

# Fora de Portas

## Stepping Out

Engenharia Civil à Mostra  
Civil Engineering on Display

Porto.

---

# Uma cidade em permanente construção

A city  
constantly under  
construction

---

Germano Silva

**C**omo é que nasce e se desenvolve uma cidade? Como se vai dilatando o seu território? E, no caso concreto do Porto, como se terá processado, ao longo dos séculos, o crescimento do velho burgo portucalense? Consta que foi no cimo do morro da Pena Ventosa que os povos se foram congregando e formando o pequeno aglomerado populacional que, crescendo, é hoje esta grande metrópole, entretanto classificada como Património da Humanidade. Sabemos que, ainda no século XVII, quem saísse de uma das portas da cidade que não estivesse voltada para o rio, achava-se num ambiente tipicamente rural, entre campos de lavradio, sulcados de caminhos vicinais, no meio de hortas, pomares e laranjais. Foi por essa altura que a cidade medieval começou a evidenciar desejos de se expandir para além da muralha fernandina<sup>1</sup>. A ideia do bispo do Porto, D. Tomás de Almeida, da construção (1709) de uma grande praça da parte de fora da porta de Carros, em terrenos até aí ocupados por hortas e meloais, foi o primeiro grande projeto elaborado no sentido de trazer a cidade para fora do muro. Mas a nomeação daquele prelado como primeiro patriarca de Lisboa e a sua ida para a capital fizeram gorar o plano, que só viria a ser concretizado pelo Cabido, que governava a diocese na ausência de bispo residente. A praça Nova das Hortas, depois praça de D. Pedro e atualmente praça da Liberdade, só começou a ser construída em 1721. Mais tarde (1757), com a nomeação de João de Almada e Melo para governador do Porto e a criação por ele, um ano depois, da Junta das Obras Públicas, os planos de urbanização vão desenvolver-se no sentido da criação de uma cidade moderna baseada numa arquitetura adaptada às condições sociais e económicas da época: “prédios de rendimento, com lojas no rés-do-chão e poucos ou nenhuns palácios”, como escreveu Marie-Thérèse Mandroux France, que estudou o desenvolvimento urbanístico dessa época. Quando João de Almada e Melo morre, em 1786, sucede-lhe o filho, Francisco de Almada e Mendonça, que dará continuidade à obra encetada pelo pai. O velho burgo vai prosseguir com a expansão para fora do perímetro amuralhado. A extensa área adjacente ao muro antigo será, metódica e criteriosamente, integrada na nova malha urbana, com a construção de novas ruas e amplas praças. Cerca de oitenta anos depois de realizada a obra dos Almadas (1837), é criada, no Porto, a Academia Politécnica com a atribuição, entre outras, de formar “engenheiros civis de todas as classes, tais como engenheiros de minas, construtores de pontes e estradas...”. A dinâmica adotada pelos novos métodos de ensino, que implicava já o recurso a modernos manuais, fez surgir uma prestigiada classe de engenheiros, arquitetos e condutores de obras que viriam a ser os grandes obreiros do Porto moderno. A crescente importância da cidade, tanto do ponto de vista industrial como comercial, nomeadamente a partir dos finais do século XIX, começos do seguinte, bem como o constante aumento da população e da circulação automóvel, obrigou a que fossem tomadas medidas no sentido de se criarem novas zonas habitacionais. Foi o caso da rua de Sá da Bandeira, que começou a ser construída nos meados do século XIX mas cujas obras se prolongaram até já depois da implantação da República e que, como muitas outras, não chegou a ser concluída. Com efeito, o projeto inicial previa que a nova artéria, acima de Fradelos, “se dirigisse para norte, passando sob a rua de Gonçalo Cristóvão, pelas Carvalheiras de Cima, até à rua de Santa Catarina, na Fontinha...”. Ficou em Fradelos. Já dos nossos dias é a rua de Júlio Dinis, mandada abrir em 1934 para facilitar a ligação da praça de Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista) ao Palácio de Cristal onde, nesse ano, decorria a Exposição Colonial. Quem viesse da zona da Póvoa ou de Guimarães para ver a exposição, tinha a vida facilitada com uma ligação rápida ao Palácio, através da nova artéria. A ligação ferroviária da estação da Boavista à Trindade só aconteceu em 1939. Desde os tempos dos Almadas que o Porto foi uma cidade em processo de constante expansão tendo em vista a sua modernização. Em 1911, Parker, o “pai” da avenida dos Aliados, numa entrevista a um jornal, disse isto: “... Considero o Porto uma cidade mais interessante e bela do que muitas cidades da Itália, mau grado os chocantes contrastes existentes entre muitas das suas importantes zonas residenciais, algumas de inegável grandeza arquitetónica, e os seus muito típicos, mas também pobres e insalubres bairros da Sé, do Barreiro e outros...”. Entretanto os tempos mudaram e os bairros citados já não são aqueles antros pobres e insalubres de que Parker falou. Estão a ser transformados em atração turística, o que quer dizer que o Porto continua a ser uma cidade em contínuo processo de expansão, e sempre com renovados desafios aos seus construtores”.

**H**ow is a city born and developed? How does its territory expand? And, in the particular case of Porto, how did the old town grow through the centuries? It's been said, it was at the top of the hill of Pena Ventosa that peoples gathered and formed the small community that kept on growing until it became what is now this large metropolis, which has since been classified as a World Heritage site. We know that as late as the 17th century, anyone leaving through one of the city gates that was not facing the river would find themselves in a typically rural environment, with tilled fields, dotted with footpaths, in the midst of gardens, orchards and orange groves. It was by this time that the medieval city began expanding beyond the fernandina wall<sup>1</sup>. The idea of the bishop of Porto. D. Tomás de Almeida, to build (1709) a large square outside the Carros city gate, on land occupied until then by gardens and melon patches, was the first big project designed to bring the city outside the walls. However, the prelate's nomination as Lisbon's patriarch and his move to the capital scuppered his plans, which in the end would only be accomplished by Cabido, who governed the diocese in the absence of the resident bishop. Construction only began on the square, that was initially called Nova das Hortas, then D. Pedro and now Liberdade Square, in 1721. Later (1757), upon the nomination of João de Almada e Melo as Governor of Porto, who set up the Board of Public Works a year later, the town development plans began to move towards the creation of a modern city based on architecture adapted to the social and economic conditions of the time: “apartment blocks, with shops on the ground floor and few or no palaces,” as written by Marie-Thérèse Mandroux France, who studied the urban development of that time. When João de Almada e Melo died in 1786, he was succeeded by his son, Francisco de Almada e Mendonça, who would continue his father's work. The old town continued to expand outside its walled perimeter. The extensive area near the old wall would be carefully and methodically integrated into the new urban fabric, with the construction of new streets and broad squares. Around eighty years after the Almadas project was completed (1837), the Polytechnic Academy was set up in Porto, with the task of training “civil engineers of all kinds, such as mining engineers and bridge and road builders...”. The new teaching methods, which already involved the use of modern handbooks, contributed to the rise of a prestigious class of engineers, architects and project managers who would become the great artisans of modern Porto. The growing importance of the city, both from an industrial and a commercial standpoint, particularly from the late 19th and early 20th centuries onwards, as well as the constant increase in population and traffic, made it necessary to take steps towards creating new housing areas. This was the case of the Sá da Bandeira street, which began to be built in the middle of the 19th century but whose works continued until after the Republic was established and which, like many others, did not reach completion. In fact, the initial project provided for the new artery, above Fradelos, “would travel north, passing under Gonçalo Cristóvão street, by Carvalheiras de Cima to Santa Catarina street in Fontinha...”. But it never got beyond Fradelos. The actual, Júlio Dinis street was opened in 1934 to facilitate the connection between Mouzinho de Albuquerque square (Rotunda da Boavista) and the Crystal Palace, where the Colonial Exposition was being held that year. The new route made things much easier for anyone coming from the Póvoa or Guimarães areas to see the exposition. The rail link between Boavista station and Trindade only came in 1939. Since the time of the Almadas, Porto has been a city undergoing constant expansion in order to be modernised. In 1911, Parker, the “father” of Avenida dos Aliados, commented in a newspaper interview: “... I think Porto is more interesting and beautiful than many cities in Italy, despite the striking contrasts between many of its important residential areas, some of undeniable architectural grandeur, and the very typical but also very poor and unhealthy housing areas in Sé, Barreiro and other places...”. Since then, times have changed and these areas are no longer the poor, unhealthy slums that Parker spoke of. They are being transformed into a tourist attraction, and therefore Porto remains a city undergoing constant expansion, always posing new challenges for builders.”



### Manuel de Matos Fernandes

Engenheiro Civil, Professor Catedrático Civil Engineer, Full Professor  
 Departamento de Engenharia Civil, FEUP Department of Civil Engineering, FEUP  
 Ex-diretor do DEC Former Director of DEC



## Engenho e arte na construção da Cidade

Para refletir sobre a Engenharia Civil e o Porto, talvez possamos tomar como referência o ano de criação da Academia Politécnica (1837). Primeiro, porque com a Academia Politécnica a Engenharia Civil ganhou autonomia e visibilidade em relação às áreas-irmãs, como a Engenharia Militar e a Arquitetura. Segundo, porque essa época foi, a todos os títulos, extraordinária. Depois de 30 anos dramáticos – as invasões francesas, a separação do Brasil, a Guerra Civil, a morte do Rei amado – o novo regime monárquico-constitucional procurava levantar um país novo. E o Porto, que fora decisivo na criação do novo regime, parecia querer ir na frente. As exigências da Cidade eram grandes: população em rápido crescimento (triplicaria até ao fim do século), novas indústrias, comércio intenso. A Cascata Sanjoanina – invocando a letra da canção “Porto Sentido” de Carlos Tê – saltara definitivamente as muralhas medievais, assomara ao cimo do monte e crescia, imparável, em todas as direções. O território era também, e continua a ser, um formidável desafio. Um Rio poderoso, profundo, com cheias violentas. Um Mar intranquilo, muitas vezes perigoso para a navegação comercial – vital para a Cidade – que tem que entrar e sair pela Barra. Omnipresente, o Granito, que virado a Sul e a Poente resistira durante centenas de milhões de anos aos ataques do Rio e do Mar. E que, por isso, recebera, como um ninho acolhedor, a Cascata... Eram tempos fascinantes para a nova profissão. Depois de milénios trabalhando os mesmos materiais de construção, surgem, separados por poucas décadas, novos materiais: primeiro, o ferro e o aço e, depois, o betão armado. Como estes novos protagonistas viriam a marcar a Cidade era então difícil de imaginar.

A Construção da Cidade tem algo de similar a um processo geológico. A Cidade é construída por épocas, por camadas. Mas as novas camadas nem sempre se sobreponem simplesmente sobre as antigas. Por vezes, com o tempo, as antigas consolidam, melhoram, resistem. Outras vezes não chegam a consolidar e são substituídas por outras, mais recentes. Tal como a Natureza, a Cidade é dinâmica, instável, e novas formações, correspondentes a novas exigências, podem irromper das profundezas, destruindo por vezes as mais antigas. Tal como na geologia, o tempo é fundamental. Na Cidade o balanço deste processo é o Património Edificado. E este é muito mais do que a face da Cidade. É também, em boa parte, a sua alma. Invocando, mais uma vez, a geologia, se assimilarmos a Cascata ao pré-Câmbrico, que balanço poderíamos fazer daí para a frente, no que ao Património Edificado diz respeito e, em especial, àquela parte em que a Engenharia Civil desempenhou o papel mais relevante? Por outras palavras: no período em causa, e no Porto, o que tem a Engenharia Civil para mostrar de particularmente valioso?

Nalguns casos podemos identificar património que se foi desenvolvendo ao longo de muitas décadas, mesmo de muitas gerações. Toda a infraestrutura relacionada com a Água na Cidade, tão antiga como esta, é hoje modelar, quer na qualidade e fiabilidade do abastecimento de água doméstica, quer na recolha e tratamento de águas residuais, que permitem hoje vermos as ribeiras a serem progressivamente renaturalizadas e as praias com o símbolo da excelência hasteado a azul. Os progressos da Cidade no que respeita à saúde pública foram seguramente influenciados, em parte não desprezável, por este nível de qualidade atingido no que respeita ao ciclo da água. O Porto de Leixões, que resultou de uma decisão visionária, ainda antes do século

## Ingenuity and art in the construction of the City

In order to reflect on Civil Engineering and Porto, it might be a good idea to take the year the Polytechnic Academy was opened (1837) as a reference point. First of all, because it was through the Polytechnic Academy that Civil Engineering gained autonomy and visibility in relation to its sister areas, such as Military Engineering and Architecture. Secondly, because this period was extraordinary in every way. After 30 dramatic years — the French invasions, the Separation from Brazil, the Civil War, the death of the beloved King — the new monarchical-constitutional regime wanted to build a new country. And Porto, which was decisive in creating the new regime, seemed to want to forge ahead. The demands of the city were great: a rapidly increasing population (it would triple by the end of the century), new industry and intensive trade. The Cascata Sanjoanina (St John's Cascade) — in the words of Carlos Tê song “Porto Sentido” — had moved definitively beyond the medieval walls, climbed to the top of the hill and was growing unstoppably in all directions. The territory too, was a formidable challenge, and still is to this day: a deep and mighty river prone to heavy flooding, a restless sea, very often dangerous to commercial shipping — so vital to the city — which has to enter and leave via the bar. And the ever-present granite which, facing the sun and the sunset, would withstand the attacks from the river and the sea for millions of years, thus providing a cosy little nest for the Cascata... These were fascinating times for the new profession. After millennia working with the same construction materials, new materials suddenly appeared, separated by a few decades: first iron and steel and then reinforced concrete. It was difficult then to imagine how these new players would mark the city.

The construction of the city was similar to a geological process in many ways. The city is built in eras, in layers. But the new layers did not always simply sit atop the old ones. Sometimes, over time, the old ones were consolidated, improved, resisted. Other times, they were unable to consolidate and were replaced by other, more recent ones. Just like Nature, the city is dynamic, unstable, and new formations corresponding to new demands can rise from the deep, sometimes destroying the older ones. Just as in geology, time is fundamental. The result of this process is the city's architectural heritage. And this is much more than just one aspect of the city. It is also, in large part, its soul. Using geology once again, if we compare the Cascata to the Precambrian era, how can we move forward from there in terms of the architectural heritage and, particularly, the part where Civil Engineering played the most important role? In other words, in Porto during the period in question, what did Civil Engineering do that was particularly valuable?

In some cases, we can identify the heritage that developed down through many decades, indeed many generations. The city's entire water infrastructure, as old as the city itself, is now exemplary, both for the quality and reliability of the domestic water supply and for the collection and treatment of wastewater, which means that the rivers are now being progressively rehabilitated and the beaches are flying the blue flag of excellence. Progress in the city in terms of public health was certainly influenced in no small way by the level of quality achieved in the water cycle. The Port of Leixões came as a result of a visionary decision, before the end of the 19th century, motivated by the very adverse conditions for commercial shipping in the Douro bar, which led to the construction

XIX ter terminado, motivada pelas condições muito adversas da Barra do Douro para a navegação comercial: construir um porto de abrigo, aproveitando a foz de um pequeno rio a norte do Porto, o rio Leça. Cerca de 130 anos depois, o Porto de Leixões é uma infraestrutura fundamental na economia do País. A sua história é um repositório de brilhantes soluções da Engenharia Civil, desenvolvido por um corpo técnico formado na Academia Politécnica e na FEUP. A Estrada Marginal, do Freixo à Foz, é um balcão contínuo sobre o rio, ao abrigo de muros de suporte e, em certos pontos, de muros-cais de diversos tipos, só integralmente visíveis a partir do rio. A última intervenção, o viaduto metálico de Massarelos, pelo contraste com o granito, pelo desenho, pela inserção na margem é, para já, o remate brilhante desta obra multisecular.

Noutros casos podemos identificar, ao longo das quase 20 décadas em análise, peças do mais notável património, as Pontes, que emergiram episodicamente, criando linhas de força em torno das quais a Cidade se estruturou e desenvolveu. Devido às condições muito peculiares e exigentes do rio Douro e do seu estuário, só a meio do século XIX a Engenharia viabilizou o primeiro atravessamento permanente (Ponte Pênsil, 1843, já demolida). Desde então – Ponte Maria Pia (1877), Ponte Luís I (1888), Ponte da Arrábida (1963), Ponte de S. João (1991), Ponte do Freixo (1995) e Ponte Infante D. Henrique (2003) – o conjunto de obras-primas, construídas em ferro e em betão armado e pré-esforçado, projetadas por grandes engenheiros, como Gustav Eiffel, Théophile Seyrig e Edgar Cardoso, não tem paralelo noutro local ou cidade. De modo análogo, há episódios construtivos de edifícios que são autênticas disruptões no corpo da Cidade. No período em apreciação um conjunto de Edifícios Notáveis sob o ponto de vista da Engenharia – mas, todos eles, notáveis também pela sua Arquitetura – marcam a Cidade: a Alfândega Nova, em alvenaria de pedra (1869) – provavelmente a mais profunda alteração no urbanismo novecentista – o Palácio de Cristal, em ferro (1865), demolido em 1951, a Estação de São Bento, com a gare ferroviária em estrutura metálica (1916), o atual Pavilhão dos Desportos – Rosa Mota, em betão armado (1952) e a Casa da Música, em betão branco armado (2005). Podemos também identificar duas épocas intensas de construção de Obras Subterrâneas na massa antiga do Granito do Porto. No século XIX há que reconhecer como excepcionais, para os meios técnicos da época, o Túnel da Alfândega (1888) e o Túnel de São Bento (1896), ambos inseridos no grande projeto ferroviário que estruturou o País. O século seguinte seria neste aspecto época pouco fértil, com a relevante exceção do rodoviário Túnel da Ribeira (1956). Mas o início do século XXI seria vibrante, com a construção do Metro do Porto (1ª fase). No seu conjunto, tratou-se, provavelmente, da maior e mais onerosa obra pública da história do País e, à data, a maior obra de um metropolitano construída de uma só vez, em escassos sete anos. A extrema heterogeneidade das formações graníticas tornou a construção das obras subterrâneas, e particularmente dos túneis, muito difícil e complexa. É, por isso, justamente considerada uma referência mundial na engenharia de túneis escavados com tuneladora. As estações enterradas constituem resultado notável da colaboração entre a Engenharia e a Arquitetura. O itinerário pelas realizações da Engenharia, já neste século, tem que passar pelo ponto mais crítico do território da Cidade, aquele em que o Rio e o Mar se encontram, por vezes de forma violenta: a Barra do Douro. Obras de há muito ponderadas permitiram resolver – tanto quanto esta palavra pode ser empregue em contexto

tão complexo e dinâmico – a proteção da Barra dos danos causados pela agitação marítima extrema. Isso envolveu o aterro de proteção da marginal de Sobreiras à Cantareira (em cima do qual se construiu uma das mais belas zonas de lazer da Cidade) e a construção dos Molhes Norte e Sul, obras de conceção profundamente original, e em cujo projeto a interação com a Arquitetura foi também frutuosa e singular. No passado recente a Cidade tem atravessado um período de intensa Reabilitação do Centro Histórico, após décadas de decadência e desertificação. Este processo, em grande parte associado ao Turismo, corresponde ao reconhecimento internacional da excepcional valia patrimonial e humana da Cidade. A FEUP tem contribuído não apenas para a conceção das políticas e programas de regeneração urbana, mas também para a prática de uma verdadeira reabilitação inteligente. Esta procura combinar a conservação dos elementos essenciais caracterizadores do edificado antigo com a introdução de novos elementos, visando o reforço estrutural, quando necessário, e melhor conforto das construções. Esta prática exige conhecimento aprofundado das técnicas e materiais tradicionais, bem como de soluções e materiais inovadores. A Reabilitação do Património Monumental é ainda mais exigente. Numa nação antiga como Portugal, com um rico e vasto património monumental, a reabilitação-mantenção do mesmo é uma exigência permanente. Requer equipas multidisciplinares e abordagens maduramente ponderadas e tão pouco intrusivas quanto possível. Neste campo, a atividade da FEUP, ao abrigo de protocolos com as entidades que superintendem o Património, ao nível nacional e também internacional, tem sido intensa e unanimemente reconhecida, quer no aconselhamento técnico das soluções, quer na divulgação das boas práticas de reabilitação.

A Gestão do Tráfego é outro campo de intervenção da Engenharia Civil para o dia-a-dia na Cidade, com progressos palpáveis nos últimos anos, destacando-se a este respeito todo o sistema integrado de semaforização e de controlo do tráfego da cidade. Por último, é indispensável fazer referência ao contributo da Engenharia Civil para o Planeamento Urbanístico, destacando o Plano Regulador da Cidade do Porto de 1952, da autoria do Engenheiro Antão de Almeida Garrett, professor da FEUP. Embora, oficialmente, este plano tenha tido uma vigência de escassos anos, as suas propostas perduraram no tempo – sendo retomadas em planos posteriores – vindo a marcar profundamente o desenvolvimento da Cidade. Basta lembrar que foi aquele Plano Regulador que, pela primeira vez, delineou a inserção da Ponte da Arrábida e o percurso da atual Via de Cintura Interna, sendo que na altura esta via se apresentava com um perfil de grande avenida ou boulevard, e não de autoestrada urbana como posteriormente acabou por ser concretizada.

O breve itinerário apresentado não é mais do que um esboço, a desenvolver nas páginas seguintes. Pareceu ao autor destas linhas útil percorrê-lo porque a Engenharia Civil está tão intensamente ligada à vida da Cidade, que ela própria se torna Cidade e, nessa medida, deixa de ser Engenharia! Passa a ser Saúde, Habitação, Conforto, Segurança, Ambiente, Mobilidade, Paisagem, Património, Cultura. Pelo que que acima foi sucintamente refletido e, sobretudo, pelo que nas páginas seguintes fica escrito, parece legítimo afirmar que a contribuição da Engenharia Civil e da FEUP, herdeira da Academia Politécnica, para a maioria daquelas áreas tem sido, no Porto tal como no País, relevante, profunda e diversificada.

of a safe harbour, using the mouth of a small river north of Porto, the River Leça. Around 130 years later, this port is now a vital infrastructure for the country's economy. Its history is a treasure trove of brilliant Civil Engineering solutions, developed by a technical team set up at the Polytechnic Academy and the Faculty of Engineering of University of Porto (FEUP). The Coast Road, from Freixo to Foz, is a long balcony over the river, sheltered by support walls and, at some points, quay walls of different types that can only be properly seen from the river. The last structure, the Massarelos metal bridge, because of how it contrasts with the granite, its design and how it fits into the landscape is, for now, the perfect finish to this multi-century project.

In other cases, we can see, over the almost 20 decades being looked at, parts of the most notable heritage, such as the bridges, which pop up here and there, creating lines of force around which the city structured itself and developed. Due to the very peculiar and demanding conditions of the River Douro and its estuary, it was only in the mid-19th century that engineering made a permanent crossing possible (the Pênsil Bridge, 1843, since demolished). Since then, the Maria Pia (1877), Luís I (1888), Arrábida (1963), São João (1991), Freixo (1995) and Infante Dom Henrique (2003) bridges have formed a set of masterpieces made from iron and reinforced and pre-stressed concrete and designed by great engineers such as Gustave Eiffel, Théophile Seyrig and Edgar Cardoso, the likes of which are to be seen nowhere else. Similarly, there are cases of building construction which were veritable disruptions to the body of the city. During this period, a number of notable buildings marked the city from an engineering standpoint – but, all of them also notable for their Architecture: the New Customs House, in stone (1869) and, probably the most profound alteration in nineteenth century urban planning; the Crystal Palace, in iron (1865), demolished in 1951; the São Bento railway station with its metal structure (1916); the Rosa Mota Sports Pavilion in reinforced concrete (1952) and the Casa da Música, in white reinforced concrete (2005). We can also identify two periods of intensive underground construction in the old granite mass of Porto. In the 19th century, there was the Customs House Tunnel (1888) and the São Bento Tunnel (1896), which must be recognised as exceptional given the technical means available at that time. Both were part of the large railway project that brought structure to the country. The following century was rather unproductive in this aspect, with the important exception of the Ribeira road tunnel (1956). But the beginning of the 21st century was bright, with the construction of the Metro do Porto (1<sup>st</sup> phase). All told, this was probably the biggest and most onerous public works endeavour in the history of the country and, at the time, the biggest metro system built all at once, and in barely seven years. The very heterogenous nature of the granite formations made the underground construction work, and particularly the tunnels, very difficult and complex. It is therefore rightly considered a world benchmark in the engineering of tunnels excavated using a tunnelling machine. The underground stations are a notable result of the cooperation between engineering and Architecture. The course of the engineering achievements this century must include the most critical point in the city, where the river meets the sea, sometimes violently: the Barra do Douro. Work that had been under consideration for some time provided the solution – insofar as this word can be used in such a complex and dynamic context – for the protection of the bar from the damage

caused by the rough seas. This included the protection embankment along the coast from Sobreiras to Cantareira (with one of the most beautiful leisure areas in the city being built on top of it) and the construction of the north and south piers. The design of this work was profoundly original and the interaction with Architecture during the project was also fruitful and unique. In the recent past, the city has been undergoing a period of intense renovation in the historical quarter, after decades of decay and abandonment. This process, largely associated with tourism, is a result of the international recognition of the city's exceptional wealth of heritage and culture. FEUP has contributed not only to designing the urban regeneration policies and programmes, but also to the implementation of truly intelligent renovation practices. This quest combines conservation of the essential elements' characteristic of the old buildings with the introduction of new elements, aimed at structural reinforcement, when necessary, and more comfort in the constructions. This practice requires in-depth knowledge of traditional techniques and materials, as well as of innovative solutions and materials. The renovation of the city's monuments is even more demanding. In a nation as old as Portugal, with its vast wealth of built heritage, its renovation/maintenance is a constant demand that requires multidisciplinary teams and carefully considered approaches that are as unobtrusive as possible. This is the area where the activity of FEUP, through protocols with the entities supervising heritage both national and internationally, has been most intense and widely recognised, both for providing technical advice on solutions and for spreading best renovation practices. Traffic management is another area of intervention for Civil Engineering in the day-to-day life of the city, with clear progress having been made in recent years. Of note here is the entire integrated traffic light and traffic control system in the city. Finally, mention must be made of the contribution of Civil Engineering to Urban Planning, with a special word for the 1952 Porto City Development Plan, by the engineer Antão de Almeida Garrett, Professor at FEUP. Although this plan was officially only in force for a few years, its proposals have remained. They were resumed in later plans and have been leaving a deep mark on the city's development. Suffice it to say that it was this development plan that, for the first time, outlined the inclusion of the Arrábida Bridge and the route of the current VCI – inner ring road. At the time, this road was designed as a large avenue or boulevard, and not the urban motorway that would eventually be built.

This brief itinerary is a mere outline of what will be looked at in more detail in the following pages. This author believed that it would be useful to take a look at this, because Civil Engineering is so closely linked to life in the city that it has become a city itself and, in this way, is no longer Engineering! It becomes health, housing, comfort, safety, the environment, mobility, landscape, heritage and culture. From what has been briefly outlined above and, mainly, from what is written in the following pages, it seems only fitting to say that the contribution of Civil Engineering and FEUP – inheritor of the mantle of the Polytechnic Academy – towards the majority of these areas has been significant, profound and diverse, both in Porto and for the rest of the country.

