

REVISTA

**Edição Especial
VII CIRMARE**

BOLETIM DO GERENCIAMENTO
REVISTA ELETRÔNICA

ISSN: 2595-6531



EDITORIAL

Em sua 47ª edição, a revista *Boletim do Gerenciamento* apresenta um numero especial com a seleção de artigos do **VII Congresso Internacional na “Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios” - CIRMARE 2025**. Com o tema “*Novos Desafios na Adaptação e Preservação do Património Edificado*”, O **CIRMARE 2025** tem como objetivo contribuir para o conhecimento e promoção de praticas na Reabilitação, que impulsionem a resiliência e adaptação do patrimonio edificado e identifiquem novas soluções disruptivas para atender às necessidades atuais e futuras da sociedade, que se pretende mais ecológica, sustentável e digital. Assim essa publicação promove uma oportunidade de divulgação destes trabalhos, de forma que possam contribuir para troca de informações entre os que atuam na area de Recuperação, Manutenção e Restauração de Bens Imóveis.

Nesta publicacao, saudamos a realização do **VII CIRMARE**, com a participação de renomados palestrantes que atuam na área da construção, em Portugal, Espanha e Brasil, e agora transmitirem seus conhecimentos e experiencias.

Eduardo L. Qualharini

Coordenador do NPPG



SUMÁRIO

RESTORATION AND MODERNIZATION OF THE CHURCH OF OUR LADY OF PEACE IPANEMA RIO DE JANEIRO

Restauração e Modernização da Igreja de Nossa Senhora da Paz, Ipanema, Rio de Janeiro.

NEVES, Luiz; MARTINS, Maria Clara Amado 01

ESTRATÉGIAS DE DIAGNÓSTICO PARA A REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA HISTÓRICAS: O CASO DO TEATRO FRANCISCO NUNES

Diagnostic strategies for the rehabilitation of historic wooden structures: The case of the Francisco Nunes Theatre.

CARRASCO, Edgar; ALVES, Rejane; MANTILLA, Judy 09

A NOVA GERAÇÃO DE POLÍTICAS DE HABITAÇÃO EM PORTUGAL E AS EMPREITADAS DE CONCEÇÃO-CONSTRUÇÃO

The New Generation of Housing Policies in Portugal and Design-Build Contracts

PINTO-FARIA, José; MONTEIRO, Vitor 21

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CURADO EN LABORATORIO Y EN OBRA

Estudo comparativo das propriedades do concreto curado em laboratório e em obra

ROMERO, J. R. H.; FIGUEIREDO, E. J. P.; MARCONDES, E. C.; LACERDA, N. A T. 34

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E PROPRIEDADES FÍSICAS DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS COMO SUPORTE À CONSERVAÇÃO PATRIMONIAL

Analysis of the pathological manifestations and physical properties of historical mortars as a support for heritage conservation.

DIONISIO, Adla K.; ANDRADE, Sandro S.; CABRAL, Kleber C.; SÁ, Maria das Vitórias V. A. 43

ARGAMASSAS DE CAL COM AGREGADOS RECICLADOS DE ARGAMASSA: INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE DESAGREGAÇÃO

Lime Mortars with Recycled Mortar Aggregates: Influence of the Disintegration Process

SILVA, Bruna; BRAVO, Miguel; PEREIRA, Manuel F. C.; FERREIRA PINTO, Ana Paula. 54

ARGAMASSAS INOVADORAS PARA REABILITAÇÃO DE PAREDES DE TABIQUE

Innovative mortars for the rehabilitation of partition walls.

TORRES, Isabel; VELOSA, Ana; SOARES, Kátia 63

A APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO BIM NA PRESERVAÇÃO DO EDIFÍCIO JORGE MACHADO MOREIRA DA UFRJ

The Application of BIM Technology in the Preservation of the Jorge Machado Moreira Building at UFRJ

LOPES, Cleidson Alves; VARELA, Wendell Diniz 71

GÊNESE E IMPACTO DO PRONIC COMO SISTEMA DE INFORMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL

Genesis and Impact of ProNIC as an Information System in Construction in Portugal

RIBEIRO, Yanh; TEIXEIRA, Jorge; SOUSA, Hipólito; MÊDA, Pedro 83

**METODOLOGIA HBIM NA GESTÃO DO PATRIMÓNIO: O CASO DE ESTUDO DOS
LANTERNINS DO AQUEDUTO DAS ÁGUAS LIVRES**

***HBIM Methodology in Heritage Management: The case study of the lanterns of the Águas Livres
aqueduct.***

QUELHAS DA SILVA, Bruno; RODRIGUES, Carlos; SILVA, Renata; REGUERO SILVA, Joana;
MARTINHO, Carla 95

**REABILITAÇÃO DAS ILHAS DO PORTO: PRINCÍPIOS, CONQUISTAS E DESAFIOS DE UM
PROCESSO EM CURSO.**

Rehabilitation of the islands of Porto: principles, achievements and challenges of an ongoing process.

SOUSA, Marta; VAREA ORO, Aitor 112

**CASO DE ESTUDO SOBRE REABILITAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIO
SITUADO NA BAIXA POMBALINA DE LISBOA**

***Case Study on the Rehabilitation and Structural Reinforcement of a Building Located in Lisbon's
Pombaline Downtown Area***

MARQUES, Sérgio 130



Restoration and Modernization of the Church of Our Lady of Peace Ipanema Rio de Janeiro

Restauração e Modernização da Igreja de Nossa Senhora da Paz, Ipanema, Rio de Janeiro.

NEVES, Luiz ¹; MARTINS, Maria Clara Amado ²
luizneves@eba.ufrj.br¹; mariaclaraamado@fau.ufrj.br²

¹ Professor Doutor Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ / Centro de Letras e Artes / Escola de Belas Artes / Rio de Janeiro – RJ

² Professora Doutora Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ / Centro de Letras e Artes / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / Rio de Janeiro – RJ

Informações do Artigo

Palavras-chave:

*Restauração,
Igreja,
Ipanema*

Keyword:

*restoration,
church,
Ipanema*

Resumo:

Abstract

Our proposal for CIRMARE 2025 aims to report on the procedures for the restoration and modernization of the Church of Our Lady of Peace, in the neighborhood of Ipanema, Rio de Janeiro. These were emergency procedures due to its state of abandonment (questionable maintenance) and the damaging interventions that disfigured several elements of its architecture. It is worth remembering that the church is one of the few listed buildings in the neighborhood. At the end of the First World War (1918), Pope Benedict XV ordered the inclusion of the invocation “Queen of Peace” in the Litany of Our Lady, thanking God and the intercession of Our Lady for the restoration of peace in the world. This was the main motivation for choosing the patron saint of Ipanema and for entrusting her with the church that was beginning its construction. The architectural style of the church corresponds to the taste of the time: it can be defined as neo-Romanesque, with simple and uncluttered architecture. Some decorative elements are reminiscent of Gothic and Arabic architecture. Its floor plan is in the shape of a cross. The project (1919) was designed by architect Gastão Bahiana, who was then a professor at the Rio de Janeiro School of Fine Arts.

Resumo

Nossa proposta para o CIRMARE 2025 visa relatar os procedimentos de restauração e modernização da Igreja de Nossa Senhora da Paz, no bairro de Ipanema, Rio de Janeiro. Trataram-se de procedimentos emergenciais devido ao seu estado de abandono (manutenção questionável) e às intervenções danosas que desfiguraram diversos elementos de sua arquitetura. Vale lembrar que a igreja é um dos poucos edifícios tombados do bairro. Ao final da Primeira Guerra Mundial (1918), o Papa Bento XV ordenou a inclusão da invocação “Rainha da Paz” na Ladainha de Nossa Senhora, agradecendo a Deus e à intercessão de Nossa Senhora pela restauração da paz no mundo. Essa foi a principal motivação para a escolha da padroeira de Ipanema e para a confiança depositada nela na

igreja que estava sendo construída. O estilo arquitetônico da igreja corresponde ao gosto da época: pode ser definido como neorromânico, com arquitetura simples e despojada. Alguns elementos decorativos remetem à arquitetura gótica e árabe. Sua planta tem o formato de uma cruz. O projeto (1919) foi concebido pelo arquiteto Gastão Bahiana, que na época era professor da Escola de Belas Artes do Rio de Janeiro.

1. Introdução

When invited by the parish priest to coordinate the restoration and modernization of the historic parish, I realized the importance and emotional charge that the building carries, as it was materialized by the faith of the residents of the Ipanema neighborhood and, therefore, deserves full consideration and respect. Researching its history, learning facts from its 100 years, was fundamental in the decisions that guided the development of the project. We remember here the architect and Full Professor at FAU-UFRJ, Olinio Coelho, who in his words recalled "that you only love what you know." In other words, the architect, active in restoration, always reminded us that any restorative intervention requires research and in-depth study of the built asset. Olinio's trajectory inspires us by the intersection between restoration theory and restoration practice, since, in addition to being a professor, he was Director of the Historical and Artistic Heritage of the State of Rio de Janeiro, being responsible for the restoration of some listed properties and nominating some cultural assets for state listing. Following this example of the union between theory and practice, I began studying and researching the Church. It revealed a universe of faith and a valuing of memory.

2 And so the story begins...

Dom Joaquim Arcoverde de Albuquerque Cavalcanti, the first Cardinal and Archbishop of Rio de Janeiro, created the parish of Ipanema, separating it from the parishes of Our Lady of Copacabana, Our Lady of the Conception of Gávea, and Saint

Bartholomew, in Alto da Boa Vista, by a decree signed on September 6, 1921. Monsignor Joaquim Alvim, then parish priest of Copacabana, had long insisted that a new parish be created, and in late 1918 he himself began construction on the future parish church, Our Lady of Peace, on what was then Rua 20 de Novembro, later Visconde de Pirajá. He tried by every means possible to have the Franciscans take over the direction and continue the construction, which indeed happened, until in June 1920, the first parish priest, the Rev. Fr. Domingos Schmitz, was introduced to the Archdiocesan Curia. However, the construction progressed slowly. It was a mad struggle to raise funds to carry it forward. A vast sacristy was then built for celebrations, with the first Mass being held on May 1, 1921. But on August 15 of the same year, Masses were transferred to the main chapel of the new parish church.

Image 01 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1919), under construction,

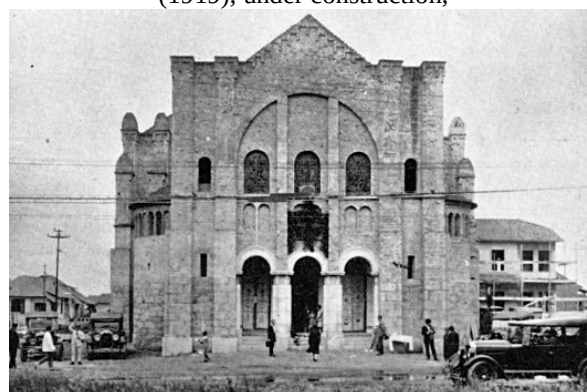


photo by unknown author, Parish archive.

The image of Our Lady of Peace (from France), which was still in the Copacabana Parish Church, was taken to the church in a procession along Avenida Atlântica, accompanied by a large and emotional crowd. On September 6, 1921, as

mentioned above, the decree establishing the Parish of Our Lady of Peace was signed by the Archbishop of Rio de Janeiro, D. Joaquim Arcoverde de Albuquerque Cavalcanti, delimiting its boundaries and "canonically erecting it as the Parish Church of Our Lady of Peace, now under construction."

Image 02 – Nossa Senhora da Paz Square / Ipanema (1939)



General Archives of the City of Rio de Janeiro

The church has recorded significant events in the lives of many people, such as the wedding of the late President Juscelino Kubitschek (1931) and the death of the great composer Pixinguinha in 1973, who had come to be his godfather. For this reason, to this day, the Ipanema Band, when passing by the church, pauses in reverence for this great composer. At the time, the Ipanema neighborhood was a sparsely populated stretch of sand, with a population of limited financial resources; to fund the construction of the church, they turned to the people of Copacabana and Leme, already densely populated neighborhoods, inventing everything imaginable: raffles, auctions, etc., to keep the construction going. The square in front of the church was called Souza Ferreira, later Nossa Senhora da Paz - name given by Mayor Canon Olympio de Mello, with sand dunes.

Image 03 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1921), under construction, still without the tower,



Photo by Marc Ferrez, General Archives of the City of Rio de Janeiro

3 Restoration and Modernization

The church has a façade area of approximately 3,100 m², and its tallest tower reaches 40 m. The tower itself is made of stone up to a height of 7.90 m, and its base is structured to support 10,000 kg. Its robust appearance is necessary as a symbol of strength and faith. Lightning rods were installed in the small towers in 1929 by architect Luppi, the same architect who installed lightning rods on the Christ the Redeemer monument. The bells, cast by the Ababillon firm of Saarberg, Germany, bear the inscription: "Christ the King - Queen of Peace - and Saint Joseph." The stained-glass windows were executed, some by Casa Zettler in Munich, Germany; others came from Casa Conrado in São Paulo. The church's main altar is made of treated marble, made in Italy. It was inaugurated on November 21, 1926. The monstrance, made in Paris, contains relics of the Viscount of Ouro Preto, donated by his family to the church. The baptismal font is made of African onyx. The altar of Saint Anthony, built entirely of marble, was inaugurated on July 14, 1929; that of Saint Francis, also in marble, was executed by Heitor Usai. The image of Our Lady of Luján arrived with a delegation of clergy from Argentina, who handed it over to the parish in a ceremony held in 1935. In January 1957, a campaign began to install air conditioning, which finally happened on March 12, 1961. The Church of Our Lady of Peace became one of the few churches, if not the only one I've encountered, with a central cooling system, considered one of the best at the time, as it integrated into the architecture, with wind

turbines in the center of the nave's domes and machinery in the basement, with ducts lined with "scenographic" decorative elements in the same style as those on the façade. The grotto of Our Lady of Lourdes, next to the church, inaugurated in 1958, forms part of the architectural complex.

4 The Process of Implementing Changes

In 1997, Monsignor Manuel Moreira Vieira, the current parish priest, decided to take on the challenge of restoring and implementing improvements, notably: a ceramic tile roof, masonry/rainwater drainage system (exterior), restoration of the wall frescoes (with artistic painting and gold leaf), and the electrical and air conditioning systems, which were visibly marked by the natural wear and tear of time, both externally and internally. To coordinate this endeavor, I was invited to coordinate the church's restoration project, which sought to identify and enhance the building's heritage by redoing the original paintings from its time, installing new and more efficient environmental comfort systems, and updating its architectural design to make it accessible with the installation of ramps.

We began with (01) research into the church's documentation and iconography, using the parish's own archives, which are very well organized and documented: inventory books, reference documents, and photographs, and the General Archives of the City of Rio de Janeiro. We adopted a procedure that yielded positive results: we asked parishioners at Masses to lend us old photos of the church so we could create a collection of reference images. These images greatly helped in the restoration of the church's interior: wall frescoes, rich in symbolism and design, many arabesques, panels depicting events of the Catholic liturgy, and capitals with gold leaf gilding. (02) In parallel, we carried out a detailed survey of the building: plans (including the roof/woodwork and ceramic tiles and rainwater drainage system), sections and facades, plus details of the decorative elements (external and internal), frames (doors, glass, capitals, furniture, images, etc.), electrical system (points and panels), cooling system (deficient and with excessive electricity consumption). (03) Once the physical survey was complete, we began a meticulous mapping of the damage, to define the multiple and diverse technical actions. The most extensive and expensive restorative action was the

removal of the layer of plastic paint that covered ALL the internal walls of the church, applied with the aim of "protecting" the oil painting (over a layer of plaster paste / the well-known fresco). This practice of "protection" through the application of plastic paint compromises the original aesthetics and its use, although inappropriate, was done when there were no resources for restoration. It became a very common method at the time. (03) Restoration of the keyboard, replacement of Compromised wood pieces and tiles (made from a mold of the existing tile and taken to a tile factory with which we had a partnership). Also on the roof, we repaired the gutters and increased the number of recessed drains as much as possible in the existing masonry. Small protrusions were incorporated into the facade plan through "scenographic" pagination. (04) Removal of part of the old refrigeration system and installation of a new one. The air spindles were reused, as they were in good condition and in harmony with the interior. We built metal walkways to facilitate technical inspections of the refrigeration system (plenum boxes), and the external condensers were installed next to one of the facades, which is partially hidden by construction next to the church. The site where the old condensers for large fans were located, a small basement below the Sacristy, was converted into a storage room. (05) Restoration of the external facades (including decorative/sculptural elements), with the removal of the deteriorated plaster (the base of the masonry). The exterior walls are made of solid brick and the base is made of ashlar stone), with waterproofing and painting applied, before installing decorative lighting points, highlighting the architectural forms and the security system/cameras. We took advantage of the scaffolding and installed new lightning rods and also replaced the concrete cross at the top of the tower with a new one, made from a mold of the old one, which was relocated to the new 'sailboat' (a place for lighting candles). Another restorative action was the restoration of the small grotto with the image of Our Lady of Lourdes. (06) Construction of ramps for accessibility for wheelchair users and the elderly, in accordance with municipal regulations. (07) Restoration of the floors in hydraulic tiles and marble (main altar). (08) Installation of the new reflected light lighting system, cameras, and sound. (09) Restoration of the furniture: pews (nave / total of two hundred / in dark wood, the most damaged parts were replaced with resin replicas in the color

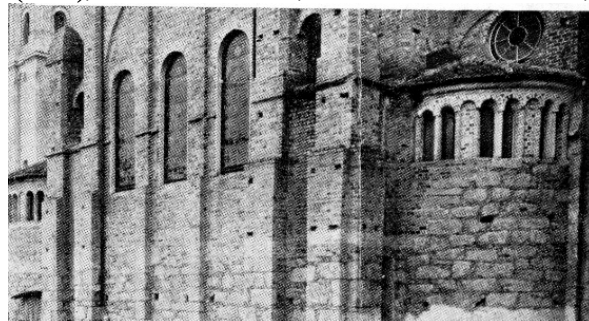
of the pew's wood); wooden confessionals (total of 04); altar furniture: a new carved wooden table with a marbled artistic paint finish, chairs for the celebrants, two "ambons" (where readings are made during the mass), altar furniture were made.

5 In Conclusion

The report presented here reveals the importance of the union between the theory and practice of Restoration in the intervention carried out at the Church of Our Lady of Peace. However, this union became the framework for the valorization of a religious building that is part of the Ipanema neighborhood. We speak of a 'sign' when we mention the tower because memory is a linguistic component when considering Cultural Heritage. The restoration of the Church described here evokes a sense of belonging and affection between society and the parish. When people brought their photos, responding to the parish priest's request to enrich the collection, they were laying the foundation for the interventions to come, as those photos constituted a process of communication. Communication is a language. The restoration carried out was the bridge that strengthened communication between that generation and the others who continue to attend the Church and make new memories. The restorative actions allowed the preservation of faith by solidifying the building. More than that, they unveiled covered walls, improved access and thermal comfort, and revitalized the property so that its meaning remains as a temple of faith. Another important piece of information presented here is the understanding that in restoration, "time does not go back" and that "only matter is restored," assertions reinforced by the Italian theorist Cesare Brandi. Indeed, the work constructed this narrative by presenting a detailed description of the actions performed. If time does not go back, it is necessary to ensure the permanence of memory, and understanding Cultural Heritage is the understanding of the importance of memory as a legacy of a society. Therefore, the Restoration and Modernization of the Church of Our Lady of Peace, Ipanema, Rio de Janeiro fulfills this role of valuing memory.

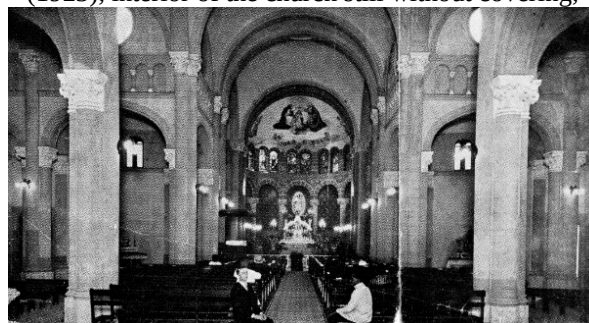
6 Images illustrating the reported items

Image 04 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1919), under construction, detail of the external wall,



Unknown author, Parish archive.

Image 05 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1923), interior of the church still without covering,



Unknown author, Parish archive.

Image 06 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1922), interior of the church, coronation ceremony of Our Lady of Peace, main altar /



Photo donated by parishioner, author unknown, Parish archive.v

Image 07 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1938) and architectural complex: church with the tower in the background and church hospital, for serving the poor. One of the few social care hospitals in the south of the city,



Author unknown, Parish archive.

Images comparing the condition of the Church before and after the restoration

Image 08 and 09 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1997 before and 2008 after), side facade facing Rua Joana Angelica, photos before and after restoration



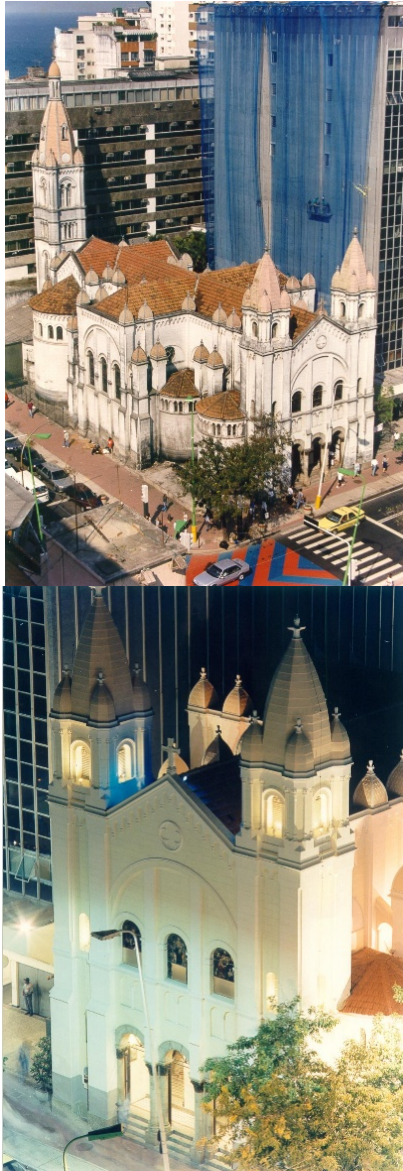
Author Luiz Neves

Image 10 and 11 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1997 before 2008 after), towers of the main facade, photos before and after restoration



Author Luiz Neves

Image 12 and 13 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1997 before 2009 after, main facade, photos before and after restoration)



Author Luiz Neves



Author Luiz Neves

Image 16 and 17 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1997 before 2024 after), internal view, altar of Saint Anthony



Author Luiz Neves

Image 14 and 15 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1997 before 2009 after), internal view



IMAGE 18 and 19 – Church of Our Lady of Peace / Ipanema (1999 before 2023 after), internal view of the nave /



author Luiz Neves

7. References

- BRANDI, Cesare. *Restoration Theory*. Trans. Beatriz M. Kuhl. Cotia: Ateliê Editorial, 2004.
- COELHO, Olinio G. P. *Of Cultural Heritage*. Rio de Janeiro, 1992.
- SANTOS FILHO, Raphael David dos. *Places of Memory*. Rio de Janeiro, Editora Rio Book's, 2014, p. 26.
- JOLY, Martins. *Introduction to Image Analysis*. Lisbon: Edições 70, 2004.
- MARTINS, Maria Clara Amado. *CREA-RJ in Review*. Rio de Janeiro, n. 71, p. 40-41, June 2008.
- NEVES, Luiz. *Heritage Multipliers – City Heritage*. published in the proceedings of the VII MASTERS AND ADVISORS Conference, Belo Horizonte, MG, 2015
- TUAN, Yi – Fu, *Topophilia. A study of environmental perception, attitudes, and values*. São Paulo: Difel, 1980.
- ABNT. *NBR 16280*. establishes requirements for the management of building renovations, covering planning, safety, and documentation.
- DECREE-LAW No. 25/1937*: defines the concept of national historical and artistic heritage, including real estate.



Estratégias de diagnóstico para a reabilitação de estruturas de madeira históricas: O caso do Teatro Francisco Nunes

Diagnostic strategies for the rehabilitation of historic wooden structures: The case of the Francisco Nunes Theatre.

CARRASCO, Edgar¹; ALVES, Rejane²; MANTILLA, Judy³

Mantilla.carrasco@gmail.com¹; Rejanealves.ufes@gmail.com²; judynorka@gmail.com³.

¹Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio sustentável na Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

²Professora Doutora do Programa de Pós graduação em Engenharia Química na Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, Brasil.

³ Professora Doutora, aposentada da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Estruturas de madeira
históricas

Diagnóstico estrutural
Reabilitação de edifícios
Ensaio não destrutivo

Key word:

Historic timber structures
Structural diagnostics
Building rehabilitation
Non-destructive testing

Resumo:

A preservação de estruturas históricas em madeira é fundamental para o patrimônio cultural, mas enfrenta desafios devido à vulnerabilidade do material. Este estudo apresenta uma metodologia integrada de diagnóstico, aplicada à cobertura do Teatro Francisco Nunes em Belo Horizonte. Esta abordagem combina três técnicas complementares: inspeções visuais para identificar patologias superficiais, ensaios não destrutivos com resistógrafo para avaliar a condição interna das peças, e modelagem computacional para quantificar esforços estruturais. As inspeções detectaram danos biológicos e deficiências construtivas, enquanto os resistogramas forneceram dados sobre a resistência interna da madeira sem comprometer sua integridade. A análise computacional identificou zonas críticas que requerem intervenção prioritária. A integração destas técnicas permitiu um diagnóstico mais preciso do que seria possível com métodos isolados, orientando intervenções menos invasivas. Os resultados demonstram que a conservação eficaz de estruturas históricas em madeira requer uma avaliação multidimensional que considere tanto aspectos históricos quanto estruturais. Esta metodologia contribui para preservar importantes testemunhos de técnicas construtivas tradicionais, garantindo sua transmissão às gerações futuras.

Abstract

The preservation of historic timber structures is essential for cultural heritage, yet faces challenges due to the material's vulnerability. This study presents an integrated diagnostic methodology applied to the roof structure of Teatro Francisco Nunes in Belo Horizonte. This approach combines three complementary techniques: visual inspections to identify surface pathologies, non-destructive resistograph testing to assess the internal condition of elements, and computational modeling to quantify structural stresses. The inspections detected biological damage and construction deficiencies, while resistograph tests provided data on the

internal resistance of the timber without compromising its integrity. Computational analysis identified critical zones requiring priority intervention. The integration of these techniques enabled a more precise diagnosis than would be possible with isolated methods, guiding lessinvasive interventions. Results demonstrate that effective conservation of historic timber structures requires a multidimensional assessment that considers both historical and structural aspects. This methodology contributes to preserving important testimonies of traditional construction techniques, ensuring their transmission to future generations

1. Introdução

Inaugurado em 1950, o Teatro Francisco Nunes transcende sua função arquitetônica para simbolizar o florescimento cultural de Belo Horizonte em meados do século XX. Concebido durante um período de notável expansão urbana, o teatro foi cuidadosamente integrado ao Parque Municipal, incorporando elementos modernistas característicos daquela época. Embora existam lacunas documentais quanto à autoria específica do projeto, é evidente que sua concepção buscava atender à crescente demanda por espaços dedicados às artes cênicas na capital mineira.

O edifício original distinguiu-se por sua funcionalidade, estética despojada e atenção especial à acústica e visibilidade, empregando materiais que refletiam tanto a disponibilidade quanto as tendências construtivas do período. Ao longo das décadas, o teatro passou por diversas intervenções estruturais e atualizações técnicas, incluindo modernizações nos sistemas de iluminação e sonorização, adaptando-se às exigências contemporâneas sem perder sua essência histórica.

Desde então, o Teatro Francisco Nunes tem ocupado posição central na vida cultural belo-horizontina, acolhendo uma diversidade de manifestações artísticas – de peças teatrais a concertos e festivais. Esta trajetória consolidou o espaço não apenas como palco para apresentações, mas como ambiente de socialização, aprendizado e formação de público, reafirmando seu impacto sociocultural para toda a região.

A proteção do patrimônio edificado, particularmente das estruturas históricas em

madeira, apresenta desafios técnicos e multidisciplinares que vão muito além da mera preservação física [1]. Tais construções constituem testemunhos tangíveis de diferentes períodos históricos, manifestando valores arquitetônicos, estéticos e construtivos únicos, além de técnicas e conhecimentos transmitidos através de gerações [2]. A madeira exerceu papel fundamental na evolução arquitetônica, desde construções vernaculares até complexas obras de engenharia, sendo valorizada por atributos como leveza, flexibilidade e sustentabilidade [3]. No entanto, sua natureza orgânica, combinada com a susceptibilidade a diversos agentes degradantes, torna sua conservação particularmente desafiadora, exigindo abordagens integradas e conhecimentos de múltiplas disciplinas [4].

