadas da restante estrutura e orientadas em planta segundo a projeção horizontal dos troços de arranque do arco. Estas paredes são interligadas ao nível das fundações por uma viga de betão pré-esforçada com secção 2.10x2.00m, garantindo deste modo o autoequilíbrio das forças horizontais introduzidas pelo arco.

Tendo em conta que o arco é estabilizado lateralmente através das treliças que nele se apoiam, tornou-se necessário garantir o escoramento ao longo do seu comprimento em pontos estudados e definidos em fase de projeto. Para tal utilizaram-se torres de escoramento compostas por perfis metálicos, para as quais foi necessário prever fundações dedicadas.

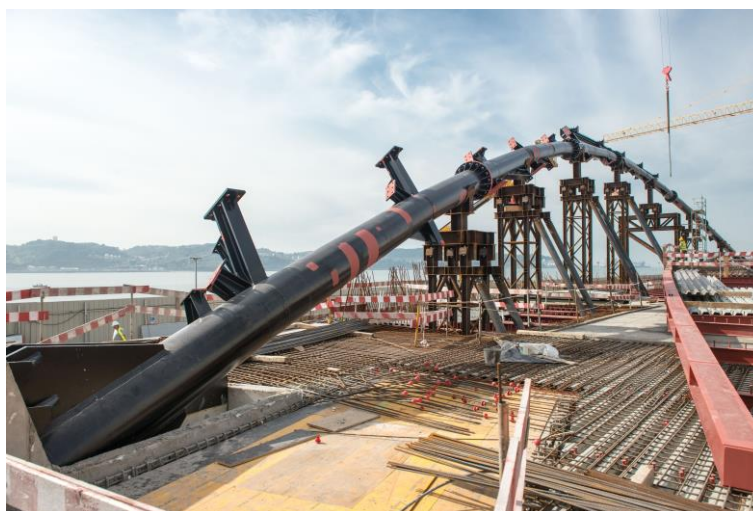


Imagem 8 - Arco escorado

Ao arco foi conferida uma contraflecha de fabrico com o intuito de eliminar parcialmente as deformações devidas às ações permanentes após entrada em carga.



Imagem 9 - Enquadramento final do arco

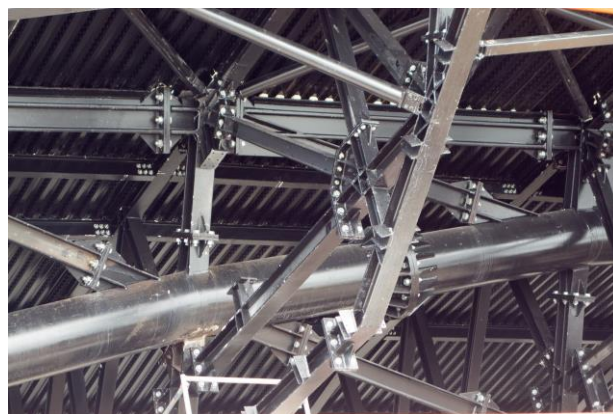


Imagem 10 - Ligações do arco

Fachada Sul

As principais funções da estrutura de suporte da fachada Sul são a de apoio das peças cerâmicas dispostas ao longo da geometria de curvatura variável pretendida pela Arquitetura e a de absorver as cargas horizontais resultantes das ações do vento e do sismo.

Utilizam-se elementos verticais em treliça metálica com espaçamento de 5.0m que, consoante a sua localização, funcionam em consola apoiados na estrutura de betão do edifício ou são suspensos das treliças que apoiam no arco. Estes elementos verticais são posicionados no interior das superfícies limite da fachada a uma distância mínima de 30cm da face exterior das peças cerâmicas. Entre os alinhamentos verticais são dispostas madres em perfil SHS100x5 com afastamento máximo de 1.0m onde são fixos os elementos em alumínio de suporte das peças cerâmicas. A utilização de perfis tubulares para as madres revela-se com sendo a mais adequada para resistir quer aos esforços de flexão resultantes das ações gravíticas e horizontais, quer aos esforços de torção resultantes da excentricidade do revestimento final em relação ao seu eixo.



Imagem 11 - Estrutura de suporte à fachada Sul