**Rui Faria**

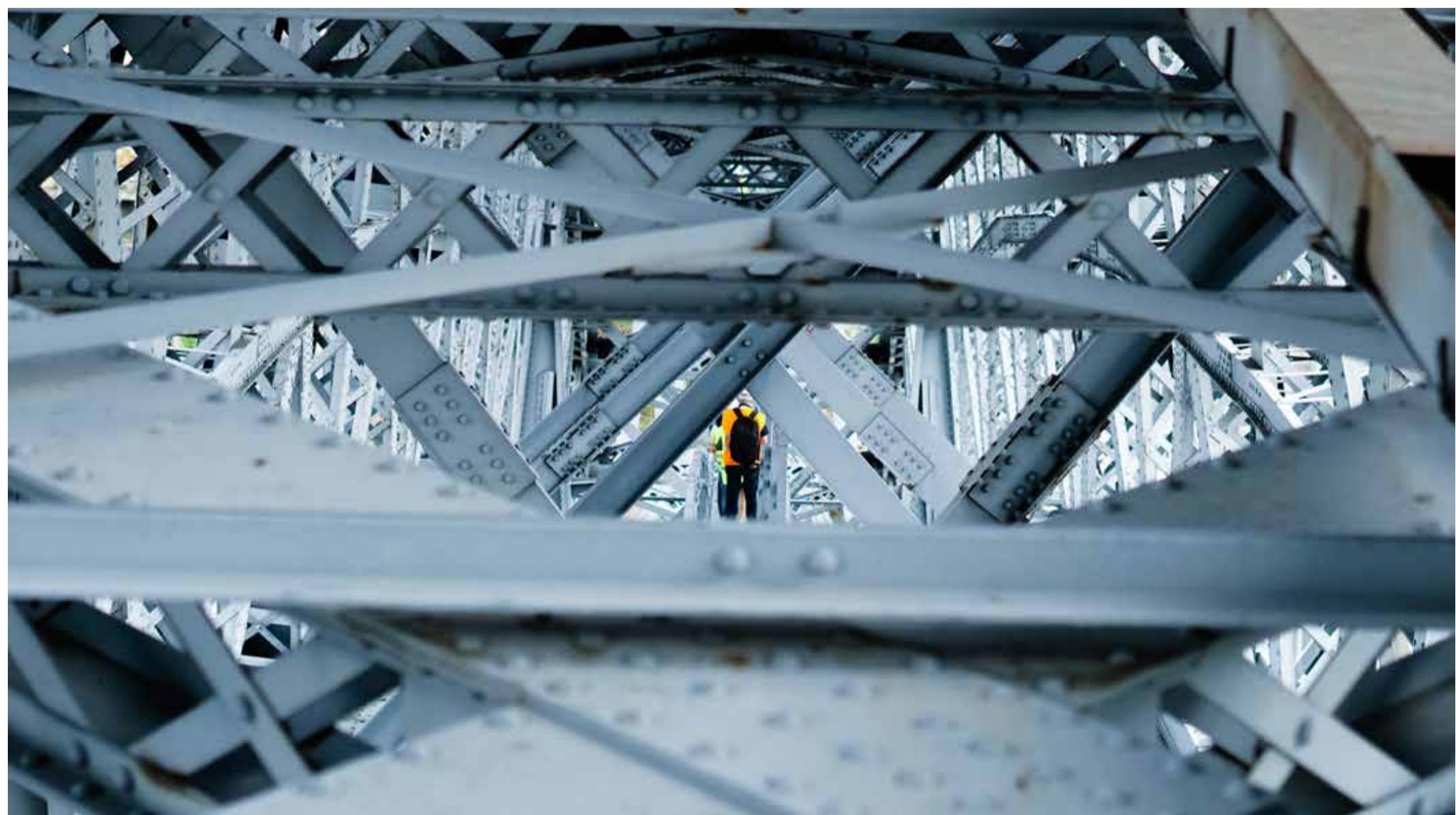
Engenheiro Civil, Professor Catedrático  
Departamento de Engenharia Civil, FEUP  
Ex-Diretor do DEC

Civil Engineer, Full Professor  
Department of Civil Engineering, FEUP  
Former Director of DEC

**Bárbara Rangel**

Arquiteta, Professora Auxiliar  
Departamento de Eng. Civil, FEUP  
Responsável pela comunicação e divulgação

Architect, Assistant Professor  
Civil Engineering Department, FEUP  
Responsible for communication and dissemination



## A Engenharia Civil fora de portas, a mostrar-se à cidade

No âmbito das ações de divulgação do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e da Mostra da UP, associado à iniciativa "Fora de Portas – Engenharia Civil à Mostra", que resulta da colaboração com o Município do Porto, promove-se um conjunto de visitas e conferências a locais emblemáticos do Porto. Objetivo: identificar o papel inovador da Engenharia Civil na construção da nossa cidade. Várias entidades têm vindo a juntar-se a esta iniciativa, para dar a conhecer este lado tecnológico, mas também civilizacional, da arte da Construção e de criação de infraestruturas de suporte à sociedade: o Município do Porto, a Ordem dos Engenheiros – Região Norte, as Águas do Porto, a Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia e mais recentemente a Câmara Municipal de Matosinhos. A Engenharia Civil sai à rua, para se mostrar onde está presente e como participa na construção da cidade e na modernização da sociedade. A Engenharia Civil é o suporte de grande parte da atividade económica da nossa sociedade, intervindo no projeto e construção de cidades e povoações, edifícios, redes de transportes e de estruturas de

distribuição de energia. Tem forte presença na conceção e construção de pontes e túneis, de portos e aeroportos, de barragens, bem como de torres eólicas ou de plataformas de exploração de petróleo e gás natural. O seu papel é fundamental para a sociedade através do projeto e montagem de redes de fornecimento de água potável, bem como de saneamento e de distribuição de energia. Na proteção da linha de costa marítima, em crescente risco face às alterações climáticas, a Engenharia Civil está fortemente envolvida. A sua relevância social é notória na construção de infraestruturas e de acessibilidades, bem como em intervenções de manutenção e de recuperação de edifícios e infraestruturas. Por outro lado, a Engenharia Civil é essencial nos domínios da eficiência construtiva e energética. São disso exemplos os crescentes cuidados no estudo e instalação de isolamentos térmicos nos edifícios, na redução de resíduos industriais perigosos e no tratamento de águas poluídas, bem como na captação de novas fontes de água potável e na inertezação de resíduos industriais. Em suma, a Engenharia Civil reflete-se no nosso dia-a-dia em vários quadrantes e distintos contextos

## Civil Engineering stepping out, showing itself to the city

Under the scope of the Civil Engineering Department of the Faculty of Engineering of University of Porto and U. Porto on Display, associated with the "Stepping Out – Civil Engineering on Display" initiative, which results from the collaboration with Porto City Council that promotes a set of visits and conferences to the emblematic locations of the city of Porto. Aim: to identify the innovative role of Civil Engineering in the construction of our city. Several entities have joined this initiative, to raise awareness of this technological, but also civilizational, side of the art of construction and the creation of support infrastructures for society. These include Porto City Council, the Engineers Association (North Region), the Águas do Porto, Vila Nova de Gaia City Council and, more recently, Matosinhos City Council. Civil Engineering takes to the streets to show where it is and how it takes part in the construction of the city and the modernisation of society. Civil Engineering provides the support for a large proportion of the economic activity in our society, contributing to the design and construction of cities and towns, buildings, transport networks and energy distribution infrastructures. It plays a major role in the

design and construction of bridges and tunnels, ports and airports, as well as wind turbines and oil and natural gas exploration platforms. Its role is fundamental to society, through the design and installation of drinking water supply networks, as well as sanitation and energy distribution. Civil Engineering is also closely involved with the protection of the coastline, at increasing risk due to climate change. Its social relevance in the construction of infrastructures and access routes is no secret, nor are its interventions in building and infrastructure maintenance and restoration. Moreover, Civil Engineering is essential to the areas of construction and energy efficiency. Examples of this are the increasing care taken in the study and installation of heat insulation in buildings, the reduction in hazardous industrial waste and the treatment of polluted water, as well as the harnessing of new sources of drinking water and rendering industrial waste inert. All in all, Civil Engineering can be seen in our everyday lives in several areas and in different contexts. Built-up areas and the infrastructures supporting them are obvious examples of engineering. However, the role of Civil Engineering is

do nosso quotidiano. O espaço construído e as infraestruturas que o suportam são o espelho da engenharia. No entanto, nem sempre é evidente qual o papel da Engenharia Civil no ambiente que nos rodeia. O que faz um Engenheiro Civil? Para que serve a Engenharia Civil? Como se faz? E onde está a Engenharia Civil? São algumas das questões que se podem colocar quando tentamos entender como funciona a nossa sociedade. Para respondermos a estas questões fizemos outras ao público em geral para visitarem algumas obras emblemáticas do Porto, fazendo uma leitura tecnológica das questões que se levantam em cada uma delas. Cada uma destas visitas, acompanhada pelos autores dos projetos ou dos estudos elaborados, foi antecedida por uma pequena conferência, através da qual se procurou dar respostas a estas perguntas. Procurou-se abranger as diferentes áreas de intervenção da Engenharia Civil, desde as estruturas de pontes e edifícios, à reabilitação, à eficiência construtiva e energética, ao fornecimento de água e tratamento de águas residuais até à geotecnica, todas elas presentes nas grandes obras que constroem a cidade em que vivemos. São disso exemplo a rede de águas que começou em Arca d'Água, o Metro do Porto, as Pontes, ou edifícios históricos como a Reitoria da Universidade do Porto e o Palácio de Cristal, que revelam o conhecimento tecnológico de cada uma das épocas em que estas importantes obras foram construídas. Paralelamente a cada um destes eventos foi produzida e oferecida ao público uma publicação – a "Sebenta d'Obra" –, que de forma sintética explicava o desenvolvimento do processo de realização da intervenção, desde o projeto ou diagnóstico até à concretização da obra final. Este ciclo foi iniciado desafiando o público a descobrir o interior da Ponte de São João, numa visita guiada pelo Eng. Luís Afonso, colaborador na construção desta importante obra, projeto do famoso Eng. Edgar Cardoso. Procuramos depois dar a entender as particularidades do restauro da cobertura do Palácio da Bolsa, explicadas no local pelos autores do projeto – o Prof. Vasco Freitas e o Arq. Nuno Valentim. Com o apoio da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia fomos visitar o tabuleiro superior da Ponte Luiz I, em que o Prof. Aníbal Costa explicou como se fez o correspondente reforço para permitir a passagem do Metro do Porto. O Arq. Manuel Maria Reis descreveu as obras que estão a ser feitas na Reitoria nos últimos 14 anos, em particular na reabilitação da cobertura. Na vista ao Metro do Porto, o Prof. António Topa Gomes fez uma abordagem do tipo de túneis que se construíram no Porto, de acordo com as diferentes características do terreno enquanto se percorria o túnel de ligação da Trindade à Rua de Faria Guimarães. Subimos à cobertura do Palácio de Cristal, e o Mestre José Carlos Loureiro revelou ao jovem público da Mostra 2017 como se desenvolveu o seu primeiro projeto, quando tinha apenas 27 anos de idade! Fomos espreitar a Galeria da Biodiversidade antes da sua abertura, e novamente o Prof. Vasco Freitas, o Prof. Aníbal Costa e o Arq. Nuno Valentim explicaram como se conseguiram criar condições higrotérmicas ideais para alojar uma exposição com peças de necessidades e requisitos muito diversos, sem instalar um sofisticado sistema de condicionamento de ar ou alterar a estrutura de madeira existente. Voltamos à Ponte Luiz I com o Prof. Joaquim Figueiras, para vermos como estão a ser medidos e monitorizados os movimentos da ponte aquando da passagem de cada composição do Metro, ou quando esta icónica obra é solicitada por multidões durante as festas do São João ou na Maratona. Com o Prof. Adão da Fonseca fomos ao interior da Ponte do Infante, e descobrimos um espaço surpreendente dentro do tabuleiro superior em caixão.

Uma das nossas visitantes descobriu inclusivamente que os pequenos orifícios de fixação das cofragens para construção das paredes de betão, provocam um efeito de câmara escura no interior, projetando na face oposta uma imagem ténue e invertida da paisagem. Fomos ao Museu da Misericórdia, à antiga Galeria dos Benfeiteiros do Edifício Principal e à Igreja Privativa da Santa Casa da Misericórdia do Porto com o Prof. Vasco Freitas, onde percebemos as quase cirúrgicas intervenções realizadas para potenciar os benefícios construtivos, minimizando os efeitos das obras efetuadas. Para a Galeria dos Benfeiteiros do Edifício Principal, coberta por uma delicada claraboia de ferro e vidro, propôs-se um sistema de ventilação natural automatizado. Para minimizar os efeitos da humidade ascensional decorrente do rio subterrâneo que atravessa as fundações da Igreja Privativa da Santa Casa da Misericórdia do Porto, propôs-se um tratamento da base das paredes e do pavimento com um sistema de ventilação automático. Decorrente de uma estreita colaboração com as Águas do Porto, foi possível entender como a água se move na nossa cidade. Visitamos uma das suas nascentes, a Arca d'Água, com o Eng. Guilherme Fontes e o Arq. Mário Mesquita, que nos contaram como se distribuía a água desde o final do século XVI. Na palestra, o Prof. Francisco Taveira Pinto explicou como se distribui hoje a água pela cidade do Porto. Com o Eng. António Alpoim e o Arq. Alexandre Alves Costa visitamos o Reservatório da Pasteleira, agora descoberto e voltado para o jardim. Com o mesmo arquiteto e com o Eng. Jorge Nunes da Silva descemos ao túnel do Rio de Vila, atualmente em processo de remodelação, integrado numa estratégia de reabilitação e musealização das infraestruturas hidráulicas devolutas, promovida pelas Águas do Porto. E com o Prof. Joaquim Poças Martins, os Eng. José Padilha e a Eng.<sup>a</sup> Sara Cunha, foi explicado no Reservatório dos Congregados como a gravidade determinou a mudança da rede de abastecimento de água da cidade, reduzindo assim drasticamente os gastos energéticos na sua distribuição, o Porto Gravítico. Visitamos a ETAR de Sobreiras com o Prof. Joaquim Figueiras, responsável pelo projeto de estruturas deste enorme complexo adocado à encosta do Rio Douro, junto ao Fluvial, onde a Eng.<sup>a</sup> Elza Ferraz explicou o funcionamento técnico desta infraestrutura de purificação da água. Em todas as visitas foi gratificante perceber o entusiasmo com que os visitantes apreenderam esta faceta tecnológica das intervenções nas obras, monumentos e edifícios icónicos da cidade. Entenderam a abrangência de recursos muito diversos que a Engenharia Civil adota para conceber, calcular e construir as infraestruturas. Pela multiplicidade de funções que um edifício ou infraestrutura envolvem, compreenderam o carácter multidisciplinar da Engenharia Civil. A percepção da enorme dimensão destas infraestruturas fez entender a responsabilidade desta profissão no funcionamento do nosso dia-a-dia, desde a água que bebemos, às estradas que nos ligam a diferentes locais ou tão simplesmente à importância da casa em que nos acolhemos com a família e sob cujo telhado dormimos. Pela delicadeza e meticuloso trabalho de investigação inerente a uma reabilitação cuidada, entenderam a visão integradora do Engenheiro Civil quando intervém num edifício ou obra, sejam eles históricos ou não. Foi assim que, ao longo de uma série de 18 visitas, fomos mostrando onde está a Engenharia Civil, como se faz e qual o seu papel na sustentação do nosso quotidiano e na génese da nossa sociedade.

not always evident in the world around us. "What do Civil Engineers do?, What is Civil Engineering for?, How is it done?, and Where is Civil Engineering?". These are just some of the questions that can be asked when trying to understand how our society works. To answer these questions, we have invited the general public to visit some iconic projects in Porto, looking at the questions raised in each one of them from a technological standpoint. Each one of these visits, in the company of the project designers or blueprints used, was preceded by a short conference where we tried to answer these questions. This initiative has sought to cover the different areas of Civil Engineering — from the structures of bridges and buildings, to restoration, construction and energy efficiency, water supply and wastewater treatment and geotechnics — all of these clearly present in the large projects that are the backbone of the city we live in. To this end, some examples are given, such as the water network, which began in Arca d'Água, the Metro do Porto, the bridges, or historical buildings like the Rectory of the University of Porto and the Pavilhão Rosa Mota, which reveal the technological skills required in each one of the periods when these important projects were built. At the same time as each one of these events, a "Project Summary" was published and offered to the public, briefly explaining the development of the engineering process, from the design or diagnostics to the completion of the final project. We started this cycle by challenging the public to explore the interior of São João Bridge, on a visit led by the engineer, Luís Afonso, who took part in the construction of this important project designed by the famous engineer, Edgar Cardoso. We then try to convey the particular nature of the restoration of the roof of Palácio da Bolsa, explained on site by the project designers, Vasco Freitas, professor, and Nuno Valentim, engineer. With the support of Vila Nova de Gaia City Council, we visited the upper deck of Luiz I Bridge, where, Aníbal Costa, professor, explained how it was reinforced so that it could be used by the metro. The architect, Manuel Maria Reis, described the projects that have been underway at the Rectory of University of Porto over the last 14 years, particularly the restoration of the roof. On the visit to the metro, António Topa Gomes, professor, outlined the type of tunnels built in Porto, according to the different characteristics of the terrain, while going through the tunnel connecting Trindade to Rua de Faria Guimarães. We went up to the roof of the Palácio de Cristal and the architect, José Carlos Loureiro, told his young audience from the Mostra 2017 how he developed his first project, when he was only 27! We took a peek at the Biodiversity Gallery before it was officially opened and, once again, Vasco Freitas, professor, Aníbal Costa, professor, and Nuno Valentim, architect, explained how they were able to create ideal hygrothermal conditions to house an exhibition of items with very diverse needs and requirements, without installing a sophisticated air conditioning system or changing the existing wooden structure. We returned to Luiz I Bridge with Joaquim Figueiras, professor, to see how traffic on the bridge is being measured and monitored when each metro train crosses it, or when large crowds flock to this iconic place, such as during the São João festivities or the Marathon. With Adão da Fonseca, professor, we visited the interior of Infante Bridge and discovered a surprising space inside the upper box girder deck. One of our visitors even discovered that the small holes for securing the formwork used for building the concrete walls have a darkroom effect on the interior, projecting a tenuous, inverted image of the landscape on the opposite wall. We went to the Misericórdia Museum, the former Benfeiteiros Gallery in the main building and the private chapel at the Porto Santa Casa da Misericórdia with Vasco Freitas, professor, where we were able to appreciate the almost surgical interventions carried out to boost construction benefits and minimise the effects of the work being done. An automated natural ventilation system was proposed for the Benfeiteiros Gallery in the main building, which is topped with a delicate iron and glass skylight. To minimise the effects of rising damp coming from the underground river crossing the foundations of the private chapel at the Porto Santa Casa da Misericórdia, the proposal was to use an automated ventilation system on the base of the walls and on the floors. Given the close cooperation with Águas do Porto, we were able to understand how water moves in our city. We visited one of its sources, Arca d'Água, with Guilherme Fontes, engineer, and Mário Mesquita, architect, who told us how water had been distributed since the end of the 16<sup>th</sup> century. During his lecture, Francisco Taveira Pinto, professor, explained how water is now distributed throughout City of Porto. With António Alpoim, engineer, and Alexandre Alves Costa, architect, we visited the Pasteleira water tank, now uncovered and facing the park. With the same architect and Jorge Nunes da Silva, engineer, we went down to the River Vila Tunnel, currently undergoing remodelling as part of a strategy for the restoration of disused water infrastructures and turning them into museums. This project is promoted by Águas do Porto. And Joaquim Poças Martins, professor, and José Padilha and Sara Cunha, engineers, explained at the Congregados water tank how gravity determined the change to the city's water supply network, thus drastically reducing energy distribution costs, through the Porto Gravítico project. We visited the Sobreiras WWTP with Joaquim Figueiras, professor, responsible for designing the structure for this enormous complex on the banks of the River Douro, where Elza Ferraz, engineer, explained the technical operation of this water purification infrastructure. On all of the visits, it was a pleasure to see the enthusiasm of the visitors when they learnt about this technological side of the work done on the city's iconic projects, monuments and buildings. They were able to understand the scope of the very diverse resources used by Civil Engineering to design, calculate and build the infrastructures. The multitude of functions involved in these buildings or infrastructures showed them the multidisciplinary nature of Civil Engineering. Gaining an understanding of the enormous dimension of these infrastructures clearly showed how much responsibility this profession has in our everyday lives, from the water we drink, to the roads that take us to different places, or simply the importance of the home we live in with our families and the roof we sleep under. Due to the delicacy and meticulous research work inherent to careful restoration, they understood the integrated approach of the Civil Engineer when working on buildings or projects, whether these are historical or not. This was how, over the course of 18 visits, we showed where Civil Engineering is, how it is carried out and its role in sustaining our everyday lives and the genesis of our society.



**Joaquim Poças Martins**

Engenheiro e Professor  
Associado com Agregação  
Departamento de Engenharia Civil, FEUP

Engineer and Associate  
Professor with Aggregation  
Department of Civil Engineering, FEUP



## Projeto Porto Gravítico e redução das perdas de água

Reformulação de um sistema centenário

A cidade do Porto é hoje uma referência no setor da água, sobretudo no que se refere à gestão integrada do ciclo urbano da água, à reabilitação de ribeiras e praias e à redução rápida das perdas de água e de energia. Como quase todas as cidades, desenvolveu os seus sistemas de abastecimento de água por fases, tendo adotado, desde 1887, soluções técnicas e modelos de gestão que foram evoluindo ao longo do tempo. Dispõe de estações de tratamento modernas, com menos de vinte anos, e tem água e saneamento em praticamente todas as ruas, com níveis de cobertura que se aproximam de 100%. A cidade desenvolve-se entre o nível do mar e a cota +160 metros e recebe, da empresa regional Águas do Douro e Paiva, água captada no rio Douro, na Albufeira de Crestuma-Lever, a cerca de 20 quilómetros. Ao longo deste percurso, para vencer o relevo, a água tratada na ETA de Lever é elevada para reservatórios de adução às cotas +140 e +180 metros, a partir dos quais se processa o abastecimento ao Porto e outros municípios vizinhos. O sistema de distribuição da cidade do Porto dispunha, em 2006, de seis estações elevatórias, que funcionavam com 36 operadores e consumiam 2,5 milhões de kWh/ano. O custo de exploração destas estações elevatórias era de 1 milhão de euros por ano. O Projeto Porto Gravítico partiu de interrogações simples: como no seu percurso entre a ETA de Lever e o Porto a água

tem de ser elevada para reservatórios a cota mais alta que a cidade, para vencer o relevo existente, porque seriam necessárias tantas estações elevatórias, com tanto consumo de energia, na rede de distribuição? As bombagens poderiam ser substituídas por escoamento gravítico? Através da análise detalhada da rede, com recurso a modelação matemática e a sistemas de informação geográfica, com georreferenciação da rede e dos clientes, foi possível conceber novas zonas de distribuição, mais adaptadas à topografia do terreno. As áreas de influência dos reservatórios foram redefinidas hidráulicamente de forma a garantir pressões mínimas regulamentares em todos os pontos da rede apenas com escoamento gravítico. Por exemplo, o reservatório a cota mais baixa, na Pasteleira, que servia sobretudo a zona da Foz, passou a servir grande parte da orla marítima e a margem do Douro. Por outro lado, constatou-se que os caudais a transferir entre reservatórios poderiam ser substancialmente reduzidos se as perdas de água baixassem significativamente dos inaceitáveis 54% que se verificavam em 2006 e, com caudais mais reduzidos, confirmou-se pela modelação hidráulica que seria possível, de facto, substituir quase totalmente as bombagens por escoamento gravítico. A redefinição das zonas de abastecimento de cada reservatório, conjugada com a redução de perdas, levou à desativação de estações elevatórias e à redução

## Porto Gravítico and Reduction in water losses

Reformulation of a centuries old system

Porto city is now a benchmark in the water sector, particularly in terms of integrated management of the urban water cycle, the rehabilitation of riversides and beaches and the rapid reduction in water and energy losses. Like almost every other city, the water supply system was developed in stages and, in 1887, technical solutions and management models were adopted and have evolved over time. There are modern water treatment plants, less than 20 years old, and water and sanitation on practically every street, with coverage levels approaching 100%. The city is built between sea level and an altitude of +160 m and the regional Águas do Douro e Paiva water company supplies it with water taken from the Douro River at the Crestuma-Lever Dam, around 20 km away. The water treated at the Lever WTP is pumped along this route over rugged terrain to elevated water towers at heights of +140 m and +180 m, from where the supply to Porto and other neighbouring municipalities is processed. In 2006, Porto's distribution system had six pumping stations employing 36 operators and consuming 2.5 million kilowatt-hours/year. These pumping stations were costing one million euros per year to operate. The Porto Gravítico Project began with simple questions: as the water has to be pumped to reservoirs at a higher altitude than the city on the route between the

Lever WTP and Porto due to the rugged terrain, why were so many pumping stations, consuming so much energy, needed on the distribution network? Could the pumping be replaced by gravity flow? Through a detailed analysis of the network, using mathematical models and geographic information systems with network and customer georeferencing, new distribution zones, more adapted to the topography of the terrain, were designed. The areas served by the reservoirs were hydraulically redefined in order to ensure regulatory minimum pressures at all points of the network using gravity flow only. For example, the lowest reservoir, in Pasteleira, which used to serve the Foz area mainly, began serving a large part of the coastal area and the banks of the Douro. Likewise, it was found that the flows to be transferred between reservoirs could be substantially reduced if the water losses were significantly reduced from the unacceptable 54%, which was the case in 2006, and the hydraulic models confirmed that it would indeed be possible to replace almost all the pumping stations with gravity flow. The redefinition of the supply zones for each reservoir, along with a reduction in losses, led to the decommissioning of pumping stations and an almost complete reduction in energy consumption for pumping in the city. Replacement of pumping by gravity flow (concept). Drastic reduction in energy consumption in pumping stations

quase total do consumo de energia para bombagem dentro da cidade.

A pressão desnecessariamente alta que existia na rede da cidade baixou muito com a reafetação dos reservatórios, o que contribuiu para reduzir em 90% o número de roturas que ocorriam diariamente na rede envelhecida da cidade, com muitas condutas centenárias. A implementação da nova solução implicou a construção de cerca de 4 km de condutas (uma pequena fração do comprimento total da rede, que ascende a mais de 700 km), a instalação de um número reduzido de válvulas redutoras de pressão e a implementação de um primeiro sistema de monitorização com telemetria, com um investimento de cerca de um milhão de euros.

A redução da pressão na rede, em conjunto com outras medidas de gestão, permitiu, praticamente sem investimento, baixar muito rapidamente as perdas reais (a água que se perde nas condutas enterradas antes de chegar aos consumidores) e as perdas aparentes (subfaturação decorrente do envelhecimento dos contadores domiciliários e de consumos ilícitos).

Com efeito, para fazer chegar aos consumidores do Porto uma média de 48 000 metros cúbicos de água por dia, a quantidade de água tratada adquirida à Águas do Douro e Paiva passou, entre dezembro de 2006 e julho de 2007, em apenas oito meses, de 104 000 para 76 000 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, as perdas passaram de 56 000 para 28 000 m<sup>3</sup>/dia. Esta redução inicial da quantidade de água adquirida correspondeu, só por si, a uma poupança de cerca de 4 milhões de euros por ano, a preços de 2018.

A redução de perdas continuou ao longo do tempo: passou para 13 000 m<sup>3</sup>/dia em 2013 e, em 2018, para 11 100 m<sup>3</sup>/dia.

A redução das perdas evitou ainda a construção dos reservatórios da Prelada e do Covelo, previstos em estudos anteriores, que seriam então necessários para garantir dois dias de reserva de segurança água na cidade, com problemas de localização e um custo de 12 milhões de euros.

As poupanças totais decorrentes da redução de perdas de água e energia entre 2006 e 2018 já atingem os 10 milhões de euros por ano, valor muito significativo tendo em conta que o volume total de vendas da empresa é de cerca de 45 milhões de euros por ano. O Projeto Porto Gravítico e a fase inicial do processo de redução de perdas foram liderados pelo autor, coordenador do processo de reestruturação da Águas do Porto entre 2006 e 2013, e que só foi possível graças à participação de uma equipa pluridisciplinar que incluiu engenheiros de diversas especialidades e gerações, economistas, juristas, operadores, operários, gestores de zona, atendentes e operadores.

Esta solução foi significativamente melhorada durante os mandatos dos engenheiros João Pedro Matos Fernandes e Frederico Fernandes, que lideraram o desenvolvimento de novas estratégias que têm conduzido a Águas do Porto a patamares de excelência cada vez mais elevados.

## A ENGENHARIA DA ÁGUA NA TRANSFORMAÇÃO DA CIDADE

A gestão da água na cidade, em que as praias urbanas de Bandeira Azul conseguidas em tempo recorde são a parte visível do iceberg, fazem do Porto uma referência no domínio da engenharia da água, com grande potencial de internacionalização. O sistema de abastecimento regional da Águas do Douro e Paiva, desenvolvido a partir de 1990, abastece 20 municípios, incluindo o Porto, com água tratada de excelente qualidade e com grande fiabilidade. As alterações climáticas, com secas mais severas e prolongadas, põem novos desafios de engenharia, cuja solução passará previsivelmente pela interligação de origens de água vizinhas, pela reutilização generalizada de águas pluviais e de água residuais tratadas, na cidade e em cada casa, onde ainda usamos água potável para rega, nos autoclismos e para lavar a roupa. Considerada das melhores estruturas do género na Europa, com processos de tratamento diversificados em função da variação da qualidade da água do Douro, a ETAA de Lever é capaz de produzir cerca de 400 mil metros cúbicos de água por dia para cerca de milhão e meio de habitantes. Capta e trata água superficial e também subterrânea, na albufeira de Crestuma-Lever. Está interligada com estações de tratamento nos rios Paiva e Sousa e, ainda de forma incipiente, no rio Cávado.