A relevância da conservação de estruturas históricas em madeira está intrinsecamente ligada à preservação da memória coletiva, ao fortalecimento da identidade cultural e à continuidade do conhecimento técnico acumulado [5]. Esses edifícios estabelecem uma conexão palpável com o passado, proporcionando às comunidades um sentido de continuidade histórica e valorização do patrimônio local [6]. Adicionalmente, a reabilitação dessas estruturas alinha-se com princípios de sustentabilidade, reduzindo a necessidade de novas edificações e minimizando o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos [7]. Assim, a preservação do patrimônio arquitetônico em madeira contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, fomentando um futuro mais resiliente e ancorado na

apreciação do legado histórico como elemento de desenvolvimento [8].

Apesar do crescente reconhecimento do valor patrimonial, a conservação de estruturas históricas em madeira enfrenta obstáculos específicos. Diferentemente de materiais como pedra ou alvenaria, a madeira mostra-se particularmente vulnerável à ação de agentes biológicos – como fungos e insetos xilófagos – e a condições ambientais adversas, incluindo umidade excessiva, radiação solar e oscilações térmicas [9]. Frequentemente, falhas construtivas resultantes de técnicas inadequadas, materiais impróprios e modificações ao longo do tempo comprometem a estabilidade estrutural [10]. A avaliação desses danos requer a integração de conhecimentos em engenharia, arquitetura, biologia e conservação, visando compreender os mecanismos de deterioração e desenvolver estratégias de intervenção apropriadas [11].

Neste panorama, torna-se essencial realizar diagnósticos meticulosos das condições estruturais das edificações históricas em madeira, orientando práticas eficazes de reabilitação [12]. Embora as metodologias tradicionais baseadas em inspeções visuais mantenham sua importância, frequentemente mostram-se insuficientes para detectar deteriorações internas ou ocultas, limitando a eficácia das intervenções [13]. A incorporação de técnicas não destrutivas, como resistogramas, e ferramentas de modelagem computacional representa uma abordagem inovadora para complementar as inspeções convencionais, permitindo obter informações detalhadas sem causar danos adicionais [14]. Contudo, a aplicação destas técnicas em madeiras históricas ainda apresenta desafios significativos, como a adaptação dos métodos para estruturas antigas e a dificuldade de validação dos modelos através de dados experimentais [15].

Diante deste cenário, o presente estudo propõe uma abordagem integrada para diagnosticar a degradação em estruturas históricas de madeira, combinando inspeção visual minuciosa, ensaios não destrutivos e

modelagem computacional, utilizando a cobertura do Teatro Francisco Nunes como caso exemplar. Esta cobertura, estruturada em arco de madeira, representa um notável exemplo da engenharia do período, refletindo as aspirações modernistas por soluções arrojadas em espaços culturais. Ao longo das décadas, entretanto, a estrutura sofreu processos degenerativos devido à ação biológica, exposição à umidade e deficiências construtivas, comprometendo sua integridade e durabilidade.

A análise aprofundada desta obra oferece uma oportunidade única para aprimorar metodologias diagnósticas e desenvolver estratégias de reabilitação mais eficientes, sustentáveis e adaptadas às particularidades do patrimônio em madeira. Ao integrar diferentes técnicas avaliativas, buscou-se ampliar a compreensão do estado estrutural, identificando as causas de degradação, quantificando danos e esforços atuantes, e assim fundamentando intervenções precisas e personalizadas.

A importância desta investigação reside na necessidade crescente de metodologias diagnósticas mais acuradas e eficientes, fundamentais para a reabilitação de estruturas históricas em madeira e para a promoção de práticas construtivas sustentáveis. Ao aplicar múltiplas técnicas analíticas a um caso concreto, este estudo visa gerar conhecimentos aplicáveis, relevantes para profissionais e pesquisadores, contribuindo para enfrentar os desafios inerentes à conservação do patrimônio edificado em madeira – assegurando sua estabilidade, longevidade e significado cultural para as futuras gerações.

2. Materiais e métodos

A estrutura de madeira do Teatro Francisco Nunes representa um notável exemplar da engenharia de meados do século XX. Sua cobertura, em particular, destaca-se pela sofisticação técnica e elegância estética, integrando elementos estruturais de madeira com ligações metálicas, figura 1.

Figura 1 – Teatro Francisco Nunes inaugurado em 1950 dentro do Parque Municipal em Belo Horizonte



Fonte: Arquivo Público da Cidade de Belo Horizonte – ASCOM

2.1 Visão Geral da Estrutura

A cobertura do teatro apresenta uma solução engenhosa composta por arcos de madeira que percorrem toda sua extensão, criando um amplo espaço interno livre de pilares. Estes arcos são formados por lâminas de madeira sobrepostas – não coladas, mas mantidas em posição pela própria curvatura – complementadas por montantes de madeira e diagonais em barras de aço aparafusadas. O sistema estrutural é completado por terças, mãos-francesas e contraventamentos em X, todos em madeira, que servem de apoio para as telhas metálicas.

2.2 Elementos Estruturais Principais

2.2.1 Arcos de Madeira

Os arcos constituem os elementos estruturais fundamentais da cobertura, responsáveis pela distribuição das cargas até os apoios. Cada arco é composto por duas partes: um arco externo (superior) e um arco interno (inferior). Cada um destes é formado por quatro lâminas de madeira com 2,3 cm de espessura, empilhadas sem colagem. As lâminas são arqueadas por aprisionamento,

mantidas em posição pelo sistema de montantes de madeira serrada e barras de aço rosqueadas, figura 2.

Figura 2 – Vista geral da cobertura, mostrando os arcos de madeira e as telhas metálicas

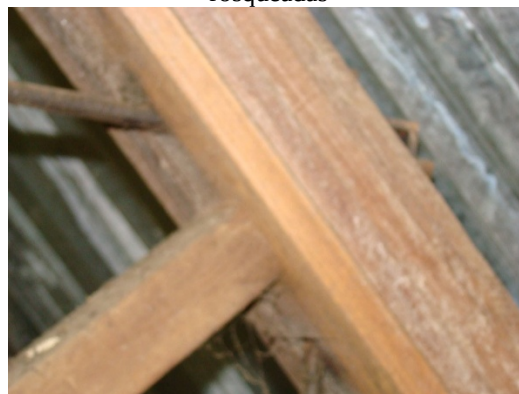


Fonte: Autores

2.2.2 Montantes e Diagonais

Os montantes de madeira (7 cm × 7 cm) e as barras de aço rosqueadas (12,5 mm de diâmetro) trabalham em conjunto para manter as lâminas dos arcos posicionadas e garantir sua estabilidade. As barras diagonais de aço funcionam como contraventamentos, aumentando a rigidez global da estrutura, figura 3.

Figura 3 – Detalhe da ligação entre os montantes de madeira e os arcos, mostrando as barras de aço rosqueadas



Fonte: Autores

2.2.3 Terças, Mãos-Francesas e Contraventamentos

As terças são peças de madeira apoiadas sobre os arcos que servem de suporte para as

telhas metálicas. Mãos-francesas de madeira serrada (4 cm × 6,8 cm) contraventam o arco interior contra flambagem. Contraventamentos em X, também de madeira, contribuem para a estabilidade lateral do conjunto.

2.3 Ligações e Apoios

Os arcos são fixados aos apoios de concreto por meio de dois parafusos de 1/2". A conexão entre montantes e arcos é realizada através de parafusos e barras rosqueadas. A correta fixação destes elementos é importante para a estabilidade e segurança da estrutura, figura 4.

Figura 4 – Detalhe do apoio dos arcos em concreto, mostrando os parafusos de fixação



Fonte: Autores

2.4 Materiais Utilizados

A estrutura é predominantemente construída em madeira, com elementos de ligação em aço. A madeira utilizada enquadra-se na Classe de resistência C30 Dicotiledônea, conforme a norma brasileira [16]. O aço empregado é do tipo ASTM 325, com características mecânicas especificadas pela norma [17].

2.5 Estado de Conservação

Nossas inspeções visuais revelaram diversos problemas, incluindo danos biológicos causados por fungos e cupins, além de defeitos construtivos como desalinhamento de elementos estruturais e ausência de contraventamentos. Estes danos comprometem a integridade do conjunto e demandam intervenções de reabilitação. A

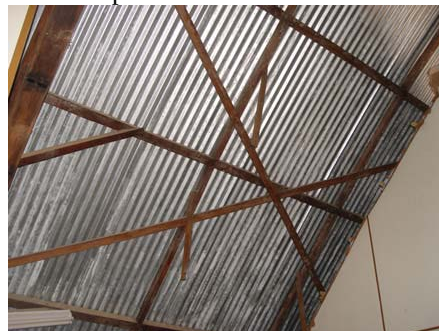
figura 5 ilustra um exemplo de dano biológico em elemento estrutural, enquanto a figura 6 mostra o desalinhamento de um contraventamento.

Figura 5 – Exemplo de dano biológico em um elemento estrutural, possivelmente causado por fungos ou insetos.



Fonte: Autores

Figura 6 – Desalinhamento de um contraventamento, comprometendo a sua eficácia



Fonte: Autores

2.6 Equipamentos utilizados

Para as inspeções visuais, empregou-se uma câmera fotográfica Canon EOS Rebel T7i com lente de 18-55mm, essencial para documentar detalhadamente as condições estruturais, incluindo danos e deformações. Uma trena laser Bosch GLM 50 C permitiu medições precisas, fundamentais para a posterior modelagem.

Nos ensaios não destrutivos, utilizou-se principalmente o Resistógrafo IML-RESI F400, equipamento que mede a resistência da madeira à penetração de uma broca fina, gerando um perfil da densidade e integridade do material em profundidade. A broca de 3 mm de diâmetro possibilitou avaliações precisas sem comprometer significativamente

a estrutura. Os dados coletados foram analisados através do software IML-RESI, que permitiu identificar áreas com menor resistência, indicativas de degradação interna.

Para a modelagem computacional, o software SAP2000 foi utilizado na criação de um modelo detalhado da cobertura e na simulação de seu comportamento sob diferentes condições de carregamento.

2.7 Metodologia de diagnostico

A avaliação da cobertura de madeira do Teatro Francisco Nunes seguiu uma metodologia integrada em três etapas principais: inspeções visuais detalhadas, ensaios não destrutivos (resistogramas) e modelagem computacional. Cada etapa foi cuidadosamente planejada e executada para fornecer uma compreensão abrangente do estado da estrutura, permitindo identificar patologias, avaliar a resistência da madeira e verificar a integridade estrutural da cobertura.

A primeira etapa da avaliação consistiu em inspeções visuais minuciosas de todos os elementos da estrutura da cobertura. O objetivo principal foi identificar a presença de danos bióticos e abióticos. Os danos bióticos são ocasionados por fungos e organismos Xilófagos, é um dos principais problemas que afetam as estruturas de madeira históricas. Os fungos causam a deterioração da madeira, alterando a sua cor, textura e resistência. Os insetos xilófagos, como os cupins e os carunchos, alimentam-se da madeira, escavando galerias e comprometendo a sua integridade estrutural. As inspeções visuais permitem identificar os sinais da presença destes agentes biológicos, como a presença de orifícios, galerias, pó de madeira e corpos frutíferos. Os danos abióticos são os defeitos construtivos, deformações visíveis, rachaduras e fissuras na madeira, nós soltos ou defeituosos, empenamentos e deformações, desalinhamento de elementos estruturais, ausência de contraventamentos ou ligações inadequadas. Todas as observações foram registradas detalhadamente, incluindo a localização, o tipo e a extensão dos danos, defeitos e deformações. As fotografias tiradas documentaram visualmente as condições da

estrutura, servindo como referência para as etapas seguintes da avaliação.

Após as inspeções visuais, foram realizados ensaios não destrutivos para avaliar a resistência da madeira nos elementos estruturais da cobertura. A técnica utilizada foi a resistografia, que consiste em medir a resistência da madeira à penetração de uma broca. O resistógrafo fornece um perfil da densidade e da integridade do material em profundidade, permitindo identificar áreas de degradação e defeitos internos sem danificar significativamente a estrutura. Os ensaios foram realizados em pontos selecionados com base nos resultados das inspeções visuais, priorizando áreas com sinais de danos ou suspeita de degradação. O resistógrafo foi posicionado perpendicularmente à superfície da madeira, e a broca foi inserida a uma velocidade constante. O equipamento registrou a resistência à penetração da broca em função da profundidade, gerando um resistograma, figura 7.

Figura 7 – Resistógrafo durante o ensaio de penetração



Fonte: Os autores

Os dados dos resistogramas foram analisados utilizando o Software IML-RESI, que permite identificar áreas com menor resistência, indicativas de podridão, galerias de insetos ou outros defeitos internos. A análise dos resistogramas forneceu informações valiosas sobre a integridade da madeira em profundidade, complementando os dados obtidos nas inspeções visuais. Para ter referência, do índice de penetração, foi feito ensaios na madeira nativa.

A terceira etapa da avaliação envolveu a criação de um modelo computacional da cobertura do teatro utilizando o Software

SAP2000. O objetivo da modelagem computacional era quantificar os esforços atuantes na estrutura e identificar as áreas mais críticas. O modelo geométrico da cobertura foi criado com base nas medições realizadas durante as inspeções visuais. As propriedades dos materiais, como o módulo de elasticidade e a resistência à compressão da madeira, foram definidas com base em dados da literatura técnica e nos resultados dos ensaios não destrutivos. As condições de contorno do modelo foram definidas de forma a representar as ligações da cobertura com a estrutura de suporte do teatro. Os carregamentos atuantes na cobertura foram definidos de acordo com as normas técnicas brasileiras, incluindo o peso próprio dos elementos estruturais, a ação do vento e a sobrecarga de utilização. O modelo foi submetido a uma análise estrutural linear estática, utilizando o software SAP2000. A análise forneceu os esforços (forças e momentos) atuantes em cada elemento estrutural da cobertura. Os resultados da análise estrutural foram interpretados para identificar as áreas mais críticas da cobertura, ou seja, os elementos estruturais sujeitos aos maiores esforços.

Finalmente a abordagem integrada, que combina inspeções visuais, ensaios não destrutivos e modelagem computacional, é fundamental para obter um diagnóstico preciso e eficaz das estruturas de madeira históricas. Cada uma destas metodologias fornece informações complementares sobre o estado da estrutura, permitindo uma avaliação mais completa e detalhada. Ao combinar estas três metodologias, é possível obter um diagnóstico mais preciso e completo, que serve de base para a definição de um plano de reabilitação adequado. A abordagem integrada permite identificar as causas da degradação, avaliar a magnitude dos danos, quantificar os esforços atuantes e simular o impacto de diferentes intervenções. Desta forma, é possível tomar decisões informadas e otimizar as estratégias de reabilitação, garantindo a segurança, a durabilidade e a conservação das estruturas de madeira históricas.

No caso do Teatro Francisco Nunes, a abordagem integrada permitiu obter um diagnóstico detalhado da estrutura da cobertura, identificando as patologias presentes, avaliando a resistência da madeira e quantificando os esforços atuantes. Este diagnóstico serviu de base para a definição de um plano de reabilitação que visa garantir a segurança, a durabilidade e a conservação deste importante marco arquitetônico.

3. Resultados e discussões.

Esta seção apresenta os resultados detalhados da avaliação diagnóstica da cobertura em madeira do Teatro Francisco Nunes, seguida por uma análise crítica das implicações destes resultados para a reabilitação estrutural. Esta investigação integrou inspeções visuais, ensaios não destrutivos (resistogramas) e modelagem computacional, visando estabelecer uma base sólida para decisões fundamentadas sobre a restauração e preservação deste importante patrimônio cultural.

3.1 Inspeções visuais

As inspeções visuais constituíram a etapa inicial do processo avaliativo, permitindo uma análise abrangente das condições gerais da estrutura. Identificamos os seguintes problemas principais:

Danos bióticos: Detectou-se evidências de ataques por fungos e cupins em diversos elementos estruturais, particularmente nas áreas com maior umidade e ventilação deficiente. A identificação visual incluiu manchas características, alterações na coloração da madeira e presença de galerias típicas de insetos xilófagos, figura 8.

Figura 8 – Ataque de fungos em uma viga da cobertura, evidenciando a necessidade de tratamento imediato.



Fonte: Os autores

Danos abióticos: Identificou-se múltiplos defeitos construtivos, incluindo contraventamentos desalinhados, ausência de ligações adequadas em determinados pontos e emendas mal executadas nas terças figura 9.

Figura 9 – Contraventamentos desalinhados ou ausentes, elementos soltos e ausência de mãos francesas.



Fonte: Os autores

Observou-se também empenamentos e arqueamentos em terças e mãos-francesas, sugerindo possível comprometimento da capacidade de suporte de carga em alguns elementos. A fixação inadequada dos arcos aos apoios de concreto emergiu como uma preocupação significativa. O número insuficiente de parafusos, associado a sinais visíveis de corrosão, indica um risco potencial para a estabilidade estrutural, especialmente sob ação de cargas variáveis como ventos figura 10.

Figura 10 – Número insuficiente de parafusos de 12,7 mm para fixação dos arcos.



Fonte: Os autores

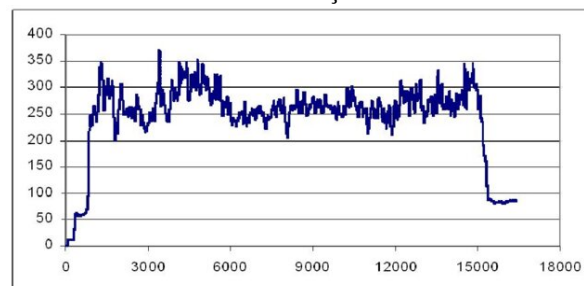
3.2 Ensaios Não Destrutivos

Os ensaios realizados com o resistógrafo IML-RESI F400 forneceram dados valiosos sobre a resistência interna da madeira. Destacam-se os seguintes resultados:

Heterogeneidade na resistência: A análise dos resistogramas, figura 11, revelou significativa variação na resistência das lâminas que compõem os arcos. Alguns trechos apresentaram comportamento comparável ao da madeira de referência, enquanto outros demonstraram resistência consideravelmente inferior.

Áreas de degradação: Identificou-se zonas com menor resistência à penetração da broca, indicando presença de podridão, galerias de insetos ou outros defeitos internos. Estas áreas foram mapeadas para orientar futuras intervenções de reforço ou substituição.

Figura 11 – Exemplo de resistograma de áreas com boa conservação.



Fonte: Os autores

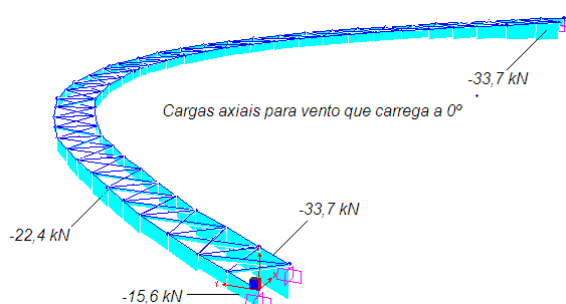
3.3 Modelagem Computacional

A modelagem realizada com o software SAP2000 permitiu quantificar os esforços atuantes e identificar as áreas críticas da estrutura. Os principais resultados foram:

Concentração de esforços: A análise revelou concentração significativa de tensões em determinados elementos estruturais, notadamente nos arcos próximos aos apoios, devido à ação do vento e às cargas permanentes. Esta concentração sugere a necessidade de reforços localizados para garantir a segurança estrutural, figura 12.

Compressão máxima nas terças: A estimativa das forças de compressão máximas de cálculo atuando em cada terça, influenciados pelo contraventamento dos arcos, atingiu valores expressivos nos extremos do galpão. Este achado indica a necessidade de avaliar cuidadosamente a capacidade de suporte destes elementos e, se necessário, implementar reforços.

Figura 12 – Modelo computacional da cobertura mostrando a distribuição de forças axiais máximas.



Fonte: Os autores

A tabela 1 sintetiza os esforços solicitantes críticos nos principais elementos estruturais, obtidos através da modelagem computacional.

Tabela 1 – Esforços solicitantes críticos nos elementos principais

Elemento Estrutural	Axial (kN)	M. Fletor (kNm)	Cortante (kN)
Arco Superior	-22,4	0,17	0,37
Arco Inferior	-33,7	0,4	0,88
Montante	-2,2	0	0
Diagonal	4,1	0	0

Fonte: Autores

3.4 Discussões

Os resultados desta avaliação diagnóstica revelam um estado de conservação que demanda atenção imediata e intervenção criteriosa. A combinação de danos biológicos, defeitos construtivos e concentrações de esforços indica vulnerabilidade estrutural, exigindo um plano de reabilitação abrangente para garantir segurança e longevidade.

A presença de danos bióticos constitui um problema recorrente em estruturas históricas de madeira. Condições de umidade elevada e ventilação insuficiente criam ambiente propício para o desenvolvimento de organismos degradadores, que comprometem progressivamente a resistência do material. A heterogeneidade observada nos ensaios não destrutivos pode ser atribuída tanto à variabilidade natural da madeira quanto à ação diferenciada de agentes degradadores ao longo do tempo. A identificação precisa das áreas afetadas e a aplicação de tratamentos específicos são essenciais para conter a progressão destes danos.

Os defeitos construtivos identificados podem resultar de erros de projeto ou execução, bem como de deformações acumuladas ao longo das décadas. A fixação inadequada dos arcos aos apoios de concreto, com parafusos insuficientes e sinais de corrosão, representa risco significativo para a estabilidade global, particularmente sob ação de cargas dinâmicas como ventos. A correção destes defeitos é fundamental para assegurar distribuição adequada dos esforços e integridade estrutural.

Nossa modelagem computacional evidenciou concentração de esforços em elementos específicos, como os arcos próximos aos apoios. Este achado indica a necessidade de reforços localizados para aumentar a capacidade resistente nestas áreas críticas. As forças de compressão estimadas nas terças sugerem a necessidade de avaliação detalhada da capacidade de suporte destes elementos, com possível necessidade de reforço ou substituição.

É importante reconhecer algumas limitações metodológicas em esta avaliação. A técnica de resistografia, embora valiosa para identificar áreas de degradação interna, não fornece informações precisas sobre a natureza e extensão completa dos danos. A análise visual, ainda que abrangente, pode não ter detectado todos os defeitos ocultos. Adicionalmente, nossa modelagem computacional baseou-se em análise linear estática, que não contempla efeitos de não linearidades geométricas e do comportamento ortotrópico característico da madeira.

Os resultados obtidos fornecem, contudo, informações essenciais para a definição de um plano de reabilitação adequado. Recomenda-se que este plano inclua: tratamento dos danos biológicos com aplicação de preservativos e melhoria das condições de ventilação; correção dos defeitos construtivos, incluindo realinhamento de elementos, instalação de ligações adequadas e substituição de emendas comprometidas; reforço dos elementos estruturais críticos, particularmente arcos próximos aos apoios e terças submetidas a compressão significativa; e substituição seletiva de elementos estruturais severamente danificados, utilizando madeira de qualidade compatível e técnicas construtivas apropriadas.

Para complementar esta avaliação, sugere-se pesquisas futuras que incluam: análise detalhada da madeira, com identificação precisa das espécies e avaliação de propriedades mecânicas; inspeção aprofundada das ligações, avaliando corrosão e capacidade de suporte; modelagem computacional não linear, considerando efeitos de não linearidades geométricas e comportamento ortotrópico da madeira; monitoramento contínuo da estrutura através de sensores para medição de deformações e esforços; e análise de risco para avaliar a probabilidade de falha estrutural sob diferentes condições de carregamento.

4. Conclusões

A avaliação diagnóstica da cobertura em madeira do Teatro Francisco Nunes revelou condições que demandam intervenções criteriosas e metodicamente planejadas. Identificou-se uma combinação preocupante de danos bióticos, abióticos e concentrações de esforços que, em conjunto, comprometem a integridade estrutural deste importante exemplar arquitetônico.

Estes achados, diretamente alinhados com o objetivo principal de compreender e documentar o estado atual da cobertura, estabelecem fundamentos consistentes para a elaboração de um plano de reabilitação abrangente. A investigação integrada que se conduziu – combinando inspeções visuais, ensaios não destrutivos e modelagem computacional – permitiu uma visão multidimensional dos problemas existentes, superando as limitações inerentes a abordagens isoladas.

As implicações práticas deste estudo são significativas e apontam para a necessidade urgente de implementação de medidas corretivas em três frentes principais: tratamento dos danos biológicos, correção dos defeitos construtivos e reforço dos elementos estruturais críticos. Estas intervenções são essenciais não apenas para garantir a segurança imediata da estrutura, mas também para assegurar sua durabilidade e preservação como patrimônio cultural.

Recomenda-se, como desdobramentos naturais desta pesquisa, a realização de análises mais detalhadas dos materiais constituintes, incluindo caracterização completa das espécies de madeira e suas propriedades mecânicas atuais. Sugerire-se também o desenvolvimento de modelos computacionais mais sofisticados, que incorporem comportamentos não lineares e características ortotrópicas da madeira, além da implementação de um sistema de monitoramento contínuo que permita acompanhar o desempenho estrutural ao longo do tempo.

Vale ressaltar que a preservação deste legado arquitetônico transcende aspectos puramente técnicos. Representa um

compromisso fundamental com a memória coletiva e a identidade cultural da comunidade belo-horizontina. O Teatro Francisco Nunes, além de sua função como espaço cultural, constitui um testemunho tangível de técnicas construtivas e soluções estruturais que merecem ser estudadas, documentadas e preservadas para as gerações futuras.

A abordagem metodológica que se desenvolveu neste estudo pode, ademais, servir como referência para avaliações diagnósticas de outras estruturas históricas em madeira, contribuindo para a preservação mais ampla do patrimônio edificado e para o desenvolvimento de práticas de conservação mais eficazes e sustentáveis.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPEMIG pelo apoio financeiro nesta pesquisa.

6. Referências

- [1] PINHEIRO, A. V. S., SALOMÃO, P. E. A. *Patrimônio histórico – a importancia da conservação de edificios historicos para a preservação da identidade cultural*. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v. 1, p.1-11, 2021. https://revistas.unipacto.com.br/storage/publicacoes/2021/617_patrimonio_historico_a_importancia_da_conservacao_de_edificios_histori.pdf
- [2] THRAVALOU, S., PHILOKYPROU, M. *Urban design considerations in the environmental assessment of vernacular buildings with timber projections (sachnisi): The case of Nicosia's historic center*. Frontiers of Architectural Research, v. 10, n. 1, p.176-189, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.11.001>
- [3] SERRES-LAFONTAINE, C., BLANCHET, P., CHARRON, S., DELEM, L., WASTIELS, L. *Bio-based innovations in cross-laminated timber (CLT) envelopes: A hygrothermal and life cycle analysis (LCA) study*. Building and Environment, v. 256, 111499, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111499>.
- [4] ALI, B. S., CASTRO, J. J., Shogo Omi 2 and Karishma Nazimi 1 *Preserving the Past: Investigating Zanzibar's Ancient Construction Materials for Sustainable Heritage Conservation*. Buildings, v. 14, 2129, 2024. <https://doi.org/10.3390/buildings14072129>
- [5] SCAZZOSI, L. *Reading and assessing the landscape as cultural and historical heritage*. Landscape Research, v. 29, n. 4, p.335–355, 2004. <https://doi.org/10.1080/0142639042000288993>
- [6] NAÇÕES UNIDAS. *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 2015.
- [7] XIAO, Q. *Explore the Design Principles and Prospects of Green Buildings*. Highlights in Science, Engineering and Technology, ACEGE2023, v. 75, p.251-256, 2023
- [8] BELLO-BRAVO, J., LUTOMIA, A. N. *Sustainable development or developmental sustainability: Two cases of indigenous knowledge and practices for sustainable sourcing for wood-based design-solutions*. Trees, Forests and People, v. 8, 100253, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100253>
- [9] BRAVO-ARREPOL, G. et al. *Isolated lignans of araucaria araucana (molina) k. koch provide wood protection against attack by the xylophagous fungus pleurotus ostreatus (jacq.) p. kumm.* J. Chil. Chem. Soc. [online], v. 68, n. 2, p.5871-5875, 2023. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-97072023000205871>
- [10] CARRASCO, E. V. M., FIGUEREDO, C. A. S., BREMER, C. F., MANTILLA,

- J. N. R. *Thermography in the identification of pathologies in ancient building wood*. Concilium (English Language edition). v.24, n. 13, p.367-381, 2024. <http://dx.doi.org/10.53660/CLM-3694-24N28>
- [11] GOES, M. B., CARRASCO, E. V. M., GUIMARAES, A. B. Use of acoustic tomograph for detecting internal faults in wooden parts. *Mix Sustentável*, v. 9, p.155-163, 2023. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.155-163>
- [12] CARRASCO, E. V. M., MANTILLA, J. N. R. *Analysis of the Structural Integrity of Wooden Structures in Service: Case Study with Diagnostic Methodologies and Rehabilitation Strategie*. Concilium (English Language edition), v. 24, n. 17, p.467-481, 2024. <http://dx.doi.org/10.53660/CLM-4039-24R38>
- [13] XIN, Z., KE, D., ZHANG, H., YU, Y., LIU, F. *Non-destructive evaluating the density and mechanical properties of ancient timber members based on machine learning approach*. *Construct. Build. Mater.*, v. 375 e130976, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127855>
- [14] LOPES, M. A. C. *Tipificação de soluções de reabilitação de estruturas de Madeira em coberturas de edifícios antigos*. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade do Porto, Portugal, 2007; 203 p.
- [15] AVETA, A. *Consolidamento e restauro delle strutture in legno*. Palermo, Italia: Tipografia Priulla; 2013: 44 p. ebook.
- [16] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento*, Rio de Janeiro, 2022.
- [17] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 8800: Projeto de estruturas de aço*, Rio de Janeiro, 2024.