## PROJETO PORTO BANDEIRA AZUL

Dificilmente seria possível conceber hoje o Porto sem as suas excelentes praias, com grande impacto na qualidade de vida dos residentes e na atividade turística. Toda a frente marítima entre a Praia do Homem do Leme e a Praia das Pastorais ostenta o galardão Bandeira Azul e, em 2019, a praia do Castelo do Queijo, já com qualidade balnear desde 2007, poderá estar também em condições de ter também Bandeira Azul. A Zona Balnear do Homem do Leme exibe, desde 2008, a bandeira Praia Acessível Praia para Todos, que visa reconhecer as praias que asseguram a acessibilidade para pessoas com mobilidade condicionada. A gestão integrada dos sistemas de águas residuais e pluviais, com monitorização em tempo real, a construção de um intercetor de segurança no areal da orla marítima e a concretização das ligações em falta à rede de saneamento, foram as chaves de sucesso deste projeto: em 2006 as praias do Porto estavam ainda interditadas à prática balnear. Têm sido utilizadas no Porto técnicas de instalação e reabilitação de condutas de água e de coletores de saneamento sem abertura de valas, com benefícios óbvios na redução do impacto destas obras essenciais na vida da cidade.

Pumping stations decommissioned between 2007 and 2011. Reduction in the zones supplied by pumping stations The unnecessarily high pressure that existed in the city's network was reduced substantially through the reassignment of the reservoirs, which contributed to a 90% reduction in the number of pipes bursting every day in the city's old network, made up of many very old pipes. The implementation of the new solution implied the laying of around 4 km of pipes (a small fraction of the total length of the network, which is over 700 km long), the installation of a small number of pressure relief valves and the introduction of the first monitoring system with telemetry, in an investment of around one million euros. The reduction in the network pressure, along with other management measures, made it possible, with practically no investment, to quickly reduce real losses (the water that was lost in the underground pipes before reaching consumers) and apparent losses (billing errors arising from the old meters in people's houses and illicit consumption). Reduction of water losses by half, in terms of volume, in only eight months. In fact, to get an average of 48 000 m<sup>3</sup> of water per day to consumers in Porto, the amount of treated water acquired from Águas do Douro e Paiva went from 104 000 m<sup>3</sup>/day in December 2006 to 76 000 m<sup>3</sup>/day in July 2007, a scant eight months, meaning water losses went from 56 000 to 28 000 m<sup>3</sup>/day. In itself, this initial reduction in the amount of water acquired corresponded to savings of around four million euros per year, at 2018 prices. Reduction in water losses since 2006 The reduction in losses continued, going from 13 000 m<sup>3</sup>/day in 2013 to 11 100 m<sup>3</sup>/day in 2018, and also circumvented the construction of the Prelada and Covelo reservoirs. Earlier studies had predicted that these would be necessary to guarantee a safety reserve for the city for two days, with localisation problems and a cost of 12 million euros. The total savings arising from the reduction in water and energy losses between 2006 and 2018 have already reached 10 million euros per year, which is very significant bearing in mind that the company's total sales volume is around 45 million euros per year. The Porto Gravítico Project and the initial phase of the loss reduction process were led by the author, coordinator of the Águas do Porto restructuring process between 2006 and 2013, which was only possible thanks to the participation of a multidisciplinary team that included engineers from a variety of areas and generations, economists, lawyers, operators, workers, area managers and assistants. This solution was significantly improved during the mandates of engineers João Pedro Matos Fernandes and Frederico Fernandes, who led the development of new strategies which have taken Águas do Porto to increasingly higher standards of excellence.

## WATER ENGINEERING IN THE TRANSFORMATION OF THE CITY

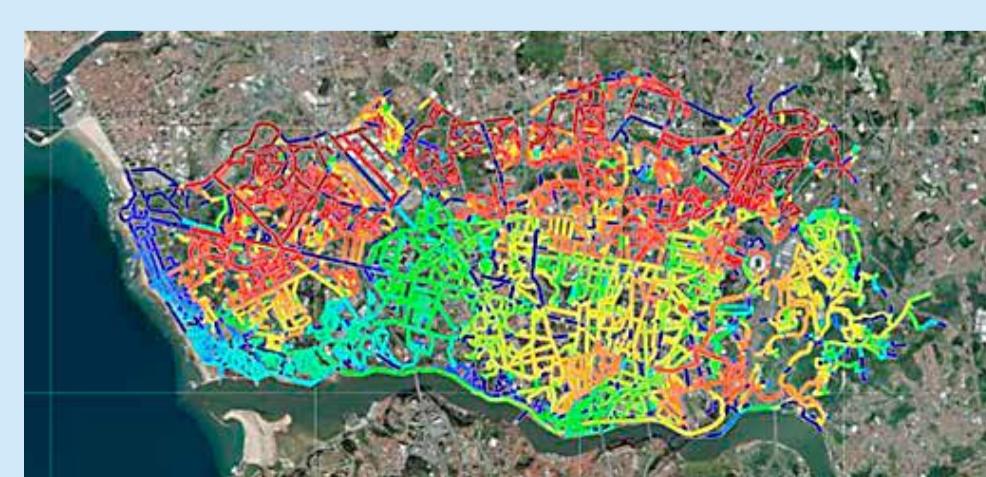
Water management in the city, where the urban beaches achieving Blue Flags in record time are just the tip of the iceberg, has made Porto a landmark in the area of water engineering, with high internationalisation potential. The Águas do Douro e Paiva regional supply system, under development since 1990, supplies 20 municipalities, including Porto, with very reliable treated water of excellent quality. Climate change, with more severe and prolonged droughts, brings new engineering challenges, which must be solved by interconnecting neighbouring water sources and the general reuse of rainwater and treated wastewater, in the city and in each home, where we still use drinking water for irrigation, for flushing toilets and for washing clothes. Considered one of the best structures of its kind in Europe, with a variety of treatment processes according to the changes in the quality of the water from the Douro, the Lever WTP is capable of producing around 400 000 m<sup>3</sup> of water for around a million and a half inhabitants. It collects and treats both surface water and groundwater in the Crestuma-Lever dam. It is interconnected with treatment plants on the rivers Paiva and Sousa and this system is still in the process of being implemented on the River Cávado.

## PORTO BLUE FLAG PROJECT

It would be hard to imagine Porto nowadays without its excellent beaches, which have a major impact on the quality of life of the locals and on tourism. The entire coastline between Homem do Leme Beach and Pastorais Beach has Blue Flag status and, in 2019, Castelo do Queijo Beach, suitable for swimming since 2007, may also be awarded a Blue Flag. Since 2008, the Homem do Leme Beach has flown the "Accessible Beach – Beach for All", flag, which is awarded to beaches that ensure accessibility for people with limited mobility. The integrated management of the wastewater and rainwater systems in real time, the construction of a safety interceptor on the seafront and the installation of the connections lacking in the sanitation network were key to the success of this project. In 2006, the beaches in Porto were still unsuitable for swimming. Installation techniques and renovation of water pipes and sanitation collectors, without recourse to opening ditches, have been used in Porto, with obvious benefits in reducing the impact of these projects essential to life in the city.

## H2PORTO

A Plataforma Tecnológica H2PORTO consiste num sistema de monitorização e controlo de todas as etapas do ciclo urbano da água no Município do Porto (abastecimento de água, drenagem e tratamento de águas residuais, drenagem de águas pluviais, ribeirais e praias), com informação remota e em tempo real. A plataforma integra dados de telemetria recolhidos a partir de numerosos sensores e equipamentos, modelos de simulação de redes hidráulicas, sistemas de previsão meteorológica e informação de terreno relativa à exploração das redes.



## H2PORTO

The H2PORTO Technological Platform consists of a monitoring and control system for all the stages of the urban water cycle in Porto Municipality (water supply, drainage, wastewater treatment, drainage of rainwater, riversides and beaches), with remote information in real time. The platform integrates telemetry data collected from a number of sensors and devices, hydraulic network simulation models, weather forecasting systems and terrain information related to network operation.


**António Adão da Fonseca**

 Engenheiro Civil  
 Professor Catedrático Aposentado  
 Departamento de Engenharia Civil, FEUP

 Civil Engineer  
 Retired Full Professor  
 Department of Civil Engineering, FEUP

# Engenho e arte na construção das pontes

As pontes constroem-se para desempenhar uma função de utilidade para a sociedade. Ao elevarem-se no ar, inevitavelmente marcam o espaço e a paisagem. Uma ponte é sempre um ponto de referência e tem uma importância maior na qualidade da paisagem em que se insere. Esta qualidade, ou falta dela, é especialmente marcante no espaço urbanizado. Consequentemente, há uma obrigação social e civilizacional da sociedade, por via das autoridades públicas e por via dos projetistas das pontes, em que haja não só uma qualidade funcional mas também uma qualidade estética e paisagística em todas as pontes. Qualidades que são para todos, mas talvez especialmente para os que só usufruirão de qualidade construtiva no espaço urbano. À pergunta sobre qual será a imagem mais forte da área metropolitana do Porto, não se responderá que é o Rio Douro e as suas Pontes? Evidentemente, a função que uma ponte vai desempenhar constitui a condicionante maior quer da sua localização quer das suas características dimensionais. Por sua vez, função e local vão ser os fatores determinantes da conceção estrutural da ponte, entendendo-se por conceção a simultânea escolha do (dos) material (materiais) estrutural (estruturais), da tipologia estrutural e de um método construtivo viável. A estética de uma grande ponte, pese embora a subjetividade de tal conceito, deveria ser sempre corolário da conceção estrutural, e nunca o contrário. Mas não o é garantidamente, embora se possa afirmar com alguma confiança que a conceção estrutural correta de uma ponte assegura que a ponte vai ser esteticamente bem-sucedida. A estética de uma ponte não deve ser o objetivo condutor da conceção estrutural, mas deverá sê-lo nas suas cores e na sua iluminação. Esta última, quer seja meramente funcional quer seja também ornamental, que nunca seja um exercício de exibicionismo ou de vaidade.

## CONCEÇÃO ESTRUTURAL

A função de uma ponte requer essencialmente uma plataforma, sempre que possível devendo-se integrar a plataforma na própria estrutura. A estrutura suporta as cargas de utilização e as ações da natureza, mas é da maior relevância a integração da ponte no ambiente urbano ou paisagístico em que se vai inserir, simultaneamente com outros valores e atributos, como sejam a transparência, o proporcionar vistas de grande qualidade, a relação de escala com outras construções próximas ou a orografia local, etc. De qualquer modo, a conceção de uma ponte está fundamentalmente relacionada com a estrutura, tendo em conta os materiais estruturais disponíveis e os métodos construtivos possíveis. Essa conceção vai então manifestar-se na tipologia estrutural adotada. Ao longo dos tempos, existiram poucos materiais estruturais: fibras naturais, madeira, pedra, betão e metais, destes

últimos utilizando-se quase em exclusivo os ferros e os aços. Mais recentemente, têm-se desenvolvido outros materiais, tais como fibras de vidro, de carbono e outras fibras, mas a sua utilização é apenas marginal e só em pequenas pontes. Em termos de comportamento estrutural, o que distingue fundamentalmente os materiais é uns possuírem resistências fiáveis à tração e à compressão, outros possuírem resistência fiável apenas à tração, e outros possuírem resistência fiável apenas à compressão. É bem-sabido que as fibras naturais resistem apenas à tração, que a pedra, o betão e o ferro fundido quase não resistem à tração, mas resistem bem à compressão, e que a madeira, os outros ferros e os aços resistem quer à tração quer à compressão. No caso do betão, a incorporação de armaduras, quase sempre em aço, gera um novo material estrutural, o betão estrutural – armado e/ou pré-esforçado, que resiste também à tração. E também bem se sabe que os elementos estruturais sujeitos a esforços de compressão podem sofrer fenómenos de instabilidade que obrigam a limitar apropriadamente os valores admitidos para as resistências à compressão dos materiais constituintes, muito em função das características geométricas de cada peça estrutural. Além das resistências, as ligações entre elementos estruturais são importantes condicionantes a ter presente na conceção estrutural, mas tal como as questões de durabilidade, manutenção e futura demolição, não são aqui abordadas. Concentra-se então a discussão da conceção estrutural nas capacidades de os materiais resistirem à tração e/ou à compressão, até porque são essas capacidades que mais determinam a tipologia estrutural das pontes. Na apresentação que aqui se faz, as tipologias estruturais e os métodos construtivos das Pontes entre o Porto e Gaia, quer das construídas quer das projetadas, mas não construídas, são discutidos na sua relação com os materiais estruturais disponíveis e face às funções e locais de construção de cada uma das pontes. O ferro, o aço e o betão armado ou pré-esforçado foram os únicos materiais estruturais utilizados nas 13 pontes apresentadas. As razões dessa utilização exclusiva são evidentes, pois os outros materiais estruturais ou não têm características estruturais para os vãos pretendidos e/ou não têm a durabilidade desejável.

# Ingenuity and art in the construction of bridges

Bridges are built to perform a useful function for society. By rising above, they inevitably change space and landscape around them. A bridge is always a landmark and is of great significance to the quality of the landscape in which it is located. This quality, or lack of it, is particularly important in urban areas. Consequently, society, through public authorities and bridge designers, has a social and civic obligation to ensure that all bridges have not only functional quality, but also aesthetic and landscape quality. Qualities that are for all, but perhaps especially for those who may enjoy quality of construction only in the urban space. Wouldn't the answer to the question 'what is the most remarkable image of the Porto Metropolitan Area' be the Douro river and its bridges? Clearly, bridge function is the most important factor for its location and dimensions. In turn, function and place will be the determining factors for the structural design of a bridge, where design includes the choice of the structural material or materials, of the structural type and of a viable construction method. The aesthetics of a large bridge, notwithstanding the subjective nature of this concept, should always be a corollary of its structural design, and never the other way around. This does not happen inevitably, although it can be said with some degree of confidence that the correct structural design of a bridge ensures that it will be aesthetically successful. Aesthetics should never be the driving factor in structural design, but it must be considered carefully in the choice of colours and lighting. The latter, whether it is merely functional or also ornamental, should never be an exercise in exhibitionism or vanity.

## STRUCTURAL DESIGN

Function of a bridge essentially requires a platform, which should be integrated into the actual structure whenever possible. The structure supports loads and withstands natural events, but integration of the bridge into the surrounding urban environment or landscape is of great relevance, together with other values and attributes, such as transparency, providing high quality views, relation of scale with other nearby constructions or local orography, etc. Anyway, design of a bridge is fundamentally linked to the structure, bearing in mind the structural materials available and the construction methods possible. This design will then be materialized in the chosen structural type. Down through the ages, there were few structural materials: natural fibres, wood, stone, concrete and metal, the latter almost exclusively iron or steel. More recently, other materials were developed, such as fibreglass, carbon fibre and other fibres, but their use is minimal and only for small bridges. In terms of structural behaviour, what fundamentally sets materials apart are their reliable tensile strength and/or compressive

strength. It is well-known that natural fibres have tensile strength only; that stone, concrete and cast iron have almost no tensile strength, but good compressive strength; and that wood, other irons and steel have good tensile and compressive strengths. When concrete is used, the incorporation of reinforcement, almost always steel, gives rise to a new structural material, the structural concrete – reinforced and/or prestressed, which also has tensile strength. It is also known that structural elements subject to compression may undergo instability phenomena that require appropriate limits on the values allowed for the compressive stresses generated, which very much depend on the geometric characteristics of the particular structural element. In addition to these strengths, connections between structural elements are important factors to bear in mind in structural design, as well as issues of durability, maintenance and future demolition. However, these factors are not covered here. Discussion of the structural design will focus on the tensile and compressive strength of materials, because these determine the type of structure to be chosen for the bridge. In this presentation, structural types and construction methods of the bridges between Porto and Gaia, whether already built or only planned, are mentioned in terms of the structural materials available and considering functions and locations of each of the bridges. Iron, steel and reinforced or prestressed concrete were the only structural materials used in the 13 bridges presented. Reasons for this exclusive use are obvious, as the other structural materials either do not have the structural properties required for the spans in question and/or they do not have the required durability.

## AS PONTES ENTRE PORTO E GAIA

Entre Porto e Gaia e sobre o rio Douro construíram-se já 7 pontes, tendo o autor deste texto sido responsável pelo projeto da última construída, a Ponte Infante Dom Henrique, e pelos projetos de mais outras 6 pontes, não construídas, das quais se prevê que apenas 4 possam vir a ser construídas, eventualmente segundo projetos totalmente diferentes. De uma forma muito concisa, descrevem-se a seguir as funções, os locais de implantação, os materiais estruturais, a tipologia estrutural, e o método construtivo utilizado ou equacionado para cada uma das pontes.

## PONTES CONSTRUÍDAS

### Ponte Pênsil (Ponte D. Maria II)

Função: passagem de pessoas e animais. Local: tabuleiro a cota baixa, ligando os dois burgos e entre dois pequenos promontórios rochosos que estabelecem a menor largura do rio entre Porto e Gaia. Material estrutural: cabo em fios de ferro e perfis em ferro forjado. Tipologia estrutural: tabuleiro suspenso. Método construtivo: colocação das catenárias e suspensão sucessiva e simétrica de segmentos do tabuleiro.

### Ponte Maria Pia

Função: passagem de comboios. Local: tabuleiro a cota alta, com as nascenças do arco em dois pequenos promontórios rochosos que estabelecem a segunda menor largura do rio entre Porto e Gaia. Material estrutural: perfis em ferro de pudlagem. Tipologia estrutural: arco em treliça e biarticulado nas nascenças e tabuleiro em treliça, sendo o arco de rigidez elevada e o tabuleiro moderadamente flexível. Método construtivo: avanços sucessivos com os meios-arcos atirantados a partir de ambas as margens, por colocação uma a uma das barras das treliças e com o arco avançando à frente do tabuleiro.

### Ponte Luiz I

Função: passagem de pessoas, animais e veículos, mais tarde incluindo elétricos. Local: tabuleiros a cota baixa e alta, imediatamente ao lado da Ponte Pênsil, na terceira menor largura do rio entre Porto e Gaia. Material estrutural: perfis em ferro de pudlagem. Tipologia estrutural: arco biarticulado e tabuleiro em treliça, sendo o arco de rigidez elevada e o tabuleiro moderadamente flexível. Método construtivo: avanços sucessivos com os meios-arcos atirantados e a partir de ambas as margens por colocação uma a uma das barras das treliças e com o arco avançando à frente do tabuleiro.

### Ponte da Arrábida

Função: inicialmente passagem de veículos com duas vias em cada sentido, de pessoas e de bicicletas, mas mais tarde com 3 vias em cada sentido e sem pistas para bicicletas. Local: tabuleiro a cota alta, entre arribas rochosas recebendo os impulsos do arco. Material estrutural: betão armado. Tipologia estrutural: dois arcos gémeos encastrados nas nascenças e ligados transversalmente por costelas em cruz, e tabuleiro ortotrópico; os arcos são muito rígidos e o tabuleiro é moderadamente flexível. Método construtivo: execução de um cimbre constituído por um arco provisório em caixão de aço com cada meio-arco construído por avanços sucessivos atirantados e a partir de ambas as margens; colocação do segmento de fecho por elevação a partir de barcaça no rio; betonagem de um dos

arcos em betão sobre o cimbre; translação do cimbre para a posição do segundo arco; betonagem do segundo arco; construção do tabuleiro sobre os arcos em betão armado.

### Ponte São João

Função: passagem de comboios. Local: tabuleiro a cota alta, muito próximo da Ponte Maria Pia, para inserir a linha férrea na estação ferroviária de Campanhã. Material estrutural: betão armado nos pilares e betão pré-esforçado no tabuleiro. Tipologia estrutural: pórtico com tabuleiro em viga-caixão contínua. Método construtivo: avanços sucessivos em consolas simétricas a partir dos dois pilares principais e cimbre móvel nos viadutos de aproximação.

### Ponte do Freixo

Função: passagem de veículos com quatro vias em cada sentido, com duas pontes gémeas, lado a lado. Local: tabuleiros à cota baixa, entre margens relativamente baixas e planas. Material estrutural: betão armado nos pilares e betão pré-esforçado no tabuleiro. Tipologia estrutural: tabuleiros em viga-caixão contínuas. Método construtivo: avanços sucessivos em consolas simétricas a partir de cada pilar.

### Ponte Infante Dom Henrique

Função: passagem de veículos com 2 vias em cada sentido e de pessoas. Local: tabuleiro a cota alta, entre arribas rochosas recebendo os impulsos do arco. Material estrutural: betão armado de alta resistência no arco e betão pré-esforçado no tabuleiro. Tipologia estrutural: arco muito abatido, muito esbelto e muito flexível, encastrado nas nascenças e estabilizado por tabuleiro rígido em viga-caixão contínua. Método construtivo: avanços sucessivos simultâneos do arco e do tabuleiro a partir de ambas as margens, com instalação de tirantes e escoras provisórios de forma a constituírem, juntamente os meios-arcos e os meios-tabuleiros, duas macro-treliças, com os meios-tabuleiros avançando à frente dos meios-arcos, dado que o tabuleiro é o elemento estrutural estabilizador do arco.

## PONTES AINDA NÃO CONSTRUÍDAS

### Ponte pedonal das Ribeiras

Função: passagem de pessoas. Local: tabuleiro a cota baixa, exatamente no local onde estava a Ponte Pênsil, e portanto entre dois pequenos promontórios rochosos capazes de receber os impulsos do arco. Material estrutural: aço inoxidável duplex. Tipologia estrutural: arco em caixão de inércia varável. Método construtivo: execução do arco completo na margem do rio e seu transporte e colocação com um par de guias sobre barcaças.

### Ponte do Gólgota

Função: passagem do metro ligeiro, de veículos, de pessoas e de bicicletas. Local: tabuleiro à cota alta, entre a encosta do Gólgota, no lado do Porto, e a encosta do Candal, no lado de Gaia. Material estrutural: betão armado nos pilares e betão pré-esforçado no tabuleiro. Tipologia estrutural: tabuleiro em viga-caixão contínua, no interior do qual circula o metro ligeiro. Método construtivo: avanços sucessivos em consolas inicialmente simétricas a partir de cada pilar vertical até se fecharem dois macro-triângulos com os pilares inclinados, a partir dos quais os avanços sucessivos do tabuleiro são não-simétricos.

## BRIDGES BETWEEN PORTO AND GAIA

Seven bridges have been built over the Douro river, between Porto and Gaia. The author of this text was responsible for the design of the last one, the Infante Dom Henrique Bridge, and for the design of other six bridges, as yet unbuilt, of which only four may actually be built, eventually with totally different design solutions. Functions, locations, structural materials, structural types and construction methods used or planned for each bridge are described below, in concise format.

## BRIDGES BUILT

### Suspension Bridge (D. Maria II Bridge)

Function: crossing for pedestrians and animals. Location: deck at low height, connecting two town centres and between two small rocky promontories defining the narrowest width of the river between Porto and Gaia. Structural material: iron wire cables and wrought iron profiles. Structural type: suspended deck. Construction method: erecting of catenaries and laying deck segments successively and symmetrically.

### Maria Pia Bridge

Function: crossing for trains. Location: deck at high height, with arch abutments on two small rocky promontories, defining the second narrowest width of the river between Porto and Gaia. Structural material: puddled iron profiles. Structural type: truss arch bi-articulated in abutments and truss deck; arch is very stiff and deck is moderately flexible. Construction method: cantilevering with half arches cable stayed from both sides, by laying truss bars one by one and with arch advancing ahead of deck.

### Luiz I Bridge

Function: crossing for pedestrians, animals and vehicles, later including trams. Location: decks at low and high heights, immediately next to the Suspension Bridge, on the third narrowest width of the river between Porto and Gaia. Structural material: puddled iron profiles. Structural type: truss arch bi-articulated in abutments and truss deck; arch is very stiff and deck is moderately flexible. Construction method: cantilevering with half arches cable stayed from both sides, by laying truss bars one by one and with arch advancing ahead of deck.

### Arrábida Bridge

Function: initially crossing for vehicles, with two lanes in each direction, for pedestrians and bicycles; later, a third lane was added in each direction, with cycling lanes removed. Location: deck at high height, between rocky cliffs receiving the arch thrusts. Structural material: reinforced concrete. Structural type: twin arches clamped in abutments and connected transversally by crossed ribs, and orthotropic deck; arches are very stiff and deck is moderately flexible. Construction method: construction of one provisional steel arch by cantilevering half arches cable stayed from both sides; placing of steel crown segment by lifting it from a barge in the river; concreting of one arch over the provisional steel arch; translation of the steel arch to position of second concrete arch; concreting of second arch; construction of deck over the concrete arches.

### São João Bridge

Function: crossing for trains. Location: deck at high height, very close to Maria Pia Bridge, to take the railway line to Campanhã railway station. Structural material: reinforced concrete in piers and columns and prestressed concrete in deck. Structural type: frame bridge with box-girder deck. Construction method: symmetrical cantilevers from each pier and gantry scaffolding in approaching viaducts.

### Freixo Bridge

Function: crossing for vehicles with four lanes in each direction, with two twin bridges side by side. Location: decks at low height, between relatively flat shores. Structural material: reinforced concrete in columns and prestressed concrete in deck. Structural type: box-girder deck. Construction method: symmetrical cantilevers from each column.

### Infante Dom Henrique Bridge

Function: crossing for vehicles, with two lanes in each direction, and for pedestrians. Location: deck at high height, between rocky cliffs receiving the arch thrusts. Structural material: high strength reinforced concrete in arch and prestressed concrete in deck. Structural type: very shallow, very slender and very flexible arch fixed in abutments, stabilised by stiff box-girder deck. Construction method: symmetrical cantilevers of half-arches and half-decks from both sides, with provisional cable stays and provisional struts in order to define two macro-trusses with those half-arches and half-decks, with half-decks advancing ahead of arch hanging from half-decks, since deck is the stabilising structural element of the arch.

## BRIDGES NOT YET BUILT

### Ribeiras Footbridge

Function: crossing for pedestrians. Location: deck at low height, precisely where the Suspension Bridge was located, which is between two rocky promontories receiving the arch thrusts. Structural material: duplex stainless steel. Structural type: box-girder arch. Construction method: building of entire arch on the river bank and transport and erection in place with pair of cranes on barges.

### Gólgota Bridge

Function: crossing for light railway, vehicles, pedestrians and bicycles. Location: deck at high height, between the slopes of Gólgota, on the Porto side, and the slopes of Candal, on the Gaia side. Structural material: reinforced concrete in columns and prestressed concrete in deck. Structural type: box-girder deck, inside which the light metro would travel. Construction method: symmetric cantilevers extending from each vertical column until above water spans join with inclined columns to form two macro triangles, after which the central cantilevers of the deck extend until they meet in the middle of the river.

### Ponte de Santo António

Função: passagem de comboios de alta velocidade e de pessoas.  
Local: tabuleiro a cota alta, entre a arriba do Palácio de Cristal e a encosta do Castelo de Gaia.  
Material estrutural: betão armado no arco e betão pré-esforçado no tabuleiro.  
Tipologia estrutural: arco de rigidez muito elevada e tabuleiro em viga-caixão também de rigidez elevada, no interior da qual circularia o comboio.  
Método construtivo: meios-arcos construídos por avanços sucessivos e atirantados de cada margem e, depois do arco fechado, construção do tabuleiro por avanços sucessivos em consolas simétricas a partir do fecho do arco.

### Ponte pedonal e ciclável das Ribeiras

Função: passagem de pessoas e de bicicletas.  
Local: tabuleiro a cota baixa, entre as Ribeiras do Porto e Gaia.  
Material estrutural: aço no mastro, nos tirantes de retenção, nas catenárias e no tabuleiro.  
Tipologia estrutural: viga-caixão contínua e suspensa de um par de catenárias.  
Método construtivo: colocação do mastro e das catenárias e montagem do tabuleiro com elevação criteriosa dos segmentos a partir de barcaças no rio.

### Ponte de Massarelos

Função: passagem de veículos, de pessoas e de bicicletas.  
Local: tabuleiro a cota baixa entre o Largo de Massarelos, no Porto, e a Via Panorâmica, em Gaia.  
Material estrutural: betão armado nos pilares e betão pré-esforçado no tabuleiro.  
Tipologia estrutural: ponte de tirantes de pano central e tabuleiro em viga-caixão.  
Método construtivo: avanços sucessivos do tabuleiro em consolas simétricas a partir do pilar principal até o tabuleiro chegar ao encontro do lado de Gaia, posteriormente prosseguindo a construção apenas da consola do lado do Porto.

### Ponte do Areinho

Função: passagem de veículos, de pessoas e de bicicletas.  
Local: tabuleiro a cota baixa, entre a Marginal de Campanhã e o Areinho, em Gaia.  
Material estrutural: aço em todos os elementos estruturais.  
Tipologia estrutural: viga tabuleiro e par de arcos gémeos em aço com cabos de aço em malha.  
Método construtivo: construção do vão central de par de arcos e tabuleiro na margem do rio, transporte em barcaças e montagem sobre os pilares com macacos, e posterior montagem dos tabuleiros laterais para peões e ciclistas; os tramos de aproximação são construídos na sua escorada do tabuleiro e do arco e posterior colocação e tensionamento dos cabos da malha.

Entre o Porto e Gaia, sobre um rio nobre que nem com as barragens foi possível domar completamente, ergue-se um conjunto ímpar de Pontes cujos projeto e construção constituíram desafios imensos à arte e engenho de projetistas e construtores. É imensamente significativo que, das 13 pontes analisadas, 8 (Ponte Maria Pia, Ponte Luiz I, Ponte da Arrábida, Ponte São João, Ponte Infante D. Henrique, Ponte Pedonal das Ribeiras, Ponte Pedonal e Ciclável das Ribeiras e Ponte do Areinho) são ou serão (aos dias de hoje) recordes mundiais nos respetivos vãos, porventura apenas face aos materiais/tipologias estruturais e funções. Em todas as 13 pontes, a estética foi corolário da pureza e eficiência estrutural.

### Santo António Bridge

Function: crossing for high speed trains and for pedestrians.  
Location: deck at high height, between the cliffs at the Crystal Palace Gardens and the slopes of Gaia Castle.  
Structural material: reinforced concrete in arch and prestressed concrete in deck.  
Structural type: very stiff arch and very stiff box girder deck, inside which trains would travel.  
Construction method: cantilevering with half arches cable stayed from both sides, and, after arch is complete, deck in symmetrical cantilevers extending from crown of the arch.

### Ribeiras foot and cycling Bridge

Function: crossing for pedestrians and bicycles.  
Location: deck at low height, between the Porto and Gaia riversides.  
Structural material: steel in mast, cable stays, catenaries and deck.  
Structural type: suspension bridge with one mast and two catenaries.  
Construction method: positioning of mast and catenaries, and thoughtful elevation of successive deck segments from barges in the river.

### Massarelos Bridge

Function: crossing for vehicles, pedestrians and bicycles.  
Location: deck at low height between Largo de Massarelos in Porto and Via Panorâmica in Gaia.  
Structural material: reinforced concrete in pier and columns and prestressed concrete in deck.  
Structural type: central span cable-stayed bridge with box-beam deck.  
Construction method: symmetric cantilevers from pier until deck reaches the Gaia side, then proceeding with construction of cantilever on the Porto side.

### Areinho Bridge

Function: crossing for vehicles, pedestrians and bicycles.  
Location: deck at low height, between the Campanhã riverside and Areinho, in Gaia.  
Structural material: steel in all structural elements.  
Structural type: steel box-girder deck and pair of twin arches with steel network cables.  
Construction method: construction of entire span with twin arches and deck on the river bank, transport on barges and erection to location on top of columns, and then construction of lateral pedestrian and cycling decks; approaching spans built independently.

Between Porto and Gaia, over a mighty river that not even dams have been able to completely tame, rises a set of peerless bridges whose design and construction were formidable challenges to the art and ingenuity of designers and builders alike. It is extremely significant that, out of the 13 bridges analysed, 8 of them (Maria Pia Bridge, Luiz I Bridge, Arrábida Bridge, São João Bridge, Infant Dom Henrique Bridge, Ribeiras Footbridge, Ribeiras Foot and cycling Bridge and Areinho Bridge) are or will be world records for their spans or perhaps only for their structural materials/types or functions. On all 13 bridges, aesthetics were corollary to structural purity and efficiency.

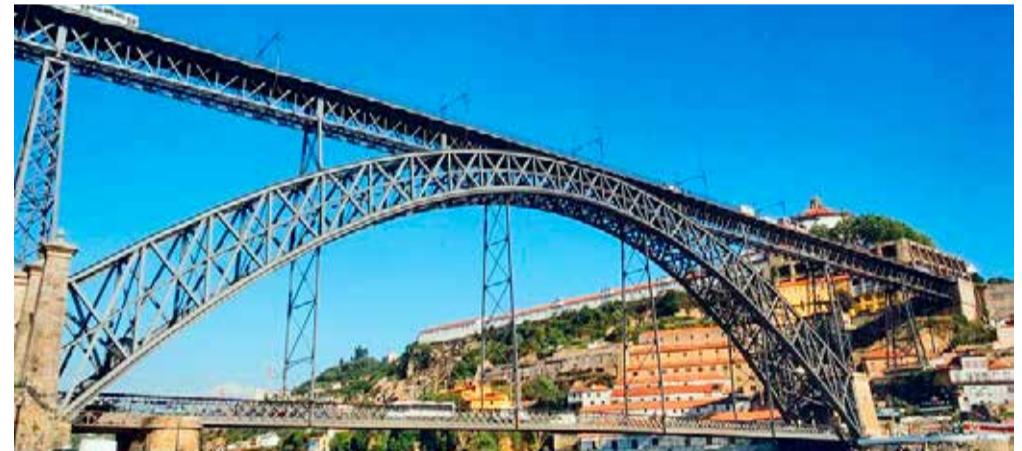
### 1 Ponte Pênsil (Ponte D. Maria II)



### 2 Ponte Maria Pia



### 3 Ponte Luiz I



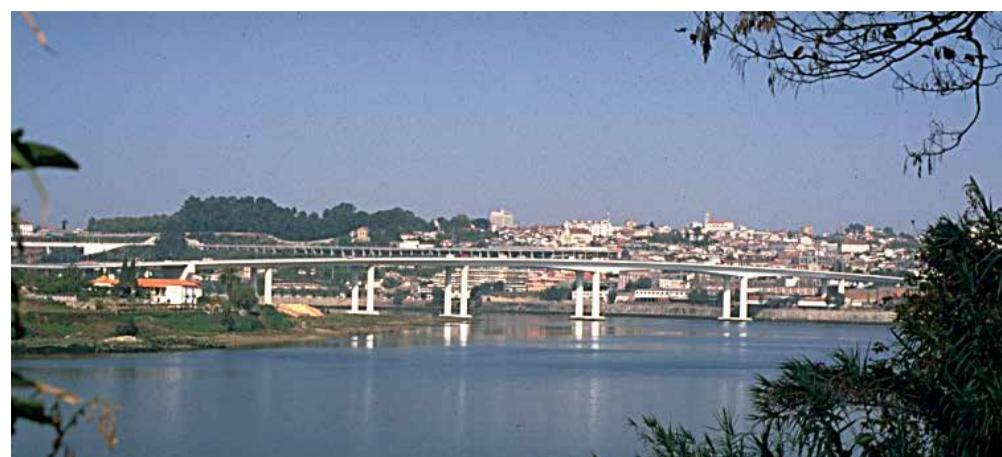
### 4 Ponte da Arrábida



### 5 Ponte São João



6 Ponte do Freixo



10 Ponte de Santo António



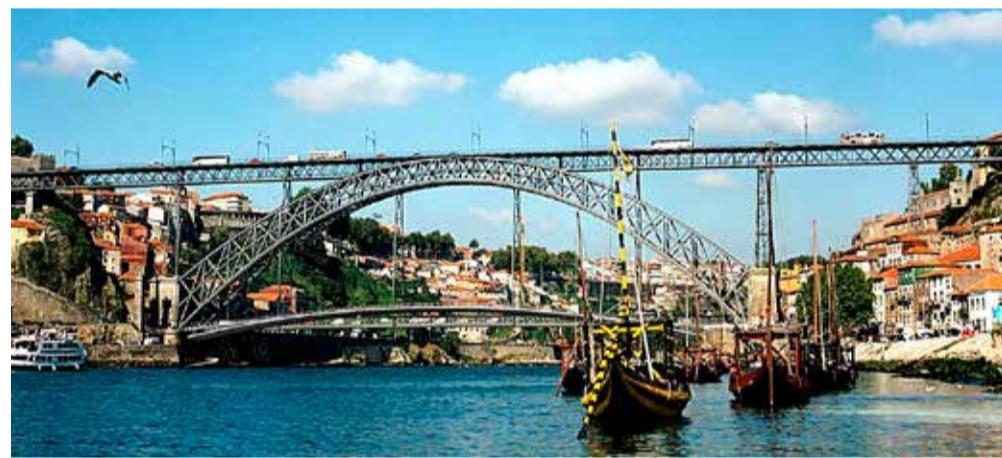
7 Ponte Infante Dom Henrique



11 Ponte pedonal e ciclável das ribeiras



8 Ponte pedonal das ribeiras



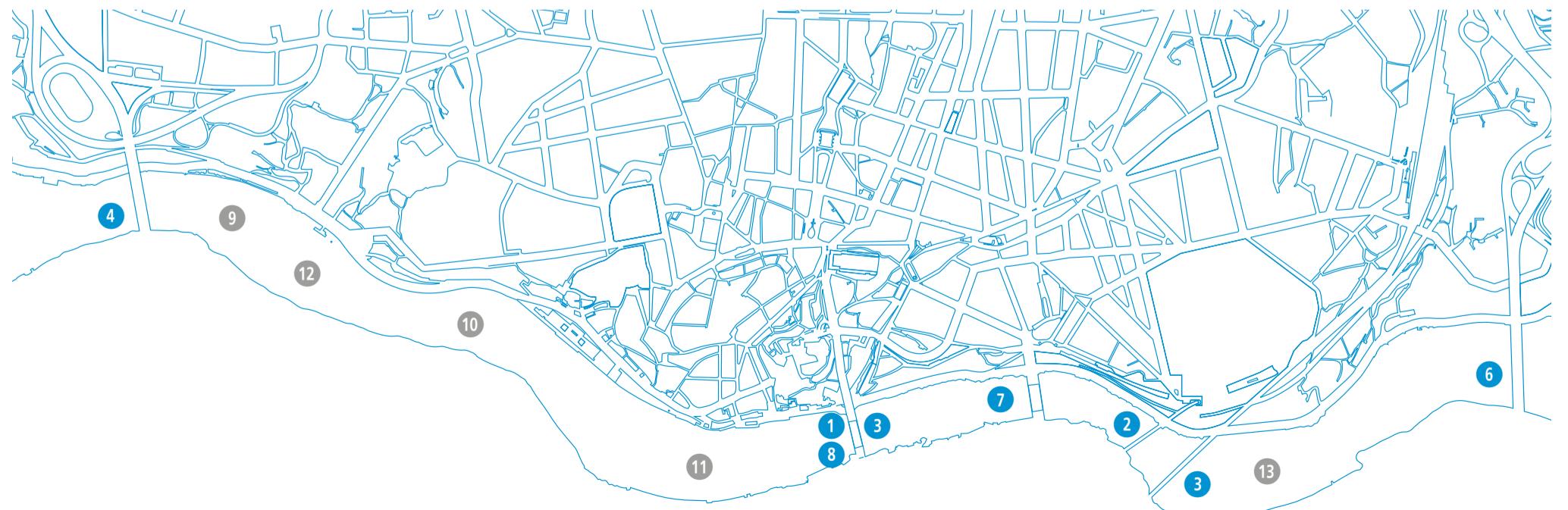
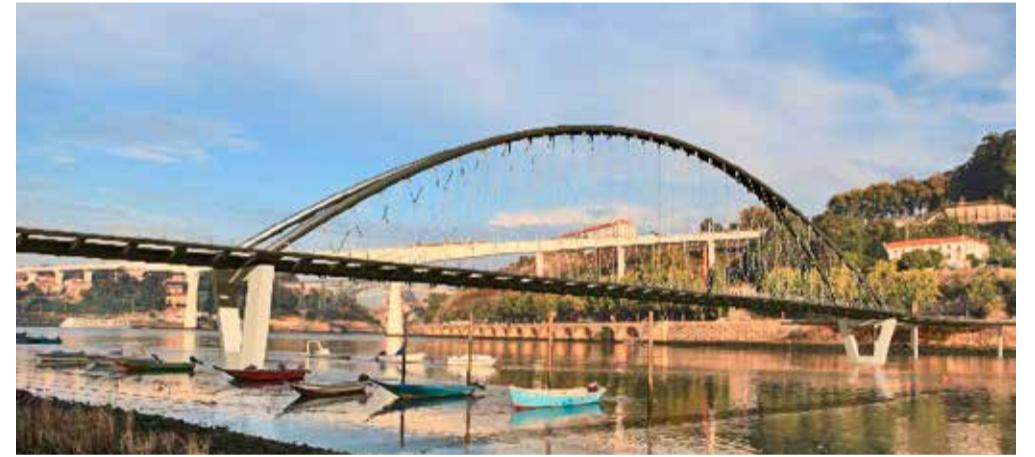
12 Ponte de Massarelos



9 Ponte do Gólgota



13 Ponte do Areinho





**Fernando Veloso Gomes**

Engenheiro Civil, Professor Catedrático Civil Engineer, Full Professor  
Departamento de Engenharia Civil, FEUP Department of Civil Engineering, FEUP



## A Marginal do estuário do Douro na Foz

## The Marginal of the Douro estuary in Foz

### A OCUPAÇÃO HUMANA

As margens do estuário inferior do rio Douro foram historicamente moldadas por atividades náuticas e comerciais associadas. O traçado em planta dos muros marginais, as suas cotas e as cotas dos arruamentos, os cais, os molhes, a presença de escadas, rampas, cabeços de amarração são marcas de um passado glorioso relacionado com o comércio. As pontes, as escarpas, a vegetação, o casario desenhado pela história, as vias marginais, as plataformas e os cais personalizam e humanizam uma paisagem única de valor mundial. Os cheiros, os ruídos, a movimentação de embarcações e as pessoas dão vida e temperam essa paisagem. À noite, com a iluminação, a paisagem torna o ambiente quase mítico! Na proximidade da barra destaca-se a importância histórica do conjunto monumental do século XVI: o torreão abobadado que serviu de capela e de farol, a Capela de S. Miguel-O-Anjo. O pontal da Cantareira ou dos Pilotos e o seu marégrafo (dos mais antigos da Europa), a Meia-Laranja (1805), o Passeio Alegre e o seu jardim (era uma praia fluvial), os molhes do Touro e de Felgueiras, todos centenários, têm um enorme valor patrimonial e de uso público. Verifica-se uma acentuada e quase contínua ocupação urbana das margens do baixo e médio estuário e uma intensa pressão no sentido da expansão da urbanização em direção ao plano de água. O estuário do Douro e as suas margens, com destaque para as zonas da Ribeira e Foz no Porto e para o cais de Gaia, constituem um património natural, paisagístico e cultural reconhecido como de excelência. A população e os turistas afluem em massa às margens do estuário inferior particularmente durante acontecimentos festivos e desportivos.

### AS DINÂMICAS NATURAIS

O regime hidráulico e sedimentar no estuário é muito variável. Os caudais de cheia originam historicamente inundações nas zonas urbanas adjacentes (Ribeira, Miragaia, Gaia). Existem mais de 300 anos de registos de cheias. Estas são parcialmente controláveis, pelas comportas nas barragens, até caudais da ordem dos 7 a 9 mil m<sup>3</sup>/s. O licenciamento da construção terá de ter em consideração uma realidade que é histórica e de controlo limitado. Existe um elevado hidrodinamismo associado aos caudais (variam de centenas de m<sup>3</sup>/s a 17 mil m<sup>3</sup>/s), marés (amplitudes até 4 m) e agitação marítima (ondas máximas até 18 m) e à intensa interação entre estes agentes físicos e as fronteiras sólidas naturais e artificiais dos fundos e margens. Antes da construção dos aproveitamentos hidráulicos, o transporte anual de sedimentos arenosos era da ordem de 1 a 2 milhões de m<sup>3</sup>. Atingiu-se presentemente uma situação de transporte anual de apenas centenas de milhares de m<sup>3</sup>/ano (valores anuais muito dependentes da ocorrência de cheias). Na barra, o canal naveável era instável e "fechava". Foi mantido artificialmente à custa de dragagens e as areias dragadas foram comercializadas, pelo que não foram repostas no sistema, agravando o défice sedimentar. As consequências foram patentes na instabilidade da restinga e no desaparecimento de um grande banco submerso exterior. As ações erosivas nas praias a sul da embocadura (concelhos de Gaia, Espinho e Ovar), conjuntamente com a expansão urbana em áreas vulneráveis tem levado a uma crescente artificialização da costa com obras de defesa nesses municípios para tentar controlar os riscos a que estão submetidos esses aglomerados urbanos.

### HUMAN OCCUPATION

The shores of the lower estuary of the Douro river were historically shaped by nautical and associated commercial activities. The horizontal alignment of the sea walls, their elevations and the elevations of the streets, the quays, the piers, the presence of roads, slips and mooring bollards are leftovers of a glorious trade-related past. The bridges, the slopes, the vegetation, the houses shaped by history, the shore roads, the slips and the quays make this unique world-class landscape more friendly and human. The smells, the noises, the busy boats and people bring life to this landscape and temper it. At night, when the streetlights are on, the landscape becomes almost mythical! Near the bar, there is an important historical building dating from the 16th century: the vaulted tower that served as a chapel and a lighthouse, the São Miguel-O-Anjo Chapel. The Cantareira or Pilotos point and its tide gauge (one of the oldest in Europe), the "Meia Laranja" (1805), Passeio Alegre and its gardens (formerly a river beach), the piers at Touro and Felgueiras, all centuries old, are public use buildings of enormous cultural value. There has been intense and almost continuous urban settlement on the shores of the lower and middle estuary and extreme pressure to expand urban development towards the waterline. The Douro estuary and its shores, particularly the Ribeira and Foz areas in Porto and the quay in Gaia, are examples of natural, landscape and cultural heritage recognised for their excellence. Locals and tourists flock to the shores of the lower estuary en masse, particularly during festive and sporting events.

### NATURAL DYNAMICS

The hydraulic and sedimentary regime in the estuary is very variable. High water levels have historically caused flooding in the adjacent urban areas (Ribeira, Miragaia, Gaia). There are more than 300 years of flood records. This can now be partially controlled, using dam sluices, for water flows of around 7 000 to 9 000 m<sup>3</sup>/s. Planning permission must take into account historical circumstances that cannot easily be controlled. High hydrodynamics are associated with the water levels (varying between hundreds of m<sup>3</sup>/s and 17 000 m<sup>3</sup>/s), tides (heights of up to 4 m) and rough seas (waves of up to 18 m) and the intense interaction between these physical agents and the solid natural and artificial boundaries between the water and the land. Before the construction of the hydraulic infrastructures, annual transport of sand and silt was in the region of 1 to 2 million m<sup>3</sup>. Annual transport is now only hundreds of thousands of cubic metres per year (annual values vary depending on the occurrence of flooding). In the bar, the navigable channel was unstable and used to "close". It was artificially maintained through dredging and the sand dredged up was sold so that it wouldn't get back into the system, thus increasing the sediment deficit. The consequences were plain to see in the instability of the spits and the disappearance of a large outer underwater sandbank. Erosion on the beaches south of the mouth (Gaia, Espinho and Ovar municipalities), along with urban expansion in vulnerable areas, has led to the shoreline becoming increasingly artificial due to coastal protection works in these municipalities to try to control the risks to which they are subject.

## A NAVEGABILIDADE, A DINÂMICA DA EMBOCADURA E A MARGINAL CANTAREIRA / SOBREIRAS

A história regista as dificuldades de navegação desde 1450 bem como numerosos naufrágios na barra do Douro. Como consequência das cheias de 1909, diversas embarcações foram atiradas para as margens. Foram desenvolvidos dezenas de projetos para a estabilização da embocadura do estuário do Douro. Projetos dos engenheiros Bigot (1843), Freebody (1854) Nogueira Soares (1881), Coode (1881), são alguns dos muitos que ficaram registados. Algumas das obras foram concretizadas como os molhes do Touro, Luís Gomes de Carvalho e Felgueiras. Toda esta problemática forçou a construção de um novo porto em mar aberto (Leixões, 1892). A morfologia da barra revela-se altamente variável e influencia todo o estuário. Mais de uma centena de cartas topo-hidrográficas disponíveis desde 1872 (68 cartas são anteriores a 1900), possibilitam a obtenção de dados sobre a dinâmica do Cabedelo (restinga, flecha litoral). O Cabedelo responde à ação simultânea das marés, agitação e correntes fluviais. A variabilidade de estados de agitação e caudais fluviais na presença das marés e a persistência / intensidade de estados excepcionais, permite explicar qualitativamente a maioria das configurações do Cabedelo e da embocadura do Douro ao longo dos anos. Porém, a restinga e os bancos submersos arenosos exteriores à embocadura evidenciaram, a partir dos anos oitenta do Século XX, nítidos sinais de emagrecimento, recuo (migração) para montante, alterações da configuração da extremidade e fragilidade de toda a restinga nunca anteriormente registados. A restinga recuou cerca de 600 m em 150 anos. Uma nova dinâmica surgiu pondo em causa a segurança das margens estuarinas. Aumentaram nos finais do Século XX as ações diretas da agitação, correntes e marés sobre as margens (Passeio Alegre, Cantareira, Afurada). As margens são delimitadas por estruturas, algumas centenárias, muito vulneráveis a essas ações (galgamentos, ruturas). As comunidades piscatórias historicamente e culturalmente sedeadas no estuário inferior (Afurada) e que desenvolvem a sua atividade no mar passaram a enfrentar maiores problemas relacionados com a instabilidade e más condições de segurança na barra. Em 1990, registaram-se galgamentos pelas ondas na zona marginal da Cantareira / Sobreiras e na Afurada que motivaram a conceção de uma estrutura de defesa que é hoje um jardim e um espaço de lazer (Projeto engenheiro F. Veloso Gomes, IHRH / FEUP). É uma obra de defesa costeira, destacada da margem, mas que possibilitou uma nova plataforma por aterro (zona "tampão") dando origem a um espaço público em grande parte ajardinado, com uma configuração em planta que possibilita uma hidrodinâmica mais favorável, o lazer, uma boa integração paisagística, o respeito pelo património existente e a constituição de uma pequena baía abrigada para as embarcações da comunidade piscatória local.

## OS NOVOS MOLHES DA FOZ DO DOURO

Os dois novos molhes localizam-se na embocadura (barra) do estuário inferior do rio Douro. É um projeto que teve uma génesis muito polémica relacionada com questões paisagísticas e ambientais. Depois de um projeto apresentado em 1995 foi lançado um novo concurso agora de conceção, projeto e construção. A FEUP, através de uma equipa coordenada pelo engenheiro Veloso Gomes, prestou contratualmente ao longo de muitos anos, assessoria científica e técnica à APDL. A melhor proposta foi selecionada numa análise multicritério. Essa proposta foi concretizada e está hoje presente e integra o património edificado da barra do Douro. Em 2007/2008, foi concluída a construção dos dois novos molhes ou quebramares na foz do rio Douro. A solução foi selecionada por uma

comissão nomeada para o efeito que assumiu o estudo comparativo da Universidade do Porto e uma avaliação feita pelo LNEC. A publicação editada por ocasião da atribuição do "Prémio Secil 2009 Engenharia Civil. Molhe Norte da Barra do Douro ao Engenheiro Silveira Ramos (2010, Ed. Ordem dos Engenheiros e Secil)" apresenta a implantação geral das obras, os seus objetivos e antecedentes, as dificuldades e condicionantes, as soluções técnicas e a equipa técnica. Na margem direita, foi executado um quebramar vertical galgável (cota de coroamento +7m ZH), com um comprimento de 521 m, em caixões pré-fabricados, celulares de betão, assentes nos fundos rochosos (no prolongamento do centenário "molhe do touro", em enrocamento). Na margem esquerda, foi executado um quebramar em taludes, destacado e galgável (cota de coroamento +6m ZH), em taludes com blocos cúbicos "antifer" (em betão de elevada densidade), ligado à Restinga através de um esporão submerso.

## IMPACTOS DOS NOVOS MOLHES

Tal como se pretendia a restinga ficou robustecida. No entanto, até ao presente não foi salvaguardado que parte da sua extensão, junto do enraizamento do molhe sul, deveria ter uma cota inferior que possibilite o seu funcionamento com "fusível" em caso de cheia. A rutura da restinga no troço a sul do enfiamento das "Pedras do Lima" ocorre em situação de cheia. Na cheia de 1909 (excedida pela cheia de 1739), o Cabedelo praticamente desapareceu, tendo naturalmente retomado uma configuração contínua até ao enraizamento, na margem esquerda, em junho desse ano. É intenso o usufruto da superestrutura do novo molhe norte, por parte da população local, visitantes e turistas. A pesca lúdica à cana, a contemplação da paisagem em que as águas do mar e do rio ora se agitam ora ficam espelhadas mudando os cenários, os passeios calmos ou em passo de corrida, as conversas e os jogos de cartas dos idosos, as visitas de estudantes e a vivência do ambiente natural e do ambiente edificado (mas humanizado) são evidências de um espaço de lazer único, apetecido e com vida. É um elo bem conseguido entre a urbe, rio e mar. É um bom exemplo de integração urbana. No entanto, existiu demasiado otimismo quanto à possibilidade de utilização lúdica durante o inverno particularmente quanto à utilização de uma galeria com vigias para observação (ou mesmo da superestrutura), quanto à exploração de um restaurante e esplanada no enraizamento ou ainda quanto à possibilidade de localizar uma piscina e solário na praia entre o novo molhe norte e o molhe de Felgueiras (Pastoras). O mar não deixa! O teste real ao desempenho dos novos molhes decorreu entre dezembro de 2013 e março de 2014, com tempestades sucessivas e persistentes. Ao contrário do que sucedeu em situações de tempestade anteriores menos energéticas, não se registaram danos nem galgamentos nas áreas marginais do Passeio Alegre, Cantareira, Sobreiras e na Afurada (frente edificada, porto de pesca, núcleo de recreio). Também a Restinga (o "quebramar natural") não foi afetada. A estes temporais, a comunicação social e numerosos habitantes falavam em ondas gigantes ao longo de todo o País. As ondas máximas registadas não ultrapassaram os 15 m em Leixões, mas a persistência, o número de temporais e os elevados períodos das ondas constituíram uma ocorrência extrema e rara. Não foram os novos molhes que geraram essas ondas gigantes como tinha sido vaticinado com veemência por alguns críticos do projeto. Os novos molhes resistiram a essas ondas e protegeram as frentes ribeirinhas. No entanto, na situação atual ocorrem galgamentos localizados na área da Praia das Pastoras o que obriga a medidas de salvaguarda para que não sejam afetadas as pessoas que se deslocam ao local para ver os temporais e tirar fotografias.

## NAVIGABILITY AND THE DYNAMICS OF THE CANTAREIRA-SOBREIRAS MOUTH AND SHORELINE

There are historical records of navigation difficulties since 1450, as well as the many shipwrecks in the Douro bar. As a result of the floods in 1909, several boats were beached on the shores. A number of projects were developed to stabilise the mouth of the Douro Estuary. Design projects by engineers Bigot (1843), Freebody (1854) Nogueira Soares (1881), and Coode (1881) are just some of the many on record. Some of these projects were implemented, such as the Touro, Luís Gomes de Carvalho and Felgueiras piers. All these problems led to the construction of a new open sea port (Leixões, 1892). The nature of the bar is very variable and influences the entire estuary. The hundreds of topographic and hydrographic maps available since 1872 (68 maps date from before 1900) have made it possible to obtain data on the dynamics of Cabedelo (spit, tongue). Cabedelo is a result of the simultaneous action of the tides, rough seas and river currents. The variability of the conditions in the sea and river currents caused by the tides and the persistence and intensity of exceptional conditions are the cause of most of the changes in Cabedelo and the mouth of the Douro over the years. However, since the 1980s, the spit and the outer underwater sandbanks have been showing clear signs of thinning, retreat (migration) upstream, changes in the layout of the edges and fragility along the entire spit that had never been recorded. The spit has retreated around 600 m in 150 years. A new dynamic has emerged, calling into question the safety of the shores of the estuary. In the late 20th century, there was an increase in the direct action of the rough seas, currents and tides on the shores (Passeio Alegre, Cantareira, Afurada). The shores are dotted with structures, some of them centuries old, which are very vulnerable to this action (overtopping, breaches). The fishing communities, historically and culturally based in the lower estuary (Afurada) and fishing the waters, began facing greater difficulties in relation to the instability and poor safety conditions of the bar.