A Nova Geração de Políticas de Habitação em Portugal e as Empreitadas de Conceção-Construção

The New Generation of Housing Policies in Portugal and Design-Build Contracts

PINTO-FARIA, José¹; MONTEIRO, Vitor²

jpf@isep.ipp.pt¹; vitor.monteiro@ccdr-n.pt².

¹Engenheiro Civil, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto - Portugal.

²Engenheiro Civil, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, IP (CCDR-Norte, IP), Porto - Portugal

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Empreitada Conceção-Construção, Habitação Social, Código dos Contratos Públicos.

Key words:
Design-Build Contract, Social Housing, Public Procurement Code

Resumo:

A empreitada de conceção-construção (ECC) tem sido promovida pelo Estado como modelo de referência para responder ao défice habitacional no setor da habitação social em Portugal. Contudo, esta abordagem tem gerado reservas entre os principais stakeholders do setor Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO), nomeadamente quanto à sua eficácia e ao potencial efeito discriminatório. Entre as críticas mais recorrentes destaca-se o favorecimento das grandes empresas de construção, dada a sua maior capacidade para integrar as fases de projeto e obra, em detrimento das PME. Aponta-se ainda o risco de acréscimos de custo resultantes da indefinição técnica inicial, decorrente da descrição insuficiente do empreendimento nos documentos contratuais. Este artigo visa contribuir para a clarificação da posição do setor AECO relativamente às ECC, apresentando propostas que respondam às limitações identificadas. Defende-se, em particular, o reforço do papel do Gestor do Contrato, previsto no Código dos Contratos Públicos (CCP), cuja designação deveria ocorrer numa fase inicial, por parte da entidade pública adjudicante, de modo a garantir maior qualidade na definição do Estudo Prévio e do Caderno de Encargos. Considera-se ainda viável a integração das PME no processo, como prestadoras de serviços de projeto ou subempreiteiras, promovendo uma abordagem mais inclusiva e equilibrada.

Abstract

The design-build contract (DBC) has been promoted by the Portuguese State as a reference model to address the housing deficit in the social housing sector. However, this approach has raised concerns among key stakeholders in the AECO sector, particularly regarding its effectiveness and potential discriminatory effects. Among the most frequent criticisms is the favouring of large construction companies, due to their greater capacity to integrate the design and construction phases, to the detriment of SMEs. There is also a risk of cost overruns resulting from technical uncertainty in the initial stages, due to the insufficient detail provided in the contractual documents. This paper aims to contribute to clarifying the AECO sector's position on DBC, presenting proposals that address the

identified limitations. It specifically advocates for strengthening the role of the Construction Manager, as foreseen in the Portuguese Public Procurement Code (CCP), whose appointment should occur at an early stage by the contracting public authority, ensuring better quality in the definition of the Preliminary Study and the Specifications. Furthermore, depending on the scale of the investment, the integration of SMEs is considered feasible, either as design service providers or subcontractors, promoting a more inclusive and balanced approach.

1. A Nova Geração de Políticas de Habitação em Portugal

A questão da habitação em Portugal tem sido historicamente marcada por profundas transformações sociais, económicas e políticas. Desde os primórdios da urbanização acelerada no século XX, particularmente após a Segunda Guerra Mundial, o país enfrentou desafios significativos para responder às necessidades habitacionais da sua população, sobretudo nas áreas urbanas em crescimento.

Nesse contexto, as primeiras cooperativas de habitação surgem ainda durante o Estado Novo (entre 1940-1960), como forma de colmatar a falta de habitação nas cidades, tendo um papel fundamental na promoção de soluções habitacionais acessíveis e na organização coletiva dos cidadãos em torno do direito à casa própria.

Posteriormente com a Revolução de Abril de 1974, deu-se um forte impulso às cooperativas, que passaram a ter um papel central na resposta à crise habitacional. No período pós-25 de abril, ocorreu o grande *boom* das cooperativas, sendo que o Estado passou a apoiar fortemente estas entidades com cedência de terrenos, financiamento público a juros reduzidos, e ainda, com apoio técnico e legislativo favorável.

Na década de 1990, com a redução dos apoios estatais diretos e com o aumento da oferta privada de habitação e da valorização do mercado imobiliário, acrescido de problemas de gestão e de falta de renovação geracional, muitas das cooperativas entraram em estagnação e passaram a sua atividade para a gestão dos imóveis e empreendimentos já construídos.

Nos anos 2000 a 2010, o setor continuou em retração, e a crise imobiliária de 2008 reacendeu o debate sobre os modelos alternativos de habitação, incluindo a necessidade de novos conceitos e modelos cooperativos. Nesta linha de raciocínio, assiste-se hoje em dia a uma crescente atualização dos modelos cooperativos, com base em modelos sobretudo dos países nórdicos como a Dinamarca, Holanda, Alemanha, Finlândia e Suíça, especialmente em Zurique, onde o governo municipal cede os terrenos públicos a longo prazo, para projetos de *co-housing* e de cooperativas.

Atualmente muitas das soluções desenvolvidas nestes países focam-se bastante nas soluções sustentáveis do ponto de vista ambiental e social, num elevado nível de organização, qualidade arquitetónica e compromisso com modelos de propriedade não especulativa. Considera-se ser esta a “chave” comum para as classes médias urbanas.

Em Portugal, a mais recente Lei de Bases da Habitação (Lei n.º 83/2019, de 3 setembro) [1], estabelece o direito à habitação como um direito fundamental, definindo os princípios de política pública de habitação, incluindo habitação social e acessível. Do ponto de vista dos programas nacionais de habitação social e apoiada, identificam-se atualmente cinco instrumentos legislativos, a saber [2]:

1º) 1.º Direito – Programa de Apoio ao Acesso à Habitação (PAAH) - visa apoiar soluções habitacionais permanentes para pessoas em condições indignas de habitação (carência habitacional grave), sendo cofinanciado por fundos europeus;

2º) Programa de Arrendamento Acessível (PAA) - fomenta o arrendamento de casas a preços abaixo do mercado, dirigido a rendas médias-baixas;

3º) Programa de Apoio ao Arrendamento Jovem – Porta 65 - apoia jovens até 35 anos no pagamento de rendas habitacionais;

4º) Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), na sua Componente C02 – Habitação, visa reforçar a oferta da habitação, financiando a construção, reabilitação e a aquisição de habitação pública e acessível até 2026;

5º) Programa Nacional de Habitação (PNH) - instrumento estratégico que organiza as medidas nacionais em torno do acesso à habitação até 2026.

A propósito desses programas nacionais de habitação social identificados, importa salientar que os organismos e entidades envolvidas nestes programas, como é o caso do Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, I.P. (IHRU I.P.), das Câmaras Municipais, das Cooperativas de Habitação, da Santa Casa da Misericórdia e as Instituições Particulares de Solidariedade Social (IPSS), entre outras, estão diretamente enquadradas nas regras da contratação pública, pois a maior parte das iniciativas implica obras públicas, aquisição de imóveis ou prestação de serviços ou subsídios públicos, os quais devem respeitar as normas do Decreto-Lei n.º 18/2008, de 29 de janeiro [3], denominado Código dos Contratos Públicos (CCP).

O Relatório “O Parque Habitacional: Análise e Evolução | 2011-2021” [4], resultado de um estudo conjunto realizado pelo Instituto Nacional de Estatística, I.P. (INE) e pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC), identifica que:

Em 2021, o parque habitacional português totalizava 3.573.416 edifícios, dos quais quase metade (49,8%) foram construídos após 1980. A maioria destes edifícios foi construída entre 1981 e 2000 (31,9%), com 17,9% construídos neste século. Apenas

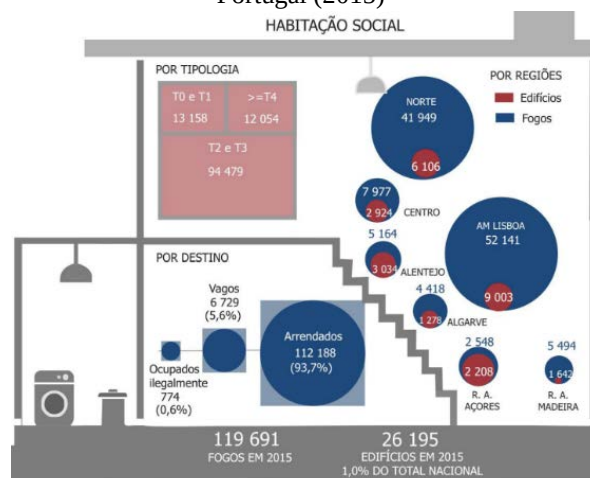
110.784 edifícios foram construídos entre 2011 e 2021, representando 3,1% do total.

Destaca-se uma redução significativa nos edifícios construídos antes de 1919, com uma diminuição de 72,9%, e nos edifícios construídos entre 1919 e 1945, que diminuíram em 42,5% desde 1981. (p. V) [4]

No inquérito realizado pelo INE em 2015, para a “Caracterização da Habitação Social” [5], foram identificados cerca 120 mil fogos de habitação social, pertencentes aos municípios e a outras entidades proprietárias e gestoras de habitação social, inseridos em 26.195 edifícios, o que representava 2% do parque habitacional total. Em Portugal, a habitação social refere-se a habitações com custos controlados destinadas a venda ou arrendamento a agregados familiares de baixos recursos [1].

A habitação social em Portugal pode ser esquematicamente caracterizada conforme figura 1, referente aos dados de 2015.

Figura 1 – Caracterização da habitação social em Portugal (2015)



Fonte: Instituto Nacional de Estatística [5]

2. O Código dos Contratos Públicos (CCP)

A publicação do CCP trouxe para Portugal uma reforma legislativa assente nas diretivas da União Europeia (UE) que, consequentemente, originou diversas alterações e retificações, de modo a ajustar-se às necessidades dos vários intervenientes no processo de contratação pública.

O designado setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) reivindica, desde a entrada em vigor do CCP, uma verdadeira adaptação às especificidades da contratação pública, elegendo-o como uma das principais causas dos atrasos nas obras públicas. As sucessivas alterações e retificações introduzidas no CCP, incluindo ajustes técnicos e regulamentares não têm, no entanto, produzido os resultados esperados [6].

A temática regulada pelo CCP e pelas suas múltiplas revisões, especialmente no que diz respeito aos concursos de obras públicas, tem sido objeto de atenção desde a publicação do “Regulamento Geral das Obras Públicas do Reino” (RGOPR), aprovado pelo Decreto de 26 de agosto de 1852, o qual estabelecia regras para a adjudicação e execução de empreitadas. Mais tarde, a Portaria Régia, de 8 de março de 1861, definiu as “Cláusulas e Condições Geraes para as Empreitadas de Obras Públicas”. O objetivo sempre foi garantir os princípios fundamentais da contratação pública, com destaque para o princípio da concorrência [7].

Pretendia-se, assim, assegurar um acesso mais amplo dos concorrentes aos procedimentos concursais, permitindo a adjudicação da proposta mais vantajosa para o interesse público em geral, e para o interesse financeiro em particular.

O CCP tem aproximado o Direito da Concorrência do Direito da Contratação Pública, refletindo:

a uma preocupação crescente em prevenir que, em resultado dos procedimentos de adjudicação, decorram práticas abusivas, restritivas e anti-concorrenciais pelas entidades adjudicantes. (p. 13) [8]

3. O Regime da Conceção- Construção no Código dos Contratos Públicos

O regime de “empreitada geral” tem sido predominante nas obras públicas desde o RGOPR. Este modelo estrutura-se em duas fases principais: (i) um procedimento

concursal para a elaboração do projeto, habitualmente através de concurso público junto de entidades projetistas; e (ii) um segundo procedimento, baseado no projeto de execução, para selecionar o adjudicatário — empreiteiro ou consórcio — geralmente sem qualquer ligação institucional ao projetista.

Com o tempo, e na ausência de um regime específico para a Conceção-Construção (CC), surgiram algumas soluções pontuais que permitiram aos empreiteiros uma participação limitada na fase de conceção, sobretudo em grandes obras de infraestruturas.

A primeira referência legal significativa surge com o Decreto-Lei n.º 48871, de 19 de fevereiro de 1969 [9], que previa a possibilidade de os concorrentes apresentarem um anteprojecto [10] sempre que as obras:

Exijam grande especialização para serem projectadas ou se deseje promover a originalidade na sua concepção, o dono da obra posta a concurso poderá limitar-se a dar indicações gerais sobre o que deseja, deixando aos concorrentes a apresentação do anteprojecto.

Escolhido no concurso um anteprojecto, servirá este de base à elaboração do projecto que, depois de ser aprovado, ficará a obrigar as partes. (Art.º 7.º) [9]

Nas décadas de 1980 e 1990, o conceito de CC começa a ganhar estrutura, particularmente no contexto das Parcerias Público-Privadas (PPP), com a transposição das diretivas europeias de contratação pública.

O regime da CC foi aplicado em grandes empreendimentos públicos, em especial para as infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, mas sem existir um regime jurídico específico.

O Decreto-Lei n.º 235/86 de 18 de agosto destaca:

1 - Quando se trate de obras cuja complexidade técnica e elevada especialização o justifique, o dono da obra posta a concurso deverá definir em

documento, de nível não inferior a programa base e com suficiente precisão, os objectivos que deseje atingir, especificando os aspectos que considere vinculativos, deixando aos concorrentes a apresentação do projecto base.

2 - Escolhido no concurso um projecto base, servirá este para a elaboração do projecto de execução, que, depois de aprovado, ficará a obrigar as duas partes. (Art.º 10.º) [11]

Em 2008, com a publicação do CCP, o regime CC é formalmente previsto. O artigo 43.º, n.º 3, estabelece:

3 - Em casos excepcionais devidamente fundamentados, nos quais o adjudicatário deva assumir, nos termos do caderno de encargos, obrigações de resultado relativas à utilização da obra a realizar, ou nos quais a complexidade técnica do processo construtivo da obra a realizar requeira, em razão da tecnicidade própria dos concorrentes, a especial ligação destes à conceção daquela, a entidade adjudicante pode prever, como aspeto da execução do contrato a celebrar, a elaboração do projeto de execução, caso em que o caderno de encargos deve ser integrado apenas por um programa preliminar. (Art.º 43.º, alínea 3) [12]

A publicação do Decreto-Lei n.º 111-B/2017, de 31 de agosto, veio clarificar os critérios de adjudicação e execução para contratos em regime CC. No entanto, este regime permanece como excepcional, exigindo fundamentação específica. A Diretiva 2014/24/UE, de 26 de fevereiro [13], do Parlamento Europeu e do Conselho, reforça essa flexibilidade, afirmando:

Todavia, dada a diversidade dos contratos de empreitada de obras públicas, as autoridades adjudicantes deverão poder prever tanto a adjudicação separada como a adjudicação conjunta de contratos para a conceção e a execução de obras. A presente diretiva não tem por objetivo prescrever a adjudicação conjunta ou separada de contratos. (p. L94/66) [13]

Ou seja, a Diretiva europeia não dá qualquer indicação quanto ao regime a aplicar

para a execução das empreitadas de obras públicas.

Dada a relevância direta para o setor da habitação e numa perspetiva de simplificação dos procedimentos e de aceleração dos processos de contratação e reforço da transparência e eficiência, o Governo publicou a Lei n.º 30/2021, de 21 de maio [14], e o seu aditamento em 2022, com as “Medidas Especiais de Contratação Pública” (Decreto-Lei n.º 78/2022, de 7 novembro) [15], tornaram possível o recurso ao regime CC — agora designado Empreitada de Conceção-Construção (ECC) — independentemente do valor do contrato, nomeadamente para obras financiadas por fundos europeus como o Plano de Recuperação e Resiliência (PRR).

Esta lei permite, até 31 de dezembro de 2026, a utilização de procedimentos pré-contratuais simplificados para contratos destinados à promoção de habitação pública ou de custos controlados, introduzindo, por exemplo, o ajuste direto simplificado para contratos de empreitadas de obras públicas até determinados valores, o que facilita a contratação de obras de habitação sem os trâmites habituais do CCP.

No entanto, os contratos celebrados ao abrigo desta Lei n.º 30/2021 estão sujeitos a fiscalização concomitante pelo Tribunal de Contas, devendo ser comunicados no prazo de 10 dias úteis após a sua celebração.

Em suma, as alterações ao CCP visaram a desburocratização e agilização dos procedimentos de contratação pública, com impacto direto na execução de projetos habitacionais.

4. A Empreitada de Conceção-Construção na Habitação Pública: Desafios, Oportunidades e Propostas para a sua Integração nos Concursos Públicos

Diante das crescentes necessidades de “habitação pública” em Portugal, e com a criação do Regime Especial de Conceção-

Construção, permite-se que a entidade adjudicante, contrate, num único procedimento, quer a elaboração do projeto de execução, quer a execução da obra, sem necessidade de fundamentação específica, ao contrário do que exigia o regime geral previsto no CCP.

Este Decreto-Lei, estabelece um regime especial e transitório aplicável a determinadas obras, nomeadamente:

- Projetos que estejam inseridos no PRR ou financiado por fundos europeus semelhantes;
- A entidade adjudicante respeite os princípios da concorrência, transparência e qualidade técnica;
- Estejam enquadradas nos objetivos de acelerar investimentos estruturais prioritários para o país.

Do ponto de vista da tipologia das empreitadas de obras públicas, este regime especial, aplica-se essencialmente a obras de:

- Transição climática e digital;
- Resiliência de infraestruturas;
- Habitação;
- Saúde;
- Educação, entre outros setores prioritários;

e desde que: (i) O caderno de encargos inclua um estudo-prévio; (ii) Seja adotado o critério de adjudicação "multifator", com fatores objetivos, incluindo o preço da conceção e da execução da obra e (iii) O contrato não seja considerado misto para efeitos do artigo 32.º do CCP.

Assim, a ECC, ou *Design & Build*, constitui uma solução eficaz, possibilitando maior celeridade na resposta às necessidades habitacionais, conforme já observado em países como França, onde o *Code de la Commande Publique* regula o seu uso, desde que existam razões técnicas ou imperativos de eficiência económica, como exigências de desempenho energético e ambiental, necessidade de estreita coordenação entre

projeto e obra, ou exigência de soluções tecnológicas inovadoras [16].

A título de exemplo, destacam-se os empreendimentos desenvolvidos em regime de Conceção-Construção-Manutenção em Reabilitação Energética de Habitação Social em França, onde ficou demonstrado:

- Poupanças energéticas superiores às metas iniciais;
- Redução dos prazos de execução em comparação com modelos tradicionais;
- Custos comparáveis aos de empreendimentos convencionais;
- Melhoria na cooperação entre os *stakeholders*, com garantias de desempenho energético através de sistemas de bónus e penalizações [17].

4.1 Vantagens da ECC nos Empreendimentos Habitacionais

A adoção da ECC permite uma abordagem mais integrada e ágil dos concursos públicos, atribuindo aos concorrentes a responsabilidade tanto pela conceção como pela execução da obra. Este modelo viabiliza a redução de prazos e de custos administrativos para a entidade pública adjudicante, além de permitir ao adjudicatário adotar soluções adaptadas à realidade do setor, como a construção modular e pré-fabricada, promovendo a eficiência energética e a sustentabilidade.

Nos concursos públicos para ECC, é fundamental garantir justiça, transparência e a satisfação das necessidades da comunidade. Para tal, os procedimentos devem ser bem estruturados, com um âmbito claro, objetivos definidos e especificações técnicas precisas, através do Programa do Procedimento, do Caderno de Encargos, do Programa Preliminar e do Estudo-Prévio. A sustentabilidade deve estar salvaguardada, tanto na seleção de materiais quanto nos critérios de eficiência energética e do ciclo de vida útil dos mesmos.

Os prazos definidos para a execução do projeto (ao nível do projeto de execução) e da

obra devem ser realistas, e os critérios de avaliação das propostas precisam estar claramente especificados, assegurando a seleção das melhores soluções para todo o ciclo de vida do empreendimento. Entre os critérios de avaliação, devem constar: inovação, sustentabilidade, eficiência energética, prazo de execução e custo global.

Por outro lado, o desenvolvimento do projeto de execução por parte do adjudicatário permite uma total integração da metodologia *Building Information Modelling* (BIM) [10], alinhando-se com a estratégia de digitalização e modernização do setor AECO, e respondendo às recomendações da legislação [18]. O recurso ao BIM promove a eficiência, a transparência e a sustentabilidade nos processos de planejamento e construção.

Adicionalmente, a responsabilidade do projeto de execução conferida ao adjudicatário viabiliza a adoção de soluções técnicas ajustadas aos seus próprios métodos de execução, promovendo maior compatibilidade entre especialidades, bem como:

o detalhe da construção, incorporando a sequência e processo de execução dos trabalhos, levando em consideração as soluções técnicas disponíveis, os materiais e produtos que o empreiteiro tem integrados no seu processo industrial e as competências humanas e técnicas para as quais treinou o seu pessoal e as suas redes de parceiros. (p. 9) [19]

A entidade adjudicante deve validar o projeto de execução, conforme os termos contratuais, possibilitando o início da construção.

4.2 O Papel do Gestor do Contrato

O Gestor do Contrato (GC), previsto na revisão do CCP, pelo Decreto-Lei n.º 111-B/2017, de 31 de agosto [12], é responsável pelo acompanhamento contínuo da “fase de execução do contrato”. Deverá ser designado entre os recursos da entidade adjudicante, podendo, em situações excecionais e devidamente fundamentadas, ser contratado a

um terceiro, nos termos da Lei n.º 30/2021, de 21 de maio [14].

Embora a legislação não defina claramente o momento da nomeação do GC, a sua intervenção deveria estender-se à “fase de formação do contrato”, abrangendo:

- *A fase do planeamento, da consulta preliminar ao mercado, da manifestação da necessidade, da obtenção dos instrumentos financeiros necessários, dos pareceres prévios vinculativos;*
- *A fase do início do procedimento até ao momento da resposta por parte dos operadores económicos através da apresentação de propostas ou de candidaturas;*
- *A fase da análise e avaliação das propostas até ao momento da adjudicação ou da revogação da decisão de contratar;*
- *A fase da conclusão do procedimento, que abarca o período entre a notificação da adjudicação até à celebração do contrato.* (p.3 [20])

A intervenção do GC desde a “fase de formação do contrato”, pode contribuir decisivamente para a redução de ambiguidades nos processos concursais, para a prevenção de sobrecustos e para a melhor definição técnica dos requisitos do empreendimento. Essa abordagem favorece o alinhamento entre os objetivos da entidade adjudicante e as soluções propostas pelos concorrentes, promovendo a qualidade, a sustentabilidade e a eficiência global do investimento público.

Neste contexto, a integração do GC numa ECC, desde a “fase de formação do contrato” poderá evidenciar as seguintes vantagens:

- Melhor alinhamento de objetivos: Garantir que os objetivos estratégicos da entidade adjudicante estejam claros e coerentes com as exigências técnicas e financeiras, evitando incongruências futuras;
- Redução de ambiguidades: Clarificar requisitos e critérios técnicos que, se mal definidos, podem gerar interpretações divergentes por parte dos concorrentes;

- Prevenção de sobrecustos: Contribuir na avaliação crítica das soluções propostas, antecipando riscos de custo durante a execução, especialmente útil na ECC, onde o empreiteiro tem mais liberdade no projeto de execução;
- Eficiência no acompanhamento: Facilitar no acompanhamento da execução, resolução de litígios e fiscalização, porque conhece bem os objetivos e as decisões tomadas ao longo do processo;
- Promoção da sustentabilidade: Permitir a avaliação e a integração dos critérios de sustentabilidade desde as fases iniciais, influenciando escolhas de materiais, eficiência energética e durabilidade das soluções.

Note-se que a legislação portuguesa não estabelece, de forma direta e expressa, uma habilitação académica ou profissional mínima específica para o GC nas ECC, mesmo no âmbito do Decreto-Lei n.º 78/2022, de 7 de novembro [15].

No entanto, com base em legislação e práticas comuns, especialmente no contexto da execução de obras públicas, na maioria das vezes aplicam-se os seguintes princípios e normas:

- A entidade adjudicante deve ser exigente ao nível da capacidade técnica e idoneidade, devendo designar um GC com qualificações técnicas e experiência compatível com a natureza e complexidade do contrato a celebrar;
- Por outro lado, e não havendo habilitação mínima definida por lei, deve exigir que o GC tenha formação adequada à natureza do contrato de empreitada (normalmente licenciatura em engenharia civil, arquitetura ou áreas afins).

Demonstrativo da importância do GC, apresenta-se no Anexo A uma tabela (Tabela 1) com uma visão de comparação das atribuições do GC público na Empreitada Tradicional (ET) versus Empreitada de Conceção-Construção (ECC).

4.3 Resistências à Implementação da ECC

A implementação da ECC em Portugal tem enfrentado resistência por diversos motivos, entre os quais se destacam:

- A tradição de utilização da “empreitada geral”, com projetos de execução fornecidos pela entidade adjudicante;
- A carência de recursos e competências técnicas nas entidades adjudicantes;
- A indefinição legislativa quanto aos critérios e limites para a adoção da ECC, abrindo margem à sua aplicação:

estar no livre-arbítrio das entidades adjudicantes optar pelo lançamento de procedimento de empreitada de conceção-construção (p. 4 [19]).

e não, apenas, para os empreendimentos necessários para a resposta à necessidade de habitação de promoção pública.

Outras críticas incluem:

- Desconhecimento técnico: Falta de compreensão quanto aos benefícios da ECC, gerando hesitação por parte dos *stakeholders*;
- Risco na qualidade: A centralização da conceção e execução no adjudicatário pode comprometer a qualidade técnica e a responsabilização por falhas;
- Custos imprevistos: Apesar dos riscos serem, em teoria, transferidos ao adjudicatário, pode haver falhas no controlo técnico;
- Dificuldades na coordenação: Barreiras na comunicação entre equipas técnicas e resistências à colaboração;
- Concorrência reduzida: Pequenas e médias empresas (PME) podem ser excluídas por falta de capacidade de gestão integrada;
- Foco excessivo no preço: Critérios de adjudicação baseados exclusivamente no preço;
- Ineficiência nos concursos: Requisição de estudos detalhados por todos os

concorrentes provoca desperdício de recursos e sobrecarga técnica [21].

Como solução, propõe-se a adoção de anteprojetos com orçamento-base, seguido de um diálogo técnico com os concorrentes melhor classificados, restringindo o desenvolvimento do projeto de execução apenas a estes.

4.4 Propostas para a Melhoria da Integração da ECC

A Lei nº 30/2021, de 21 de maio [14], complementada pelo Decreto-Lei nº 78/2022, de 7 de novembro [10], determina a inclusão de um Estudo-Prévio (da responsabilidade da entidade adjudicante) no Caderno de Encargos. No entanto, persiste a omissão na lei quanto ao nível de detalhe exigido aos concorrentes na fase de proposta.

Todavia, a legislação é omissa quanto ao nível de detalhe exigido aos concorrentes na fase de apresentação da proposta, nomeadamente em termos da definição e desenvolvimento do projeto (projeto-base; projeto de execução; projeto de pormenor / especialidades), peças fundamentais para a avaliação das propostas, originando por vezes, diversas dificuldades práticas e jurídicas à entidade adjudicante, a saber: (i) níveis de detalhe muito diferentes, o que origina dificuldades de comparação / avaliação, aumentando o risco de contestação e impugnação; (ii) a inexistência de um referencial claro de avaliação técnica, deixa aos júris dos concursos uma ampla margem de discricionariedade; (iii) riscos de adjudicação a propostas inviáveis e; (iv) dificuldades na fiscalização e execução da obra.