In 1990, particularly high waves struck the Cantareira-Sobreiras shores and Afurada, which gave rise to the design of coastal protection structures that are now a park and a leisure area (project designed by engineer F. Veloso Gomes, IHRH/FEUP). This coastal protection structure, away from the shores, made it possible to build a new embankment platform (buffer area), giving rise to a public area, mostly laid out as gardens. The design provided for favourable hydrodynamics, as well as a leisure area, good landscape integration, respect for the existing heritage and the creation of a small sheltered bay for the boats of the local fishing community.

## THE NEW PIERS AT FOZ DO DOURO

The two new piers are located at the mouth (bar) of the lower estuary of the Douro river. This project had very controversial origins, in terms of landscape and environmental issues. After the project was presented in 1995, a new tender was launched, this time for the design, project and construction. FEUP, through a team coordinated by the engineer Veloso Gomes, provided scientific and technical consultancy to the Administration of the Ports of Douro, Leixões and Viana do Castelo (APDL) for many years. The best proposal was selected after a multi-criteria analysis. This proposal was implemented and is now part of the architectural heritage of the Douro bar.

In 2007/2008, the construction of two new piers or breakwaters at the mouth of the Douro river was concluded. The solution was chosen by a committee appointed for the purpose, which used the comparative study by the University of Porto and an assessment carried out by the LNEC national civil engineering laboratory. The paper, published for the 2009 Secil Award for Civil Engineering, on the North Pier and Douro Bar, designed by engineer Silveira Ramos (2010, published by the Engineers Association and Secil) presents the general implementation of the project, its aims and background, difficulties and constraints, technical solutions and the technical team. On the right-hand shore, a vertical overtopping breakwater (crest elevation +7m ZH) was built, with a length of 521 m, in prefabricated cellular concrete boxes set into the rocky bed (on the old "Touro pier" stretch, in rockfill). On the left-hand shore, a berm, breakwater was built, detached and overtopping (crest elevation +6m ZH), using antifer blocks (in high-density concrete), connected to the spit via an underwater spur.

## IMPACTS OF THE NEW PIERS

As was intended, the spit was strengthened. However, part of the construction has still not been provided for, near the foot of the south pier, which should have a lower elevation making it possible for it to work as a "fuse" in the event of flooding. The spit on the southern stretch of the "Pedras do Lima" dyke breaks in the event of flooding. During the 1909 floods (smaller than the 1739 floods), Cabedelo practically disappeared, but continuous configuration was naturally resumed on the left-hand shore in June of that year. The new north pier is very popular with the locals, visitors and tourists. Many activities take place here, like fishing from the pier, enjoying the view where the sea and the river meet, whether it is rough or calm and reflecting the landscape, leisurely strolls or jogging, elderly people chatting or playing cards, school tours or the enjoyment of the natural and built environment. All are proof that this unique leisure area is very much alive and appreciated. It provides a successful link between the town, the river and the sea. This is a good example of urban integration. However, there was too much optimism as to leisure use in winter, particularly in the use of a gallery with observation points (or even a superstructure), a restaurant and open-air café at the entrance, or even the possibility of having a swimming pool and solarium on the beach between the new north pier and the Felgueiras pier (Pastoras). The sea won't allow it! The real test of the performance of the new piers came between December 2013 and March 2014, with successive, persistent storms. Unlike what happened during previous, weaker storms, no damage or overtopping was reported in the coastal areas of Passeio Alegre, Cantareira, Sobreiras and Afurada (seafront, fishing port, leisure area). The spit (the "natural breakwater") was not affected either. During these storms, social media and countless local inhabitants spoke of giant waves across the length and breadth of the country. The highest waves recorded did not exceed 15 m in Leixões, but the persistence, the number of storms and the high wave periods made for an extremely rare occurrence. It was not the new piers that generated these giant waves, as some critics of the project vehemently proclaimed. The new piers resisted these waves and protected the riverside areas. However, there is now some localised overtopping in the Pastoras beach area, which requires steps to be taken to safeguard people going there to watch the storms and take photos.

## RIO TINTO → 2019

#01

A obra do intercetor do rio Tinto encontra-se concluída e foi inaugurada no dia 17 de julho do presente ano.

#02

Solucionou-se um dos maiores problemas existentes com um rio na zona Norte do país. O rio Tinto tem hoje um intercetor e a água que nele corre, entre Gondomar e a cidade do Porto, é agora cristalina.

#03

As margens do rio Tinto podem ser percorridas pela população devido à extensão do Parque Oriental com um perfil linear, que acompanha o leito do Rio Tinto entre o Freixo e Pego Negro, seguindo até Gondomar.

#04

O investimento total da empreitada foi de aproximadamente 9 milhões de euros, tendo envolvido os municípios do Porto e Gondomar que obtiveram financiamento comunitário, através do Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso dos Recursos (POSEUR).

#05

Foi promovida a expansão do Parque Oriental, passando a sua área de 8 para cerca de 18 hectares. Adicionalmente, foram plantadas 2500 novas árvores, constituindo-se como um novo pulmão verde da cidade.

#06

A estrutura linear do parque permite a existência de um percurso total de cerca de 5km, pedonal e ciclável.

#07

A despoluição do rio tem como consequência direta a promoção da biodiversidade, sendo um convite e um motivo de descoberta pelas espécies que nele já se avistam.

#08

presence de um guarda-rios permanente das Águas do Porto irá permitir identificar e erradicar todos os eventuais focos de poluição provenientes de descargas ilegais.

#09

A intervenção efetuada permitiu construir um exutor com cerca de 5km de extensão que liga as estações de tratamento das águas residuais (ETAR) do Meiral, em Gondomar, e do Freixo, no Porto.



### Recuperámos o Rio Tinto e demos mais vida ao Parque Oriental!

A construção do intercetor do Rio Tinto solucionou um dos maiores problemas ambientais existentes com um rio na zona Norte do país. Cumpriu-se o desígnio de poder ver e usufruir de um rio despoluído e saudável que recuperará progressivamente, melhorando a qualidade da água, cujas margens podem ser agradavelmente percorridas por todos nós. / Esta intervenção concretiza um desejo de todos os portuenses que era o aumento do Parque Oriental da Cidade do Porto cuja área passou de 8 para cerca de 18 hectares. Uma conquista do Porto, muito importante para a qualidade de vida das populações residentes. Ao mesmo tempo, um passo muito relevante para a zona oriental da cidade. / A estrutura linear do Parque acompanha o leito do Rio Tinto entre o Freixo e Pêgo Negro, seguindo até Gondomar, numa extensão de percurso total de cerca de 5km, oferecendo um agradável percurso pedonal e ciclável, paisagisticamente arquitetado e que alcançará a expressão idealizada num horizonte de 10 anos. / A devolução deste espaço à cidade e aos seus habitantes é a maior satisfação presente. Esta nova extensão de parque está agora aberta ao público sendo orientada a uma utilização saudável, ao mesmo tempo lúdica e cultural, colocando ao serviço das populações um espaço magnífico, até então de difícil acesso e por isso quase desconhecido. / Fica a sugestão de virem passear a pé ou de bicicleta no Parque Oriental com a curiosidade de poderem observar as transformações das paisagens. / O crescimento da vegetação, as 2500 novas árvores plantadas bem como os desenvolvimentos das zonas circundantes vão proporcionar um novo espaço de excelência.

### We recovered the Rio Tinto and gave more life to the Oriental Park!

The construction of the Rio Tinto interceptor has solved one of the biggest environmental problems with a river in the north of the country. The goal was to be able to see and enjoy a clean and healthy river that will progressively recover, improving the quality of the water, whose banks can be pleasantly traveled by all of us. / This intervention fulfills a wish of all the people of Porto that was the increase of the Oriental Park of the City of Porto whose area went from eight to about 18 hectares. A conquest of Porto, very important for the quality of life of resident populations. At the same time, a very relevant step for the eastern part of the city. / The linear structure of the Park follows the Tinto river bed between Freixo and Pêgo Negro, leading to Gondomar, with a total length of about 5km, offering a pleasant pedestrian and cycling path, landscaped and that will reach the ideal expression on 10 years old horizon. / The return of this space to the city and its inhabitants is the greatest present satisfaction. This new extension of the park is now open to the public and is oriented to a healthy use, at the same time playful and cultural, putting at the service of the people a magnificent space, until then difficult to reach and therefore almost unknown. / It is suggested to come walking or cycling in the Oriental Park with the curiosity of being able to observe the transformations of the landscapes. The growth of vegetation, the 2500 new trees planted as well as the developments in the surrounding areas will provide a new space of excellence.

Filipe Araújo

Vice-Presidente

Câmara Municipal do Porto

Filipe Araújo

Vice-Mayor of Porto



#01

The work of the Rio Tinto interceptor is now completed and was inaugurated on July 17 of this year.

#02

One of the biggest problems with a river in the north of the country has been solved. The Rio Tinto has today an interceptor and the water that flows through it between Gondomar and the city of Porto is now crystal clear.

#03

The banks of the Tinto river can be traveled by the population due to the extension of the Oriental Park with a linear profile, which follows the Tinto river bed between Freixo and Pego Negro, following Gondomar.

#04

The total investment of the contract was approximately nine million euros, involving the municipalities of Porto and Gondomar that obtained community funding through the Operational Program Sustainability and Efficiency in Resources (POSEUR).

#05

The expansion of the Oriental Park was promoted, passing its area from eight to about 18 hectares. Additionally, 2500 new trees were planted, constituting a new green lung of the city.

#06

The park's linear structure allows for a total of about 5km, pedestrian and cycle path.

#07

The depollution of the river has as a direct consequence the promotion of biodiversity, being an invitation and a reason for discovery by the species already in sight.

#08

The presence of a permanent kingfisher of Águas do Porto will make it possible to identify and eradicate all possible outbreaks of pollution from illegal discharges.

#09

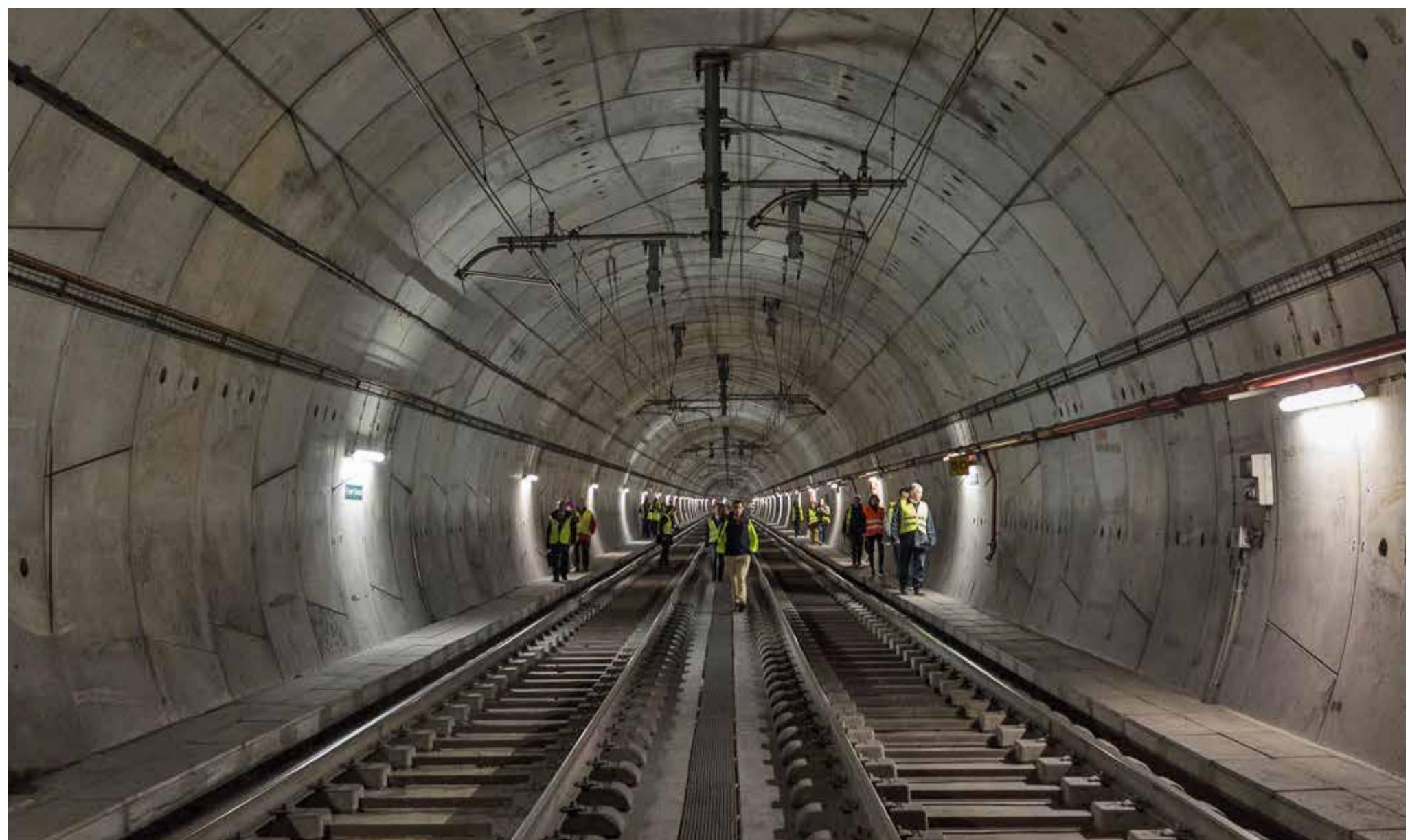
The intervention carried out made it possible to build a 5km long exporter that connects the Meiral wastewater treatment plants in Gondomar and Freixo in Porto.





### António Silva Cardoso

Engenheiro Civil, Professor Catedrático Civil Engineer, Full Professor  
 Departamento de Engenharia Civil, FEUP Department of Civil Engineering, FEUP  
 Ex-Director do DEL Former DEL Director



## O Metro do Porto

A construção do Metro do Porto, sobretudo a da sua 1.ª fase, constituiu um enorme desafio técnico e científico, que exigiu a mobilização de competências de elevado nível em muitas e diversas áreas de engenharia, designadamente de engenharia civil. Projetos da amplidão e complexidade dos que envolveram a conceção e concretização da 1.ª fase do Metro do Porto exigem a conjugação do melhor que no momento esteja disponível no que respeita a tecnologias de projeto, construção, monitorização e controlo. O que obviamente foi o que aconteceu no empreendimento em apreço. A 1.ª fase de concretização do Metro do Porto consistiu na construção das linhas:

- A (azul), entre o Senhor de Matosinhos e o Estádio da Dragão (15,6 km, 2,3 km em túnel, e 23 estações, 5 subterrâneas), de 03.1999 a 06.2004;
- B (vermelha), 1.º trecho, ligando Pedras Rubras à Senhora da Hora (7 km e 5 estações), inaugurado a 03.2005;
- C (verde), 1.º trecho, ligando o centro da Maia à Senhora da Hora (6 km e 6 estações), inaugurado a 07.2005;
- D (amarela), 1.º trecho, entre o centro de Vila Nova de Gaia e o Pólo Universitário da Asprela (5,7 km, 4,0 km em túnel, e 10 estações, quase todas subterrâneas), inaugurado a 09.2005;
- dos prolongamentos das linhas D, até à estação João de Deus (0,8 km), em 12.2005, e, em 03.2006, das linhas B, até à Póvoa de Varzim (17,2 km e

15 estações), C, até ao ISMAI (4,5 km e 4 estações), e D, até ao Hospital de São João (1,2 km e 2 estações);

- E (violeta), até ao Aeroporto Francisco Sá Carneiro (1,48 km e 3 estações), em 05.2006, ficando concluída a 1.ª fase da rede.

Posteriormente, a linha D foi prolongada a sul com a abertura de duas novas estações, em 05.2008 e 10.2011. A 01.2011 abriu a linha F (laranja) entre o Estádio do Dragão e Fânzeres. O Metro do Porto tem merecido a adesão da população, em especial no troço Trindade – Senhora da Hora e na linha D, o que em muito é devido ao reduzido tempo de espera, à articulação com a rede dos STCP e aos empreendimentos construídos junto das linhas da rede por toda a área metropolitana. De acordo com a empresa Metro do Porto no “conjunto de 2016, 2017 e 2018 o Metro cresceu quase cinco milhões de clientes, passando de 57,7 milhões para os mais recentes 62,6 milhões”. As obras com forte componente geotécnica, tema a que se dedica principalmente o presente artigo, concentram-se essencialmente nos troços do centro do Porto e são constituídas por túneis e por estações subterrâneas. Foram construídos os túneis:

- Campanhã – Trindade (2,3 km), entre 06.2000 e 10.2002;
- Salgueiros – Ponte (4,0 km), entre 05.2002 e 10.2003;
- J (0,274 km), entre 12.2002 e 05.2003;

## Metro do Porto

The construction of the Metro do Porto, particularly the first phase, was a huge technical and scientific challenge that required the skills of many people in a wide variety of engineering areas, particularly Civil Engineering. Projects of the breadth and complexity involved in the design and execution of the first phase of the Metro do Porto require a combination of the best of what is currently available in terms of project, construction, monitoring and control technologies. The first phase of the Metro do Porto comprised the construction of:

- Line A (blue), between Senhor de Matosinhos and Estádio da Dragão (15.6 km, 2.3 km through tunnels, 23 stations, 5 underground stations), from 03/1999 to 06/2004;
- Line B (red), first section, connecting Pedras Rubras to Senhora da Hora (7 km, 5 stations), opened in 03/2005;
- Line C (green), first section, connecting the centre of Maia to Senhora da Hora (6 km, 6 stations), opened in 07/2005;
- Line D (yellow), first section, between the centre of Vila Nova de Gaia and the Asprela University Campus (5.7 km, 4.0 km in tunnels, 10 stations, almost all underground), opened in 09/2005;
- extensions of Line D to João de Deus station (0.8 km), opened in 12/2005, B to Póvoa de Varzim (17.2 km, 15 stations) in 03/2006, C to ISMAI (4.5 km, 4 stations), and D to Hospital de São João (1.2 km, 2 stations);

- E (violet), to Francisco Sá Carneiro airport (1.48 km, 3 stations), in 05/2006.
  - Later, Line D was extended southwards with the opening of 2 new stations in 05/2008 and 10/2011. In 01/2011, Line F (orange) was opened between Estádio do Dragão and Fânzeres.
- The Metro do Porto is widely used by the public, particularly the Trindade–Senhora da Hora section and Line D. This is largely due to the short waiting times, connections with the bus and tram networks and the urban development near the network lines throughout the metropolitan area. According to the Metro do Porto company, “between 2016 and 2018, the number of tickets sold grew by almost five million, going from 57.7 million to the most recent 62.6 million”. The works involving a large geotechnical component (main topic of this article) concentrate mainly on the sections in the centre of Porto consisting of tunnels and underground stations. The following tunnels were built:
- Campanhã–Trindade (2.3 km), between 06/2000 and 10/2002;
  - Salgueiros–Ponte (4.0 km), between 05/2002 and 10/2003;
  - J (0.274 km), between 12/2002 and 05/2003;
  - Lapa (restoration; 0.5 km).

- Lapa (recuperação; 0,5 km). Os túneis principais foram executados com recurso a 2 tuneladoras do tipo TBM-EPB (Tunnel Boring Machine – Earth Pressure Balance). Na execução das estações subterrâneas foram adotados processos construtivos que se enquadram numa das duas seguintes tipologias:
- Escavação a céu aberto suportada por paredes de contenção de diversos tipos ("cut and cover") – Aliados, Marquês, Salgueiros, Pólo Universitário, Casa da Música, Campo 24 de Agosto e Trindade;
- Escavação subterrânea a partir de poços verticais ("escavação mineira") – São Bento, Faria Guimarães, Combatentes, Bolhão e Heroísmo.

Construir, em tão pouco tempo, no centro do Porto, cidade com uma malha urbana muito apertada, um sistema de metro subterrâneo com 6,3 km de túneis e 12 estações subterrâneas foi um enorme desafio para os engenheiros geotécnicos, tanto mais quanto as condições geológico-geotécnicas prevalecentes são particularmente complexas e inusais. A região do Porto caracteriza-se pela abundância de rochas graníticas ("Granito do Porto"), maioritariamente representadas por um granito de duas micas, de grão médio a grosseiro, de cor acinzentada a amarelada consoante o grau de alteração. A composição mineralógica e química do maciço granítico, associado à intensa fraturação e à circulação de água, levou ao desenvolvimento de perfis de alteração muito irregulares, com ocorrência de bolsadas de rocha pouco alterada, de dimensões e geometrias muito variáveis, envolvidas em solo residual granítico. Concomitantemente, a estrutura hidrogeológica é, em geral, complexa, com diferenças muito acentuadas de permeabilidade a pequena escala, relacionadas com a heterogeneidade litológica e estrutural do maciço. Em suma, as características físicas e mecânicas dos terrenos onde ocorreu a construção dos troços subterrâneos do Metro do Porto variam frequentemente em pequenas distâncias, tanto na vertical como na horizontal, entre as correspondentes a rocha granítica, de resistência mais ou menos elevada, e as relativas a materiais de comportamento tendencialmente arenoso, fruto da intensa meteorização da rocha mãe. A variação errática do terreno, a sua heterogeneidade, causou problemas que apenas puderam ser resolvidos pela aplicação das mais atuais técnicas de construção de túneis, desenvolvidas com tecnologias de ponta, e, ainda, pela conceção e implementação de inovações introduzidas pela primeira vez na construção de túneis por método mecanizado. Com efeito, até esse momento nunca tinham sido perfurados túneis através de terrenos com tal heterogeneidade, consequência da elevada e errática alteração do maciço original. Isto é, não existia qualquer experiência que servisse de referência. A excelente cooperação entre todos os intervenientes, projetistas, construtores e controladores, organizados em equipes nacionais e internacionais, aliada ao emprego das mais modernas e avançadas tecnologias e à incorporação de inovações específicas, que melhoraram o controlo da operação, foi um elemento chave para que esses trechos especialmente complexos do sistema do Metro do Porto pudessem ser finalizados com sucesso apesar das condições geotécnicas extremamente adversas, nunca antes experimentadas ("Um Túnel sob a Cidade – Conclusão da Primeira Linha", Metro do Porto, S.A., e Normetro – Agrupamento

amento do Metropolitano do Porto, ACE). Também na construção das estações subterrâneas foram usados os mais modernos e adequados processos de construção, tanto nas estações construídas por processos "mineiros" como nas executadas a céu aberto. A título exemplificativo, no que respeita a este último grupo, merece menção especial o inovador processo construtivo adotado na execução das estações do Marquês e de Salgueiros. Em ambos os casos, as versões iniciais dos projetos previam a execução de paredes moldadas com vários níveis de ancoragens, solução que foi adotada noutras estações. As apreciáveis dimensões dos espaços livres disponíveis permitiram que se tenha acabado por se optar por uma solução fortemente inovadora, radicalmente diferente das tradicionais, que consistiu em, em planta, envolver a forma retangular das estações dentro de formas tendencialmente circunferenciais, tirando partido do efeito de arco que lhes está associado. Em ambos os casos, o progresso da construção baseou-se no Método de Escavação Sequencial, mas aplicado na direção vertical, sendo o suporte constituído por uma membrana de betão projetado. A construção progredia mediante a escavação e a construção do suporte, passo a passo, prosseguindo-se para o anel seguinte somente depois de ficar completo o anterior. No caso de um projeto da dimensão e da importância do sistema de Metro do Porto, além das questões técnicas e científicas nas quais se baseia a conceção das soluções construtivas usadas para ultrapassar as dificuldades, muitas outras dimensões estão envolvidas. Por isso, para finalizar entende-se ser muito relevante salientar a conclusão do estudo denominado "Avaliação do Impacto Global da 1ª Fase do Projeto do Metro do Porto", elaborado em março de 2008 por uma equipe integrando membros do Instituto da Construção, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e da Universidade Nova de Lisboa, coordenados pelos Professores Paulo Pinho e Manuel Vilares: "(...) podemos concluir que o Metro do Porto é um projeto que do ponto de vista económico, social e ambiental é altamente rentável, contribuindo decisivamente para a maior qualidade de vida, competitividade e sustentabilidade do espaço metropolitano do Porto (...).

The main tunnels were built using EPB (Earth Pressure Balance) tunnelling machines. The construction processes used on the underground tunnels fell into one of the following two types:

- Cut and cover excavations supported by different types of retaining walls — Aliados, Marquês, Salgueiros, Polo Universitário, Casa da Música, Campo 24 de Agosto and Trindade;
- Underground excavations through vertical shafts — São Bento, Faria Guimarães, Combatentes, Bolhão and Heroísmo.

Building an underground metro system with 6.3 km of tunnels and 12 underground stations in such a short time, in the centre of Porto, a city with a very dense urban environment, was a huge challenge for the geotechnical engineers, especially because the existing geological and geotechnical conditions are particularly complex and unusual. The Porto region is characterised by its abundance of granite rock (Porto granite), mainly represented by a two micas granite, medium to coarse grained, with colour grey to yellowish, depending on the degree of alteration. The mineral and chemical composition of the granite mass, associated with its intense fracturing and water circulation, led to the development of very irregular alteration profiles, with the occurrence of pockets of lightly weathered rock, with very variable sizes and geometries, involved in granitic residual soil. Consequently, the hydrogeological structure is quite complex, displaying very pronounced differences of permeability at small scale, related to the lithological and structural heterogeneity of the massif. In short, the physical and mechanical properties of the ground where the underground sections of the Porto do Metro were built have frequent variations over small distances, both vertically and horizontally, between those corresponding to a more or less resistant granitic rock, and those relative to sandy materials, as a result of the intensive weathering of the bedrock. The erratic ground variations (its heterogeneity) caused problems that could only be resolved using the most up-to-date tunnel building techniques, associated to the design and implementation of innovations, introduced for the first time in mechanised tunnel construction. In fact, up to that time, tunnels had never been drilled through such heterogeneous ground; in other words, there were no previous experiences that could have been used as a reference.

The excellent cooperation between all the people involved – designers, builders and controllers, organised into national and international teams – as well as the use of the most modern and advanced technologies and the incorporation of specific innovations that improved operational control, was a key factor for the successful construction of the particularly complex sections of the Metro do Porto, despite the extremely adverse geotechnical conditions, never before experienced ("A Tunnel under the City: Conclusion of the First Line", Metro do Porto, S.A., and Normetro – Agrupamento do Metropolitano do Porto, ACE). The most modern and suitable construction processes were also used on the underground stations. Special mention must be made to the innovative construction process used to build Marquês and Salgueiros stations. In both cases, the original versions of the projects contemplated multi-anchored retaining walls, solution also adopted in other stations. The considerable sizes of the empty spaces available made it possible to opt for a truly innovative solution, very different from traditional ones, which involved enclosing the rectangular form of the stations inside circular forms, taking advantage of the associated arching effect. In both cases, the construction progress was based on the Sequential Excavation Method, but applied vertically, being the support constituted by a membrane of sprayed concrete. The construction progressed step by step, moving on to the next ring (excavation and building of the corresponding support) only after the previous one was completed. For a project of the scale and importance of the Metro do Porto, beyond the technical and scientific questions, many other dimensions were involved. So, it is very important to emphasise the closing words of the study entitled "Assessment of the Global Impact of the 1<sup>st</sup> Phase of the Metro do Porto Project", prepared in March 2008 by a team including members of various university institutions and coordinated by Professors Paulo Pinho and Manuel Vilares: "(...) we can conclude that the Metro do Porto is a highly profitable project from an economic, social and environmental point of view, contributing decisively to improving the quality of life, competitiveness and sustainability in the Porto Metropolitan Area (...)".