Sugerem-se algumas propostas de mitigação de problemas:

- A nomeação de GC e júri com competências técnicas ajustadas ao empreendimento;
- Editais que assegurem transparência, qualidade e uma concorrência justa;

- Documentação clara e objetiva, com definição precisa dos pressupostos do concurso;
- Adoção de critérios como:
 - Programa funcional detalhado (tipologias, acessibilidade, conforto) ajustado à comunidade;
 - Sustentabilidade e desempenho ambiental, com exigência de certificações ou critérios baseados em normas internacionais (ex.: Passivhaus, “*Leadership in Energy and Environmental Design*” (LEED), a “*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*” (BREEAM));
 - Parâmetros urbanísticos de integração no território;
 - Projetos em BIM, com definição de níveis de desenvolvimento e interoperabilidade no Caderno de Encargos, para facilitar o controlo técnico da entidade adjudicante;
 - Plano de manutenção, operação e desconstrução.

O preço base deverá ser definido separadamente para projeto e obra, com referência a uma base de dados regional de preços unitários de construção. Uma má definição deste valor poderá resultar em “concursos públicos desertos” ou “concursos vazios” [22]. Este valor servirá como parâmetro de comparação entre propostas e ajustará o perfil dos concorrentes à escala do projeto. Ou seja, de acordo com a legislação [23], será definida a qualificação profissional exigível aos técnicos, quer ao nível da elaboração e subscrição dos projetos, quer ao nível da direção da obra, incluindo a segurança e saúde no trabalho.

O critério de adjudicação não deve centrar-se apenas no preço, mas na Proposta Economicamente Mais Vantajosa (PEMV), ponderando: qualidade do projeto, inovação, sustentabilidade, prazo e custo. A título de exemplo, a ponderação dos fatores para a valorização da PEMV, numa proposta de um empreendimento de habitação pública, poderá apresentar o seguinte critério:

- Qualidade: 40%;
- Sustentabilidade: 30%;
- Prazo: 20%;
- Preço: 10% preço.

Por fim, propõe-se a elaboração de um Plano de Gestão da Comunicação, liderado pelo GC, assegurando transparência nas decisões e facilitando a integração entre as equipas da entidade adjudicante e do adjudicatário.

5. Conclusões

A empreitada de conceção-construção (ECC) poderá representar uma resposta eficaz às exigências da nova geração de políticas de habitação pública em Portugal, desde que todos os *stakeholders* estejam alinhados e preparados para uma transformação nos procedimentos.

As entidades adjudicantes terão de adotar um novo paradigma, materializado na elaboração de documentação-tipo - incluindo Programas do Procedimento, Cadernos de Encargos, Programas Preliminares e Estudos Prévios - devidamente adaptada às necessidades específicas de cada comunidade com carências habitacionais. Esta abordagem permitirá acelerar a preparação e o lançamento dos procedimentos concursais. Paralelamente, o envolvimento do Gestor do Contrato desde a “fase de formação do contrato” será essencial para assegurar uma melhor coordenação e interoperabilidade entre todas as fases do processo.

O setor Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO) deverá fomentar parcerias entre empresas, integrando as PME) nas respostas aos concursos de ECC, em função das exigências técnicas de cada projeto. A seleção de PME por distrito poderá dinamizar a economia local, desde que estas estejam capacitadas para incorporar novas tecnologias e metodologias construtivas, evitando assim a sua exclusão em benefício das grandes empresas do setor.

A adoção de sistemas construtivos modulares e pré-fabricados, com foco na eficiência energética e na sustentabilidade, deve constituir um dos eixos centrais das propostas apresentadas. Esta estratégia não só vai ao encontro das exigências dos programas de financiamento europeus, como também contribui para uma maior durabilidade, qualidade e racionalização de custos no domínio da habitação pública.

Referências

- [1] PORTUGAL. *Lei n.º 83/2019*, de 3 de setembro. Lei de bases da habitação. Estabelece as bases do direito à habitação e as incumbências e tarefas fundamentais do Estado na efetiva garantia desse direito a todos os cidadãos, nos termos da Constituição Portuguesa. Diário da República n.º 168/2019, Série I de 2019-09-03, páginas 11 – 33. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/83-2019-124392055>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [2] SANTOS, A., BRANCO-TEIXEIRA, M. *Políticas de Habitação Acessível no Norte de Portugal e na Europa*. ISBN: 9789897882159. Edição de Vida Económica - Grupo Editorial SA, janeiro de 2025.
- [3] PORTUGAL. *Decreto-Lei n.º 18/2008*, de 29 de janeiro. Estabelece a disciplina aplicável à contratação pública e o regime substantivo dos contratos públicos que revistam a natureza de contrato administrativo. Diário da República n.º 20/2008, Série I de 2008-01-29, páginas 753 – 852. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/18-2008-248178>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [4] INE. Instituto Nacional de Estatística. *O Parque Habitacional: Análise e Evolução | 2011-2021* - ISBN 978-989-25-0707-1- Instituto Nacional Estatística (INE). Disponível em: www.ine.pt. Acesso em: 28 mar. 2025.

- [5] INE. Instituto Nacional de Estatística. *Caracterização da Habitação Social em Portugal – 2015*. Disponível em: www.ine.pt. Acesso em: 28 mar. 2025.
- [6] PORTAL BASE. Disponível em: <https://www.base.gov.pt/base4>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [7] ARQUIVO NACIONAL TORRE DO TOMBO. Disponível em: <https://digitalq.arquivos.pt/details?id=4229940>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [8] *Os Princípios da Contratação Pública: O princípio da concorrência*. Publicações CEDIPRE Online - 34, Coimbra, setembro de 2018. Disponível em: <http://www.cedipre.fd.uc.pt>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [9] PORTUGAL. *Decreto-Lei n.º 48871*, de 19 de fevereiro de 1969. As empreitadas e os fornecimentos de obras públicas. Diário do Governo n.º 42/1969, Série I de 1969-02-19, páginas 166 – 195. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/48871-1969-527418>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [10] PORTUGAL. *Portaria n.º 255/2023*, de 7 de agosto. «Instruções para a elaboração de projetos de obras», e a classificação de obras por categorias. Diário da República n.º 152/2023, Série I de 2023-08-07, páginas 18 – 108. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/255-2023-216770690>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [11] PORTUGAL. *Decreto-Lei n.º 235/86*, de 18 agosto. Alteração do Regime do Contrato de Empreitadas e Fornecimentos de Obras Públicas. Diário da República n.º 188/1986, Série I de 1986-08-18, páginas 2036 – 2074. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/235-1986-218893>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [12] PORTUGAL. *Decreto-Lei n.º 111-B/2017*, de 31 de agosto. Alteração ao Código dos Contratos Públicos, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 18/2008, de 29 de janeiro, e transpõe as Diretivas n.ºs 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE, todas do Parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de fevereiro de 2014 e a Diretiva n.º 2014/55/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de abril de 2014. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/111-b-2017-108086621>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [13] EUROPA. *Diretiva 2014/24/UE do Parlamento Europeu e do Conselho*, de 26 de fevereiro de 2014. Relativa aos contratos públicos e que revoga a Diretiva 2004/18/CE. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0024>. Acesso em: 08 abr. 2025.
- [14] PORTUGAL. *Lei n.º 30/2021*, de 21 de maio. Medidas especiais de contratação pública e altera o Código dos Contratos Públicos, aprovado em anexo ao Decreto-Lei n.º 18/2008, de 29 de janeiro, o Código de Processo nos Tribunais Administrativos, aprovado em anexo à Lei n.º 15/2002, de 22 de fevereiro, e o Decreto-Lei n.º 200/2008, de 9 de outubro. Disponível em: <https://files.dre.pt/1s/2021/05/09900/0000200039.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [15] PORTUGAL. *Decreto-Lei n.º 78/2022*, de 7 novembro. Altera a Lei n.º 30/2021, de 21 de maio, que aprova medidas especiais de contratação pública, o Código dos Contratos Públicos e o Decreto-Lei n.º 60/2018, de 3 de agosto, que procede à simplificação de procedimentos administrativos necessários à prossecução de atividades de investigação e desenvolvimento. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/78-2022-203083713>. Acesso em: 21 mar. 2025.

- [16] FRANÇA. *Code de la Commande Publique*, de 5 dezembro de 2018. Código da Contratação Pública, que entrou em vigor em 1 abril 2019. Disponível em: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000037701019. Acesso em: 08 abr. 2025.
- [17] SALCEDO R., TADEO B., STRAUB, A.; RUIZ L., ANGELA; GALIÈGUE, YVES. *Energy Efficiency in French social housing renovations via design-build-maintain*. 2014. Disponível em: <https://journals.open.tudelft.nl/abe/article/view/6606>. Acesso em 15 mar. 2025.
- [18] PORTUGAL. *Decreto-Lei n.º 10/2024*, de 08 de janeiro. Procede à reforma e simplificação dos licenciamentos no âmbito do urbanismo, ordenamento do território e indústria. Diário da República n.º 5/2024, Série I de 2024-01-08, páginas 5 – 52. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/78-2022-203083713>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [19] *Parecer sobre o Projeto de Decreto-Lei que altera o Código dos Contratos Públicos e a Lei n.º 30/2021, de 21 de maio, que aprova medidas especiais de contratação pública*. Ordem dos Arquitetos – Conselho Diretivo Nacional. setembro 2022. Disponível em: <https://arquitectos.pt/documentos/1660823883I7vRV8ev4Gp30BX9.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [20] *Manual do Gestor dos Contratos Públicos*. Instituto dos Mercados Públicos, do Imobiliário e da Construção, I.P., janeiro 2025. Disponível em: <https://www.base.gov.pt/Base4/medi>
<a/it3gfpm�/manual-do-gestor-dos-contratos-p%C3%BAblicos- -1-%C2%AA-edi%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em 21 mar. 2025.
- [21] *Proposta de Lei n.º 41/XIV/1.ª | CCP | Contributos da Ordem dos Engenheiros | ANEXO I* | 27 setembro 2020. Disponível em: https://www.ordemdosengenheiros.pt/fotos/posicoes_oficiais/ccp_proposta_de_lei_41_xiv_1_comentariosoe_anexo1_27_setembro_2020_1304656130655760f409cf4.pdf. Acesso em: 21 mar. 2025.
- [22] SANTOS, P., *Guia para a direção de obras e principais dificuldades das obras públicas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utad.pt/entities/publication/a9a9a4bc-4aa4-44ac-a443-7ee268aa8823>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- [23] PORTUGAL. *Lei n.º 31/2009*, de 3 de julho. Estabelece a qualificação profissional exigível aos técnicos responsáveis pela elaboração e subscrição de projetos, pela fiscalização de obra e pela direção de obra, que não esteja sujeita a legislação especial, e os deveres que lhes são aplicáveis. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/lei/2009-67357038>. Acesso em: 8 abr. 2025.

Anexo A – Tabela 1

Tabela 1 – Comparação das Atribuições do Gestor do Contrato público na Empreitada Tradicional (ET) vs. Empreitada de Conceção-Construção (ECC)

Atribuições do GC	ET	ECC
Envolvimento na fase de projeto	---	- Desde o Estudo Prévio e Programa Preliminar.
Validação do projeto de execução	---	- Validação do projeto de execução entregue pelo adjudicatário.
Coordenação entre projeto e obra	- Limitada.	- Fundamental para garantir compatibilidade entre a solução do projeto e a obra.
Gestão de riscos	- Focada na fase de obra.	- Do projeto de execução à obra, com análise de riscos desde a apresentação da proposta.
Interação com o adjudicatário	- Predominantemente na fase de obra.	- Desde a apresentação da proposta até à conclusão do projeto de execução e da obra.
Acompanhamento técnico	- Centrado na fiscalização da obra.	- Acompanhamento contínuo e integrado do desenvolvimento do projeto de execução e obra.
Controlo de qualidade	- Durante a fase de obra.	- Desde o projeto de execução até à entrega definitiva da obra.
Planeamento e cronograma	- Acompanhamento do Plano de Trabalhos aprovado para a fase de obra.	- Acompanhamento do Plano de Trabalhos aprovado para as fases do projeto de execução e obra.

Fonte: Autor (baseado em [20])



Estudio comparativo de las propiedades del concreto curado en laboratorio y en obra

Estudo comparativo das propriedades do concreto curado em laboratório e em obra

ROMERO, J. R. H.¹; FIGUEIREDO, E. J. P.²; MARCONDES, E. C.³; LACERDA, N. A. T.⁴

jose.romero@neomixconcreto.com.br^{1,2}; eduardo.marcondes@newmixengenharia.com.br³; natielle.lacerda@neomixconcreto.com.br⁴.

¹ Engenharia Civil, UNIP, Ribeirão Preto, Brasil y Pós Graduação em Patologia em Obras Civis, IDD, São Paulo, Brasil.

² PPGE/UFCAT, Catalão, Brasil y Mestrado em Construção Civil da UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

³ Engenharia Civil, Centro Universitário Moura Lacerda, Ribeirão Preto, Brasil.

⁴ Engenharia Civil, UNIP – Universidade Paulista, Ribeirão Preto, Brasil.

Información

Palabras-clave:

Curado del hormigón

Resistencia a la compresión

Módulo de elasticidad

Absorción capilar

Control tecnológico

Palavras-chave:

Cura do concreto

Resistência à compressão

Módulo de elasticidade

Absorção capilar

Controle tecnológico

Resumen:

Este estudio analiza el impacto de las condiciones de curado en las propiedades del concreto, enfocándose en entornos controlados de laboratorio versus sitios de construcción reales. Las muestras moldeadas se dividieron en dos grupos: uno curado según NBR 5738 en el laboratorio y el otro sometido a las mismas condiciones que la estructura construida en el campo. Después de 28 días, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión (NBR 5739), módulo de elasticidad (NBR 8522) y absorción de agua capilar (NBR 9779). Los resultados demostraron pérdidas promedio de hasta 40% en resistencia y 50% en módulo de elasticidad en muestras curadas en el sitio. La absorción de agua capilar también fue mayor en el campo, lo que indica mayor porosidad. Los datos refuerzan la importancia del curado técnicamente planificado, especialmente en contextos con variabilidad climática y presiones ejecutivas. El estudio contribuye a la mejora del control tecnológico del concreto en la construcción civil.

Resumo:

Este estudo analisa o impacto das condições de cura nas propriedades do concreto, com foco em ambientes controlados de laboratório versus canteiros de obras reais. Amostras moldadas foram divididas em dois grupos: um curado de acordo com a NBR 5738 em laboratório e o outro submetido às mesmas condições da estrutura construída em campo. Após 28 dias, foram realizados ensaios de resistência à compressão (NBR 5739), módulo de elasticidade (NBR 8522) e absorção capilar de água (NBR 9779). Os resultados mostraram perdas médias de até 40% na resistência e 50% no módulo de elasticidade nas amostras curadas em campo. A absorção capilar de água também foi maior em campo, indicando maior porosidade. Os dados reforçam a importância do planejamento técnico da cura, especialmente em contextos com variabilidade climática e pressões construtivas. Este estudo contribui para o aprimoramento do controle tecnológico do concreto na construção civil.

1. Introducción

La durabilidad y el rendimiento mecánico de las estructuras de hormigón armado dependen de diversos factores intrínsecos al material y a las condiciones ambientales a las que están expuestas. Entre estos factores, la etapa de curado del hormigón, a menudo subestimada en los proyectos de construcción, desempeña un papel decisivo en la evolución de las propiedades físicas y mecánicas del material. El proceso de hidratación del cemento, que subyace a la resistencia y la cohesión de la matriz cementosa, requiere el mantenimiento de un ambiente húmedo y térmicamente estable, especialmente durante los primeros días tras el hormigonado. Si se descuida, el curado puede comprometer significativamente el rendimiento de la estructura a lo largo de su vida útil, favoreciendo manifestaciones patológicas tempranas y comprometiendo la seguridad del edificio.

La literatura técnica especializada destaca que el proceso de curado influye directamente en la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y la durabilidad del hormigón, especialmente en entornos sujetos a intensas variaciones climáticas. Según Mehta y Monteiro (2014), incluso variaciones aparentemente pequeñas de humedad o temperatura ambiente pueden causar pérdidas de resistencia superiores al 30 %, dependiendo de la composición del hormigón y el tiempo de exposición. La Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT), mediante la norma NBR 5738 (2015), establece procedimientos estandarizados para el moldeo, curado y ensayo de muestras. Sin embargo, el cumplimiento de estos protocolos en la obra aún enfrenta barreras logísticas y culturales.

En el ámbito experimental, comparar muestras curadas en condiciones controladas de laboratorio con aquellas curadas directamente en obra es un método eficaz para evaluar el impacto del curado en las propiedades finales del hormigón. Este enfoque permite cuantificar las diferencias de

rendimiento y proporciona apoyo técnico para mejorar las prácticas de construcción en obra.

En este contexto, este estudio busca comparar las propiedades del hormigón curado en laboratorio con las obtenidas en obra, mediante ensayos de resistencia a la compresión axial, módulo de elasticidad estático y absorción capilar de agua, con el fin de evaluar el impacto de las condiciones reales de curado en el rendimiento del material.

2. Materiales y métodos

2.1 Diseño experimental y estrategia de comparación

Este estudio comparó el desempeño del hormigón sometido a dos regímenes de curado distintos: uno en condiciones ideales de laboratorio y otro en un entorno real de obra. Para ello, se moldearon probetas cilíndricas de hormigón durante el hormigonado, utilizando diseños de mezcla diseñados por el proveedor Neomix Concreto®.

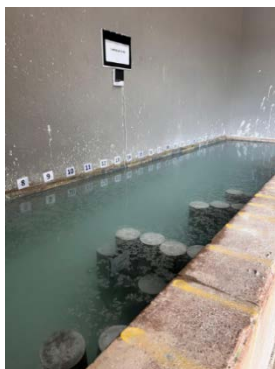
Las muestras se dividieron en dos grupos equivalentes. El primer grupo se mantuvo en el laboratorio, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, de acuerdo con las directrices de la norma NBR 5738 (ABNT, 2015). El segundo grupo permaneció en obra, recibiendo el mismo tipo de curado aplicado al elemento estructural hormigonado, sin intervención adicional de los investigadores. Esta metodología permitió una simulación fiel de las condiciones reales de campo y una evaluación del impacto ambiental del proceso de curado.

Figura 1 – Curado húmedo con geotextil aplicado a losas estructurales. Esta técnica tradicional implica mantener la humedad constante en la superficie del hormigón, lo que promueve la hidratación del cemento y mitiga las grietas por retracción plástica.



Fuente: Romero, 2024.

Figura 2 – (a) Especímenes almacenados en el laboratorio, de acuerdo con la norma NBR 5738; (b) Especímenes conservados en obra, en las mismas condiciones de curado que la pieza estructural. La diferenciación de los ambientes de exposición permitió medir el efecto de las variables ambientales en el rendimiento final del material.



Fuente: Marcondes e Lacerda, 2024.

2.2 Propiedades evaluadas

Após Tras el período de curado estándar de 28 días, según las recomendaciones reglamentarias, las muestras de ambos grupos se sometieron a ensayos mecánicos y físicos. Se analizaron los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión axial, según la norma NBR 5739 (ABNT, 2018);
- Módulo de elasticidad estático, según la norma NBR 8522 (ABNT, 2021);
- Absorción de agua por capilaridad, según la norma NBR 9779 (ABNT, 2012).

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio Unitec, en condiciones controladas y con equipos calibrados, lo que garantizó la fiabilidad de los resultados obtenidos. Todas las muestras pertenecían al mismo lote de hormigón, lo que garantizó la consistencia de la mezcla entre los grupos.

2.3 Condiciones ambientales y control

Durante el período de curado, se registraron datos de temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del viento en los lugares de almacenamiento de las muestras. Estas variables se monitorearon mediante sensores digitales (Figura 3) para identificar correlaciones entre el entorno y la evolución de las propiedades del hormigón. En particular, se buscó observar la evaporación potencial del agua de hidratación y su influencia en la resistencia mecánica final.

Figura 3 – Sistema digital de monitoreo de temperatura y humedad utilizado durante el curado del hormigón en campo. Los sensores permitieron el seguimiento de condiciones ambientales críticas y ayudaron a correlacionarlas con el rendimiento de la muestra.



Fuente: Romero, 2024.

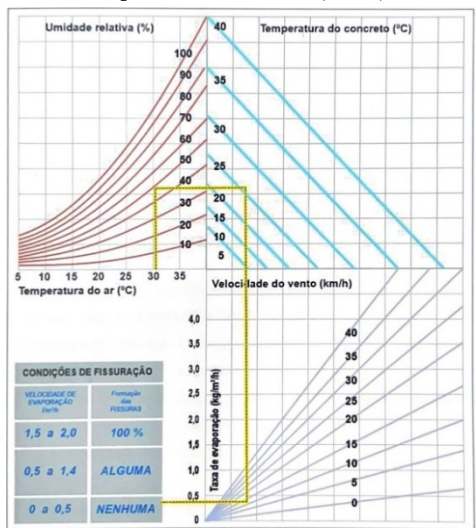
Figura 4 – Las muestras de prueba se exponen al sitio sin la protección adecuada. La falta de control de la humedad, el calor y los contaminantes compromete la precisión de las pruebas y la representatividad de las muestras.



Fuente: Lacerda, 2024.

La adopción de registros ambientales permitió no solo el seguimiento técnico del curado en campo, sino también un análisis comparativo con parámetros ideales de laboratorio, lo que permitió identificar discrepancias con posible impacto patológico. Como se ilustra en la Figura 5, una tasa de evaporación superior a 1,0 kg/m²/h representa un alto riesgo de agrietamiento por retracción plástica, lo que requiere medidas correctivas inmediatas durante el proceso de curado.

Figura 5 – Ábaco de Cánovas para estimar la tasa de evaporación del agua del hormigón en función de la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la temperatura superficial del hormigón. Adaptado de Cánovas (1988).



Fuente: Cánovas [7].

Entre las estrategias implementadas para mitigar los efectos climáticos adversos, destaca la instalación de carpas o cubiertas temporales sobre superficies hormigonadas. Esta solución protege el hormigón de la luz solar directa, las fluctuaciones bruscas de temperatura y las lluvias repentinas, garantizando un mejor curado incluso en exteriores.

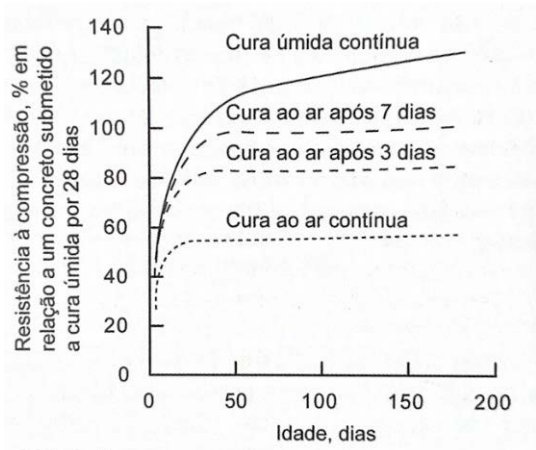
Figura 6 – Protección temporal con un techo móvil instalado sobre una pista de hormigón recién vertida en un proyecto a gran escala. Una estrategia eficaz para minimizar la pérdida de humedad por la radiación solar

directa y las fluctuaciones de temperatura.



Fuente: Romero, 2024.

Figura 7 – Evolución de la resistencia a la compresión en función del tipo y la duración del curado. El gráfico muestra el rendimiento relativo del hormigón sometido a curado continuo en húmedo, curado interrumpido y curado al aire, en comparación con el periodo estándar de curado en húmedo de 28 días.



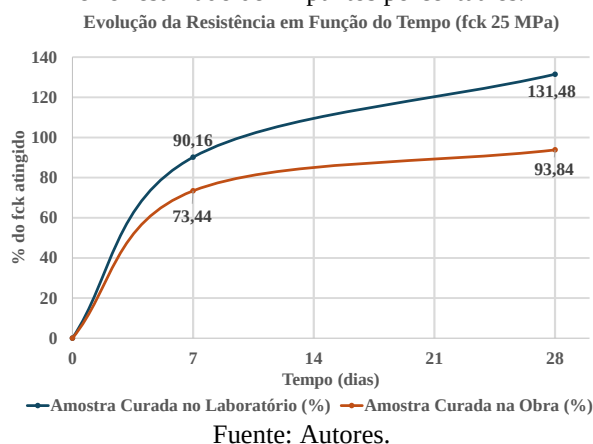
Fuente: Mehta e Monteiro [8]

3. Resultados

3.1 Resistencia a la compresión axial

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión mostraron diferencias significativas entre las muestras curadas en laboratorio y las mantenidas en obra. La Tabla 1 del ANEXO A presenta los valores promedio obtenidos para diferentes mezclas de hormigón, lo que demuestra una tendencia consistente a una mayor resistencia en las muestras sometidas a curado controlado.

Figura 8 – Evolución de la resistencia a la compresión (en % de fck) a lo largo de 28 días, comparando muestras curadas en laboratorio y en obra para hormigón fck = 25 MPa - se observa un margen de error estimado de ± 2 puntos porcentuales.



3.2 Módulo de elasticidad estático (E)

La Tabla 2 del ANEXO B presenta los valores promedio del módulo de elasticidad estático (E) de las muestras ensayadas a los 28 días. Los resultados confirman que un curado inadecuado en obra resultó en una menor rigidez del hormigón, con pérdidas porcentuales significativas en todas las mezclas analizadas. (Figura 9 del ANEXO B).

3.3 Absorción de agua por capilaridad

La Tabla 3 del ANEXO C presenta los índices promedio de absorción de agua por capilaridad obtenidos para las diferentes mezclas. Si bien las diferencias entre los grupos no fueron tan pronunciadas como en las propiedades mecánicas, se observó una mayor variabilidad en las muestras curadas in situ, lo que indica una menor uniformidad y una mayor susceptibilidad a los agentes agresivos. (Figura 10 del ANEXO C).

4. Discusiones

4.1 Influencia del curado en las propiedades mecánicas

Los resultados confirman que las condiciones de curado inciden directamente en la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad del hormigón. Las muestras sometidas a curado en laboratorio mostraron un rendimiento significativamente superior,

con mejoras promedio de hasta un 40 % en la resistencia a la compresión y más del 50 % en el módulo de elasticidad, dependiendo de la mezcla analizada.

Estos hallazgos corroboran los estudios de Mehta y Monteiro (2014), que destacan la importancia de mantener una humedad y temperatura ideales durante los primeros días de curado para una formación eficiente de la matriz cementicia. En el ámbito de la construcción, la falta de un control estricto de factores climáticos como la radiación solar directa, las fluctuaciones de temperatura y el viento provoca una pérdida prematura de agua de hidratación, lo que compromete el desarrollo de la resistencia mecánica.

4.2 Absorción de agua y durabilidad.

Aunque la diferencia en las tasas de absorción de agua por capilaridad fue menos pronunciada que en los parámetros mecánicos, indica una mayor porosidad superficial en las muestras curadas en campo. Este factor es crucial, ya que una alta capilaridad se asocia con una mayor penetración de agentes agresivos, acelerando procesos de degradación como la carbonatación y el ataque de iones cloruro (CANÓVAS, 1988).

La dispersión de datos observada en las muestras in situ sugiere que el curado en este entorno no solo es menos eficiente, sino también menos uniforme, lo que puede comprometer la durabilidad de la estructura en su conjunto.

4.3 Normas y buenas prácticas como mitigadores de riesgos

La norma NBR 5738 (ABNT, 2015) establece requisitos claros para el moldeo, curado y transporte de probetas, los cuales se cumplieron rigurosamente en el caso de las muestras de laboratorio. En el caso de las muestras in situ, si bien el equipo técnico adoptó prácticas estándar de la industria, como el curado húmedo con mantas geotextiles, la falta de control micro climático resultó insuficiente para lograr el rendimiento esperado.

Este hallazgo refuerza la necesidad de una rigurosa adopción de normas técnicas y el uso de tecnologías auxiliares —como sensores de humedad, aditivos químicos y programas de curado personalizados— para garantizar la calidad final del hormigón en obra.