**Humberto Varum**

Engenheiro Civil, Professor Catedrático Civil Engineer, Full Professor  
Departamento de Engenharia Civil, FEUP Department of Civil Engineering, FEUP

**Hipólito Sousa**

Engenheiro Civil, Professor Associado Civil Engineer, Associated Professor  
Departamento de Engenharia Civil, FEUP Department of Civil Engineering, FEUP



## Grandes Edifícios

A cidade é sobretudo formada pelo espaço público e pelos edifícios. Independentemente do maior ou menor valor de cada um é o conjunto que dá autenticidade às cidades e que nos identifica com elas. Nos edifícios passamos grande parte do nosso tempo e, por isso, estes assumem um papel central para as atividades económicas, culturais, e para a nossa qualidade de vida e bem-estar. Neste património edificado, além do valor imobiliário dos ativos, há um enorme valor acumulado de muitas gerações, cultural, tecnológico e arquitetónico. Os edifícios podem ser analisados de muitas perspetivas; têm "rosto", a sua fachada, definem espaços, têm uma materialidade, e têm um esqueleto, a sua estrutura. Estas características definem o seu caráter complexo e único. Mas, podemos interpretá-los também como um conjunto articulado de sistemas, estruturais e materiais, que lhes permitem assegurar as funções para que são concebidos. Efetivamente, os edifícios devem responder a diversas exigências e requisitos como a segurança e a estabilidade estrutural, o conforto, bem-estar e qualidade de vida dos utilizadores, a minimização dos consumos energéticos, além de acomodar todas as funções associadas às especificidades do seu uso. A nossa sociedade cada vez mais competitiva e exigente têm imposto nos edifícios, e continuará a impor, a incorporação de novas soluções, técnicas e materiais inovadores, com melhores características de desempenho. A evolução contínua das exigências impõe à Engenharia Civil o desenvolvimento de soluções inovadoras, que respondam aos crescentes desafios, passando pelo desenvolvimento de novos materiais, pela incorporação de soluções estruturais e construtivas inovadoras, pela automatização dos processos construtivos, pelo desenvolvimento de sistemas mais eficientes e económicos, com menor impacto no consumo de recursos e nas alterações climáticas.

A construção de estruturas mais arrojadas, incorporando soluções e materiais mais inovadores, marcam a sua época, e perpetuam-se nos locais da sua implantação. Na cidade do Porto, a título de exemplo, referem-se o Pavilhão Rosa Mota e a Casa da Música. Duas obras ímpares, com idades afastadas de 50 anos, mas na sua época carregadas de aspetos inovadores. O Pavilhão Rosa Mota fica localizado num ponto central e marcante da cidade do Porto, onde outrora existiu o Palácio de Cristal. O Palácio de Cristal foi um importante edifício localizado no antigo campo da Torre da Marca, inaugurado em 1865. O Palácio de Cristal foi demolido em meados do século XX, tendo-se erguido no seu lugar um moderno e marcante edifício de betão armado, que por muito tempo adotou por empréstimo o nome do edifício original, mais tarde batizado como Pavilhão Rosa Mota. O Pavilhão Rosa Mota, com uma área total de 12.000m<sup>2</sup> e capacidade para 4600 lugares de bancada, tem sido um importante espaço de desporto, cultura e lazer na cidade onde se insere, tendo acolhido diversos eventos impactantes, onde participaram milhares de pessoas vindas dos quatro cantos do mundo. Trata-se de uma infraestrutura construída para fins desportivos, com uma imponente cúpula, de planta circular com 90 metros de diâmetro, e estrutura complexa de 32 pórticos radiais de betão armado, com dois pisos, mas resultando numa forma simples, com a sua face superior revestida a cobre, rasgada regularmente por óculos circulares e possuindo um poço de luz. Nas vistas laterais, marcadas por pilares-arcos de grandes dimensões, abrem-se inferiormente amplos vãos envolvidos, recuados relativamente à estrutura de betão, criando uma galeria exterior circundante coberta. As características excepcionais da estrutura deste edifício, que constitui um dos ex-libris da cidade, exigiram soluções e técnicas construtivas arrojadas nessa época, e materiais inovadores.

## Great Buildings

Cities are mainly made up of public areas and buildings. Irrespective of the greater or lesser value of each one, it is the whole that gives authenticity to cities and makes us identify with them. We spend a large part of our time in buildings, so they play a central role in economic and cultural activities and our quality of life and well-being. In addition to its real estate value, this architectural heritage is also of enormous cultural, technological and architectural value, accumulated over many generations. Buildings can be analysed from many perspectives: they have a "face", the façade, they define spaces, they are material and they have a "skeleton", their structure. These features define their complex and unique character. However, we can also interpret them as an integrated set of structural and material systems, which carry out the functions they were designed for. In effect, buildings should respond to different demands and requirements, such as structural safety and stability, the comfort, well-being and quality of life of their users and to minimise energy consumption, as well as accommodating all the functions associated with their specific uses. Our increasingly more competitive and demanding society has made it necessary for buildings to incorporate new solutions and innovative techniques and materials, with better performance characteristics. The continued evolution of these demands requires Civil Engineering to develop innovative solutions, in response to the increasing challenges. These include the development of new materials, the incorporation of innovative structural and construction solutions, the automation of construction processes, the development of more efficient and economical systems with less impact on the consumption of resources and climate change. The construction of bolder structures incorporating innovative solutions and materials marks the eras that gave rise to them, and is perpetuated in the areas where they are

used. In the city of Porto, for example, we have the Pavilhão Rosa Mota and Casa da Música. Two unparalleled projects, separated from each other by 50 years, but both filled with innovative features for their time. The Pavilhão Rosa Mota is located at an important central point in Porto, where the Palácio de Cristal once stood. This too was an important building, located in the grounds of the former Torre da Marca and inaugurated in 1865. It was demolished in the mid-20th century and a remarkable modern building in reinforced concrete was erected in its place. For a long time, this building was known by the same name as the original, but it was later officially named the Pavilhão Rosa Mota. The Pavilhão Rosa Mota has a total area of 12 000 m<sup>2</sup> and 4 600 seats in the stands. It has been an important space for sports, culture and leisure in the city and has played host to several impactful events, which thousands of people from the four corners of the earth have participated in. It is an infrastructure built for sports with an impressive rounded dome, 90 metres in diameter and a complex structure of 32 reinforced concrete ribs, with two floors, but resulting in a simple shape, whose upper surface is covered in copper, interspersed with glass circles at regular intervals and with a lightwell. At the sides, marked by large curved pillars, there are ample windows, set in from the concrete structure, creating a covered exterior gallery all around. The exceptional characteristics of the structure of this building, which is a landmark in the city, required bold construction solutions and techniques for the time, and innovative materials. Casa da Música is one of the most iconic structures to have been built in Portugal at the beginning of this century, where good coordination between the work of Architecture and Engineering are inseparable and of mutual benefit. This building has an innovative structural system, where very demanding construction processes were used, due to

A Casa da Música é uma das estruturas mais emblemáticas construída no início deste século em Portugal, onde a boa articulação entre o trabalho de Arquitetura e Engenharia são indissociáveis e se potenciam mutuamente. Trata-se de um edifício com um sistema estrutural inovador, onde foram seguidos processos construtivos muito exigentes, devido à complexa geometria da estrutura, constituída em termos formais por um poliedro assimétrico, envolvendo nove pisos. As características particulares desta obra, nomeadamente a betonagem de painéis exteriores de grandes dimensões, com grandes aberturas, com ângulos de inclinação pronunciados, exigiu a construção prévia de vários protótipos. O material utilizado, o betão branco, auto-compactável, também constituiu-se como uma notável inovação à época. Mas, os desafios não se limitaram à execução. A geometria complexa exigiu, em fase de projeto, o recurso à análise global do edifício recorrendo a um modelo tridimensional de elementos finitos de casca. Por tudo isto, a Casa da Música é um dos edifícios mais marcantes e simbólico da era do betão armado.

### OS EDIFÍCIOS NA ATUALIDADE

A construção enfrenta hoje novos desafios. Para além dos aspetos estruturais, o projeto, a construção, a manutenção e a gestão de um edifício respondem a um programa de exigências crescentes, onde vários aspetos, como por exemplo o conforto térmico e acústico, o comportamento ao fogo, a sustentabilidade, entre outros, são estudados de forma aprofundada. As alterações referidas estão a impulsionar uma notável mudança

na indústria, visando uma maior eficiência e modernidade, com impacto direto na forma como concebemos, construímos e reabilitamos os edifícios. A sustentabilidade, a eficiência energética, os princípios da economia circular e indústria 4.0 vão obrigar a construção a reinventar-se, oferecendo melhores soluções, com maior valor acrescentado, atraindo agentes mais qualificados. É na fase de projeto que a ideia se materializa, sendo importante que as soluções tenham uma perspetiva de vida útil, ou seja, que se pondere sempre além do investimento inicial, os custos de exploração e das eventuais intervenções de reparação ou reabilitação que o edifício venha a necessitar. Uma das maiores mudanças da construção atual está associada às inúmeras infraestruturas que hoje temos que incorporar e compatibilizar, designadamente nos edifícios. Refere-se como exemplos a domótica, a gestão centralizada, a produção e armazenamento de energia, a deteção e combate de incêndios, etc. Num setor da construção civil ainda tradicional esta mudança de práticas representa um enorme desafio. Os aspetos associados ao conforto térmico, poupança de energia e sustentabilidade são hoje fundamentais. Temos que saber usar de novo a nosso favor o Sol, aproveitando a sua energia no Inverno e protegendo-nos dele no Verão. Devemos ainda usar o calor do Sol para produzir energia elétrica ou aquecer as águas. Podemos também ter melhorias significativas na eficiência do ciclo da água, armazenando e reciclando a água da chuva e uma parte dos efluentes domésticos, usando-os para certos fins, reduzindo desta forma o consumo de água potável.

the complex geometry involved, consisting of a nine-storey asymmetric polyhedron. The particular characteristics of this project, especially the concreting of the large exterior panels, with wide openings and pronounced angles of inclination, required several prototypes to be built beforehand. The material used, self-compacting white concrete, was also a remarkable innovation for its time. However, the challenges were not limited to implementation. During the design phase, the complex geometry required an overall analysis to be done of the building, using a three-dimensional model of finite elements in the shell. This is why Casa da Música is one of the most remarkable and symbolic buildings of the reinforced concrete era.

**MODERN BUILDINGS**

Modern construction faces new challenges. Apart from the structural aspects, the design, the construction, the maintenance and the management of a building have responded to a programme of increasing demands, where a number of aspects, such as thermal and acoustic comfort and fire behaviour are the subject of intense study. These changes are driving a remarkable change in the industry, aimed at greater efficiency and modernity, with a direct impact on how we design, build and renovate buildings. Sustainability, energy efficiency, the principles of the

circular economy and industry 4.0 will force construction to reinvent itself, offering better solutions, with more added value, and attracting more qualified agents. It is in the design phase that the idea comes to life, and it is important that the solutions take useful life into account. In other words, in addition to the initial investment, operating costs and any repairs or renovation the building may need must also be considered. One of the biggest changes in modern day construction is the many infrastructures we now have to incorporate into and make compatible with buildings. For example, we have domotics, centralised management, the production and storage of energy, detecting and fighting fires, etc. In a construction sector that is still traditional, this change in practices represents a huge challenge. Aspects associated with thermal comfort, energy saving and sustainability are fundamental nowadays. We must know how to use the sun to our benefit, taking advantage of its energy in winter and protecting ourselves from it in summer. We should also use the heat of the sun to produce electricity and heat water. We can gain significant improvements in the efficiency of the water cycle too, storing and recycling rainwater and part of the domestic wastewater, thus reducing the consumption of drinking water.



Fotografia de um robô a assentar tijolo na construção de uma parede

Photo of a bricklaying robot building a wall



Reforço sísmico de estruturas com encamisamentos metálicos e de betão, fibras de carbono e varões com memória de forma

Seismic strengthening of structures using steel and concrete jacketing, carbon fibre and shape-memory rods



António Arede

Engenheiro Civil, Professor Associado  
Departamento de Engenharia Civil, FEUP

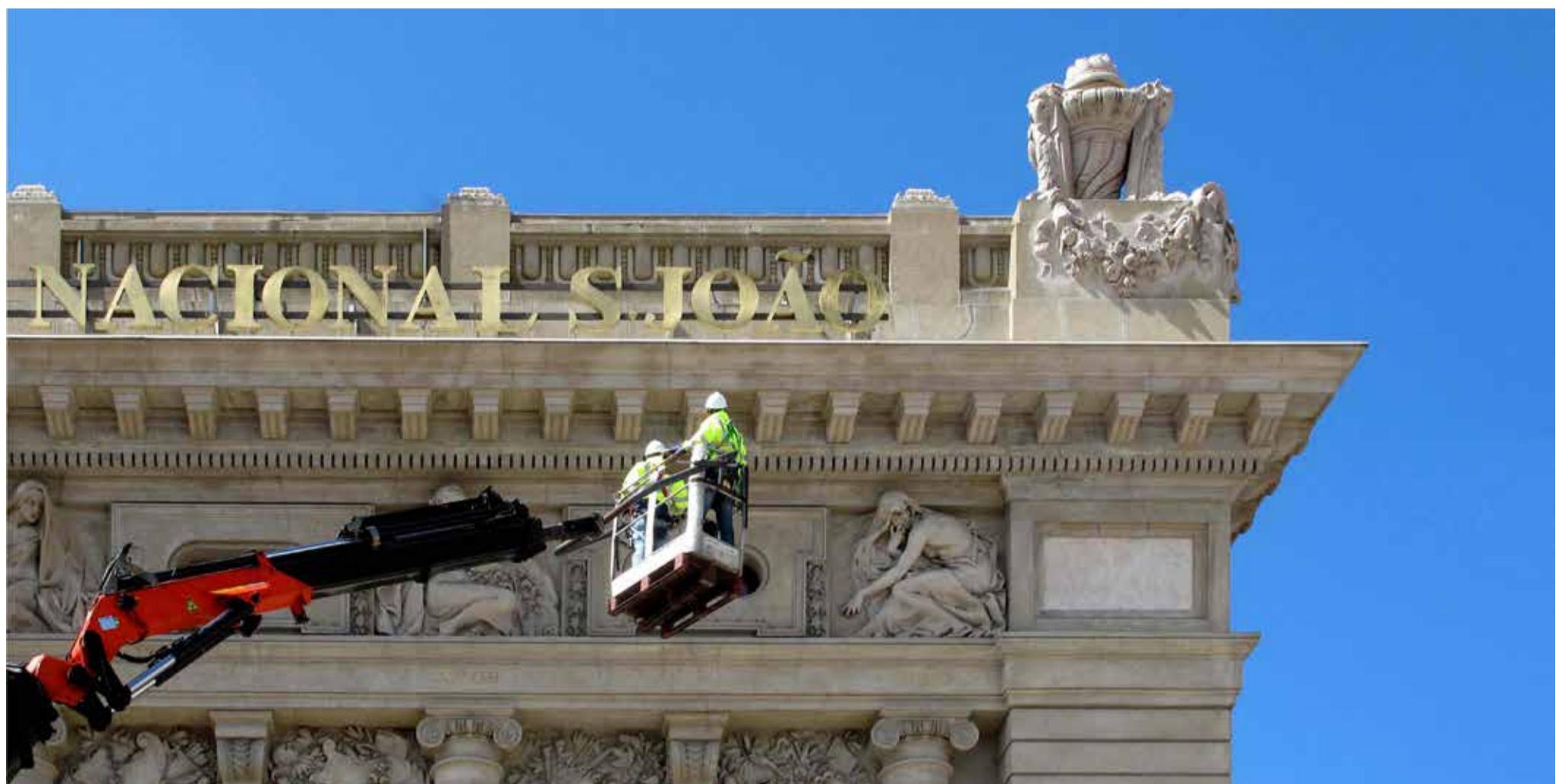
Civil Engineer, Associate Professor  
Department of Civil Engineering, FEUP



Esmeralda Paupério

Engenheira Civil, Investigadora  
Instituto da Construção, FEUP

Civil Engineer, Researcher  
Construction Institute, FEUP



## Reabilitação de património

## Heritage restoration

Segundo as "Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico" do ICOMOS (Comité Internacional dos Monumentos e Sítios) a reabilitação de construções património cultural é um "Processo para adaptar uma construção a um novo uso ou função, sem alterar as partes da construção que são significativas para o seu valor histórico." São inúmeras contribuições da engenharia civil para a reabilitação do património cultural construído desde o mais detalhado cuidado na compreensão da estrutura existente, às soluções a implementar e à escolha dos materiais de forma a não desvirtuar os edifícios tal como os conhecemos e queremos legar às gerações futuras. Portugal é o país europeu com as fronteiras mais antigas e, como tal, possui um notável acervo em termos do património monumental construído como pontes, castelos, muralhas, igrejas, palácios, mosteiros, torres entre outros. Se a este património monumental se juntar todo o património vernacular construído, resulta uma enorme riqueza nacional de património cultural construído que, a par com o património móvel e o intangível, contribui amplamente para o crescimento económico do país. O património cultural construído em Portugal inclui como imóveis classificados 814 Monumentos Nacionais, 2874 Bens Imóveis de Interesse Público e 816 Bens Imóveis de Interesse Municipal, num total de 4504 imóveis sem contar com o património arqueológico. Ou seja, em média, existe um monumento construído por cada 20km<sup>2</sup> de território. Portugal possui ainda 14 sítios

ou edifícios classificados como Património Mundial da Unesco, como, por exemplo, o Centro Histórico do Porto ou o Mosteiro da Batalha, sendo que esta classificação só é atribuída quando é reconhecido pela UNESCO o Valor Universal Excepcional a um determinado edifício ou local. Para que todo este património construído, símbolos de identidade nacional e da nossa cultura, possa ser fruído e legado às gerações vindouras, equipas multidisciplinares de várias áreas como a história, a conservação, a arquitetura, a arqueologia e a engenharia trabalham em conjunto no encontro de soluções para a preservação deste património procurando manter a sua integridade e autenticidade. Nesta teia de atividades que correm para a reabilitação de construções patrimoniais, a engenharia civil tem um papel crucial na preservação do património cultural construído, desde logo a "decifrar" métodos e técnicas construtivas, "escondidos" no "saber de experiência feito" e adotados em edificações antigas, passando por ajustar o existente a novas exigências e funções, para garantir a segurança, a durabilidade e o conforto dos utilizadores, aliando as técnicas tradicionais de construção a materiais e tecnologias inovadoras em busca de intervenções mínimas e de não criar falsos históricos. Desde o ano 2000, a Faculdade de Engenharia da UP (FEUP) e o Instituto da Construção (IC), têm tido intensa participação em ações de inspeção técnica, de requalificação, conservação, reabilitação ou reforço, numa média de cerca de 25 monumentos por ano. A Direção Geral da Cultura do Norte, as extintas Direção Regional dos Edifícios e

According to the ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) "Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage", the renovation of constructions classified as cultural heritage is a "Process to adapt a building to a new use or function, without changing the parts of the building that are significant to its historical value." Civil engineering has made countless contributions to the restoration of architectural heritage, from the utmost care taken to understand the existing structure to the solutions to be implemented and the choice of materials, so as not to detract from the buildings as we know them and as we want to pass them on to future generations. Portugal has the oldest borders in Europe and, as such, has notable architectural heritage, which includes bridges, castles, walls, churches, palaces, monasteries and towers. If we add vernacular heritage to this architectural heritage, the result is an enormous national wealth of cultural heritage contributing greatly to the economic growth of the country. Portugal's classified architectural heritage buildings includes 814 National Monuments, 2874 Public Interest Buildings and 816 Municipal Interest Buildings, making up a total of 4 504 buildings, not including archaeological heritage. In other words, there is an average of one monument to every 20 km<sup>2</sup> of land. Portugal also has 14 sites or buildings classified as UNESCO World Heritage, such as Porto's Historic Centre and Mosteiro da Batalha. This classification is only awarded when UNESCO recognises the Exceptional

Universal Value of a certain building or place. In order for this architectural heritage, a symbol of national identity and of our culture, to be enjoyed and passed on to coming generations, multidisciplinary teams from various areas, such as history, conservation, architecture, archaeology and engineering, work together to find solutions for conserving this heritage, seeking to maintain its integrity and authenticity. In this web of activities working towards the restoration of architectural heritage, civil engineering plays a crucial role in the conservation of built cultural heritage. From the outset, this involves "deciphering" construction methods and techniques "hidden" in the "experience gained from knowledge" and used on old buildings. In addition, engineers must know how to adjust the existing structure to new requirements and functions in order to ensure the safety, durability and comfort of users, allying traditional construction techniques to innovative materials and technology in order to minimise intervention and to avoid creating historical falsehoods. Since 2000, the Department of Civil Engineering of University of Porto and the Construction Institute (IC) have been participating intensively in technical inspections, restoration, conservation, renovation and reinforcement, at an average of around 25 monuments per year. The North Directorate General of Culture, the former Directorate General of National Buildings and Monuments and the former Portuguese Architectural Heritage Institute, local authorities, the Romanesque Route and Church institutions are some of

Monumentos Nacionais e Instituto Português do Património Arquitectónico, os Municípios, a Rota do Românico e instituições da Igreja encontram-se entre as entidades que mais têm recorrido aos serviços de engenharia civil da UP na ótica da conservação e preservação do património cultural construído. A metodologia de intervenção neste património, implementada e seguida pelo IC e FEUP, pauta-se por procedimentos próprios assentes no respeito pelas técnicas e materiais tradicionais e alicerçados nas cartas e convenções internacionais de intervenção no património tendo por base a Carta de Veneza sobre a conservação e restauro dos monumentos e sítios. Idealmente antecendo intervenções em património cultural edificado, e ainda previamente à execução do projeto de arquitetura, devem ser feitos relatórios técnicos de inspeção e diagnóstico estrutural da construção para registo do seu estado de conservação, do sistema estrutural e construtivo, e identificação dos danos e suas causas, bem como de técnicas e processos construtivos. Esta informação assim reunida deve servir de suporte ao projeto e à intervenção no património cultural construído, área que por si só obriga a uma investigação contínua nas técnicas tradicionais de construção e à execução de diversos ensaios não destrutivos sobre uma dada construção de modo a avaliar as características resistentes das diferentes partes que a constituem (por exemplo: paredes de pedra e de tabique ou madeiras de pavimentos e coberturas). Em complemento, são frequentemente efetuados ensaios em laboratório para aferir com mais rigor a eficiência de diferentes técnicas de reconstrução ou reforço, onde se procura adotar materiais e estratégias inovadoras assegurando-se sempre a compatibilidade entre os materiais antigos e os novos. Através dos meios laboratoriais da FEUP têm sido efetuados diversos ensaios de caraterização dos materiais e dos componentes estruturais de construções patrimoniais, assim como ações de monitorização do seu comportamento estrutural decorrentes de anomalias detetadas durante inspeções. Edifícios do Porto como o Centro Português de Fotografia, a Torre dos Clérigos, o Edifício da Reitoria, a Igreja dos Grilos (S. Lourenço), o Mercado do Bolhão, o Teatro Nacional de S. João, o edifício Neoclássico do Hospital Geral de Santo António, o Museu da Misericórdia, entre outros, e inúmeros edifícios anónimos igualmente importantes na imagem da cidade, estão entre os que foram e estão a ser acompanhados em contínuo por engenheiros civis da FEUP e IC. A noção de património cultural tem, porém, vindo a alargar-se, integrando novos critérios e conceitos, dando lugar ao que se pode

designar de “novos patrimónios”. Nestes integram-se as construções do século XX associadas ao início da utilização de novos materiais tais como o betão armado. Particular relevo deve ser dado à vasta obra pública construída do século XX, nomeadamente hospitais, escolas/liceus, mercados, teatros, pontes e obras hidráulicas, face não só ao seu valor cultural artístico e histórico, mas também ao seu valor social. A área de engenharia civil tem igualmente papel importante na gestão do risco e na salvaguarda do património cultural. Após a ocorrência de alguma catástrofe, como as muitas a que ultimamente se tem assistido, a proteção ao património cultural deve ser imediata e em simultâneo com o apoio às populações. Por exemplo, a colocação de escoramentos de emergência que permitem a salvaguarda deste património e o imediato resgate em segurança do património móvel que os edifícios albergam, é uma preocupação mundial que levou a integração do património cultural no Quadro de Sendai para a redução do risco de catástrofes 2015-2030.

### PROJETOS

O projeto ReSaber visou a “Recuperação de saberes e boas práticas de engenharia para a conservação e restauro do património cultural edificado”, focando nas técnicas de execução de paredes tradicionais (granito e tijolo maciço), de reabilitação com práticas pouco intrusivas e da execução de rebocos tradicionais e como os estuques fingidos ou a pintura a fresco.

O projeto “Caracterização experimental in-situ de construções de alvenaria de pedra sob ações sísmicas” contribuiu para um melhor conhecimento do comportamento sísmico daquele tipo de construções e para avaliar soluções de reforço eficientes e sustentáveis, através de ensaios em construções vernaculares da ilha do Faial.

O projeto StonArcRail focou-se na “Caracterização do comportamento estrutural de pontes em arco de alvenaria de pedra sob ação de tráfego ferroviário”, envolvendo importante componente experimental, com vista à avaliação das condições de segurança estrutural, das vias e de conforto dos utilizadores.

Com o projeto RIACT procura-se uma metodologia para avaliação expedita de vários riscos extensivos e intensivos em património cultural, cuja aplicação permitirá uma hierarquização de prioridades de intervenção em bens culturais de uma dada região para reduzir os seus níveis de risco, assegurando uma gestão e exploração mais racional.

### SABIA QUE?

... uma simples parede de tabique tem resistência que pode atingir 10 toneladas de carga vertical por cada metro de desenvolvimento?

... as argamassas de cal bem executadas e bem aplicadas proporcionam um melhor comportamento mecânico em edifícios com paredes de pedra?

... a engenharia civil dedica particular atenção ao reforço sísmico de monumentos tendo em vista a sua preservação e melhorar o seu comportamento em caso de ocorrência de um sismo?

... no sismo de Lisboa de 1755 foram destruídas 32 Igrejas, 60 Capelas, 31 Mosteiros, 15 Conventos e 53 Palácios entre os quais o Palácio Real? Que num único palácio desapareceram mais de 200 quadros de pintores famosos (como Rubens e Ticiano), uma biblioteca com cerca de 18.000 livros e cerca de 1000 manuscritos?

... engenheiros civis da FEUP e do Instituto da Construção tem trabalhado para a UNESCO na formação de técnicos de outros países para intervir em Património Cultural?

### DID YOU KNOW THAT...

... the strength of a simple *tabique* wall can reach 10 tonnes of vertical load per metre in length?

... when properly implemented and applied, lime mortar can provide better mechanical behaviour in buildings with stone masonry walls?

... civil engineering devotes special attention to the seismic strengthening of monuments, with a view to their conservation and improving their behaviour in the event of an earthquake?

... the 1755 earthquake in Lisbon destroyed 32 churches, 60 chapels, 31 monasteries, 15 convents and 53 palaces, including the Royal Palace, so that 200 paintings by famous artists (such as Rubens and Titian), a library with around 18 000 books and around 1 000 manuscripts disappeared from one single palace?

... civil engineers from FEUP and IC have worked for UNESCO to train staff from other countries to work on cultural heritage?

the bodies that have made most use of the Department of Civil Engineering of University of Porto services for the conservation and preservation of cultural heritage.

The intervention method, implemented and followed by IC and FEUP, is guided by special procedures based on respect for traditional techniques and materials and rooted in international charters and conventions on heritage intervention, based on the Venice Charter on the conservation and restoration of monuments and sites. Ideally, before any interventions on built cultural heritage, and even before preparing the architectural project, technical inspection and structural diagnostic reports should be prepared in order to record the conservation status and the structural and construction system and to identify damage and its causes, as well as construction techniques and processes. All of this information should be used to support the design and the intervention on the built cultural heritage, an area which in itself requires continuous research into the traditional construction techniques and the implementation of various non-destructive tests on a given construction in order to assess the strength characteristics of the different parts (for example: stone and *tabique* (timber and mortar) walls or the wood used in floors and roofs).

In addition, laboratory tests are often carried out to more accurately assess the efficiency of different reconstruction or reinforcement techniques, seeking to use innovative materials and strategies, while always ensuring compatibility between the old and new materials. FEUP's laboratories have been used for several tests to identify the materials and structural components of heritage buildings, as well as to monitor their structural behaviour following anomalies detected during inspections. Buildings in Porto such as the Centro Português de Fotografia (CPF), Torres dos Clérigos, the Rectory Building of the University of Porto, Grilos Church (São Lourenço), Mercado do Bolhão, the São João National Theatre, the Neoclassic Santo António Hospital: Neoclassic Building, as well as countless anonymous buildings that are equally important to the image of the city, are among those that were and are being monitored by civil engineers from FEUP and IC. However, the notion of cultural heritage has been expanding, integrating new criteria and concepts, giving rise to what can be called “new heritage buildings”.

These include 20th century constructions associated with when new materials began to be used, such as reinforced concrete. Particular attention must be paid to the considerable number of public works undertaken in the 20th century, including hospitals, schools, markets, theatres, bridges and hydraulic works, given not only their artistic and historical value, but also their social value.