4.4 Consideraciones sobre sostenibilidad e innovación

Más allá de los aspectos técnicos, el estudio destaca oportunidades de innovación en el curado del hormigón. Métodos como el curado químico con compuestos formadores de película y el uso de aditivos con control reológico y retardantes de evaporación demuestran su viabilidad para mitigar los efectos de la meteorización. La introducción de prácticas sostenibles, como el uso de materiales reciclados en la formulación de aditivos y la reducción del consumo de agua durante el proceso de curado, también debería fomentarse como parte de la agenda de responsabilidad ambiental de la industria de la construcción.

5. Conclusiones

5.1 Evaluación de resultados

Los datos obtenidos muestran que el hormigón curado en condiciones controladas de laboratorio presentó un rendimiento técnico significativamente superior al del hormigón curado in situ. Las mayores discrepancias se observaron en la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, con variaciones promedio de hasta el 40% y el 50%, respectivamente. La absorción de agua capilar también fue mayor en las muestras de campo, lo que indica una mayor porosidad y una menor durabilidad potencial.

A medida que se introducen nuevas tecnologías y materiales, las normativas deben adaptarse a estos cambios, garantizando la seguridad y la eficacia de las prácticas. La adaptación de los profesionales de la construcción a estos nuevos enfoques será crucial para el éxito de la industria. La resistencia al cambio, si bien es común, puede

representar un obstáculo importante, especialmente a la hora de adoptar prácticas sostenibles, cada vez más demandadas por el mercado. La implementación de aditivos reciclados y naturales en el curado del hormigón no es solo una cuestión de viabilidad económica, sino un paso necesario hacia una construcción más ética y responsable con el medio ambiente. Por lo tanto, el futuro del curado del hormigón está ligado a una transformación cultural dentro de la industria de la construcción. La clave de esta transformación es la voluntad de aprender, adaptarse y colaborar, construyendo un futuro más sostenible y eficiente para todos.

5.2 Relevancia del curado en el desempeño estructural

La etapa de curado ha demostrado ser crucial para la calidad final del hormigón. La falta de un control riguroso de las condiciones ambientales en obra comprometió la hidratación adecuada del cemento, reduciendo la cohesión de la matriz y la integridad microestructural. En consecuencia, las estructuras hormigonadas sin las prácticas adecuadas son más susceptibles a grietas, deformaciones y manifestaciones patológicas a lo largo de su vida útil.

5.3 Recomendaciones para el sector de la construcción

Para garantizar el rendimiento de diseño de las estructuras, se recomienda lo siguiente:

- Adopción sistemática de métodos de curado compatibles con las condiciones climáticas locales;
- Planificación específica de la etapa de curado en los cronogramas de construcción;
- Uso de tecnologías de monitoreo y aditivos adaptativos para asegurar la retención de humedad;
- Capacitación técnica de los equipos de construcción sobre buenas prácticas de curado y manejo de probetas.

5.4 Perspectivas futuras

La evolución de los métodos de curado, con el uso de sensores inteligentes, aditivos sostenibles y técnicas adaptativas, representa un camino prometedor para optimizar el rendimiento del hormigón incluso en condiciones adversas. La inversión en investigación e innovación, sumada al estricto cumplimiento de las normas técnicas, debería guiar las futuras prácticas de construcción hacia la durabilidad y la sostenibilidad.

6. Referencias

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- [2] ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- [3] ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- [4] ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 8522: Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação - Parte 1: Módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro, 2021.
- [5] ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.
- [6] ASTM International. ASTM C172/C172M-17 Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete, 2017. https://store.astm.org/c0172_c0172m-17.html, acesso em: outubro de 2024.
- [7] CÁNOVAS, M. F. Patologia e terapia do concreto armado. Tradução de M. Celeste Marcondes e Beatriz Cannabrava. São Paulo: Pini, 1988.
- [8] MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo, Brasil: IBRACON. 3ª ed., p. 64, 2014.
- [9] ROMERO, J. R. H. Durabilidade do concreto. Universidade Paulista – UNIP, 2016
- [10] GHOSH, A.; GHOSH, S.; NAIR, S. (2021). Performance evaluation of concrete under different curing environments: A comparative study. Construction and Building Materials, 271, 121581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121581>
- [11] SIVAKUMAR, S.; THANGARAJ, R. (2022). Effect of curing methods on strength and durability of high-performance concrete: A review. Journal of Building Engineering, 46, 103760. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103760>.
- [12] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 12390-1: Testing hardened concrete - Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds. Brussels, 2021.
- [13] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 12390-2: Testing hardened concrete - Part 2: Making and curing specimens for strength tests. Brussels, 2019.
- [14] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 12390-3: Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens. Brussels, 2019.
- [15] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 12390-13: Testing hardened concrete - Part 13: Determination of secant modulus of elasticity in compression. Brussels, 2021.

ANEXO A

Tabela 1 – Valores promedio de resistencia a la compresión axial a los 7 y 28 días para el hormigón curado en laboratorio y en obra. Promedio de 50 muestras por grupo, según la norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Se observa un margen de error estimado de ± 2 puntos porcentuales.

fck	fcj = 7 días			fcj = 28 días		
	Laboratorio	Obra	Diferencia	Laboratorio	Obra	Diferencia
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)
25	22,54	18,36	23%	32,87	23,46	40%
30	30,77	27,93	10%	38,13	33,03	15%
35	31,58	27,02	17%	40,48	29,80	36%
40	33,44	32,84	2%	46,405	39,74	17%

Fuente: Autores.

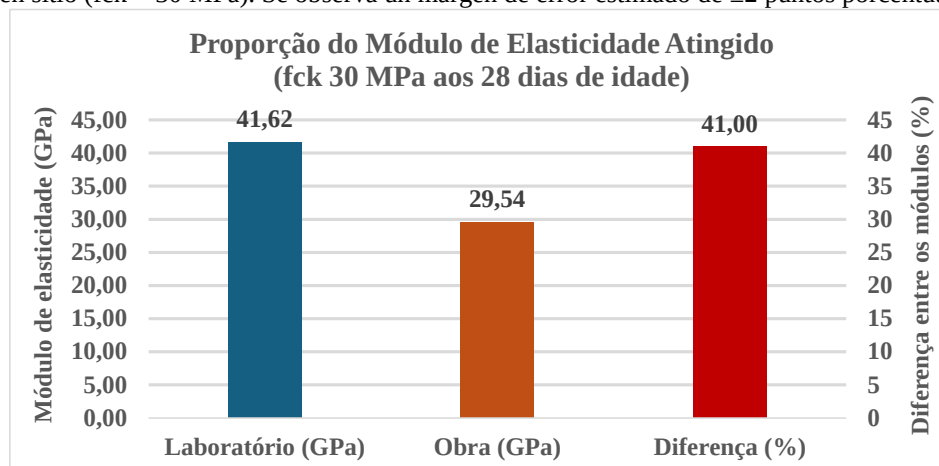
ANEXO B

Tabela 2 – Resultados promedio de la diferencia en el módulo de elasticidad estático entre muestras de construcción y de laboratorio, según la norma NBR 8522 – Hormigón – Determinación del módulo de elasticidad y la deformación por compresión. Promedio extraído de 50 muestras. Se observa un margen de error estimado de ± 2 puntos porcentuales.

fck	Módulo Estático de Elasticidad (E) – 28 días		
	Laboratorio	Obra	Diferencia
(MPa)	(GPa)	(GPa)	(%)
25	42,18	26,62	58,43%
30	41,62	29,54	40,89%
35	41,67	34,82	19,67%
40	47,92	38,64	24,04%

Fuente: Autores.

Figura 9 – Comparación gráfica del módulo de elasticidad estático promedio para muestras curadas en el laboratorio y en sitio (fck = 30 MPa). Se observa un margen de error estimado de ± 2 puntos porcentuales.



Fuente: Autores.

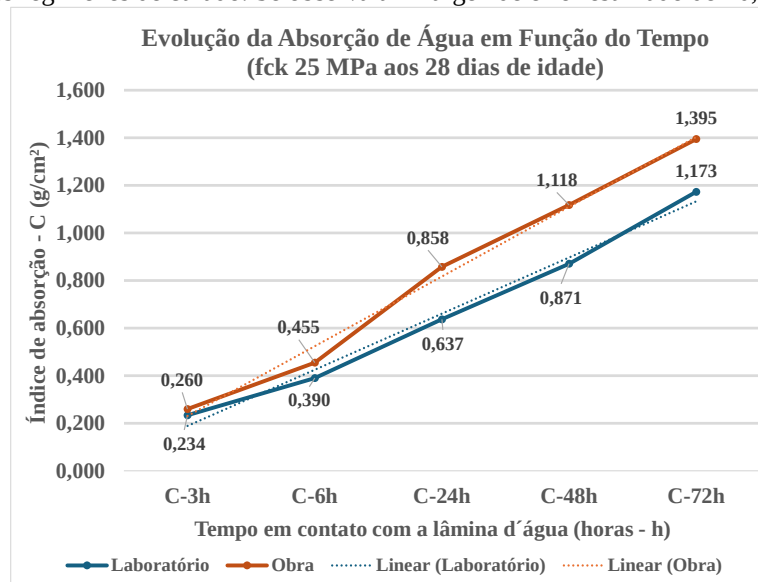
ANEXO C

Tabela 3 – Resultados promedio de la diferencia en el índice de absorción capilar entre muestras de construcción y de laboratorio, según la norma NBR 9779 – Mortero y hormigón endurecidos – Determinación de la absorción de agua por capilaridad. Promedio extraído de 50 muestras. Se observa un margen de error estimado de ± 2 puntos porcentuales.

fck (MPa)	Tasa de absorción promedio cada 24 horas		
	Laboratorio (g/cm ²)	Obra (g/cm ²)	Diferencia (%)
25	0,39	0,46	18%
30	0,33	0,42	28%
35	0,32	0,38	20%
40	0,30	0,34	15%

Fuente: Autores.

Figura 10 – Evolución de la absorción de agua por capilaridad a lo largo del tiempo para hormigón fck = 25 MPa, en diferentes regímenes de curado. Se observa un margen de error estimado de $\pm 0,05$ puntos.





Análise das manifestações patológicas e propriedades físicas de argamassas históricas como suporte à conservação patrimonial

Analysis of the pathological manifestations and physical properties of historical mortars as a support for heritage conservation.

DIONISIO, Adla Kellen¹; ANDRADE, Sandro da Silva²; CABRAL, Kleber Cavalcanti³; SÁ, Maria das Vitórias V. A.⁴

adla.sousa@ufersa.edu.br¹; sandro.andrade@ufrn.br²; kleber.cabral@ufersa.edu.br³; vitorias.sa@ufrn.br⁴.

¹ D.Sc. em Engenharia Civil, DETEC/UFERSA, Pau dos Ferros/RN, Brasil.

² Mestrando em Engenharia Civil, PPCIVAM, DECAM/UFRN, Natal/RN, Brasil.

³ D.Sc. em Ciência e Engenharia do Petróleo, DENG/UFERSA, Angicos/RN, Brasil; PPCIVAM, DECAM/UFRN, Natal/RN, Brasil.

⁴ D.Sc. em Engenharia Civil, DECAM/UFRN, Natal/RN, Brasil.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Edificações históricas
Mapa de danos
Argamassas históricas

Keywords:
Historic buildings
Damage map
Historic mortars

Resumo:

A busca pela preservação do patrimônio histórico e cultural deve ser uma constante, para que não haja a perda da identidade histórica e cultural de um país. Neste sentido, para atender os princípios do restauro, de autenticidade e integridade é fundamental se conhecer os danos existentes nos edifícios históricos como auxílio para o planejamento da conservação. Neste aspecto, o objetivo deste trabalho foi analisar as manifestações patológicas e as propriedades físicas das argamassas do Grupo Escolar Augusto Severo (GEAS), Natal/Brasil. Para isso, foi elaborado o mapa de danos da fachada do GEAS e extraídas amostras para estudo das propriedades físicas. A partir do mapa de danos, foram verificadas a existência de manchas de umidade, sujidade e desprendimento do reboco. Além disso, as amostras coletadas mostraram a alta porosidade das argamassas, o que contribuiu para a presença dos danos encontrados. Portanto, o estudo permitiu o conhecimento do revestimento argamassa do GEAS e poderá servir como base para os trabalhos de restauro da edificação estudada.

Abstract

The search for the preservation of historical and cultural heritage must be a constant, so that there is no loss of the historical and cultural identity of a country. In this sense, to attend the principles of restoration, authenticity and integrity, it is important to understand the damage present in historic buildings as an aid to conservation planning. In this aspect, the objective of this work was to analyse the pathological manifestations and physical properties of the mortars of the Grupo Escolar Augusto Severo (GEAS), Natal/Brazil. For this purpose, a damage map of the GEAS façade was developed, and samples were collected to examine their physical properties. The damage map showed moisture stains, soiling, and detached plaster. In addition, the collected samples showed high mortar porosity, contributing to the observed damage. Therefore, this study provided knowledge of the GEAS mortar coating and may serve as a basis for restoration work on the studied building.

1. Introdução

O conhecimento de uma edificação histórica, requer informação sobre a sua concepção, sobre as técnicas utilizadas na sua construção, sobre os processos de degradação e dano, sobre alterações que a tenham afetado e, finalmente, sobre o seu estado atual [1].

O conhecimento dos danos existentes nos patrimônios históricos é essencial para avaliar o estado de conservação do revestimento, além disso, auxilia na elaboração do plano de intervenção e no tratamento correto dos danos.

Os revestimentos e acabamentos de elementos de construção dos edifícios têm um importantíssimo papel a desempenhar, já que constituem a “pele” que assegura a proteção desses elementos, em relação às ações agressivas de natureza química e mecânica [2]. Destaca-se nesse caso, a superfície exterior dos edifícios. Um dos maiores causadores de danos nas fachadas das edificações é a poluição do ar, a degradação por esse agente inclui: gastos para restaurar o estado original do objeto danificado (ou seja, limpeza), medidas preventivas (ou seja, o custo extra de pintar com maior resistência à poluição), e perda do conforto (prejuízo estético, ou seja, como um edifício fica sujo) [3].

Neste trabalho foi realizada uma análise do revestimento argamassado do Grupo Escolar Augusto Severo (GEAS), localizado em Natal/Brasil. O objetivo do trabalho foi analisar as manifestações patológicas e as propriedades físicas de amostras coletadas da edificação. Pretende-se que os resultados possam servir como base para ao processo de restauração.

2. Anomalias nas argamassas de revestimento de edificações

Em termos de função, as argamassas de revestimento têm um papel importante para a

proteção da edificação. Para Veiga¹ apud Flores-Colen, Brito e Freitas [4] o revestimento de argamassa é fundamental para a estanqueidade da estrutura da parede (função principal), para sua condição estética (função secundária) e têm uma influência determinante na sua durabilidade.

É frequente se observar várias manifestações patológicas nas partes externas das edificações antigas por permanecerem em contato direto com o meio ambiente [5]. São múltiplos os danos encontrados em revestimentos antigos de argamassas e que podem vir isolados ou acompanhados de outras manifestações patológicas. Esses danos podem ser: sujidade; desagregação do revestimento com ou sem exposição da alvenaria; bolor; eflorescência; intervenção com material à base de cimento e fissuras.

A umidade é um dos problemas mais frequentes nas edificações e que pode afetar os revestimentos argamassados, ocasionando desconforto estético. Esse problema contribui também para a deterioração dos materiais e, portanto, afeta a vida útil da construção. Para o desenvolvimento da grande maioria das manifestações patológicas nas construções a presença da umidade é fundamental. Nas fachadas, a umidade por infiltração, não está associada somente à ação da chuva, mas à combinação da ação da chuva com o vento.

Em prédios históricos, a penetração de água na estrutura interna da alvenaria e na interface entre o revestimento e sua base são as causas mais comuns para perda da adesão entre revestimentos argamassados e a alvenaria. A umidade ascendente, originária do solo que atinge a alvenaria por capilaridade, pode afetar a alvenaria e causar o aumento de volume da argamassa de revestimento, resultando na expulsão do revestimento, em relação à alvenaria.

A umidade também causa o aparecimento de bolor. Conforme Alucci, Flauzino e Milano [6], o bolor é resultado do

¹ Veiga, R. *Pathology and repair of several types of wall rendering. Course of pathology of walls' claddings and strategies to avoid them.* Lisbon, LNEC; 2004.

desenvolvimento de micro-organismos e é uma alteração que pode ser observada a olho nu. Estudos sobre esse assunto revelaram que bolores crescem em materiais nas seguintes condições:

- Presença de oxigênio [7];
- Temperaturas entre 22 e 35 °C [8];
- Presença de umidade [7,9];
- Substrato adequado para fornecer os nutrientes [7].

Para Shirakawa *et al.* [9], se o material utilizado no revestimento tiver todos os nutrientes indispensáveis para o crescimento dos micro-organismos, o bolor não surgirá até que exista umidade suficiente para o seu desenvolvimento. Ainda segundo a pesquisadora, a existência de água absorvida, imprescindível para o crescimento do fungo, é uma condição necessária para o aparecimento, manutenção e extensão do bolor no revestimento.

A umidade também influencia no aparecimento de manchas, conhecidas como sujidade, nas superfícies dos revestimentos de fachadas. Essas manchas podem contribuir para o agravamento de outras anomalias e consequente degradação e perda de propriedades do material de revestimento [4].

A sujidade é um efeito visual resultante do escurecimento de superfícies expostas após a deposição e acúmulo de partículas atmosféricas [10]. O processo de deposição e de acúmulo das partículas é numeroso e complexo, pois depende das propriedades físicas e químicas das partículas, da natureza da superfície, da meteorologia do local e do percurso seguido pela água da chuva depois que ela atinge a superfície do edifício [10].

Além da umidade relativa do ar, a temperatura do ambiente também influencia no aparecimento de sujidade nas superfícies, pois contribui para criar condições ambientais que beneficiam ou dificultam a deposição e adesão das partículas. O vapor de água influencia na contaminação do ar, pois compõe um dos motivos principais de agregação de partículas, produzindo

partículas mais grossas e, consequentemente com facilidade de sedimentação [11]. A temperatura atua na diluição dos contaminantes na atmosfera e na modificação do vapor de água no ambiente e da umidade interna do material de revestimento das fachadas [11].

As manchas nas superfícies das fachadas de edificações são fortemente influenciadas pela ação do vento e da chuva, os quais desempenham papel importante na forma que a sujidade assume [12]. O vento (por sua velocidade e direção) serve de veículo às partículas sujas e à água de chuva, e atua, com sua própria força e a energia cinética das partículas que transporta, na modificação da distribuição da sujeira depositada sobre as superfícies das fachadas [12].

3. Materiais e Métodos

Para realizar o estudo do GEAS, inicialmente foram feitas pesquisas sobre a edificação para entender sua evolução e funcionamento ao longo do tempo. Para isso, foi realizada a consulta em documentos da edificação e em trabalhos já publicados.

Após o entendimento da evolução dessa edificação histórica, procedeu-se ao estudo das manifestações patológicas e em seguida à verificação do traço e testes para entender as propriedades físicas das argamassas do GEAS.

Quanto as manifestações patológicas, a edificação foi analisada utilizando o método de Mapa de Danos. Segundo Barthel, Lins e Pestana [13], o Mapa de Danos é a representação gráfica e resumida dos danos que existem em um bem histórico, é ainda essencial para tomada de decisões relacionadas a intervenção. Além disso, os autores consideram que o mapeamento de danos é um registro evolutivo do estado de conservação e, portanto, serve como base para intervenções ou ações preventivas. Sobre o estado de conservação Lichtenstein [14] cita que as informações para o seu entendimento podem ser obtidas através do próprio edifício e por meio de inspeções periódicas.

Para elaborar o mapa de dados foi realizada uma vistoria do local, com levantamento visual e fotográfico dos revestimentos argamassados do GEAS, posteriormente, a análise dos projetos das fachadas. Estas etapas de vistoria e anamnese geraram contribuições suficientes para o diagnóstico das manifestações patológicas, com identificação das possíveis causas e origens, bem como, sugestões de reparo e/ou conservação. Além disso, o registro fotográfico possibilitou obter-se um arquivo memorial da edificação para estudos e intervenções futuras.

Foi realizado também um mapeamento dos danos a partir da observação visual das fotografias. As informações dos danos foram mapeadas no plano vertical de forma a ilustrar o estado de conservação completo no revestimento argamassado da fachada. De posse do levantamento, da identificação e do mapeamento foram produzidos quadros com o mapa de danos e as imagens de cada fachada. Cada figura apresentada do mapa contém a representação gráfica da fachada com indicação através de setas da posição da foto que ilustra o dano no mesmo quadro.

Após a conclusão do levantamento, identificação das manifestações patológicas dos revestimentos de argamassa e análise do estado de conservação foi executado o mapeamento de danos em cada fachada e em seguida realizado o estudo das anomalias com o objetivo de reconhecer as causas e origens, sejam elas ocasionadas pela natureza ou decorrentes de processos de intervenção.

Além do mapeamento de danos, foram coletadas amostras (Figura 1) de dois pontos da edificação, uma amostra da parte mais antiga e outra da ampliação mais recente. Essas foram utilizadas para estimar o teor aglomerante/agregado (traço) e realizar ensaios de propriedades físicas.

A estimativa do traço é importante para o restauro de edificações históricas, pois permite se empregar no restauro uma argamassa mais próxima da existente. Para isso, as amostras foram coletadas e submetidas a um ataque com ácido clorídrico

(HCl), que permitiu obter o teor de agregado e realizar a reconstituição do traço de cada amostra.

No ataque com ácido clorídrico o aglomerante evaporou e ficou somente o agregado. A amostra foi pesada antes e após o ataque com HCl para se obter, respectivamente, o peso da amostra de argamassa e o peso do agregado. Assim, foi possível estimar o traço da argamassa. Obtido somente o agregado foi possível também realizar o teste de granulometria com base na norma ABNT NBR 17054:2022 [15].

Figura 1 – Amostras coletadas: à esquerda parte mais antiga, à direita parte mais moderna.



Fonte: Autores

As propriedades físicas analisadas foram: absorção de água, índice de vazios, densidade aparente e real. Estes testes permitem analisar aspectos de porosidade das argamassas da edificação e, foram realizados com base na norma ABNT NBR 9778:2009 [16].

4. Resultados e Discussões

4.1. Breve histórico do Grupo Escolar Augusto Severo

Segundo Ferreira e Dantas [17], de 1908 a 1913 ocorreram várias mudanças significativas em Natal/RN, como, a introdução do bonde, do telefone, do telégrafo, da iluminação elétrica, do serviço de limpeza pública e do abastecimento de água, além desses equipamentos surgiu também a Escola Normal e o Grupo Escolar Augusto Severo (GEAS), os dois em 1908.

O GEAS está situado dentro da poligonal do Centro Histórico de Natal, o qual foi tombado em 2010 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN. É um monumento federal localizado

no bairro da Ribeira, Natal/RN. A edificação é caracterizada pelo estilo eclético, marcado pelos elementos de Art Nouveau. De acordo com a pesquisa de Moreira [18], na fachada estão presentes: a estátua da deusa da sabedoria, vasos de bronze, duas águias sobre a sacada principal, além de detalhes florais em baixo relevo que contornam a edificação e fortes elementos de características históricas. O edifício apresenta um aspecto notável, assim como as edificações no bairro da Ribeira. Além do estilo eclético a edificação apresenta características do modernismo.

A parte original da edificação foi construída em 1908 e é a região de maior valor patrimonial. No ano de 1910, de acordo com Pereira [19], foi realizada a primeira ampliação no GEAS, e em 1960 houve uma segunda ampliação com características modernistas mais marcantes. Ainda conforme Pereira [19], no prédio funcionou de 1908 a 1954 a Escola Normal de Natal e o anexo do Atheneu Norte-Riograndense, sendo este último de 1952 a 1954. De 1956 a 1973 edificação abrigou a Faculdade de Direito da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), e entre 1999 e 2001 abrigou a Secretaria Pública do Estado. O prédio encontra-se em processo de reestruturação.

4.2. Mapeamento de Danos

Na Figura 2 (Apêndice A) é apresentado o mapeamento de danos da fachada frontal, na qual foram observadas manchas devido à umidade, sujidade e desprendimento do revestimento.

As manchas de umidade podem ser observadas na parte de baixo e do lado na parte de cima, do lado esquerdo, apresentando tonalidade escura. Essas manchas foram possivelmente causadas por umidade ascensional proveniente da absorção de água do solo. Com o tempo essas manchas de umidade podem ter se tornando mais escuras devido à deposição de materiais nos poros do revestimento e pode ser devido a presença de microrganismos.

A água do solo migra por capilaridade por meio dos elementos da edificação em contato com o solo. Essa migração da água, pode ter causado, além das manchas de umidade observadas, a expansão do revestimento, resultando no seu desprendimento. É possível observar que entre as duas janelas da esquerda há presença de sujidade. A umidade ascensional pode ter facilitado a deposição e adesão de partículas no local.

Observa-se a presença de sujidade na parte de cima da fachada, na cimalha e nos detalhes arquitetônicos. Conforme Petrucci [12], a geometria da fachada influencia diretamente na deposição das partículas de sujidade. A saliência da cimalha e dos detalhes arquitetônicos na parte superior favoreceram o incremento de sujidade observado no detalhe da fachada do GEAS.

Além da geometria, conforme Perez [20] e Ulsamer² apud Vieira [21], as dimensões das saliências introduzidas sobre as superfícies das fachadas irão determinar o maior ou menor grau de dissipação do fluxo de água da chuva, de adesão de partículas de sujidades, proporcionando assim condições favoráveis ou não para o estado de conservação do revestimento das fachadas das edificações. É possível observar ainda um escoamento com característica de lavado sujo, ocasionado pela inclinação da platibanda. Esse escoamento de sujidade foi favorecido pela água da chuva que carregou para baixo partículas depositadas na parte de cima da platibanda.

A orientação da fachada frontal para direção oeste, onde recebe maior incidência solar, e a predominância do vento, segundo Barros *et al.* [22], na direção sudeste, influenciaram para menor ocorrência de sujidade ao longo da parede. A maior incidência solar na fachada reduz da umidade relativa do ar, e conseqüentemente, reduz o risco de deposição e adesão das partículas nas superfícies dos paramentos.

² ULSAMER, F. *A humidade na construção civil*. Barcelona: Ediciones, CEAC AS, 1975.

Quando o desprendimento do revestimento atinge um estágio avançado pode ocorrer, a expulsão do revestimento com exposição da alvenaria. Essa manifestação patológica pode ser observada nas laterais da porta da entrada principal do GEAS. No canto direito da figura que mostra o detalhe da entrada da fachada frontal, é possível observar o desprendimento do revestimento na forma de desagregação.

O mapeamento de danos na fachada lateral esquerda é apresentado na Figura 3 (Apêndice A), com indicação das imagens da fachada referente a cada detalhe da fachada. Nessa fachada pode-se observar manchas escuras devido a umidade e sujidade.

A maior parte dessa fachada, mais do lado esquerdo, tem revestimento a base de cimento, logo o revestimento argamassado, possui poros de menor diâmetro, dificultando a evaporação da água na superfície da fachada, facilitando assim a deposição e adesão das partículas. Além disso, essa fachada não recebe muita insolação, isso associado a alta umidade relativa do ar da cidade, já que em Natal, segundo Barros *et al.* [22], a umidade relativa do ar é em média 79,3% e raramente ultrapassa valores menores que 74%. Esses fenômenos favorecem ainda mais a impregnação das partículas no revestimento.

É possível observar que a ausência de pingadeiras na platibanda, na maior parte da fachada, forneceu um plano contínuo na superfície da fachada, favorecendo o escoamento da água e a impregnação das partículas na parte superior da parede.

Observa-se ainda que ocorreu a formação de uma parábola de sujidade. De acordo com Couper³ apud Robinson e Baker [23], a parábola de sujidade é um padrão típico de umedecimento pela chuva de uma parede voltada para a chuva dirigida pelo vento. A chuva dirigida ou carregada pelo vento forma

um ângulo com a vertical [23]. Devido a influência do vento na chuva, esse ângulo vai depender da intensidade e da direção do vento. Portanto, o conjunto chuva-vento resultou na formação da parábola de sujidade apresentada.

Manchas devido à umidade e sujidade foram verificadas no guarda-corpo. As manchas de umidade foram causadas possivelmente pela umidade ascensional, oriunda da absorção de água por capilaridade. As sujidades nos detalhes arquitetônicos do guarda-corpo foram causadas pela deposição e adesão de partículas, favorecidas pelas saliências arquitetônicas.

A Figura 4 (Apêndice A) apresenta o mapa de danos da fachada lateral direita do GEAS, pode-se observar manchas de umidade e sujidade na parte superior da fachada. As manchas de umidade apresentadas, que aparecem na parte inferior do revestimento, pelo seu aspecto, foram causadas provavelmente por umidade ascensional, já observada anteriormente nas outras fachadas.