The area of civil engineering also has an important role to play in risk management and safeguarding cultural heritage. After the occurrence of a disaster, like the many that have occurred recently, the protection of cultural heritage must be immediate and undertaken at the same time as support is given to local people. For example, using emergency shoring to safeguard this heritage and the immediate safe rescue of the movable heritage housed in the buildings is a worldwide concern. This led to the inclusion of cultural heritage in the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030.

### PROJECTS

The ReSaber project was aimed at the “Recovery of engineering knowledge and best practices for the conservation and restoration of built cultural heritage”, focusing on the techniques used for building traditional walls (granite and solid brick), rehabilitation using relatively low intrusive practices and traditional and decorative rendering.

The “Experimental characterisation *in situ* of stone masonry constructions subject to seismic action” project contributed to learn more about the seismic behaviour of such type of constructions and to assess efficient, sustainable strengthening solutions by testing on vernacular constructions on Faial Island in the Azores.

The StonArcRail project focused on “Characterisation of the structural behaviour of masonry arch bridges subject to railway traffic”, and involved an important experimental component, aimed at assessing the structural safety of tracks and the comfort of users.

The RIACT project aims to find a method for fast assessment of several extensive and intensive risks to cultural heritage and its implementation will allow intervention on the cultural heritage in a given region to be prioritised in order to reduce risk levels, thus assuring more rational management and operation.



## Vasco Peixoto de Freitas

Engenheiro Civil, Professor Catedrático Civil Engineer, Full Professor  
Departamento de Engenharia Civil, FEUP Department of Civil Engineering, FEUP



# Habitação

# Housing

## HABITAÇÃO E CIDADE

O futuro da humanidade passa pela concentração das populações nas cidades. Cerca de 66% da população mundial viverá em cidades até 2050, o que representa um acréscimo de 2,38 mil milhões face a 2015, segundo World Urbanization Prospects 2014 – ONU. Esta concentração exige por parte dos governos e da engenharia civil um esforço para assegurar ambientes urbanos seguros, agradáveis e disponibilização de habitação condigna para todos. Em Portugal, embora estejamos num nível muito elevado de satisfação das condições habitacionais das famílias, face à média mundial, há um conjunto de desafios aos quais é necessário dar resposta, nomeadamente:

- Assegurar habitação para as cerca de 20000 pessoas que não dispõem de uma habitação condigna;
- Contribuir para que o mercado de arrendamento seja equilibrado e as rendas sejam compatíveis com a disponibilidade económica das famílias;
- Proporcionar condições para a necessária manutenção dos edifícios de habitação coletiva em propriedade horizontal;
- Assegurar uma nova geração de habitação social para as famílias da classe média baixa, cujas rendas deverão ser limitadas a 20% do rendimento disponível;
- Promover a reabilitação dos edifícios existentes.

Os engenheiros civis dispõem de competências e vocação para dar resposta a estes desafios pela sua capacidade de conceber, dimensionar, especificar e construir. A Sociedade nem sempre reconhece essa importância e muitas vezes desvaloriza o papel do Engenheiro Civil, o que não é compreensível tendo em atenção o volume financeiro envolvido no setor da habitação e da sua importância no PIB. Nunca haverá qualidade sem atores qualificados e a desvalorização profissional só pode conduzir a soluções mediocres. A habitação tem que se adequar às necessidades das famílias. A mobilidade que a sociedade atual propicia recomenda um mercado

de arrendamento justo e flexível, que só o será se o Estado conseguir exercer o seu papel de regulador. Esse papel passa por uma visão estratégica e por recursos financeiros. A visão estratégica só permitirá obter resultados a longo prazo o que exige continuidade de políticas. Constatase que nas últimas décadas houve uma política de habitação centrada na opção ao crédito bonificado e não à promoção de habitação com rendas controladas. A habitação social em Portugal representa cerca de 120 000 frações, isto é menos de 2% do total, valor que nos coloca na cauda dos países europeus. Só com recursos financeiros é possível inverter esta situação, não sendo o quadro atual brilhante, uma vez que a percentagem do PIB para o setor da habitação é de apenas 0,5%, face a valores do passado que se centravam à volta dos 1%.

## SEGURANÇA, CONFORTO E ENERGIA

A segurança nos edifícios de habitação só pode estar garantida com a intervenção de engenheiros civis cujos conhecimentos técnicos e científicos sejam muito elevados, o que caracteriza a engenharia portuguesa e se comprova pela sua atuação em diversos pontos do globo. O conhecimento existe mas a prática necessita, pelo menos por parte do Estado, de uma enorme preocupação com a qualificação e consequente reconhecimento económico, porque se não o fizermos os melhores partirão para fora do país. A energia e o conforto são desafios maiores na construção nova e na reabilitação de edifícios existentes. Por duas razões simples: primeiro, os consumos são crescentes, bem como as exigências de conforto; segundo, por razões energéticas e ambientais não poderemos gastar energia sem limites e cada vez mais será necessário recorrer às energias renováveis. Na construção nova é de crucial importância o respeito por este desafio. Na reabilitação de edifícios de habitação existentes devemos refletir sobre os riscos de transformar os edifícios em complexos mecanismos, de difícil manutenção e de durabilidade questionável.

## HOUSING AND CITIES

The future of humanity includes the concentration of people in cities. Around 66% of the world's population will be living in cities by 2050, representing an increase of 2.38 billion compared to 2015, according to the UN's 2014 World Urbanization Prospects. This concentration will require efforts to be made both by governments and civil engineering in order to ensure safe, pleasant urban environments and to make decent housing available to all. In Portugal, although there is a very high level of meeting families' housing needs compared to the world average, a number of challenges must be dealt with, in particular:

- Assuring housing for the around 20 000 people who do not have decent housing;
- Contributing to balancing the rental market and making the rents compatible with the spending power of families;
- Providing preconditions for the necessary maintenance of apartment blocks;
- Ensuring a new generation of council housing for lower middle-class families, whose rents should be limited to 20% of the available income;
- Encouraging the renovation of existing buildings.

Civil engineers have the skills and the calling to respond to these challenges, through their ability to design, scale, specify and build. Society does not always recognise this importance, and often downplays the role of the civil engineer. This is difficult to understand, bearing in mind the amount of money involved in the housing sector and its importance to the GDP. There will never be quality without qualified players and undervaluing this profession can only lead to mediocre solutions. Housing must meet the needs of families. The mobility of society nowadays requires a fair and flexible rental market, which will only be possible if the State is able to play its role as regulator. This role includes strategic vision and financial resources. The strategic vision will only allow results to be achieved in the long term, which means there must

be continuity in policies. It is said that in recent decades, housing policy was focused on the subsidised loan option rather than the promotion of rent-controlled housing. Social housing in Portugal represents around 120 000 apartments, corresponding to less than 2% of the total, making us the lowest ranked in Europe. It is only with financial resources that this situation can be reversed, but the current situation is not the brightest, given that the GDP for the housing sector is only 0.5%, compared to past levels which stood at around 1%.

## SAFETY, COMFORT AND ENERGY

The safety of residential buildings can only be guaranteed through the intervention of civil engineers with a high level of technical and scientific expertise, which Portuguese engineers have plenty of, as can be seen in the work they do in many parts of the world. The knowledge exists, but in practice there must be, at least from the State, much greater concern with qualifications and consequent economic recognition, because if this doesn't happen, the best and brightest will leave the country. Energy and comfort are major challenges in new constructions and in the renovation of existing buildings. For two simple reasons: firstly, consumption is increasing, as is the demand for comfort; secondly, for energy and environmental reasons, we cannot simply use energy as if it were unlimited, and it will be increasingly necessary to use renewable energy. It is crucial for this challenge to be met in new constructions. When renovating existing residential buildings, we must reflect on the risks of turning them into buildings with complex mechanisms that are hard to maintain and whose durability is questionable. The importance of the passive component, which civil engineers are so good at optimising, must always be taken into account, and the equipment used has to be the right complement for assuring comfort. As for housing in buildings

O primado da componente passiva, que os engenheiros civis tão bem sabem otimizar, deve estar sempre presente, sendo os equipamentos o complemento justo necessário para permitir assegurar o conforto. Quanto à habitação instalada em edifícios com valor patrimonial a abordagem terá de ser diferente, por ser necessário ter em atenção o princípio da preservação da pré-existência. O conforto térmico passa sempre pelo forte isolamento térmico das coberturas, pela proteção solar dos envolvidos, pela otimização da inércia térmica, por potenciar os ganhos solares de inverno, pela instalação de sistemas de ventilação que limitem superiormente e inferiormente os caudais em jogo. No entanto, não devemos esquecer que a maioria das famílias portuguesas aquece de forma intermitente, pelo que a quantificação do consumo e definição estratégica de intervenção não pode fazer-se com base no princípio de que há aquecimento e arrefecimento contínuo, como é exigível por condições climáticas nos países de centro e norte da Europa, por não só ser irrealista como inadequada.

## MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO TÉCNICA

O velho Regulamento Geral das Edificações Urbanas – RGEU previa a necessidade de obras de manutenção periódicas. Essa prática foi-se perdendo, nas últimas décadas, sobretudo em edifícios de condomínio. As consequências são evidentes na grande degradação dos edifícios, que tornaram algumas frações inhabitáveis. O mais preocupante é quando o período de amortização bancária é inferior à durabilidade da própria construção. Deveremos questionar sobre quais as razões deste quadro, sobretudo quando entre 1960 e 1990 foram construídos 1 500 000 de edifícios, muitos deles em propriedade horizontal. Por razões culturais, sempre valorizamos mais o que é individual face ao que é coletivo, por outro lado o esforço financeiro das famílias para aquisição de casa própria é enorme, o que não permite suportar encargos adicionais. As consequências são a descapitalização dos condomínios e inerente conflitualidade quando chega o momento de tomar uma decisão sobre ações de manutenção (não corrente) e reabilitação. O esforço financeiro médio anual para permitir a manutenção de um edifício de habitação é de cerca de 1% do valor patrimonial, o que significa que uma fração cujo valor é de 100 000€ deve assegurar anualmente uma verba de 1000€, complementar ao valor habitual das despesas correntes do condomínio. É imprescindível alterar o valor do fundo de reserva o que vai implicar um esforço suplementar para as famílias, que deve ser compensado pelo incentivo municipal reduzindo a taxa de IMI. A razão é simples, edifícios mais conservados conduzem a uma melhor qualidade de vida, maior satisfação e menor vandalismo, em síntese melhor cidade. A inspeção técnica periódica do edificado, que deveria ser obrigatória, constituirá um instrumento essencial para os municípios monitorizarem e mapearem o estado de conservação dos edifícios, identificando aqueles que são inhabitáveis ou com necessidade obrigatória de intervenção. Para os proprietários constituirá um auxiliar à gestão.

## REABILITAÇÃO

Estratégias para promover a reabilitação de edifícios de habitação em Portugal são fundamentais, pelo facto de durante muitas décadas só a construção nova verdadeira existir e pela necessidade de voltar a dar dignidade aos centros das cidades, como tem ocorrido com muito sucesso no Porto e em Lisboa. Não menos importante é criar uma cidade reabilitada, atrativa para o turismo, que não seja monofuncional, isto é, em que a habitação e atividades concomitantes coexistam com a hotelaria, o alojamento local e a restauração.

A realização de uma correcta operação de reabilitação terá de se iniciar pela inspeção e diagnóstico que permita identificar os elementos a preservar e com base nos resultados propor soluções que conduzam a gastar apenas o justo necessário. Sem engenheiros não haverá uma correcta reabilitação e a durabilidade dificilmente será a desejada. Em síntese, pode afirmar-se que sem a Engenharia Civil não haverá cidades funcionais, nem resposta adequada para a cidade de futuro. Em contraponto, cabe à Sociedade valorizar a qualidade e rejeitar a menor competência, pelo que se não o fizer perde o país e o custo global, que é a soma do investimento inicial, custo de manutenção e durabilidade, não será otimizado.

### ENERGIAS RENOVÁVEIS

O futuro irá conduzir à utilização crescente de energias renováveis nos edifícios de habitação, o que exige integração arquitetónica e estudos técnico-económicos que tenham em atenção o custo inicial, o custo de manutenção, a durabilidade e a possibilidade do mercado interno produzir esses sistemas e componentes.

### VENTILAÇÃO E SAÚDE

A qualidade do ar interior é sempre inferior à do ar exterior. Deve garantir-se caudais de ventilação adequados, através de um princípio de ventilação geral e permanente com entrada de ar pelos quartos e sala e saídas pelas instalações sanitárias e cozinhas. Não assegurar caudais da ordem de 0,7 a 0,8 renovações por hora é um erro para as nossas condições climáticas e forma de utilização dos edifícios de habitação.

### HUMIDADE

A humidade é considerada pelas famílias o fator primordial de degradação das suas habitações. Seja o problema das condensações e bolores, sejam as infiltrações de águas provenientes da precipitação ou as fugas nas instalações. Os bolores geram-se sempre que há humidificação da face interior das paredes e coberturas por condensação (ausência de isolamento térmico, deficiente aquecimento, reduzida ventilação e também pela elevada produção de vapor). Uma família média (casal com dois filhos) produz cerca de 10 kg de vapor de água por dia.

### PROJETOS:

#### PROJETO SOCIAL GREEN

O Projeto Social Green pressupõe a capacidade de cruzar dois debates centrais nas atuais políticas públicas: o debate em torno da eficiência energética e das sociedades de baixo carbono e o debate sobre a pobreza energética e as condições de conforto dos residentes. Deve fazê-lo, tendo em atenção a especificidade da situação portuguesa e da região Norte. Esta adaptação ao contexto regional é o principal desafio que se coloca às estratégias e aos instrumentos de intervenção a desenvolver.

#### HOME ZERO – A CASA DO FUTURO

O Projeto HOME ZERO (P2020) baseia-se no conceito de uma casa inteligente, com necessidades de energia quase nulas, utilizando produção de energia no local e armazenamento através de baterias de segunda vida dos veículos elétricos.

with heritage value, the approach must be different, as the principle of preserving the pre-existing building must be borne in mind. Thermal comfort always implies good thermal insulation on roofs, solar protection for glazed windows, optimisation of thermal inertia, optimisation of solar gains in winter, and the installation of ventilation systems that limit the flows in question at the top and bottom ends. However, we must not forget that most Portuguese families use heating intermittently, so the quantification of consumption and the strategic definition of the intervention cannot be based on the principle that there is continuous heating and cooling, as is required by the weather conditions in Central and Northern Europe, not only because it is unrealistic, but also because it is inadequate.

## MAINTENANCE AND TECHNICAL INSPECTIONS

The old General Law on Urban Construction (RGEU) provided for the need for periodic maintenance work. This practice has been declining in recent decades, especially in apartment blocks. The consequences are clearly seen in the major deterioration of the buildings, making some of the apartments uninhabitable. The main concern is when the bank amortisation period is longer than the durability of the actual construction. We must question the reasons for this situation, especially when between 1960 and 1990, 1 500 000 buildings were constructed, many of which were apartment blocks.

For cultural reasons, we have always valued what is individual more than what is collective; on the other hand, the financial effort of families when buying their own homes is enormous, and does not allow them to incur any additional charges. The consequences are the downgrading of apartment blocks and inherent conflicts when the time comes to make a decision on maintenance work (not up-to-date) and renovation. The average annual financial effort to provide for the maintenance of an apartment block is around 1% of the property value. This means that an apartment worth 100 000€ should pay an annual sum of 1000€, in addition to the normal value of current expenses in apartment blocks. The value of the reserve fund must be changed, which will mean an extra effort for families, who should be compensated by a municipal incentive reducing IMI property taxes. The reason is simple: better kept buildings lead to a better quality of life, more satisfaction and less vandalism. In short, to a better city. Periodic technical inspections of buildings, which should be mandatory, will be an essential instrument for municipalities to monitor and record the state of repair of buildings, identifying the ones that are uninhabitable or where it is imperative that work be done. This will constitute a management aid for the owners.

## RENOVATION

Strategies for promoting the renovation of residential buildings in Portugal are fundamental because, for many decades, there were only new constructions, and due to the need to give dignity back to our city centres, which has been successfully taking place in Porto and Lisbon. It is no less important to create a renovated city, attractive to tourism but not mono-functional. In other words, where housing and similar activities co-exist with hotels, local accommodation and restaurants. Carrying out proper renovation work must begin with inspections and diagnostics, to identify the elements to be maintained and, based on the results, to propose solutions that will lead to spending only what is necessary. Without engineers, renovation work will not be done properly, and the durability will be far from that desired.

In short, it could be said that without civil engineering, there will be no functional cities and no adequate response for the city of the future. In contrast, it is up to society to value quality and reject lesser skills, because if this is not done, the country will lose and the final cost — which is the sum of the initial investment, maintenance costs and durability — will not be optimised.

### RENEWABLE ENERGY

In the future, there will be increasing use of renewable energy in residential buildings, which requires architectural integration and technical and economic studies that take into account initial costs, maintenance costs, durability and the possibility of the internal market producing these systems and components.

### VENTILATION AND HEALTH

Indoor air quality is always lower than outdoor air quality. Adequate ventilation should be ensured through the principle of general and permanent ventilation, with air coming in through bedrooms and living rooms and leaving through the bathroom and kitchen. Not ensuring flows of around 0.7 to 0.8 air change rate per hour is a mistake for our weather conditions and how we use our residential buildings.

### DAMP

Families deem damp to be the main factor contributing to the deterioration of their homes. Whether the problem is condensation and mould, or leaking when it rains or leaks from the installations. Mould is generated whenever the inside of walls and roofs is damp because of condensation (lack of thermal insulation, insufficient heating and lack of ventilation, as well as high production of water vapour). An average family (a couple with two children) produces around 10 kg of water vapour per day.

### PROJECTS:

#### SOCIAL GREEN PROJECT

The Social Green project assumes the ability to combine two debates that are central in current public policies: the debate on energy efficiency and low carbon societies, and the debate on energy poverty and comfort for residents. This must be done bearing in mind the specific nature of the Portuguese situation and of the northern region. This adaptation to a regional context is the main challenge for the intervention strategies and instruments to be developed.

### HOME ZERO – THE HOUSE OF THE FUTURE

The Home Zero project (P2020) is based on the concept of a smart house, with almost no energy needs, using locally produced and stored energy through second life batteries from electric vehicles.



José Pedro Tavares

Engenheiro Civil, Professor Auxiliar  
Departamento de Engenharia Civil, FEUP

Civil Engineer, Assistant Professor  
Department of Civil Engineering, FEUP



## Gestão de Tráfego

As questões derivadas da circulação automóvel em meio urbano, tais como perdas de tempo, consumo de energia, ruído, poluição e acidentes, têm uma importância cada vez maior para a atual sociedade urbana. De facto, o desejo de um tráfego urbano fluido não só diz respeito à economia como à qualidade de vida e ambiente das comunidades urbanas. Face às atuais dificuldades de circulação uma solução global, em termos de organização da mobilidade e de urbanização associadas a uma gestão de tráfego bem concebida, assegura uma melhor utilização da rede viária. A gestão e controlo do tráfego constitui um particular desafio no sentido da procura de um uso mais eficiente da infraestrutura viária com o objetivo de aumentar a fluidez da circulação, otimizar os consumos energéticos e, consequentemente, o impacte ambiental, reduzindo os tempos de percurso e, na medida do possível, evitar os congestionamentos, tendo sempre presente a segurança de todos os utilizadores. Os cruzamentos semaforizados constituem o meio essencial sobre o qual atua esta regulação, tendo por base modelos teóricos de comportamento da circulação e com recurso a meios eletrónicos e informáticos que controlam as indicações dos sinais luminosos. De facto, os sinais luminosos oferecem a possibilidade da combinação das modificações geométricas com o controlo do tempo, em função da procura, constituindo elementos fundamentais para o aumento da segurança rodoviária. Os sinais luminosos, inicialmente, foram usados como simples meios de segurança e de redução dos tempos de atraso em cruzamentos. Os primeiros estudos realizados por Webster e Cobbe, em 1966, conduziram à definição do ciclo ótimo em função de uma dada sequência de fases, que permite a gestão de um cruzamento isolado. Com o aumento de intersecções semaforizadas a coordenação entre as mesmas tornou-se imperativa. A técnica designada por onda verde permite que os semáforos localizados ao longo dum itinerário estejam

sincronizados. Este tipo de técnica tem o inconveniente de favorecer os itinerários principais em detrimento dos itinerários secundários pelo que, em 1969, foi desenvolvido pelo TRRL (Transport Research Road Laboratory) o programa de cálculo automático TRANSYT (Traffic Network Study Tool) que permite o cálculo do plano de regulação ótimo para uma rede. No entanto, os planos de regulação pré-calculados não se adaptam às variações de tráfego existentes em zona urbana, tendo surgido então os denominados Sistemas Centralizados de Controlo de Tráfego Urbano, com a finalidade de responderem de um modo dinâmico ao crescimento de tráfego nas grandes áreas urbanas. Assim, apareceram os sistemas parcialmente adaptáveis ao tráfego – seleção em tempo real dum plano de regulação pré-calculado –, ou os totalmente adaptáveis – modificação do plano de regulação em tempo real –, ou, ainda, os que calculam o plano em tempo real. Os Sistemas Centralizados de Controlo de Tráfego são aceites como parte integrante da infraestrutura de uma cidade para resolver os problemas diários das deslocações de pessoas e bens. Pesquisas em vários países provaram os benefícios que podem ser conseguidos através do uso deste tipo de sistemas tais como otimizar o uso da rede viária existente, aumentar a segurança rodoviária, reduzir a degradação ambiental, assegurar serviços públicos, assegurar informações aos utentes, fornecer uma ferramenta de manutenção e criar um banco de dados permanentemente atualizado. Atualmente, estes Sistemas tendem a evoluir para os denominados Sistemas Integrados de Gestão de Tráfego no sentido de agregarem outras medidas de gestão, designadamente Sistemas de Apoio à Exploração de Transportes Coletivos, Sinalização de Mensagens Variáveis, Controlo de Acessos, Portagens Urbanas, Gestão de Velocidades, entre outras. Na cidade do Porto, o Sistema de Gestão Centralizada de Tráfego, denominado por SIGA-Sistema Inteligente de Gestão

## Traffic Management

The issues arising from motor vehicle traffic in towns and cities, such as time wasted, energy consumption, noise, pollution and accidents, are becoming increasingly important for contemporary urban society. In fact, the desire for free-flowing urban traffic is not just about the economy, but also about the quality of life and the environment in urban communities. Given current traffic problems, a global solution in terms of mobility organisation and town planning, associated with well-thought – out traffic management, will ensure better use of the road network. Traffic management and control is a particular challenge in the quest for more efficient use of the road infrastructure, with the aim of increasing the free flow of traffic, optimising energy consumption and, consequently, the environmental impact, reducing travel times and, insofar as possible, avoiding traffic jams, while always taking the safety of all users into account. This regulation operates essentially on intersections with traffic lights, based on theoretical traffic behaviour models and using electronic and IT resources to control the traffic lights. In fact, traffic lights bring with them the possibility of combining geometric modifications with time control, in accordance with demand. These are also fundamental elements for increasing road safety. Initially, traffic lights were used as a simple safety mechanism and for reducing delays at intersections. The first studies carried out by Webster and Cobbe in 1966 led to the definition of the optimum cycle according to a given sequence of phases, allowing one single intersection to be managed. With the increase in intersections using traffic lights, coordination between them has become imperative. The technique called the green wave technique allows the traffic lights along a route to be synchronised. The drawback of this type of technique is that it favours the so-called main routes to the detriment of secondary routes so, in 1969, TRRL (Transport Research Road Laboratory) developed the TRANSYT (Traffic Network Study Tool) automatic calculation

programme, which allows the optimal regulation plan to be calculated for a network. However, pre-calculated regulation plans were not adapted to traffic variations in urban areas and centralised urban traffic control systems emerged to provide a dynamic response to the increase in traffic in large urban areas. This gave rise to systems that are partially adaptable to traffic – real time selection of a pre-calculated regulation plan – or fully adaptable systems – changing the regulation plan in real time – and even those that calculate the plan in real time. Centralised traffic control systems are accepted as an integral part of the road infrastructure of urban areas to solve the everyday problem of moving people and goods. Research in several countries has shown the benefits that can be achieved through the use of these systems, such as: optimising the use of the existing road network, increasing road safety, reducing environmental degradation, guaranteeing public services, providing information for users, providing a maintenance tool and creating a database that is continuously updated. At the moment, these systems are tending to evolve into Integrated Traffic Management Systems in that they include other management measures, including Collective Transport Operation Support Systems, Variable Message Traffic Signs, Access Control, Urban Tolls and Speed Management. In Porto, the Centralised Traffic Management System called SIGA (Smart Automated Management System) has been in operation since 1993. It is based on the GERTRUDE (Gestion Électronique de Régulation du Trafic Routier Urbain Défiant les Embouteillages) concept first used in Bordeaux (France). The two main principles of this system are: if traffic is free flowing, a set of regulation plans is used for each zone; and if there is traffic saturation, the capacity of the intersections controlling the arteries that lead to an accumulation of vehicles is reduced ("creating" storage areas), without hindering traffic flow in general.

Automática, já se encontra em funcionamento desde o ano de 1993, sendo baseado na filosofia GERTRUDE (*Gestion Electronique de Régulation du Trafic Routier Urbain Défiant les Embouteillages*), aplicada pela primeira vez em Bordéus (França). Os dois grandes princípios deste sistema são de em circulação fluída a estratégia ter por base um conjunto de planos de regulação para cada zona e em saturação serem "criadas" áreas de armazenamento de veículos, de modo a manter fluída a circulação em geral, através da redução da capacidade das interseções que controlam as artérias que permitem o armazenamento dos veículos em "excesso" e sem que estes prejudiquem a circulação em geral. Os planos de regulação de cada zona, previamente calculados, são escolhidos em função do ciclo compatível com os dados fornecidos pelos detetores estratégicos de contagens de tráfego e de taxas de ocupação. A transição dos planos é realizada através de uma variação do ciclo de 5 segundos até se atingir o ciclo fixado. Estes planos são utilizados juntamente com dois tipos de regulação em tempo real, nomeadamente uma adaptação local controlada pelo nível central de modo a eliminar eventuais incompatibilidades resultantes de decisões locais e uma deformação das "ondas verdes" dos eixos que constituem a rede em função dos dados de tráfego obtidos. Sob o ponto de vista de concessão de prioridades o sistema procura conceder prioridade absoluta aos veículos de emergência, desde que estes disponham de equipamento específico, e apoiar o transporte público. No que diz respeito aos veículos de emergência há uma definição prévia de itinerários específicos e a partir do momento em que é ativado é definida uma "onda verde" especialmente concebida para o itinerário pedido. Relativamente à prioridade ao transporte coletivo, esta passa pela criação de corredores BUS nas áreas de armazenamento e pela antecipação da abertura do verde nas interseções que controlam essas mesmas áreas, de modo a que estes sejam os primeiros a beneficiar da fluidez da zona central.

### A REGULAÇÃO DOS SINAIS LUMINOSOS EM TRAVESSIAS PEDONAIAS

O peão, dada a sua vulnerabilidade, necessita de proteção especial para que o "andar a pé" se torne mais seguro. A segregação

especial dos peões relativamente ao tráfego automóvel criando, por exemplo, canais exclusivos para a circulação dos peões – os passeios – é o modo mais eficaz para evitar os conflitos entre veículos e peões, claramente desvantajoso a estes últimos. Porém, nem sempre é possível realizar este tipo de segregação. É o que acontece nos atravessamentos em que o peão efetua o movimento com exposição permanente ao tráfego automóvel. Nestes casos a proteção do peão obtém-se promovendo o atravessamento em locais bem identificados – as travessias pedonais, vulgo passadeiras – onde as normas aplicadas atribuem, de uma forma inequívoca, a prioridade ao peão. Há, contudo, situações onde o volume de potenciais conflitos exige soluções de maior proteção ao peão, o que na impossibilidade de se adotar a segregação espacial, opta-se por uma segregação temporal à custa da instalação de sinais luminosos. Estes são controlados por um plano de regulação que será necessário definir, estabelecendo-se o tempo destinado a cada uma das fases da sinalização luminosa, com base em critérios que atendam a princípios de eficiência e eficácia de gestão de tráfego, garantindo-se, simultaneamente e em particular, a segurança dos peões. Assim, no que respeita à fase de peões é necessário definir, principalmente, dois valores: duração do tempo de verde para o peão e intervalo de tempo de transição entre o fim do tempo de verde do peão e o início da fase destinada ao avanço dos veículos que com ele conflituam. O 1.º caso determina o tempo durante o qual o peão é autorizado a iniciar o atravessamento. O 2.º caso resulta de, uma vez iniciado o atravessamento, o peão necessitar de tempo para o completar antes que um veículo seja autorizado a iniciar o movimento, evitando-se a potencial simultaneidade da presença do peão e do veículo no mesmo local. Isto é, a duração do tempo de verde dependerá essencialmente do volume de peões que pretendem efetuar o atravessamento e que será necessário atender para que não sejam obrigados a aguardar por nova oportunidade dada pelo próximo tempo de verde e, assim, não tomar decisões precipitadas de avançarem sem estarem autorizadas para o fazerem. Mas uma vez iniciado o movimento de atravessamento impõe-se, por razões de segurança, retardar o avanço dos veículos conflituantes o tempo suficiente para que a travessia fique "limpa" de peões.