A sujidade observada no guarda-corpo e na cimalha foi causada pela deposição de adesão de partículas na superfície do revestimento associado à chuva dirigida. As saliências nesses elementos arquitetônicos, como mencionado anteriormente, favorece a incrustação das partículas. Além disso, a alta umidade relativa do ar da cidade, a localização da edificação em área comercial, na qual há grande fluxo de veículos, influenciam diretamente na sujidade.

Verifica-se a presença de sujidade com característica de lavado sujo. A penetração da chuva no revestimento, o impacto e o escoamento da chuva dirigida são responsáveis pelo aparecimento de padrões de superfícies de sujidade, que se tornam característica de muitas edificações [24].

Segundo Karagiozis, Hadjusophocleous e Cao [25], a ação da chuva dirigida na fachada acelera o processo de deterioração e, conseqüentemente, reduz a vida útil do edifício. Na figura, o acúmulo de sujeira,

³ COUPER, R. R. Drainage from vertical surfaces. In: Wind-Driven Rain and the Multi Storey Building. Australia, Division of Building Research, CSIRO, 1972. (Paper, 4).

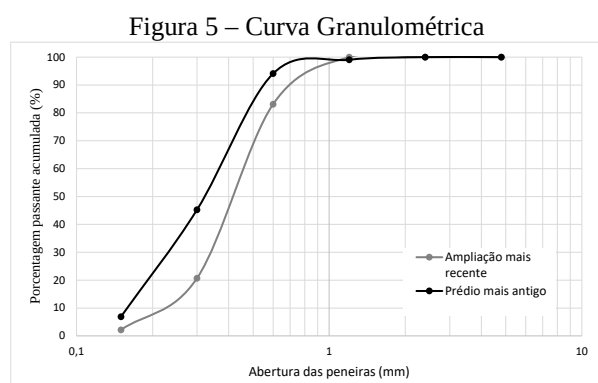
devido à deposição e adesão de partículas no revestimento, proporciona que a água da chuva carregue para baixo grande quantidade de partículas, deixando o revestimento da fachada com sujidade reforçada, causando contraste diferenciado sobre a superfície da fachada.

4.3. Traço e Propriedades Físicas

A partir do ataque com HCl estimou-se o teor aglomerante/agregado das amostras coletadas. Para a parte mais antiga da edificação, que é a que compreende a fachada frontal, obteve-se o teor de 1:4 e para a parte da ampliação mais recente - em que foram empregadas argamassas mais modernas, mas ainda a base de cal - o teor de 1:6.

Os teores encontrados são semelhantes às argamassas de edificações antigas e o teor de 1:4 próximo ao encontrado por Sousa [26] para amostras da fachada e interna do GEAS da parte mais antiga. Essas argamassas têm aspecto quebradiço e são pouco resistentes [26]. Apesar disso, são compatíveis com os materiais empregados na época de construção da edificação.

A partir do agregado obtido, foi possível realizar o teste granulométrico. A Figura 5 mostra a curva granulométrica das amostras coletadas.



Fonte: Autores

A curva mostra que o agregado utilizado tanto no prédio antigo como na ampliação mais recente tem granulometria contínua. Sendo que, o agregado do prédio mais antigo

é um agregado mais fino (Tabela 1) do que o empregado na ampliação mais recente.

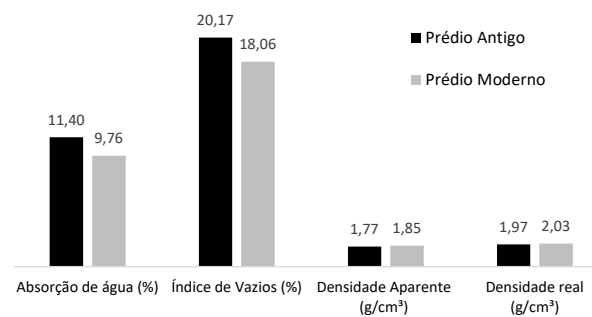
Tabela 1 – Diâmetro máximo e módulo de finura

Local	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de finura
Prédio mais antigo	1,2	1,55
Ampliação mais recente	1,2	1,94

Fonte: Autores

A Figura 6 apresenta as propriedades físicas estudadas das amostras de argamassa do GEAS.

Figura 6 – Propriedades físicas: absorção de água, índice de vazios, densidade aparente e real.



Fonte: Autores

Observa-se que a absorção de água e o índice de vazios da argamassa do prédio antigo são maiores do que para o prédio moderno. Isso evidencia que as argamassas do prédio mais antigo são mais porosas. Conforme Sousa [26], as argamassas mais antigas do GEAS têm presença de argila do tipo caulinita, enquanto as argamassas mais modernas não têm, mas tem forte presença de calcita. Isso pode explicar a maior porosidade das amostras da parte mais antiga em relação à parte mais moderna do GEAS.

No que diz respeito à densidade das argamassas, as amostras têm densidade baixa e semelhante entre si. Isso mostra que as argamassas são leves.

5. Conclusões

Este trabalho buscou analisar as manifestações patológicas e as propriedades físicas das argamassas do Grupo Escolar

Augusto Severo, que é um patrimônio histórico. A partir disso, obteve-se as seguintes conclusões:

a) No Mapa de Danos do Grupo Escolar Augusto Severo foi possível constatar o preocupante estado de degradação das fachadas da edificação. Tal preocupação se deve ao fato da grande quantidade de danos de forma generalizada. As manifestações patológicas encontradas foram principalmente devido à umidade, as quais são manchas escuras, desprendimento do revestimento e sujidade.

b) A maior intensidade dos danos foi observada na região mais recente do GEAS, de 1960, onde a argamassa de revestimento é à base de cimento e observou-se problemas na pintura do revestimento. A falta de manutenção e o estado do revestimento como um todo pode ter favorecido o aparecimento de manifestações patológicas nos revestimentos de argamassa, principalmente relacionadas à umidade.

c) A localização da edificação no centro da cidade associada à alta umidade do ar favoreceu a deposição de partículas na superfície das fachadas. Além disso, a chuva dirigida, influenciada pelo vento, é um fenômeno complexo e que teve um papel importante na forma como a sujidade se apresenta na superfície do revestimento do GEAS de uma das fachadas.

d) No que diz respeito as propriedades físicas, as amostras coletadas mostraram a alta porosidade das argamassas, o que contribuiu para a presença dos danos encontrados.

O estudo permitiu o conhecimento das degradações do GEAS e poderá servir como base para intervenção de conservação e restauro da edificação estudada. Parte deste trabalho foi entregue ao IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional), como relatório de restauro do Grupo Escolar Augusto Severo (GEAS).

6. Referências

- [1] ICOMOS – International Council on Monuments and Sites. *Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do patrimônio arquitetônico*. Tradução para português por: Paulo B. Lourenço e Daniel V. Oliveira. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. 2004.
- [2] APPLETON, João. *Reabilitação de Edifícios Antigos: Patologias e Tecnologia de Intervenção*. 2. ed. Portugal: Orion, 2011. 716 p.
- [3] RABL, Ari. *Air pollution and buildings: An estimation of damage costs in france*. Environmental Impact Assessment Review, 19 (4): 361-385, 1999.
- [4] FLORES-COLEN, Inês; BRITO, Jorge de; FREITAS, Vasco P. de. *Stains in facades' rendering – Diagnosis and maintenance techniques' classification*. Construction and Building Materials, 22(3): 211-221, 2008.
- [5] MAGALHÃES, A. Cristian. *Patologia de revestimentos antigos*. LNEC, Cadernos de Edifícios, nº 2, 2002.
- [6] ALUCCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO, S. *Bolor em edifícios: causas e recomendações*. In: Tecnologia de edificações. Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Editora Pini, São Paulo, p.565-570, 1988.
- [7] HENS, H. L. S. C. *Fungal defacement in buildings: a performance related approach*. HVAC and R Research, 5 (3): 265–280, 1999.
- [8] BAUGHMAN, A. V.; ARENS, E. A. *Indoor Humidity and Human Health–Part I: Literature Review of Health Effects of Humidity- Influenced Indoor Pollutants*. ASHRAE Trans, 102: 193–211, 1996.
- [9] SHIRAKAWA, M. A. *et al. Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente*. In: I

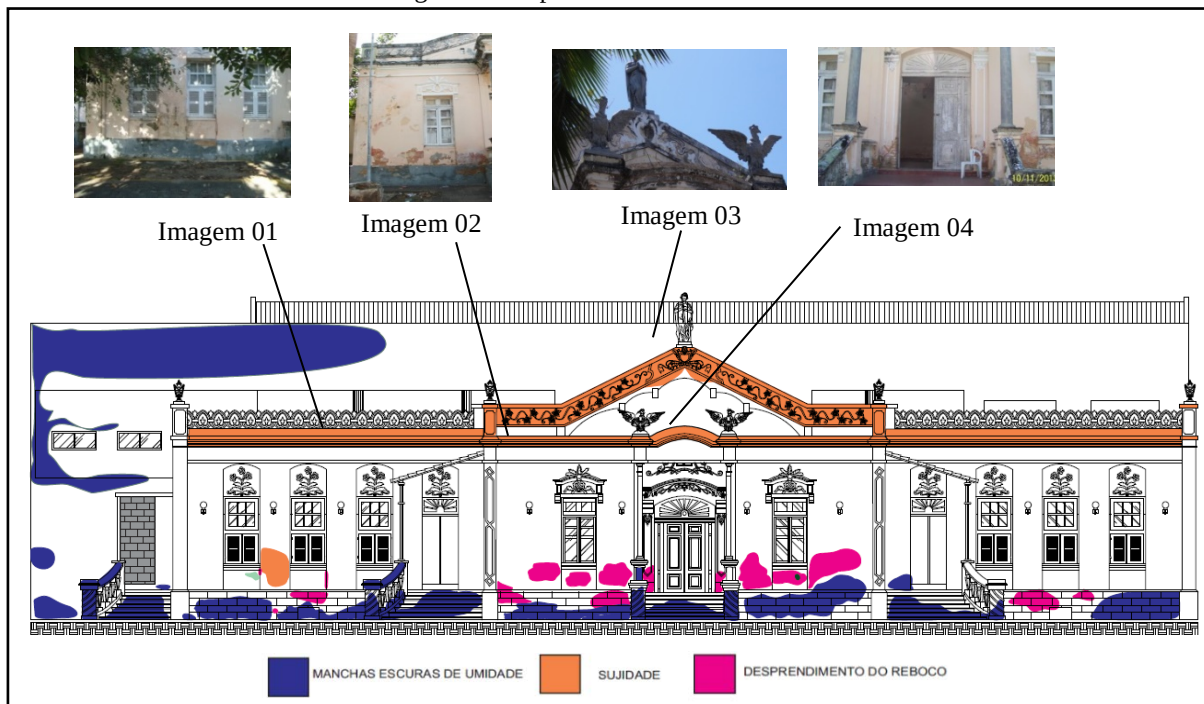
- Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, 1995.
- [10] WATT, J. *et al.* Soiling. In: WATT, JOHN; TIDBLAD, JOHAN; KUCERA, VLADIMIR; HAMILTON, RON (Ed.). *The Effects of Air Pollution on Cultural Heritage*. Springer Us, 4.: 105-126, 2009.
- [11] VALLEJO, F. J. L. *Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica; análisis y prevención*. Valladolid: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 1990.
- [12] PETRUCCI, H. M. C. *A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída*. Porto Alegre: UFRS, 2000.
- [13] BARTHEL, C.; LINS, M.; PESTANA, F. *O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico*. In: Congresso Iberoamericano y VIII Jornada “Técnicas de Restauración e Conservación Del Patrimonio”. La Plata, Buenos Aires, Argentina. 20 p, 2009.
- [14] LICHTENSTEIN, N.B. *Patologia das Construções: Procedimentos para Diagnóstico e Recuperação*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, Boletim Técnico n. 6, 1986.
- [15] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2022.
- [16] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 2009.
- [17] FERREIRA, A. L.; DANTAS, G. (Org). *Surge et ambula: a construção de uma cidade moderna (Natal, 1890-1940)*. Natal: EDUFRN, 305 p, 2006.
- [18] MOREIRA, A. Z. M. *Um espaço pioneiro de modernidade educacional: Grupo Escolar Augusto Severo - Natal/RN (1908-1913)*. Natal: UFRN, 2005.
- [19] PEREIRA, A. C. *A contribuição de técnicas modernas de reabilitação estrutural para autenticidade e integridade de edificações patrimoniais*. Natal: UFRN, 2012.
- [20] PEREZ, A.R. *Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas (1ª parte)*. In: Tecnologia de edificações. Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Editora Pini/IPT, São Paulo, p. 571-574, 1988.
- [21] VIEIRA, A. de A. *Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro histórico de Porto Alegre: estudo de caso*. Porto Alegre: UFRS, 2005.
- [22] BARROS, J. D. *et al.* Sazonalidade do vento na cidade de Natal/RN pela distribuição de Weibull. Sociedade e Território, Natal, v. 25, n. 2, p. 78-92, jul/dez, 2013.
- [23] ROBINSON, G.; BAKER, M. C. *Wind-driven rain and buildings*. Ottawa: National Research Council Canada, Division of Building Research, Technical Paper, 445, 1975.
- [24] BLOCKEN, B.; DEROME, D.; CARMELIET, J. *Rainwater runoff from building facades: A review*. Building and Environment, 60: 339-361, 2013.
- [25] KARAGIOZIS, Achilles; HADJISOPHOCLEOUS, George; CAO, Shu. *Wind-driven rain distributions on*

two buildings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 67-68: 559-572, 1997.

[26] SOUSA, A. K. D. *Argamassas do grupo escolar Augusto Severo/RN: caracterização e incidência de manifestações patológicas*. Natal: UFRN, 2014.

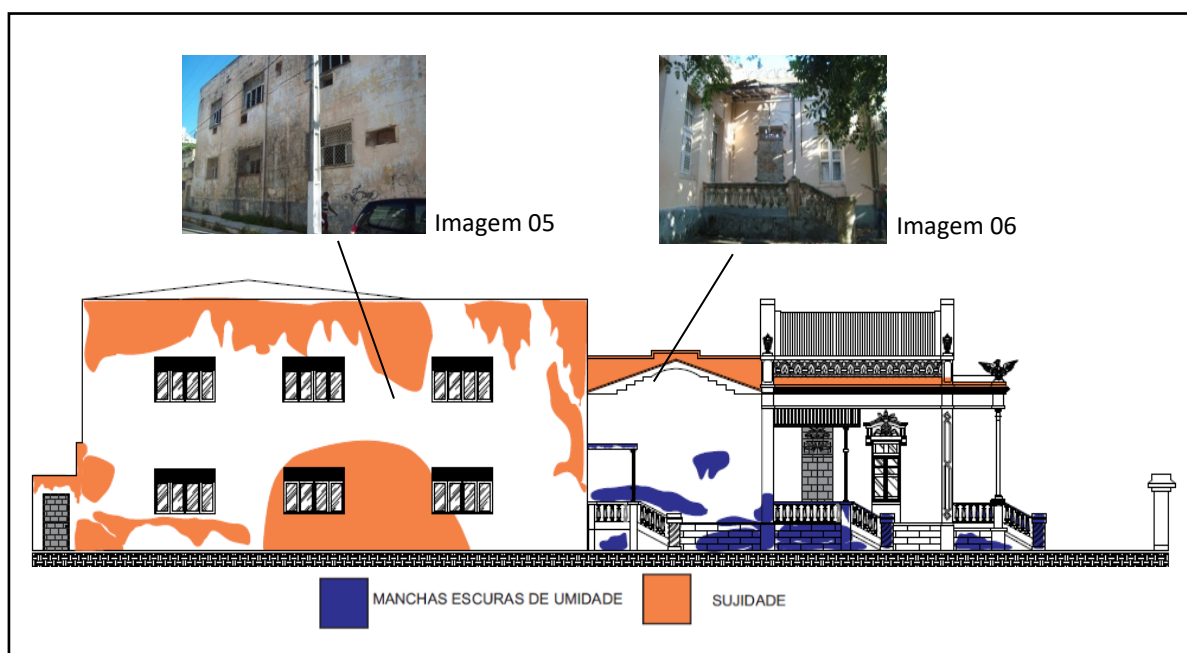
7. Apêndice A

Figura 2 - Mapa de danos: Fachada frontal.



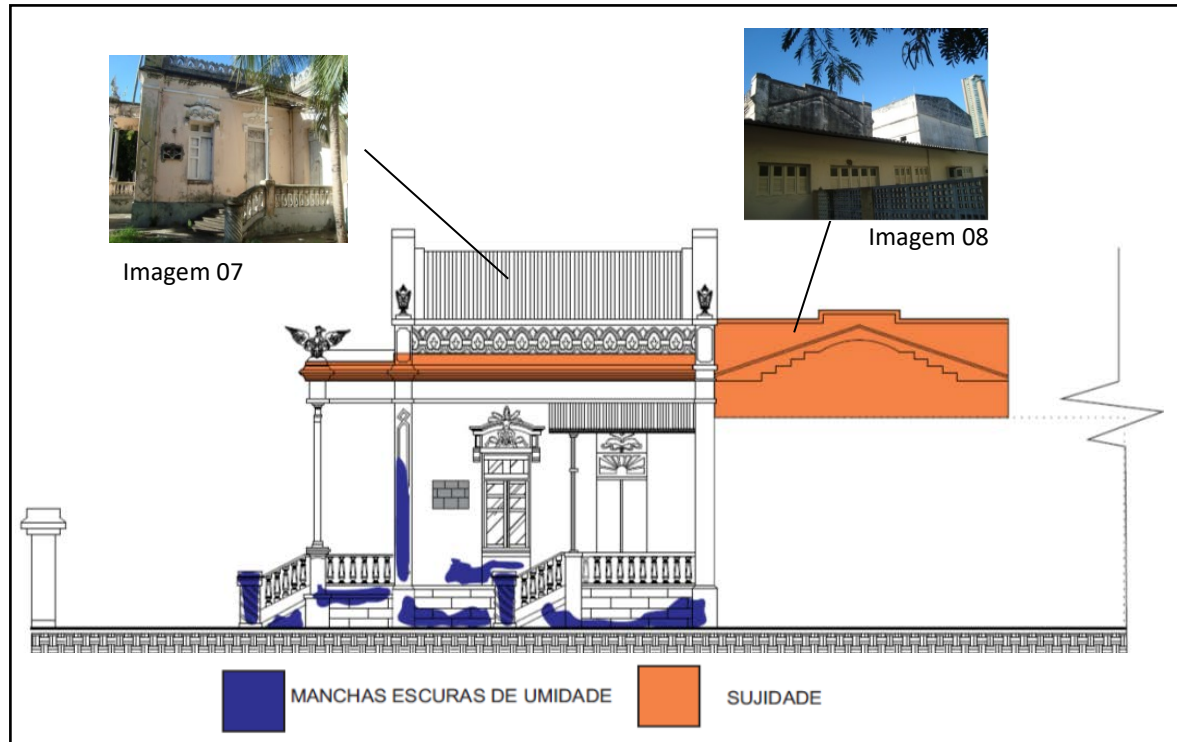
Fonte: Adaptado de Pereira [19].

Figura 3 - Mapa de danos: Fachada lateral esquerda.



Fonte: adaptado de Pereira [19].

Figura 4 - Mapa de danos: Fachada lateral direita do GEAS.





Argamassas de Cal com Agregados Reciclados de Argamassa: Influência do Processo de Desagregação

Lime Mortars with Recycled Mortar Aggregates: Influence of the Disintegration Process

SILVA, Bruna¹; BRAVO, Miguel²; PEREIRA, Manuel Francisco Costa³; FERREIRA PINTO, Ana Paula⁴

bruna.silva@tecnico.ulisboa.pt¹; miguelnbravo@tecnico.ulisboa.pt²; mfcp@tecnico.ulisboa.pt³; anapinto@civil.ist.utl.pt⁴

¹ Doutora em Engenharia Civil, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal.

^{2, 4} Prof.(a) Doutor(a) em Engenharia Civil, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal.

³ Prof. Doutor em Engenharia de Minas, CERENA, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Argamassa de cal
Agregados reciclados
Reutilização
Economia circular

Keywords:
Lime mortar
Recycled aggregates
Reuse
Circular economy

Resumo:

A crescente procura por materiais de construção tem levado à escassez progressiva de areia natural e ao aumento dos resíduos de construção e demolição (RCD), uma parte significativa dos quais continua a ser depositada em aterro. A utilização de agregados reciclados provenientes de RCD oferece uma solução sustentável para ambos os desafios, promovendo a eficiência dos recursos e uma economia circular no setor da construção. No entanto, embora os agregados reciclados derivados de RCD à base de cimento tenham sido amplamente estudados, os provenientes de materiais à base de cal permanecem, em grande medida, pouco explorados. Este estudo apresenta uma avaliação inicial das características dos agregados reciclados obtidos a partir de argamassas de cal aérea carbonatada, bem como do desempenho de novas argamassas de cal aérea formuladas com esses agregados. Foram utilizados dois métodos de desagregação (britadeira de maxilas e moinho de bolas), tendo sido avaliada a sua influência nas propriedades dos agregados. Posteriormente, foram analisadas as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido (após carbonatação acelerada). Verificou-se que os agregados obtidos por britadeira de maxilas (ARB) apresentaram maior quantidade de pasta aderida, menor massa volúmica e maior absorção de água face aos obtidos por moinho de bolas (ARM). Por conseguinte, as argamassas com ARB necessitaram de mais água para o mesmo espalhamento, o que se traduziu numa maior porosidade, coeficiente de capilaridade e teor de água às 48 horas, mas também em resistências mecânicas superiores face à argamassa de referência. Ambos os agregados revelaram potencial para aplicação em argamassas de reabilitação, sendo, contudo, necessários estudos complementares.

Abstract

The growing demand for construction materials has led to the increasing scarcity of natural sand and a surge in construction and demolition waste (CDW), a significant portion of which continues to be landfilled. Utilizing recycled aggregates from CDW offers a sustainable solution to

both challenges, promoting resource efficiency and a circular economy in the construction sector. However, while recycled aggregates from cement-based CDW have been extensively studied, those derived from lime-based materials remain largely underexplored. This study presents an initial assessment of the characteristics of recycled aggregates obtained from carbonated air lime mortars, as well as the performance of new air lime mortars formulated with them. Two mechanical disaggregation methods (jaw crushing and ball milling) were used, and their influence on aggregate properties was evaluated. The fresh and hardened state (after accelerated carbonation) properties of the mortars were then assessed. Aggregates obtained with the jaw crusher (RAJC) exhibited a higher amount of adhered paste, lower density, and greater water absorption compared to those obtained with the ball mill (RABM). As a result, mortars incorporating RAJC required more water to achieve the same workability, leading to increased porosity, higher capillary absorption, and greater water content after 48 hours in immersion. Despite these characteristics, they showed higher mechanical strength than the reference air lime mortar produced with natural sand. Both recycled aggregates demonstrated potential for use in restoration mortars, although further research is required.

1. Introdução

Os agregados são um dos principais componentes do betão e das argamassas. No entanto, o aumento da produção e utilização destes materiais de construção, impulsionado pelo rápido crescimento urbano e populacional, tem contribuído para uma extração excessiva de areia, conduzindo à sua crescente escassez [1]. Simultaneamente, os resíduos de construção e demolição (RCD) representam cerca de 30% dos resíduos sólidos gerados a nível global, estimando-se que cerca de 35% ainda sejam depositados em aterro [2]. Esta realidade evidencia a necessidade premente de valorizar e reutilizar estes materiais, com vista à redução do seu impacto ambiental. Assim, a utilização de agregados reciclados produzidos a partir de RCD constitui uma estratégia promissora para enfrentar ambos os desafios, ao mesmo tempo que promove uma economia circular no setor da construção. Neste contexto, os resíduos de alvenaria à base de cal representam uma fonte valiosa, mas pouco aproveitada, de agregados reciclados.

A cal foi o ligante por excelência até ao início século XX. Devido à sua prevalência histórica, os edifícios de alvenaria com argamassas de cal como material de

assentamento ou reboco são comuns em todo o mundo. Em Portugal, sabe-se apenas que um número significativo dos mais de 1,5 milhões de edifícios de alvenaria existentes (num parque edificado total de 3 milhões) terá sido construído utilizando argamassas de cal [3]. Assim, este tipo de resíduos constitui uma parte relevante de todos os RCD gerados. Devido à sua reduzida resistência mecânica, é possível separar facilmente a argamassa das unidades resistentes que constituem a alvenaria [4] e, em seguida, os grãos de areia da matriz de cal, podendo obter-se agregados reciclados com pequenas quantidades de pasta.

Apesar do seu potencial, a reutilização dos resíduos de alvenaria de cal provenientes de intervenções de requalificação, conservação, restauro ou mesmo demolição (quando não possuem valor histórico ou patrimonial) ou colapso destes edifícios tem sido pouco explorada, ao contrário do que sucede com os resíduos de materiais cimentícios.

Entre os fatores que influenciam as propriedades dos agregados reciclados, destaca-se o método de desagregação aplicado aos resíduos. Este processo impacta diretamente a composição, a granulometria e,

por consequência, a absorção de água, a massa volúmica, entre outras características [5, 6], o que influencia o potencial de reutilização dos agregados na formulação de novas argamassas.

Tendo em conta o exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma primeira avaliação: (i) das características dos agregados reciclados provenientes de argamassas de cal aérea, obtidos por diferentes métodos de desagregação mecânica, e (ii) do desempenho físico e mecânico das argamassas formuladas com esses agregados. Para tal, foram selecionados dois métodos distintos de desagregação: britadeira de maxilas, que origina agregados reciclados com maior quantidade de pasta aderida, e moinho de bolas (operado sem esferas, promovendo essencialmente a desagregação por atrito) que origina agregados com uma quantidade de pasta aderida significativamente inferior. Com base nos resultados obtidos, pretende-se avaliar o potencial destes agregados reciclados para a produção de novas argamassas.

Com este estudo pretende-se contribuir para a sustentabilidade e para a transição para uma economia circular no setor da construção, através da valorização de resíduos de construção e demolição, e para a redução dos impactos ambientais associados à extração de areia natural e à deposição de resíduos em aterro.

2. Trabalho experimental

2.1 Materiais

Como material de base para a obtenção dos agregados reciclados, foi produzida uma argamassa de cal aérea com um traço volumétrico de 1:2 (ligante:areia), utilizando-se uma cal aérea do tipo CL 80-S (de acordo com a EN 459-1:2002 [7]) da Calcidrata (Portugal) como ligante e agregado fino silicioso, com granulometria 0/4 mm (de acordo com a EN 13139:2002 [8]), fornecido pela empresa Soarvamil (Portugal). A relação água/ligante (a/l) foi fixada em 1,0, de modo

a garantir uma consistência adequada para a moldagem dos provetes.

Foram moldados provetes prismáticos com as dimensões normalizadas de $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$, conforme especificado na EN 1015-2: 1998 [9], que permaneceram armazenados em câmara seca ($60 \pm 10 \text{ \% RH}$ e $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) durante os primeiros 7 dias. Decorrido esse período, os provetes foram desmoldados e transferidos para uma câmara de carbonatação ($5 \text{ \% CO}_2$, $60 \text{ \% RH}$ e $23 \text{ }^\circ\text{C}$) durante mais 7 dias, de forma a promover a sua completa carbonatação, seguindo um procedimento previamente estabelecido pelos autores [10].

Após o período de carbonatação acelerada, três destes provetes foram selecionados para caracterização mecânica, tendo a argamassa de base apresentado uma resistência à tração por flexão de $0,56 \pm 0,09 \text{ MPa}$ e uma resistência à compressão de $2,07 \pm 0,14 \text{ MPa}$, determinadas com base na EN 1015-11: 1999 [11]. Os restantes provetes foram desagregados por um de dois métodos distintos: (i) uma passagem única pela britadeira de maxilas, regulada para um espaçamento de 5 mm (agregado designado por ARB), ou (ii) moagem durante 5 minutos no moinho de bolas, sem adicionar as esferas (agregado designado por ARM). Os agregados reciclados obtidos foram sujeitos a ensaios de caracterização, nomeadamente à análise da sua granulometria e à determinação do respectivo módulo de finura (EN 933-1:2012 [12]).

O material desagregado foi depois peneirado, e as diferentes fracções granulométricas foram combinadas de modo a reproduzir a curva granulométrica do agregado natural, com o intuito de permitir uma comparação mais directa dos agregados e da sua influência nas propriedades das argamassas com eles produzidos. Os agregados reciclados foram depois sujeitos à determinação da baridade (EN 1097-3:1998 [13]), da massa volúmica e da absorção de água (EN 1097-6:2013 [14]). Para efeitos de comparação, os mesmos ensaios foram

também realizados ao agregado natural (designado por AN).