The regulation plans previously calculated for each zone are chosen according to the cycle compatible with the data provided by the strategic traffic counting detectors and occupancy rates. Transition between the plans is through a five-second cycle variation until the fixed cycle is reached. These plans are used along with two types of real time regulation: local adaptation controlled centrally in order to eliminate any incompatibility arising from local decisions; and distortion of the "green waves" on the axes making up the network according to the traffic data obtained. From the point of view of priority, the system seeks to support public transport and give absolute priority to emergency vehicles, provided these have specific equipment. Specific routes are predefined for emergency vehicles. As soon as one of these routes is activated, a "green wave" especially designed for the requested route is activated. Priority for collective transport includes the creation of bus lanes in the storage areas and making the lights go green sooner at the intersections controlling these areas so that they are the first to benefit from the fluidity in the central zone.

### THE REGULATION OF TRAFFIC LIGHTS AT PEDESTRIAN CROSSINGS

Given their vulnerability, pedestrians need special protection so that they can move around more safely. The spatial separation of pedestrians from vehicle traffic, such as the creation of exclusive areas for pedestrian traffic (pavements) is the most effective way of avoiding conflict between vehicles and pedestrians, which is obviously much more dangerous for the latter. However, it is not always possible to have this type of separation. This is what happens at crossings, where pedestrians are constantly exposed to vehicle traffic. In these cases, pedestrians are protected by encouraging them to cross only at well-identified locations — pedestrian crossings — where the rules applied give unequivocal priority to pedestrians.

However, there are situations where the volume of potential conflicts requires solutions providing more protection to pedestrians and, if spatial separation cannot be implemented, temporal separation is applied through the installation of traffic lights. These are controlled by a regulation plan that must be defined, establishing the time set for each one of the traffic light phases based on criteria that follow the principles of efficient and effective traffic management, while at the same time ensuring the safety of pedestrians. Thus, with regard to the pedestrian phase, two main values must be defined: the duration of the green light for pedestrians and the duration of the interval between the end of the green light for pedestrians and the green light for the vehicles they are in conflict with. The first case determines the time during which pedestrians are authorised to begin crossing. The second case arises from the fact that once pedestrians begin crossing, they need time to get across the road before vehicles are authorised to begin moving again, thus avoiding the potential simultaneous presence of pedestrians and vehicles in the same place. In other words, the duration of the green light depends essentially on the number of pedestrians wanting to cross, bearing in mind the time needed so that they are not forced to wait for the next green light and therefore tempted into making rash decisions to advance without authorisation to do so. But once the crossing has begun, for safety reasons, the advance of the conflicting vehicles must be stopped for enough time for the crossing to be free of pedestrians.

### SIGA – SISTEMA INTELIGENTE DE GESTÃO AUTOMÁTICA

O estudo do Sistema Centralizado de Controlo de Tráfego do Porto iniciou-se em 1991, com o protocolo estabelecido entre a Câmara Municipal e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, no sentido de realizar uma análise sobre os sistemas existentes tendo em atenção as características da rede viária da cidade. Deste estudo resultou a elaboração do caderno de encargos que possibilitou a abertura de um concurso público internacional. Em novembro de 1993, o sistema adotado "GERTRUDE" foi iniciado abrangendo 3 zonas, Sé, Bolhão e República, num total de 42 interseções centralizadas, constituindo-se uma Sala de Controlo de Tráfego, situada nos Paços do Concelho. Foi igualmente instalado um sistema vídeo que comportava 10 câmaras situadas em pontos estratégicos e que cobria em mais de 50% a rede do sistema. Em 1996, iniciou-se o alargamento do sistema passando de 42 para 95 cruzamentos, de 3 para 7 zonas e de 10 para 27 câmaras de vídeo. No ano seguinte, e através de um protocolo entre a Câmara do Porto e

a ex-JAE foram instaladas ao longo da VCI mais 13 câmaras de vídeo que permitiu visualizar a totalidade desta via desde a Ponte da Arrábida até à Ponte do Freixo. Em 1998, foi instalado na sala de controlo de tráfego um sistema para gestão do estacionamento na cidade do Porto que permitiu controlar todo o equipamento. No ano 2000, iniciou-se a monitorização de dados relativos à poluição atmosférica e em outubro de 2002 a Sala centralizou o serviço de informações relativo ao estado dos arruamentos urbanos. Com o Euro 2004 e a construção de túneis rodoviários na cidade o sistema expandiu-se para 9 zonas com 131 cruzamentos e 72 câmaras de vídeo, abrangendo a supervisão de túneis rodoviários. Atualmente, o sistema SIGA encontra-se no Centro de Gestão Integrado da Câmara Municipal do Porto, controlando cerca de 144 interseções e a supervisão de túneis rodoviários, o Sistema de Apoio de Vídeo com 144 câmaras, o Sistema de Controlo de Acessos e a Linha Telefónica Via24.

Fernando Ribeiro (CMP-SIGA)  
José Pedro Tavares (FEUP)

### SIGA – SMART AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEM

The study of the Porto centralised traffic control system began in 1991 with the protocol established between the Porto City Council and the Faculty of Engineering of University of Porto in order to analyse the existing systems, taking into consideration the characteristics of the city's road network. This study gave rise to the preparation of a set of specifications that made it possible to launch an international public tender. In November 1993, the system chosen, "GERTRUDE ITS", was implemented in three zones (Sé, Bolhão and República), with a total of 42 centralised intersections, and a traffic control room was set up in the Council Building – Paços do Concelho. A video system was also installed consisting of ten cameras located at strategic points and covering more than 50% of the system network. In 1996, the system was extended, going from 42 to 95 intersections, from three to seven zones and from ten to 27 video cameras. The following year, through a protocol between Porto City Council and the former JAE roads authority, another 13 video cameras were installed along the

VCI, providing total visibility of this road from Arrábida Bridge to Freixo Bridge. In 1998, a system for managing parking in city of Porto was set up in the traffic control room, making it possible for all the equipment to be controlled. In 2000, monitoring of data on atmospheric pollution began and, in October 2002, information services on the condition of urban streets was centralised in the room. When the Euro 2004 was held, and due to the construction of road tunnels in the city, the system was extended to nine zones with 131 intersections and 72 video cameras, including supervision of the road tunnels. At the moment, the SIGA system is located in the Porto City Council Integrated Management Centre, controlling around 144 intersections and supervising road tunnels, the video support system with 144 cameras, the access control system and the Via24 phone line.

Fernando Ribeiro (CMP-SIGA)  
José Pedro Tavares (FEUP)



Paulo Pinho

Professor Catedrático  
Departamento Engenharia Civil, FEUP

Full Professor  
Civil Engineering Department, FEUP



## O legado dos engenheiros urbanistas na cidade do Porto

Contributo histórico e investigação atual no CITTA

## The legacy of town planning engineers in the city of Porto

Historical contribution and current research at CITTA

Na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o Planeamento do Território é, de há longa data, mais precisamente desde a década de 60 do século passado, uma das áreas de especialização da Engenharia Civil. No contexto nacional, a FEUP foi aliás pioneira na introdução desta especialização, com o contributo fundacional do Prof. Antão Almeida Garrett. Seguiram-se os notáveis contributos do Prof. António Barbosa de Abreu, centrado sobre a escala urbana, do Prof. Luís Valente de Oliveira, que foi responsável pelo alargamento do planeamento à escala regional, e do Prof. Abílio Cardoso que reforçou a questão e a importância da habitação no planeamento urbano. A qualidade das nossas cidades depende cada vez mais do modo como são pensadas, planeadas, infraestruturadas e geridas, articulando para o efeito, diversas especialidades da engenharia civil, entre muitas outras áreas do saber que devem também ser convocadas. Com efeito, na sua essência, as cidades constituem complexas construções sociais, talvez as mais complexas que a ação do homem tenha alguma vez levado a cabo. São fruto de inúmeros contributos, públicos,

privados, coletivos e individuais, sobrepostos, decantados e cimentados ao longo de séculos, que lhes conferem essa enorme resiliência e perenidade e, ao mesmo tempo, essa enorme qualidade de as sentirmos, e de nos sentirmos pertença delas. Dito isto, convém não subestimar o papel da Engenharia Civil e do Planeamento Urbano para o desenvolvimento e para a qualificação das cidades. O caso da cidade do Porto é disso um bom exemplo. A história mais recente da cidade foi pontuada por um conjunto de contributos de notáveis engenheiros que deixaram através dos seus planos urbanísticos marcas profundas na cidade e fizeram com que o Porto seja considerado, de modo consensual, uma das cidades europeias mais interessantes e atrativas. Referimo-nos, por ordem cronológica dos respetivos planos e intervenções, aos Engenheiros José Augusto Correia de Barros, Augusto César da Cunha Moraes, Ezequiel de Campos e Antão Almeida Garrett. Em 1881, o designado Plano de Melhoramentos da Cidade, preparado pela Câmara Municipal do Porto pelo Engº Correia de Barros constitui o primeiro documento com propostas

At the University of Faculty of Engineering of the University of Porto, Territory Planning has long been one of the areas of expertise in Civil Engineering, since the 1960s. In fact, nationally speaking, FEUP has been a pioneer in the introduction of this new specialisation, beginning with Professor Antão Almeida Garrett. Next came the important contributions of Professor António Barbosa de Abreu, focusing on the study of urban areas; Professor Luís Valente de Oliveira, who was responsible for extending planning to regional level; and Professor Abílio Cardoso, who highlighted the importance of housing in urban planning. The quality of our cities is increasingly dependent on how they are designed, planned, provided with infrastructures and managed, employing the services of different Civil Engineering specialties for the purpose, as well as many other areas of expertise which should also be consulted. In fact, cities are basically complex social constructions, perhaps the most complex ever undertaken through the actions of man. They are the result of countless public, private, collective and individual

contributions, decanted and cemented over the centuries which give them this enormous resilience and continuity and, at the same time, this wonderful quality of feeling them and feeling we belong to them. Having said that, it is important not to underestimate the role of Civil Engineering and Urban Planning in the development and modernisation of cities. The case of Porto is a good example of this. The recent history of the city has been punctuated by a number of exceptional engineering contributions that have left deep marks on the city through the urban planning involved. As a result, Porto is now unanimously considered one of the most interesting and attractive cities in Europe. Let us look at the plans and interventions of the civil engineers José Augusto Correia de Barros, Augusto César da Cunha Moraes, Ezequiel de Campos and Antão Almeida Garrett, in chronological order. In 1881, the City Improvement Plan prepared by the Porto City Council and Correia de Barros, engineer, was the first document with concrete proposals for modernising the city and improving health conditions.

concretas para a salubrização e qualificação da cidade que vivia, então, um forte período de industrialização e de rápido crescimento. Seguidamente, destacamos a contribuição do Engº Cunha Moraes que, trabalhando com o urbanista Richard Barry Parker, foram responsáveis por toda a ambiciosa e bem sucedida intervenção central que deu origem ao conjunto atualmente designado por Praça Humberto Delgado – Avenida dos Aliados – Praça da Liberdade, enquadrando a construção do (então novo) edifício da Câmara Municipal do Porto. Mais tarde, o Engº Ezequiel de Campos foi responsável em 1932, pela elaboração do famoso documento intitulado "Prólogo ao Plano da Cidade do Porto", evidenciando uma esclarecida visão da cidade e do papel dos planos urbanísticos na condução do seu desenvolvimento futuro. Finalmente, neste conjunto necessariamente muito seletivo de intervenções de importantes figuras da engenharia na cidade do Porto, destacamos o primeiro Plano Regulador da Cidade do Porto, preparado pelo Engº Almeida Garrett, entre 1947 e 1954. Trata-se de um notável e influente plano, assente sobre o mais completo e abrangente conjunto de estudos que alguma vez tinham sido feitos sobre a cidade, e cujas propostas perduraram até à atualidade e marcaram a forma e a estrutura urbana, bem como a localização dos grandes canais de circulação viária da cidade. Sem dúvida, que sem estes contributos a cidade do Porto seria bem diferente da cidade que conhecemos hoje. Investigar o urbano é uma paixão, e contribuir para o seu desenvolvimento e qualificação, um privilégio. No Departamento de Engenharia Civil, e mais precisamente no CITTA, Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente, procuramos conciliar investigação, desenvolvimento e extensão universitária. Começando por esta última, a extensão universitária, permitimo-nos destacar alguns trabalhos que há mais de duas décadas temos vindo a desenvolver, de modo sistemático, sobre a regeneração urbana e a habitação na cidade do Porto e, na última década, sobre o Metro do Porto.

Do primeiro tema selecionamos dois trabalhos:

- a conceção e implementação das políticas de regeneração urbana para a baixa do Porto, trabalho este que esteve na base da estratégia de intervenção da Sociedade de Reabilitação Urbana (SRU) Porto Vivo;
- o levantamento e o programa estratégico para as "Ilhas do Porto" realizado para a Domus Social.

Do segundo selecionamos, igualmente, dois trabalhos:

- o estudo dos impactos sociais, económicos e ambientais da implantação da primeira fase do Metro do Porto na cidade e na área metropolitana;
- o plano estratégico de expansão do Metro do Porto, contemplando as grandes apostas e investimentos para a segunda fase deste projeto estruturante do espaço metropolitano e que, a breve trecho, contará com duas obras, a saber, o primeiro troço da linha circular entre a Estação de São Bento e a Casa da Música, e a extensão da linha amarela entre Santo Ovídeo e a Vila d' Este.

Na vertente da investigação, fundamental e aplicada, a riqueza e a complexidade da cidade do Porto e da sua área metropolitana, oferece um notável laboratório de pesquisa que temos vindo a privilegiar, e que nos tem permitido gerar novos conhecimentos científicos, no domínio do urbanismo e do planeamento territorial, novas metodologias de apoio à decisão e novos instrumentos de intervenção.

Selecionamos apenas quatro projetos de investigação recentes que, julgamos, ilustram bem aquelas potencialidades:

- a conceção e o desenvolvimento de uma metodologia inovadora de Avaliação do Impacto Metabólico de planos e grandes projetos urbanos (MIA – Metabolic impact Assessment). Esta metodologia, totalmente concebida e aplicada no nosso centro de investigação, permite-nos antecipar os impactos de grandes intervenções no metabolismo urbano de uma cidade ou metrópole sendo particularmente adequada para suportar os processos de Avaliação Ambiental Estratégica;
- o SAL – Structural Accessibility Layer é uma ferramenta de apoio ao planeamento desenvolvida no CITTA que permite avaliar a competitividade relativa entre modos de transporte. O SAL permite identificar, para os diferentes modos de transporte, os níveis de acessibilidade a bens, serviços e equipamentos que as diversas áreas das cidades oferecem aos seus habitantes. Deste modo pode auxiliar o processo de planeamento na identificação das áreas com particulares deficiências de acessibilidade, bem como as áreas que exibem os mais elevados níveis de dependência automóvel;
- MORPHO é uma metodologia de avaliação e planeamento da forma urbana. A metodologia procura evidenciar o modo como em cada cidade os principais elementos de forma urbana (ruas, quarteirões, parcelas e edifícios) são combinados em diferentes padrões, gerando diferentes ambientes urbanos com diferentes impactos sociais, económicos e ambientais. A MORPHO, criada no CITTA no inicio desta década, foi aplicada num conjunto de cidades Europeias e Americanas, e está atualmente a ser utilizada no estudo das 20 cidades Portuguesas mais importantes.
- o Potencial Bruto para a Bicicleta (PBB) é outra ferramenta de apoio ao planeamento desenvolvida no nosso centro de investigação, destinada a avaliar o potencial ciclável de cidades com baixos níveis de utilização da bicicleta. Esta ferramenta permite quantificar o potencial para a utilização da bicicleta em função da população presente e das condições físicas do território e do ambiente construído. Permite ainda identificar com grande rigor espacial as áreas de maior potencial ciclável.

At the time, the city was undergoing a period of intensive industrialisation and rapid growth.

Next of note is the contribution of Cunha Moraes, engineer, who, working with urban planner Richard Barry Parker, was responsible for the very ambitious and successful central intervention which gave rise to the area now called Praça Humberto Delgado – Avenida dos Aliados – Praça da Liberdade, including the construction of the (then new) Porto City Council building. Later, in 1932, engineer Ezequiel de Campos was responsible for drawing up the famous document entitled "Prologue to Porto City Plan", showing an enlightened vision of the city and the role of urban planning in guiding its future development. Finally, in this necessarily very select group of interventions by important figures in civil engineering in Porto, mention must be made of the Porto City Development Plan, drawn up by Almeida Garrett, engineer, between 1947 and 1954. This was a remarkable and influential plan, based on the most complete and wide-reaching set of studies ever carried out on the city. Its proposals have lived on to the present day and have marked its shape and urban structure, as well as the location of the major road traffic routes in the city. There is no doubt that without these contributions, Porto would be very different from the city we know today. Researching city life is a passion, and contributing to its development and modernisation is a privilege. At the Civil Engineering Department, and CITTA, the Research Centre for Territory, Transports and Environment, we seek to reconcile research, development and science outreach.

Beginning with the latter, science outreach,

we would like to highlight some projects that we have been systematically developing over the last two decades on urban regeneration and housing in Porto and, over the last decade, on the Metro do Porto System.

We have selected two projects from the first area:

- the design and implementation of urban regeneration policies for downtown Porto; this work was the basis for the intervention strategy by the Porto Vivo Urban Renovation Society (SRU);
- the survey and strategic programme of the so-called "Porto Islands" carried out by Domus Social.

We have also selected two projects from the second area:

- the study of the social, economic and environmental impacts of the implementation of the first phase of the Metro do Porto in the city and in the metropolitan area;
- the strategic plan for the expansion of the Metro do Porto, including the major investments for the second phase of this structural project in the metropolitan area, which will soon have two new projects, namely, the first stretch of the circular line between São Bento Station and Casa da Música, and the extension of the yellow line between Santo Ovídeo and Vila d' Este.

In the area of fundamental and applied research, the wealth and complexity of Porto and its metropolitan area is a remarkable research laboratory, which we have prioritised and which has allowed us to generate new scientific expertise in the area of urban and environmental planning, new decision support methodologies and new intervention instruments.

We have selected only four recent research projects, which we believe clearly show this potential:

- the design and development of an innovative methodology for the Metabolic Impact Assessment (MIA) of plans and major urban projects. This methodology, completely designed and applied in our research centre, allows us to anticipate the impacts of major interventions on the urban metabolism of a city or town. It is particularly suited as a methodological support for Strategic Environmental Assessment;
- SAL — Structural Accessibility Layer is a planning support tool developed at CITTA, which allows for assessment of the relative competitiveness of modes of transport. SAL makes it possible to identify, for the different modes of transport, the levels of accessibility to goods, services and facilities that the different parts of cities provide to their inhabitants. This can assist the planning process in the identification of areas with particular accessibility needs, as well as areas that are much more dependent on the private car;
- MORPHO is a methodology for assessing and planning the urban form. The methodology seeks to show how in each city, the main elements of urban form (streets, blocks, plots and buildings) are combined in different patterns, generating different urban environments with different social, economic and environmental impacts. MORPHO, designed at CITTA at the beginning of this decade, was applied to a group of European and American cities. It is currently being used in a study of the 20 most important Portuguese cities.
- the Gross Potential for Bicycles (PBB) is another planning support tool developed at our research centre. It is aimed at assessing the cyclable potential of cities with low levels of bicycle use. This tool makes it possible to quantify the potential for using bicycles according to the population and the physical conditions of the territory and the built-up area. It also identifies the areas of greater cyclable potential very accurately.

# Fora de Portas

## Stepping Out

2016—2019



**Contactos** **Contacts**  
**Porto Innovation Hub**  
 Largo do Dr. Tito Fontes 15  
 4000-538, Porto  
 —  
 info@portoinnovationhub.pt

Esta gazeta foi produzida no âmbito do "Ciclo Inovação Fora de Portas – Engenharia Civil à Mostra", a decorrer entre 24 de setembro e 13 de dezembro de 2019, integrada no Porto Innovation Hub. Os textos apresentados foram produzidos pelas respetivas entidades, tendo como fim esta publicação.

This gazette was produced in the framework of the exhibition "Stepping Out Innovation Cycle – Civil Engineering on Display", taking place from 24 september to 13 december 2019, integrated in the Porto Innovation Hub. All texts submitted were produced by the respective entities for the purpose of this publication.

**Uma iniciativa da** **An initiative of the**  
 Câmara Municipal do Porto  
 Filipe Araújo, Vice-Presidente

**Em parceria com** **In partnership with**  
 Faculdade de Engenharia Civil do Porto  
 Mostra da Universidade do Porto  
 Ordem dos Engenheiros

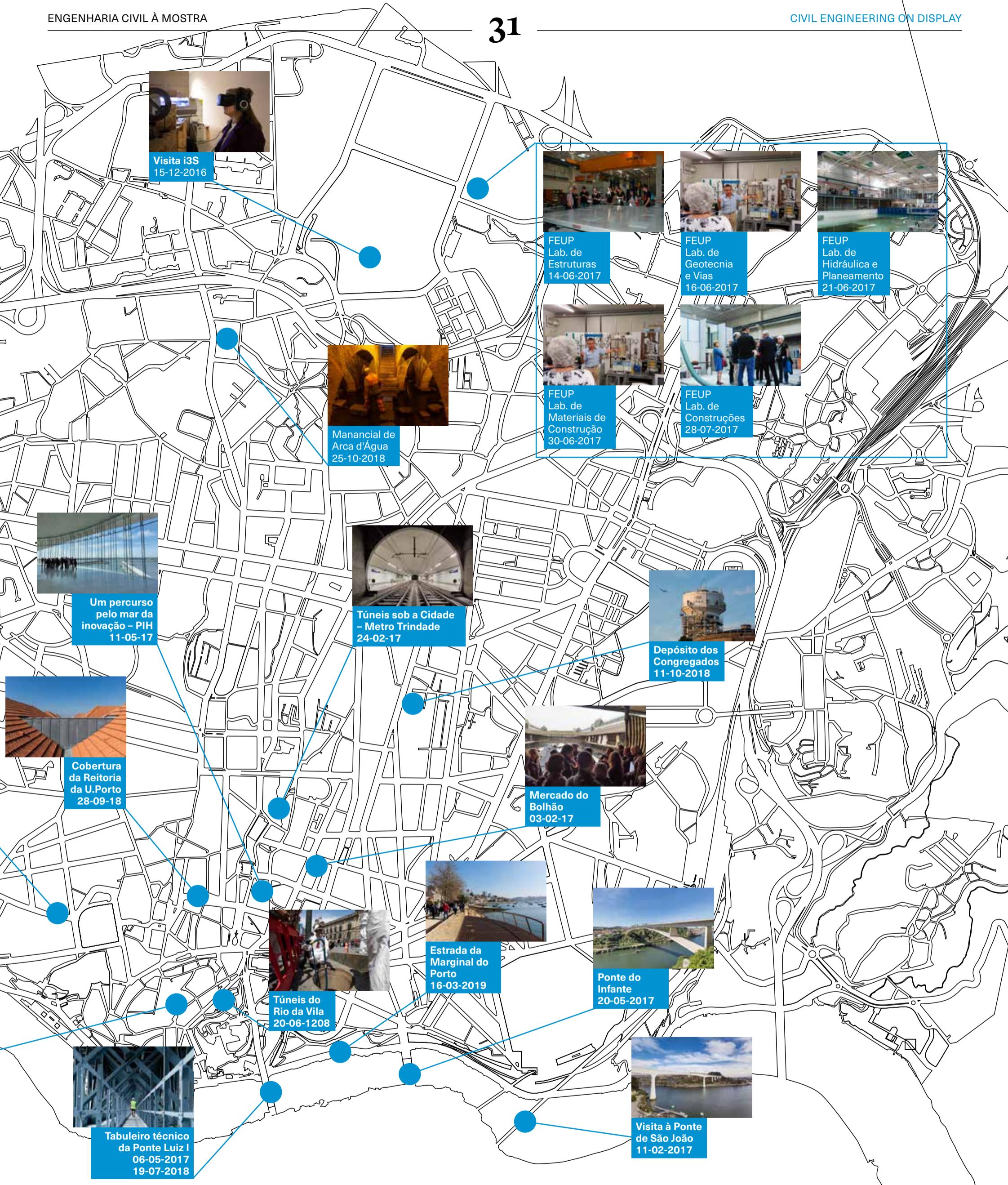
**Produção** **Production**  
 Associação Porto Digital  
 Departamento de Engenharia Civil da  
 Faculdade de Engenharia Civil do Porto

**Coordenação Executiva** **Executive Coordination**  
 Paulo Calçada

**Programação, coordenação operacional e conteúdos**  
**Programme, operational coordination and contents**  
 Bárbara Rangel  
 Sofia Peres

**Apoio técnico e logística** **Logistic and technical support**  
 Carlos Vieira  
 Cheila Mogne  
 Marlene Pires

**Coordenação operacional e design**  
**Operational coordination and design**  
 A.Cruz Design Studio

**Tradução** *Translation*

Tiago Moita  
TIPS – Tradução, Interpretação e Prest. Serv., Lda.

**Revisão de conteúdos** *Review of contents*

Pedro Santos Ferreira

**Elementos expostos** *Exhibited items*

Serviços de Documentação e Informação da FEUP

**Fotografia** *Photography*

Arquivo da Faculdade de Engenharia  
da Universidade do Porto  
Pedro Figueiredo  
Luís Ferreira Alves

**Conteúdos** *Contents*

António Adão da Fonseca  
António Arede  
António Silva Cardoso  
Bárbara Rangel  
Esmeralda Paupério  
Fernando Veloso Gomes  
Germano Silva  
Hipólito Sousa  
Humberto Varum  
Joaquim Poças Martins  
José Pedro Tavares  
Manuel de Matos Fernandes  
Paulo Pinho  
Rui Faria  
Vasco Peixoto de Freitas

**Audiovisuais** *Audiovisuals*

Brighter Films  
GEMA  
Luso Impress

**Impressão** *Print*

Luso Impress

Foram impressos 2.000 exemplares desta  
gazeta, em setembro de 2019.  
2.000 copies of this gazette were  
printed in september 2019.

**Porto.**

A cidade do Porto procura revelar o conhecimento tecnológico e civilizacional das obras e infraestruturas emblemáticas de sustentam a cidade. A partir da exploração de diferentes áreas de intervenção da Engenharia Civil, a iniciativa Inovação Fora de Portas – Engenharia Civil à Mostra, resultante da colaboração entre o Departamento de Engenharia Civil da FEUP, a Mostra da UP e o Município do Porto, mostra como a inovação participa na construção da cidade e na modernização da sociedade. Esta iniciativa realiza-se no contexto da atividade do Porto Innovation Hub (PIH), e pretende envolver os cidadãos e visitantes da Invicta na descoberta da inovação que transformou a cidade nos últimos séculos. Através da construção de um programa cultural dedicado à iniciativa, inauguramos a exposição Inovação Fora de Portas – Engenharia Civil à Mostra e um conjunto de conferências e visitas a locais emblemáticos da cidade Porto.

Starting from the exploration of different areas of intervention of Civil Engineering, the Stepping Out Innovation Cycle – Civil Engineering on Display, an initiative of the City Council of Porto, coordinated by the Department of Civil Engineering of FEUP, in partnership with the U.Porto on Display and the Order of Engineers, seeks to show how innovation drives the development and modernization of the city. The initiative seeks to reveal the scientific and technological knowledge that underpins many of the emblematic works and fundamental infrastructures that make the development of the city. This initiative takes place in the context of the Porto Innovation Hub (PIH) activity, and aims to involve Invicta citizens and visitors in discovering the innovation that has transformed the city in recent centuries.