2.2 Formulações de argamassa

Inicialmente, foi produzida uma argamassa de referência (REF), utilizando areia siliciosa natural (idêntica à utilizada na argamassa de base) e cal aérea do tipo CL 90-S da Calcidrata (Portugal) como ligante, mantendo-se o traço volumétrico da argamassa de base (1:2). A relação a/l foi ajustada para 1,1, de forma a garantir uma consistência de 155 ± 5 mm, determinada de acordo com o ensaio da mesa de espalhamento (EN 1015-3:1999 [15]).

Subsequentemente, foram produzidas argamassas com agregados reciclados, mantendo-se o mesmo ligante, o mesmo traço volumétrico e ajustando-se a relação a/l de forma a garantir uma consistência idêntica à da argamassa de referência (155 ± 5 mm). Foram, assim, estudadas duas formulações de argamassa com agregados reciclados: a argamassa ARB-CF, utilizando material proveniente da britadeira de maxilas, e a argamassa ARM-CF, recorrendo ao material obtido através do moinho de bolas.

Com base na baridade dos diferentes constituintes, o traço volumétrico adoptado (1:2) foi convertido em traço ponderal, de forma a permitir um cálculo mais rigoroso das quantidades de materiais necessárias para cada amassadura.

As argamassas foram produzidas com base na EN 1015-2:1998 [9]. Primeiramente, procedeu-se à introdução do agregado e da água na misturadora, sendo adicionada a cal aérea apenas após 30 segundos de mistura. Para a caracterização física e mecânica das diferentes formulações, foram moldados provetes prismáticos com dimensões de $160 \times 40 \times 40$ mm³, também de acordo com a EN 1015-2: 1998 [9], os quais foram sujeitos às mesmas condições de cura que a argamassa de base: 7 dias em câmara seca (60 ± 10 % RH e 20 ± 5 °C), seguidos de 7 dias em câmara de carbonatação (5 % CO₂, 60 % RH e 23 °C).

2.3 Ensaio

No estado fresco, foi determinada a consistência por espalhamento das argamassas de acordo com a EN 1015-3:1999 [15], e a respectiva massa volúmica de acordo com a EN 1015-6:1998 [16].

No estado endurecido, avaliaram-se as resistências à tração por flexão e à compressão segundo a EN 1015-11:1999 [10], a porosidade aberta conforme a RILEM Test I.1 [17], o teor em água após 48 horas de imersão de acordo com a RILEM Test II.1 [19], e a absorção de água por capilaridade com base na EN 1015-18:2002 [20]. Neste último ensaio, o coeficiente de capilaridade foi calculado considerando o declive da parte linear da curva de absorção de água.

3. Resultados

3.1 Propriedades dos agregados reciclados

A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas da areia natural e dos agregados reciclados obtidos após os processos de desagregação e antes de serem peneirados de modo a reproduzir a curva granulométrica do agregado natural, enquanto a Figura 2 ilustra o aspecto visual das fracções granulométricas dos materiais reciclados após peneiração. Como pode ser observado, uma passagem das argamassas pela britadeira de maxilas (agregado ARB) resultou na obtenção de uma maior percentagem de partículas com dimensão acima de 0,5 mm, correspondentes a grãos de agregado com pasta aderida. Devido a esta diferença na curva granulométrica, obteve-se um agregado com um módulo de finura (MF) superior (Figura 1) ao do agregado natural. Refira-se que a abertura da britadeira foi ajustada para 5 mm, de forma a evitar a fragmentação das partículas de areia natural (AN), preservando assim a integridade dos grãos maiores.

Por sua vez, a desagregação pelo moinho de bolas (agregado ARM) originou um agregado reciclado com uma maior percentagem de partículas inferiores a 2 mm, correspondentes a fragmentos de pasta.

Acima desse valor, a distribuição granulométrica é semelhante à da areia natural, o que indica que as partículas de areia de maior dimensão obtidas por este processo apresentavam pouca pasta aderida. Esta diferença na distribuição granulométrica resultou num módulo de finura do agregado ARM inferior ao da areia natural (Figura 1).

Figura 1 – Curvas granulométricas da areia natural (AN) e dos agregados reciclados (ARB e ARM) e respectivo módulo de finura (MF)

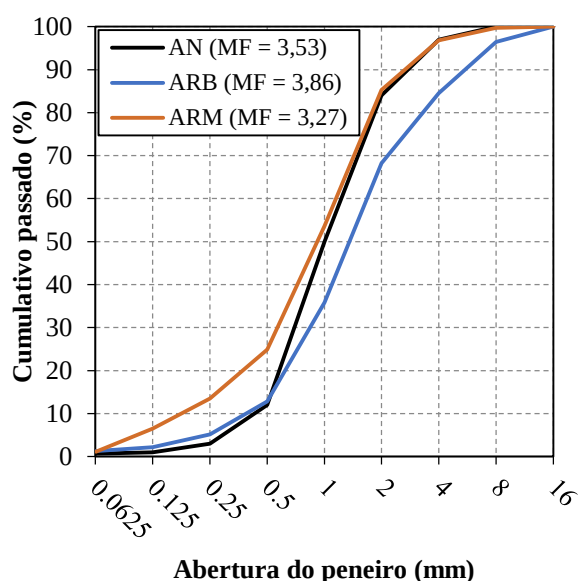
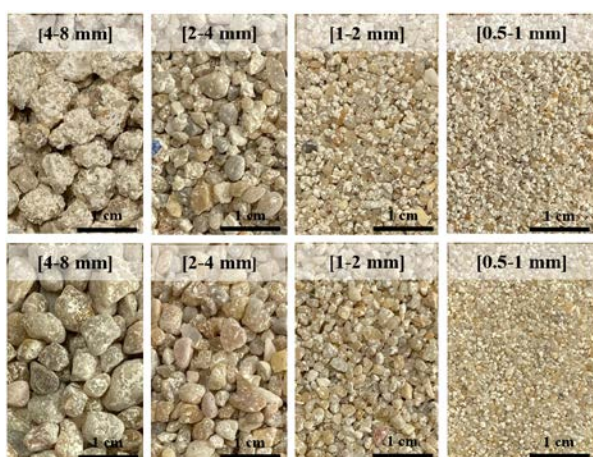


Figura 2 – Aspecto das fracções granulométricas dos agregados reciclados após peneiração, obtidos através de: britadeira de maxilas – ARB (em cima) e moinho de bolas – ARM (em baixo)



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Após peneiração, as diferentes fracções de cada agregado reciclado foram combinadas de modo a compor uma curva granulométrica semelhante à da areia natural. As partículas

de dimensões superiores a 4 mm e inferiores a 0,063mm foram excluídas de todos os agregados. Posteriormente, estes agregados foram submetidos a ensaios de caracterização, cujos resultados (valores médios) são apresentados na Tabela 1.

Como se pode observar na Figura 2, o agregado britado (ARB) apresentou uma maior quantidade de pasta aderida, evidenciada pela sua menor massa volúmica, maior absorção de água e menor baridade (Tabela 1). Com base no valor das massas volúmicas, estima-se que a quantidade de pasta aderida seja de cerca de 13% para o agregado ARB e de 8% para o ARM.

Tabela 1 – Propriedades da areia natural (AN) e dos agregados reciclados (ARB e ARM)

Agregado	ρ_{rd} (kg/m ³)	ρ_{ssd} (kg/m ³)	WA _{24h} (%)	ρ_b (kg/m ³)
AN	2610	2620	0,3	1537
ARB	2268	2411	6,3	1243
ARM	2402	2481	3,3	1427

ρ_{rd} – massa volúmica dos agregados secos em estufa;
 ρ_{ssd} – massa volúmica dos agregados saturados com superfície seca; WA_{24h} – absorção de água após 24h;
 ρ_b – baridade.

3.2 Propriedades no estado fresco das argamassas com agregados reciclados

A Tabela 2 apresenta os valores da relação a/l necessários para a obtenção de um espalhamento fixo de 155 ± 5 mm, bem como a massa volúmica das argamassas no estado fresco.

Tabela 2 – Formulações e propriedades das argamassas no estado fresco

Argamassa	Traço vol.	Traço pond.	Rel. a/l	Esp. (mm)	ρ_m (kg/m ³)
REF		1:4,7	1,10	153	1982
ARB-CF	1:2	1:3,8	1,30	155	1879
ARM-CF		1:4,4	1,18	153	1977

ρ_m – massa volúmica da argamassa no estado fresco.

Como seria expectável, as argamassas produzidas com agregado reciclado necessitaram de uma maior relação a/l para atingir o mesmo espalhamento, tendo este

valor sido mais elevado na argamassa ARB-CF (aumento de 18%). Este comportamento deve-se à maior quantidade de pasta residual aderida nos agregados obtidos pela britadeira de maxilas (estimada em 13%), em comparação com a presente nos agregados provenientes do moinho de bolas (estimada em 8%). Como consequência, verificou-se uma diminuição proporcional da massa volúmica das argamassas frescas, explicada não só pela menor massa volúmica dos agregados reciclados, devido à presença da pasta aderida, mas também pela maior quantidade de água (constituente com a menor massa volúmica) necessária para atingir a consistência pretendida.

3.3 Propriedades no estado endurecido das argamassas com agregados reciclados

A Tabela 3 apresenta os resultados (valor médio $\pm$ desvio-padrão) obtidos para a resistência à tracção por flexão e para a resistência à compressão das argamassas, após terem sido sujeitas a carbonatação acelerada. Como se pode observar, verificou-se um aumento significativo nas resistências à tração (43%) e à compressão (26%) das argamassas contendo agregados reciclados provenientes da britadeira de maxilas (ARB-CF), face à argamassa de referência (REF). Por outro lado, as argamassas com agregados reciclados obtidos por moagem em moinho de bolas (ARM-CF) apresentaram uma resistência à tração ligeiramente inferior (diferença de 12%) e um pequeno aumento da resistência à compressão (diferença de 8%), face à argamassa de referência.

A maior resistência mecânica observada na argamassa M-RAJC poderá estar relacionada com uma melhor ligação entre a pasta e a pasta aderida presente nos agregados reciclados. Tal desempenho provavelmente resulta da superfície mais rugosa, irregular e porosa dos agregados reciclados em comparação com os agregados naturais, o que proporciona uma superfície específica maior [21] e favorece a interpenetração da pasta na sua superfície, promovendo assim a formação de uma zona de transição interfacial (ITZ) mais coesa e com menor porosidade. Nesta

formulação, essa melhoria na ITZ pode ter compensado o aumento da porosidade aberta (Tabela 3) causado pela maior relação a/l utilizada. Este resultado vai ao encontro do obtido por Stefanidou et al. [22], embora, nesse estudo, tenham sido utilizados agregados reciclados provenientes de RCDs mistos (betão, cerâmicos, gesso, vidro e asfalto), e o aumento de resistência mecânica tenha sido atribuído à reação entre a cal e os constituintes siliciosos presentes nos agregados reciclados. Neste sentido, o acréscimo moderado de resistência observado revela-se particularmente promissor para a utilização de agregados reciclados em argamassas de cal, dado que a melhoria das propriedades mecânicas constitui uma mais-valia relevante.

Já no caso da argamassa ARM-CF, a resistência mecânica obtida foi muito semelhante à da argamassa de referência, o que poderá ser justificado pelo menor teor de pasta aderida, cujo efeito benéfico na melhoria da ITZ não terá sido suficiente para compensar o impacto negativo de uma relação a/l mais elevada relativamente à REF.

Tabela 3 – Resistência mecânica das argamassas no estado endurecido, após carbonatação acelerada

Argamassa	f_f (MPa)	f_c (MPa)
REF	$0,47 \pm 0,05$	$2,47 \pm 0,08$
ARB-CF	$0,67 \pm 0,04$	$3,10 \pm 0,13$
ARM-CF	$0,42 \pm 0,02$	$2,68 \pm 0,02$

f_f – resistência à tracção por flexão; f_c – resistência à compressão.

Na Tabela 4 encontram-se os resultados (valor médio $\pm$ desvio-padrão) obtidos para as propriedades físicas das argamassas, após terem sido sujeitas a carbonatação acelerada. Relativamente à porosidade aberta, verificou-se que as argamassas com incorporação de agregados reciclados apresentaram valores superiores de porosidade comparativamente à argamassa de referência. Em particular, a argamassa com agregados reciclados provenientes da britadeira de maxilas (ARB-CF) registou um aumento de 30%, enquanto a argamassa com agregados reciclados obtidos

através do moinho de bolas (ARM-CF) apresentou um aumento de 6%. Este incremento da porosidade poderá ser atribuído, por um lado, à maior relação a/l utilizada nas formulações com agregados reciclados e, por outro, à presença de pasta aderida nos próprios agregados, sendo a influência de ambos os factores mais acentuada no caso da argamassa ARB-CF. Resultados idênticos foram obtidos por Stefanidou et al. [22], que também associaram a utilização de agregados reciclados a um aumento da porosidade em argamassas de cal.

A maior porosidade aberta das argamassas com agregados reciclados refletiu-se num coeficiente de absorção de água por capilaridade superior, bem como num maior teor em água após 48 horas de imersão, conforme apresentado na Tabela 4. Em ambos os casos, o agregado obtido através da britadeira de maxilas (ARB) foi o que originou os maiores acréscimos, com aumentos de 35% no teor em água e de 8% no coeficiente de capilaridade, face à argamassa de referência. Por sua vez, o agregado obtido através do moído de bolas (ARM) deu origem a aumentos de 16% no teor em água e de 5% no coeficiente de capilaridade, relativamente à mesma referência. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por outros autores que estudaram a incorporação de agregados reciclados de diferentes origens em argamassas de cimento [23, 24, 25].

Tabela 4 – Propriedades físicas das argamassas no estado endurecido, após carbonatação acelerada

Argamassa	P_{ab} (%)	C ($\text{kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0.5}$)	W_{48h} (%)
REF	$29,1 \pm 1,3$	$1,92 \pm 0,27$	$11,5 \pm 0,04$
ARB-CF	$37,7 \pm 2,7$	$2,09 \pm 0,06$	$17,8 \pm 0,07$
ARM-CF	$30,9 \pm 0,1$	$2,03 \pm 0,24$	$13,7 \pm 0,04$

P_{ab} – porosidade aberta; C – coeficiente de absorção de água por capilaridade; W_{48h} – teor em água após 48h de imersão.

4. Conclusões

Neste trabalho foram estudadas argamassas de cal aérea produzidas com agregados resultantes da reciclagem de argamassas de cal aérea artificialmente carbonatadas. Estas últimas foram desagregadas por dois métodos distintos: britadeira de maxilas (ARB) ou moinho de bolas (ARM). Os agregados obtidos pelo primeiro processo apresentaram uma quantidade de pasta aderida superior, o que se refletiu numa menor massa volúmica, maior absorção de água e menor baridade, quando comparados com os agregados obtidos através do segundo processo.

No que diz respeito às propriedades das argamassas, as formulações com ARB requereram uma maior relação a/l para atingir o mesmo espalhamento da argamassa de referência. Esta maior necessidade de água traduziu-se numa porosidade aberta superior, o que, por sua vez, conduziu a um coeficiente de capilaridade e a um teor em água às 48 horas mais elevado. Por contraste, as argamassas com ARM apresentaram propriedades físicas mais próximas da argamassa de referência. No entanto, as argamassas com ARB registaram uma resistência mecânica mais elevada (acrécimo de 43% à flexão e 26% à compressão) do que a da argamassa de referência, resultado que poderá estar associado a uma melhor ligação entre a pasta e os agregados reciclados do que entre a pasta e os agregados naturais. Este efeito será objeto de investigação complementar num estudo futuro.

Apesar das diferenças de desempenho observadas entre os dois tipos de agregados reciclados, verificou-se que ambos apresentam potencial para serem utilizados na produção de argamassas de cal aérea, sobretudo considerando que o desempenho das formulações pode ser otimizado com a incorporação de adjuvantes redutores de água. No entanto, estes resultados deverão ser consolidados com a realização de um estudo mais abrangente.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro atribuído pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através do: (i) projeto UIDB/04625/2025 da unidade de investigação CERIS; (ii) projecto 2023.11492.PEX; e (iii) contrato 2023.06796.CEECIND da primeira autora.

6. Referências

- [1] TORRES, A.; BRANDT, J.; LEAR, K.; LIU, J. A looming tragedy of the sand commons. *Science*, v. 357, n. 6355, p. 970-971, 2017.
- [2] KABIRIFAR, K.; MOJTAHEDI, M.; WANG, C.; TAM, V. W. Y. Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: a review. *Journal of Cleaner Production*, v. 263, p. 121265, 2020.
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (INE). Censos da população e habitação: Censos 2001, Portugal. Lisboa: INE, 2003.
- [4] HALLIDAY, S. *Sustainable Construction*. 1. ed. London: Routledge, 2018.
- [5] HUBERT, J. et al. Effect of crushing method on the properties of produced recycled concrete aggregates. *Buildings*, v. 13, n. 9, p. 2217, 2023.
- [6] SBARDELOTTO, E. K. et al. Influence of recycling processes on properties of fine recycled concrete aggregates (FRCA): an overview. *Waste*, v. 2, p. 136–152, 2024.
- [7] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 459-1:2015 – Building lime – Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria. Brussels, 2015.
- [8] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 13139:2002 – Aggregates for mortar. Brussels, 2002.
- [9] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 1015-2:1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. Brussels, 1999.
- [10] SILVA, B. A. et al. Effects of natural and accelerated carbonation on the properties of lime-based materials. *Journal of CO₂ Utilization*, v. 49, p. 101552, 2021.
- [11] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 1015-11:1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels, 1999.
- [12] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 933-1:2012 – Tests for geometrical properties of aggregates – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method. Brussels, 2012.
- [13] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 1097-3:1998 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 3: Determination of loose bulk density and voids. Brussels, 1998.
- [14] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 1097-6:2013 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 6: Determination of particle density and water absorption. Brussels, 2013.
- [15] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 1015-3:1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels, 1999.
- [16] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 1015-6:1998 – Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. Brussels, 1998.

- [17] ASTM INTERNATIONAL. ASTM E1876-01 – Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. West Conshohocken: ASTM International, 2006.
- [18] RILEM TC 25 PEM. Test I.1 – Porosity accessible to water. Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. *Materials and Structures*, v. 13, p. 177-179, 1980.
- [19] RILEM TC 25 PEM. Test II.1 – Saturation coefficient. Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. *Materials and Structures*, v. 13, p. 177-179, 1980.
- [20] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 1015-18:2002 – Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels, 2002.
- [21] SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes. *Construction and Building Materials*, v. 105, p. 400-415, 2016.
- [22] STEFANIDOU, M.; ANASTASIOU, E.; GEORGIADIS FILIKAS, K. Recycled sand in lime-based mortars. *Waste Management*, v. 34, n. 12, p. 2595-2602, 2014.
- [23] MARTÍNEZ, I. et al. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. *Construction and Building Materials*, v. 49, p. 384-392, 2013.
- [24] MORA-ORTIZ, R. S. et al. Mechanical behavior of masonry mortars made with recycled mortar aggregate. *Materials*, v. 13, n. 10, p. 2373, 2020.
- [25] INFANTE GOMES, R.; PEDERNEIRAS, C.; FARINHA, C.; VEIGA, M. R.; BRITO, J.; FARIA, P. Argamassas com agregados reciclados de RCD submetidos a carbonatação forçada: avaliação do seu comportamento em aplicações em suporte de tijolo. IV Simpósio Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, ITECONS, Coimbra, 2022.



Argamassas inovadoras para reabilitação de paredes de tabique

Innovative mortars for the rehabilitation of partition walls.

TORRES, Isabel¹; VELOSA, Ana²; SOARES, Kátia³

itorres@dec.uc.pt¹; avelosa@ua.pt²; katiamariapereirasoaes2016@gmail.com³.

¹ CERIS, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Itecons | Portugal

² CERIS, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro | Portugal

³ Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra | Portugal

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Tabique

Argamassa de terra e cal

Sustentabilidade

Keywords:

Partition wall,

Earth and lime mortar,

Sustainability

Resumo:

As paredes de tabique representam uma técnica construtiva tradicional e sustentável, amplamente difundida em Portugal até meados do século XX. Caracterizam-se pela utilização de materiais naturais e locais, como madeira, terra e cal na construção de paredes, principalmente interiores. Atualmente, muitas dessas estruturas encontram-se em avançado estado de degradação, especialmente no que concerne aos seus revestimentos, exigindo intervenções de reabilitação que respeitem as características originais dos materiais e técnicas empregues. A compreensão detalhada das propriedades físicas e mecânicas das argamassas de tabique é essencial para o desenvolvimento de estratégias de intervenção adequadas, que respeitem as especificidades construtivas e materiais deste tipo de edificação. Além disso, o estudo e a valorização do tabique contribuem para a preservação da memória construtiva e do património arquitetónico vernacular português. Nesse sentido, brevemente iniciar-se-á um projeto de investigação financiado pela FCT, cujo objetivo será caracterizar as argamassas existentes em paredes de tabique e formular argamassas de substituição/reabilitação sustentáveis e adequadas.

Abstract

Wattle and daub (tabique) walls represent a traditional and sustainable construction technique that was widely employed in Portugal until the mid-20th century. This method is characterized by the use of natural and locally sourced materials, such as wood, earth, and lime, primarily in the construction of interior partition walls. Currently, many of these structures are in an advanced state of deterioration, particularly concerning their renderings, necessitating rehabilitation interventions that respect the original materials and construction techniques. A comprehensive understanding of the physical and mechanical properties of tabique mortars is crucial for developing appropriate intervention strategies that respect the specific construction techniques and materials of this building typology. Furthermore, studying and valuing tabique construction contributes to preserving the constructive memory and vernacular architectural heritage of Portugal. In this context, a research project funded by FCT will soon start, aiming to characterize existing mortars in tabique walls and to formulate sustainable and adequate replacement/rehabilitation mortars.

1. Introdução

As paredes de tabique constituem uma técnica construtiva tradicional amplamente disseminada na arquitetura portuguesa, tanto vernácula quanto tradicional, em contextos rurais e urbanos. Estas estruturas, predominantes até meados do século XX, são frequentemente encontradas em centros históricos e aldeias de Portugal.

A técnica do tabique baseia-se numa estrutura de madeira composta por elementos verticais (costaneiras) e horizontais (fasquios), formando um engradado que é posteriormente revestido com argamassas à base de terra e/ou cal. Este método construtivo é reconhecido pela sua sustentabilidade, uma vez que utiliza materiais naturais, locais e de baixo custo, e requer, para a sua execução, apenas ferramentas e tecnologias simples [1] (Figura 1).

Figura 1 – Paredes exteriores de tabique



Atualmente, muitas destas construções encontram-se em estado avançado de degradação (Figura 2), principalmente devido à ausência de manutenção regular e ao abandono.

A deterioração é particularmente evidente nas argamassas de revestimento, cuja função principal é proteger a estrutura de madeira subjacente, garantir a durabilidade do edifício e promover o conforto e a salubridade dos espaços interiores.

Figura 2 – Estado de degradação de paredes interiores



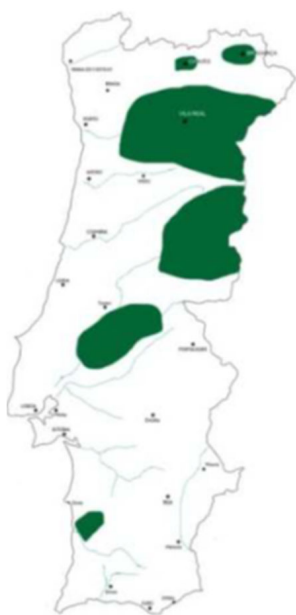
A reabilitação das construções em tabique surge, portanto, como um imperativo económico e ambiental. Além de contribuir para a redução do déficit habitacional, a recuperação destas edificações promove a valorização do património arquitetónico e da paisagem urbana, assegurando a preservação desta riqueza material e cultural para as gerações futuras.

Para uma intervenção eficaz, é essencial aprofundar o conhecimento sobre as características físicas e mecânicas das argamassas utilizadas nas paredes de tabique. Este entendimento permitirá o desenvolvimento de estratégias de reabilitação que respeitem as especificidades construtivas e materiais deste tipo de edificação, promovendo soluções compatíveis e sustentáveis.

2. Enquadramento do projeto

Nos últimos anos, têm-se intensificado as investigações dedicadas ao estudo das construções em tabique, com particular incidência na região Norte de Portugal Continental [2], onde esta técnica construtiva apresenta uma maior representatividade. Contudo, evidências da sua aplicação encontram-se disseminadas por todo o território nacional [Figura 3], incluindo as regiões Centro e Sul de Portugal Continental, bem como nas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira. Tal dispersão geográfica justifica a necessidade de ampliar o âmbito das investigações, de modo a abranger a diversidade regional desta tipologia construtiva.

Figura 2 – Mapa de Portugal Continental com as áreas de construções em Tabique,



Fonte: Silva et al [3]

Os estudos realizados até ao momento têm-se centrado na caracterização das soluções construtivas típicas, incluindo as dimensões e disposições das estruturas das paredes de tabique, a especificação dos solos utilizados na preparação das argamassas e a identificação das fibras naturais incorporadas. Adicionalmente, têm sido analisadas as características dos elementos de ligação, nomeadamente os pregos utilizados nas conexões dos elementos de madeira, bem como o comportamento ao fogo, as propriedades acústicas, o desempenho mecânico e a suscetibilidade ao desenvolvimento de fungos destas construções.

Estes estudos têm contribuído significativamente para o conhecimento técnico das construções em tabique, fornecendo dados essenciais para a sua conservação e reabilitação. No entanto, a expansão das investigações para outras regiões do país permitirá uma compreensão mais abrangente das variações regionais desta técnica construtiva, promovendo a preservação do património arquitetónico vernacular português.

No que concerne ao estudo das argamassas empregues em construções com paredes de tabique, observa-se uma escassez de investigações na literatura científica, evidenciando uma lacuna de conhecimento que carece de ser colmatada. A preservação eficaz destes elementos construtivos requer não apenas a compreensão e conservação das argamassas existentes, mas também o desenvolvimento de argamassas de substituição/reabilitação que sejam compatíveis com os materiais originais. Estas argamassas devem ser adequadas tanto para a reparação de zonas degradadas como para o preenchimento de lacunas estruturais.

Adicionalmente, é imperativo que as argamassas de substituição adotem soluções sustentáveis, nomeadamente através da incorporação de resíduos industriais. Esta abordagem tem vindo a ganhar relevância no domínio da engenharia de materiais, promovendo a transição para um modelo de

economia circular e contribuindo para a redução do impacto ambiental

Estudos recentes têm demonstrado, por exemplo, a viabilidade técnica e ambiental da utilização de resíduos cerâmicos em argamassas de cal, substituindo parcialmente os agregados tradicionais [4]. Tais argamassas apresentam propriedades mecânicas e físicas adequadas para a reabilitação de edifícios antigos, além de contribuírem para a valorização de resíduos industriais

Portanto, a investigação e desenvolvimento de argamassas sustentáveis e compatíveis com as construções em tabique são essenciais para a conservação do património arquitetónico vernacular português, promovendo simultaneamente práticas construtivas ambientalmente responsáveis.

3. Objetivos do projeto

A investigação que se pretende desenvolver, centrada na reabilitação e preservação da técnica construtiva do tabique, propõe-se a responder a um conjunto de questões fundamentais que orientam o desenvolvimento de soluções compatíveis, sustentáveis e tecnicamente viáveis para a conservação deste património arquitetónico, nomeadamente:

o “Quais as suas origens? Como prevenir o aparecimento de novas patologias e como proceder à sua reabilitação? Como incorporar as respostas às novas exigências funcionais nas argamassas de reabilitação, sem, contudo, colocar em causa a compatibilidade com o suporte e com as argamassas existentes? Quais os comportamentos em serviço destas novas argamassas? É possível agregar um ou mais resíduos da indústria portuguesa que possam contribuir para a economia circular e para a sustentabilidade? Esta argamassa terá custo atrativo e vantagens técnicas que possam interessar à produção em escala industrial? E qual o ciclo de vida desta argamassa?” (texto retirado da candidatura do projeto)

4. Metodologia

O estado de degradação das paredes de tabique exige intervenção urgente. A fim de dar resposta a essa necessidade pretende-se criar uma base de dados das características das argamassas utilizadas a nível nacional e desenvolver argamassas compatíveis e sustentáveis para a sua reabilitação. A metodologia proposta será dividida em 8 tarefas fundamentais, que seguidamente se descrevem:

-Revisão da literatura: será realizada uma revisão bibliográfica abrangente, contemplando estudos nacionais e internacionais que abordem as construções em tabique, que incluirá pesquisas anteriores sobre a caracterização de materiais constituintes, técnicas construtivas, patologias associadas e intervenções de reabilitação e servirá de base para a fase seguinte da investigação, que consistirá na recolha e análise de amostras de argamassas provenientes de edificações em tabique localizadas em diversas regiões de Portugal.

-Levantamento de construções com paredes de tabique: Pretende-se proceder à identificação sistemática de construções em tabique existentes no território nacional, com o objetivo de selecionar edificações adequadas para a recolha de amostras de argamassas. Esta seleção abrangerá edifícios em diversos estados de conservação, incluindo aqueles em avançado estado de degradação, em fase de elaboração de projetos de reabilitação ou em processo de intervenção. Cada intervenção será precedida por um registo fotográfico detalhado, documentando a fachada da edificação e o local específico de extração da amostra, tanto antes quanto após a recolha. Este procedimento assegura a rastreabilidade e integridade dos dados coletados, além de fornecer uma base visual para análises subsequentes.

-Caracterização laboratorial das argamassas existentes: A caracterização das amostras pré-existentes em paredes de tabique, será realizada por intermédio de determinação de resíduo insolúvel em ácido clorídrico (HCl), ensaios de análise granulometria por

peneiração (EN 933-1:2014) [5], resistência mecânica à compressão (EN 1015-11:2019) [6], absorção de água por capilaridade (ISO 15148:2002) [7], índice de secagem (EN 16322:2013) [8], porosimetria (ISO 15901-1:2016) [9], difração de raios X (DRX) e fluorescência de raios X (FRX). É provável que alguns ensaios não possam ser realizados de acordo com as normas, como é o caso dos ensaios de resistência à compressão, porque, muitas vezes, a espessura das amostras, não é suficiente para a obtenção de resultados fiáveis.

-Definição das argamassas de reabilitação sustentáveis: Com base na revisão bibliográfica, na experiência acumulada dos membros da equipa de investigação no desenvolvimento de argamassas com incorporação de resíduos e na caracterização das argamassas históricas, propõe-se a análise e seleção de resíduos industriais produzidos em Portugal que possam ser integrados em formulações de argamassas de reabilitação compatíveis com construções em tabique.

A seleção dos resíduos será orientada por critérios de compatibilidade físico-química com as argamassas tradicionais, conformidade com os requisitos técnicos estabelecidos pelas normas em vigor e potencial para melhoria das propriedades das argamassas formuladas.

A integração de resíduos industriais em argamassas de reabilitação representa uma estratégia promissora para a conservação do património arquitetónico vernacular, promovendo simultaneamente a sustentabilidade ambiental e a inovação no setor da construção.

-Caracterização laboratorial das argamassas de reabilitação: Todas as argamassas selecionadas na tarefa anterior serão estudadas e caracterizadas laboratorialmente. A caracterização física, higrotérmica e mecânica das argamassas será realizada através da determinação da porosimetria (ISO 15901-1:2016), absorção de água por capilaridade (ISO 15148:2002), absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten (Rilem Test Method n 11.4:2020)

permeabilidade ao vapor de água (ISO 12572:2016) [10], índice de secagem (EN 16322:2013), resistência à compressão e à flexão (EN 1015-11:2019), módulo de elasticidade dinâmico (EN 14146:2004) [11], resistência à abrasão (E396:1993) e coeficiente de condutividade térmica. Estas caracterizações serão realizadas após os processos de cura corrente (EN 1015-11:2019), que serão de 28 dias, para as argamassas que incorporarem cal hidráulica e/ou cimento como ligante e de 90 dias para as argamassas que incorporarem cal aérea como ligante. Os traços que apresentarem argamassas de terra sem ligantes, serão ensaiados aos 28 dias.

-Caracterização in situ das argamassas de reabilitação: o objetivo é a construção de protótipos de paredes de tabique com dimensões aproximadas de 100 × 100 cm, com o objetivo de analisar o comportamento das argamassas em condições de serviço e compará-lo com os resultados obtidos em provetes laboratoriais. Esta fase é crucial, uma vez que, durante o processo de cura, ocorrem diversos fenómenos físico-químicos que influenciam significativamente as propriedades finais das argamassas.

A aplicação das argamassas será realizada em camada única, utilizando o mesmo traço tanto para o enchimento do fasquiado quanto para o reboco, de forma a replicar as práticas construtivas tradicionais. A espessura da camada de reboco poderá variar em função do tipo de traço utilizado, sendo ajustada conforme as necessidades específicas de cada composição. Antes da aplicação, o suporte será devidamente humedecido para garantir uma adequada aderência da argamassa. A técnica de aplicação adotada procurará reproduzir, com o máximo de fidelidade, as condições reais de execução observadas em contextos históricos.

Este procedimento permitirá uma avaliação mais precisa do desempenho das argamassas em contextos reais, contribuindo para o desenvolvimento de soluções de reabilitação mais eficazes e sustentáveis para as construções em tabique.

Os ensaios a realizar serão:

-Sem destacamento das argamassas do suporte: permeabilidade a água sob pressão, módulo de elasticidade, ensaio de arrancamento e resistência à abrasão.

-Após extração de provetes: massa volúmica aparente, porosidade aberta, absorção de água por capilaridade, capacidade de secagem, resistência à compressão, à flexão e porosimetria.

-Análise do ciclo de vida: A quantificação e avaliação dos impactos ambientais associados a produtos e serviços ao longo do seu ciclo de vida têm sido reconhecidas como fundamentais para promover a sustentabilidade no setor da construção. Particularmente, a comparação do desempenho ambiental de soluções inovadoras com alternativas convencionais de função e aplicação semelhantes é essencial para fundamentar escolhas mais sustentáveis.

Neste contexto, propõe-se a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) das argamassas formuladas neste projeto, com o objetivo de determinar e avaliar os seus impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas até à fase de fim de vida. Esta análise permitirá comparar o desempenho ambiental das argamassas desenvolvidas com o das argamassas convencionais, identificando vantagens e oportunidades de melhoria.

A metodologia adotada seguirá as normas internacionais ISO 14040 [12] e ISO 14044 [13], que estabelecem os princípios e requisitos para a condução de estudos de ACV, bem como a norma europeia EN 15804 [14], que fornece regras específicas para produtos de construção. Estas normas asseguram a consistência, transparência e comparabilidade dos resultados obtidos.

-Análise dos resultados e definição da/das argamassa/s de reabilitação mais adequada/s: Podemos dizer que será uma das fases mais importantes da investigação e possivelmente uma das mais complexas.

O objetivo central desta fase da investigação consiste no desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam estimar as propriedades das argamassas após a sua aplicação em suportes de tabique, com base nos resultados obtidos em ensaios laboratoriais realizados em provetes padrão. Esta abordagem visa identificar, de forma fundamentada, as formulações de argamassas com incorporação de resíduos que apresentem o melhor desempenho em condições reais de serviço, possibilitando a sua aplicação eficaz na reabilitação de paredes de tabique.

As propriedades alvo para a modelação incluem aquelas normalmente especificadas nas características técnicas das argamassas pré-dosadas e exigidas para a marcação CE, conforme estabelecido na norma EN 998-1:2013. Estas propriedades são: densidade, resistência à compressão, aderência, coeficiente de absorção, permeabilidade ao vapor.

A construção destes modelos matemáticos permitirá prever, com maior precisão, o comportamento das argamassas em condições reais, facilitando a seleção de composições que atendam aos requisitos técnicos e normativos. Além disso, esta abordagem contribuirá para a otimização do processo de reabilitação de paredes de tabique, promovendo a utilização de materiais sustentáveis e compatíveis com as construções existentes.

5. Conclusões

A crescente consciência acerca da importância da reabilitação de edifícios reflete-se na sua consideração como componente essencial na abordagem a desafios urbanísticos, patrimoniais, habitacionais, económicos e de sustentabilidade. Este reconhecimento tem sido evidenciado pela atenção dedicada por setores políticos, académicos e da construção civil à temática da reabilitação urbana.

A substituição indiscriminada de paredes de tabique por sistemas construtivos modernos pode comprometer a estabilidade estrutural e a coerência estética dos edifícios, além de representar uma perda irreparável do legado cultural.

A investigação e o desenvolvimento de técnicas adequadas para a reabilitação de paredes de tabique são, portanto, fundamentais.

A reabilitação de paredes de tabique é uma prática que alia a preservação do património cultural à promoção da sustentabilidade ambiental, exigindo abordagens técnicas informadas e sensíveis às particularidades das construções tradicionais.

Este projeto de investigação visa aprofundar o conhecimento técnico-científico sobre as paredes de tabique, uma técnica construtiva tradicional amplamente disseminada no território português, especialmente no norte do país. Através da sistematização e disseminação desse saber junto das comunidades locais, académicas e técnicas, pretende-se contribuir para a valorização e preservação deste património material e cultural, garantindo a sua transmissão às gerações futuras.

O objetivo central do projeto é o desenvolvimento de alternativas sustentáveis para as argamassas utilizadas em paredes de tabique, que possibilitem a recuperação eficaz da diversidade do património edificado que incorpora esta técnica construtiva. Esta abordagem será orientada por princípios de sustentabilidade ambiental, compatibilidade material e economia circular, promovendo soluções que respeitem as características originais das construções e contribuam para a sua durabilidade e eficiência.

Neste contexto, será dada especial atenção à investigação de argamassas que integrem materiais reciclados ou resíduos industriais. A compatibilidade entre os novos materiais e

suportes existentes será cuidadosamente avaliada, de forma a assegurar intervenções que não comprometam a integridade estrutural e estética dos edifícios.

Ao conjugar o saber tradicional com a inovação tecnológica, este projeto pretende estabelecer uma base sólida para intervenções de reabilitação que respeitem a autenticidade do património construído, promovendo simultaneamente a sustentabilidade e a valorização cultural.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, através do projeto UIDB/04625/2025 da unidade de investigação CERIS.

Este trabalho foi realizado ao abrigo do projeto Sustentabilidade de argamassas de tabique inovadoras (COMPETE2030-FEDER-00845500), financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Sistema de Apoio à Criação de Conhecimento Científico e Tecnológico, no âmbito do Programa Inovação e Transição Digital (COMPETE 2030).

6. Referências

- [1] PINTO, J.; CARDOSO, R.; PAIVA, A.; CUNHA, S., CRUZ, D., VIEIRA, B., LOUZADA, J., VARUM, H., (2011). “*Caracterização de Paredes Tradicionais de Tabique*”. Artigo do Repositório Institucional da Universidade de Aveiro sob o registo <http://hdl.handle.net/10773/8010>, Aveiro, Portugal.
- [2] COSTA, A. (2021). “*Argamassas de revestimento de tabiques do norte de Portugal.*” Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. <http://hdl.handle.net/10773/33526>. Aveiro, Portugal.
- [3] SILVA, F.; FERNANDES M.; CORREIA

- M. (2005). *“Arquitectura de Terra em Portugal”*. 1ª Edição. Lisboa, Argumentum ISBN 972-8479-36-0. Portugal
- [4] TORRES,I.; Matias, G. (2016). *“Sustainable mortars for rehabilitation of old plasters”*, Engineering Structures, volume 129,15 dezembro 2016, pp11-17, SI: Structures Rehabilitation, <http://dx.doi:10.1016/j.engstruct.2016.07.009>
- [5] PQ (2014). *“Ensaios das propriedades geométricas dos agregados, Parte 1: Análise Granulométrica – Método de Peneiração”*. NP EN 933-1, Instituto Português da Qualidade. Caparica, Portugal.
- [6] CEN (2019). *“Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar”*. EN 1015-11, European Committee for Standardization, Brussels.
- [7] CEN (2002). *“Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water absorption coefficient by partial immersion”*, ISO 15148, European Committee for Standardization, Brussels.
- [8] CEN (2013). *“Conservation of cultural heritage: test methods: determination of drying properties”*. EN 16322, European Committee for Standardization, Brussels.
- [9] ISO (2016). *“Evaluation of pore size distribution and porosimetry of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption - Part 1: Mercury porosimetry”*. 15901-1, International Organization for Standardization, Geneva
- [10] ISO (2016). *“Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties — Cup method”*. 12572, International Organization for Standardization, Geneva.
- [11] CEN (2004). *“Natural stone test methods -Determination of the dynamic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency)”*. EN 14146, European Committee for Standardization, Brussels.
- [12] ISO (2006). *“Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework”*. 14040, International Organization for Standardization, Geneva.
- [13] ISO (2006). *“Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines”*. 14044, International Organization for Standardization, Geneva.
- [14] CEN (2012). *“Sustainability of Construction Works – Environmental Product Declarations – Core Rules for the Product Category of Construction Products”* 15804, European Committee for Standardization, Brussels.



A Aplicação da Tecnologia do BIM na Preservação do Edifício Jorge Machado Moreira da UFRJ

The Application of BIM Technology in the Preservation of the Jorge Machado Moreira Building at UFRJ

LOPES, Cleidson Alves¹; VARELA, Wendell Diniz²
cleidson@cla.ufrj.br¹; wendell@fau.ufrj.br².

¹Arquiteto e Urbanista, Centro de Letras e Artes, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

²Engenheiro Civil, D.Sc. Prof., Departamento de Estruturas, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Informações do Artigo

Palavras-chave:

BIM

Patologia das Construções

Manutenção predial

Keywords:

BIM

Building Pathology

Building Maintenance

Resumo:

O artigo analisa o uso do Building Information Modeling (BIM) na preservação do edifício Jorge Machado Moreira (JMM), marco modernista da UFRJ. Enfrentando incêndios, deterioração estrutural e desafios administrativos, o estudo propõe um sistema BIM multidimensional, organizado em seis interfaces: histórica, teórica, acadêmica, técnica, administrativa e operacional. O projeto piloto concentrou-se no diagnóstico das patologias estruturais dos pilares de uma fachada, utilizando modelagem automatizada e programação visual para criar representações paramétricas dos defeitos e otimizar o levantamento de dados. O sistema permite simular custos de inação com base na Lei de Sitter, demonstrando aumentos exponenciais dos custos de reparo caso intervenções sejam adiadas. A metodologia está alinhada a decretos nacionais que tornam o BIM obrigatório em obras públicas e à Lei 14.133/2021, apoiando a modernização da administração pública. Ao mapear fluxos administrativos e facilitar manutenção preventiva, o BIM promove transparência e atualização contínua, servindo de modelo replicável para a gestão sustentável do patrimônio público.

Abstract

The article examines the use of Building Information Modeling (BIM) in the preservation of the Jorge Machado Moreira (JMM) building, a modernist landmark at UFRJ. Confronted with fires, structural deterioration, and administrative obstacles, the study proposes a multidimensional BIM system structured across six interfaces: historical, theoretical, academic, technical, administrative, and operational. The pilot project targeted the diagnosis of structural pathologies in the pillars of one façade, leveraging automated modeling and visual programming to generate parametric representations of defects and optimize data collection. The system allows simulation of inaction costs using Sitter's Law, demonstrating exponential increases in repair costs if interventions are delayed. The methodology aligns with national decrees mandating BIM in public works and Law 14.133/2021, supporting the modernization of public administration. By mapping administrative flows and facilitating preventive maintenance, BIM promotes transparency and continuous information updates, serving as a replicable model for sustainable public heritage management.

1. Introdução

A preservação do patrimônio arquitetônico no contexto da administração pública brasileira enfrenta desafios complexos que envolvem aspectos técnicos, administrativos, orçamentários e tecnológicos. O crescente estado de deterioração de edificações históricas e de valor cultural demanda uma abordagem integrada que supere as limitações dos métodos tradicionais de gestão patrimonial. Neste cenário, a tecnologia Building Information Modeling (BIM) emerge como uma ferramenta estratégica capaz de revolucionar os processos de preservação, oferecendo soluções inovadoras para diagnóstico, planejamento e gestão de intervenções.

O edifício Jorge Machado Moreira (JMM), sede da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), representa um caso paradigmático dessa problemática. Projetado no final da década de 1950 pelo arquiteto Jorge Machado Moreira em colaboração com o paisagista Roberto Burle Marx, a edificação constitui um exemplar significativo da arquitetura modernista brasileira, reconhecido internacionalmente pelo Primeiro Prêmio na categoria "Edifícios Públicos" da IV Bienal Internacional de São Paulo em 1957 [1].

A relevância histórica e arquitetônica do edifício contrasta com o estado crítico de conservação em que se encontra atualmente. Décadas de uso intensivo, carência de políticas assertivas de manutenção e, sobretudo, eventos traumáticos como os incêndios ocorridos em 2016 no 8º andar e em 2021 no 2º andar do bloco A, evidenciam a urgência de implementar estratégias eficazes de preservação [2]. A situação do JMM reflete desafios comuns à gestão patrimonial na administração pública, incluindo limitações orçamentárias, sobreposição de competências institucionais e dificuldades na coordenação de ações de conservação.

A aplicação de tecnologias digitais avançadas no campo da preservação

patrimonial tem demonstrado potencial significativo para superar essas limitações. O BIM, definido pela Autodesk como "o processo holístico de criação e gerenciamento de informações para um recurso construído", permite a integração de dados estruturados e multidisciplinares em uma representação digital abrangente do ciclo de vida da edificação [3]. No contexto específico do patrimônio histórico, o conceito de Historic Building Information Modeling (HBIM) incorpora dados históricos, levantamentos a laser e fotogrametria digital para criar bibliotecas de objetos paramétricos representativos da edificação [4].

A implementação da tecnologia BIM na administração pública brasileira foi formalizada pelos Decretos nº 9.983/2019 e - .306/2020, que estabelecem a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM e determinam sua utilização obrigatória em obras e serviços de engenharia dos órgãos federais. Essa iniciativa alinha-se às melhores práticas internacionais e representa uma oportunidade estratégica para modernizar os processos de gestão patrimonial no setor público [5,6].

A metodologia desenvolvida neste estudo baseia-se na integração de três eixos fundamentais: pesquisa, modelagem e documentação. A pesquisa histórica e técnica fornece a base conceitual e documental necessária para a compreensão do objeto de estudo. A modelagem BIM permite a criação de representações digitais precisas que integram informações geométricas, materiais, temporais e econômicas. A documentação sistematizada garante a preservação do conhecimento e a rastreabilidade das informações ao longo do tempo.

A escolha do bloco A do edifício JMM como recorte para o projeto piloto reflete critérios técnicos e estratégicos específicos. O 8º andar, afetado pelo incêndio de 2016, representa a área em pior estado de conservação, enquanto o 9º andar concentra o núcleo técnico com falhas que comprometem a estanqueidade de todo o volume. Esta abordagem permite testar e validar a

metodologia proposta em condições desafiadoras, gerando conhecimento aplicável a todo o edifício e a outros patrimônios similares.

A aplicação dos conceitos de tecnologia das construções e análise de patologias constitui elemento fundamental para qualificar os processos de deterioração e apontar soluções adequadas. A conservação preventiva, considerada ponto de partida nas políticas de preservação do patrimônio, baseia-se no conhecimento dos processos de deterioração dos bens culturais, e sua eficácia depende da integração entre atuação prática e pesquisa científica [7]. A documentação sistemática das patologias identificadas no JMM desde 2010 pelos departamentos de Estruturas e Tecnologia das Construções da FAU [8,9] fornece base sólida para a implementação da metodologia BIM.

O presente trabalho propõe-se a demonstrar a pertinência e aplicabilidade da tecnologia BIM no contexto da administração pública, tendo como objeto de estudo o edifício Jorge Machado Moreira. A pesquisa desenvolve um sistema multidimensional que integra informações históricas, técnicas, administrativas e operacionais em modelos digitais paramétricos, permitindo a análise de cenários, simulação de intervenções e otimização de recursos. A metodologia aborda aspectos fundamentais como a modelagem de patologias, a quantificação de custos de intervenção conforme a Lei de Sitter, e a integração com processos administrativos da UFRJ, contribuindo para o desenvolvimento de ferramentas eficazes de gestão patrimonial no setor público brasileiro.

2. Apresentação do contexto

2.1 Contexto Histórico e Arquitetônico

O edifício Jorge Machado Moreira foi concebido no final da década de 1950 pelo escritório técnico da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob a coordenação do arquiteto Jorge Machado Moreira (1904-1992), constituindo um marco tanto na história da arquitetura modernista brasileira

quanto para a própria UFRJ na construção de seu campus universitário. A relevância arquitetônica da obra transcende o âmbito nacional, tendo sido reconhecida internacionalmente com o Primeiro Prêmio na categoria "Edifícios Públicos na Exposição de Arquitetura da IV Bienal Internacional de São Paulo" em 1957.

Inaugurado em 1961 (Figura 1) com a finalidade original de abrigar a Faculdade Nacional de Arquitetura (atual FAU), o edifício foi concebido como um paradigma arquitetônico inovador, destacando-se por sua composição e volumetria onde os espaços livres projetados pelo paisagista Roberto Burle Marx (1909-1994) possuem relevância equivalente aos espaços edificados. Esta concepção holística do projeto arquitetônico reflete os princípios fundamentais do movimento moderno brasileiro, integrando arquitetura e paisagismo de forma harmoniosa e funcional.

Figura 1 – Edifício recém-construído



Fonte: Anuário FNA 1961 apud Lopes [10]

A modulação do projeto adotou conceitos que viabilizam a construção por processos fabris padronizados, utilizando um módulo dimensional de 1,225m. Com este módulo, seus múltiplos e submúltiplos, foram definidas as dimensões dos diversos elementos da composição: 1M = 1,225m para lâmpadas fluorescentes, painéis de forro e divisórias leves; 1,2M = 1,47m para esquadrias do bloco D e claraboias do bloco A; 2M = 2,45m para intercolúnio nos pavimentos-tipo; 6M = 7,35m para

intercolúnio nos primeiros pavimentos; M/2 = 61,25cm para armários e tacos de piso; M/4 = 30,625cm para cerâmicas de piso e paredes; e M/8 = 15,3125cm para azulejos [1].

2.2 Evolução do Uso e Ocupação

Ao longo das décadas, o edifício passou por um processo gradual de diversificação de uso, com seus espaços sendo progressivamente compartilhados por diferentes segmentos da Universidade. Por décadas, a distribuição funcional compreendeu: térreo ocupado pelo Centro de Letras e Artes (CLA); 2º pavimento pela Reitoria; 5º pavimento pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano (IPPUR); 6º e 7º pavimentos pela Escola de Belas Artes e o Museu D. João VI; e 8º pavimento pelos gabinetes da administração superior da Universidade, atualmente distribuídas em outros edifícios.

Esta ocupação plural gerou uma anomalia administrativa, onde a sobreposição ou indefinição de competências contribuiu para o descompasso nas medidas de preservação do patrimônio ao longo das gestões [10]. A complexidade institucional da UFRJ, com sua estrutura organizacional hierárquica que inclui órgãos superiores e estruturas intermediárias compostas por centros e suas respectivas unidades, amplifica os desafios de coordenação das ações de preservação.

2.3 Incidentes Críticos e Processo de Deterioração

O reconhecimento formal da importância patrimonial do edifício materializou-se tardiamente através de iniciativas de tombamento. Em 2009, no centenário do paisagista Burle Marx, os jardins e o painel da fachada por ele projetados receberam tombamento municipal provisório, conforme o Decreto 30.936 de 2009. Posteriormente, em 2016, imediatamente após um incêndio no 8º andar, o edifício recebeu outro tombamento provisório, desta vez considerando o conjunto arquitetônico completo, através do Decreto 42.710 de 2016.

Os incêndios constituem marcos traumáticos na história recente do edifício. O

primeiro evento ocorreu em 2016 no 8º andar, causando danos significativos à estrutura e às instalações. Um segundo incêndio, ocorrido em 2021 no 2º andar do bloco A, agravou ainda mais a situação de deterioração do patrimônio. Estes eventos catastróficos evidenciaram a vulnerabilidade da edificação e a urgência de implementar medidas efetivas de preservação e manutenção preventiva.

Paralelamente aos incêndios, o edifício vem acumulando patologias e danos decorrentes de décadas de uso intensivo e, principalmente, da carência de políticas assertivas na gestão do bem público. Esta deterioração progressiva foi objeto de análises técnicas realizadas pelos próprios docentes da FAU, que produziram relatórios detalhados em 2011 e 2015, expondo as condições reais da estrutura e propondo formas de tratamento e reparo [8,9]. Contudo, não foram implementadas ações efetivas de recuperação estrutural ou não estrutural no período subsequente.

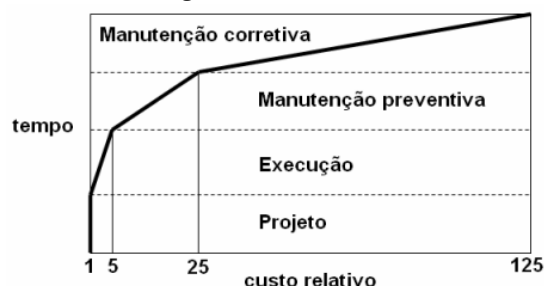
2.4 Situação Institucional e Orçamentária

A gestão do patrimônio público na UFRJ é regida pelos princípios constitucionais da legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência, conforme estabelecido no artigo 37 da Constituição Federal. Adicionalmente, princípios implícitos encontrados na Lei nº 9.784/99, que trata do processo administrativo, incluem motivação, finalidade, razoabilidade e proporcionalidade, exigindo que o ato administrativo seja claro e preciso na definição do seu objeto [11].

Do ponto de vista orçamentário, a conservação adequada do patrimônio edificado demanda investimentos significativos e contínuos. A aplicação da Lei de Sitter (Figura 2) demonstra que o custo de intervenção na recuperação estrutural cresce em progressão geométrica de razão igual a cinco, evidenciando que quanto maior a demora na identificação da manifestação patológica, mais onerosa será sua recuperação [12]. Esta realidade econômica torna imperativa a adoção de estratégias de

manutenção preventiva e o uso de tecnologias que permitam o monitoramento contínuo e eficiente do estado de conservação das estruturas.

Figura 2 – Lei de Sitter



Fonte: Sitter, 1984 apud Helene [12]

A recente implementação do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) pela UFRJ exemplifica a transformação de paradigmas na administração pública, demonstrando a receptividade institucional para a adoção de novas tecnologias de gestão. Neste contexto, a implementação da tecnologia BIM representa uma evolução natural dos processos administrativos, alinhada aos Decretos 9.983/19 e 10.306/20 que estabelecem a estratégia nacional de uso do BIM na administração pública federal [5,6].

3. Metodologia

3.1 Fundamentos da Tecnologia das Construções e Análise de Patologias

A aplicação dos métodos e conceitos ligados ao campo da tecnologia das construções e estudo de suas patologias fornece os meios para qualificar os processos de deterioração dos edifícios e apontar soluções adequadas. A conservação preventiva, considerada ponto de partida nas políticas de preservação do patrimônio, baseia-se no conhecimento dos processos de deterioração dos bens culturais, e sua eficácia depende da integração entre a atuação prática e a pesquisa científica [7].

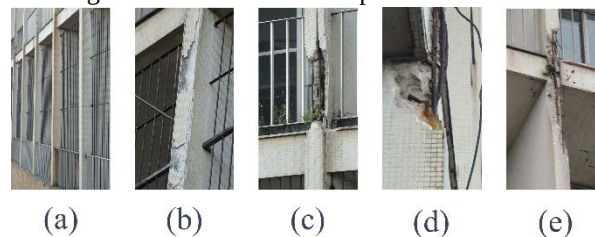
A construção de um acervo técnico através de relatórios elaborados pelos departamentos de Estruturas e Tecnologia das Construções da FAU/UFRJ desde 2010 [8,9], tem sido fundamental para subsidiar a tomada de decisão e embasar tecnicamente os

processos administrativos. Esta documentação técnica sistemática permite a implementação de rotinas de vistoria e análise que tornam conhecidos os mecanismos do processo de deterioração, indicando diretrizes para manutenção preditiva, preventiva e corretiva, conforme estabelecido no conjunto normativo da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) [13,14].

A caracterização e mapeamento de danos realizados no edifício JMM revelam a complexidade e extensão dos problemas patológicos presentes. O mapeamento da fachada sudeste do bloco A demonstra a enormidade de dados gerados pela análise detalhada de uma estrutura dessa magnitude, onde foram identificados diferentes tipos de manifestações patológicas incluindo: deslocamento do revestimento; presença de umidade; perda de cobrimento; exposição de armadura com corrosão; possíveis danos estruturais; presença de vegetação [8,9].

A análise evolutiva dos sintomas permitiu identificar um encadeamento típico das patologias estruturais no edifício (Figura 3): (a) presença de umidade gerando oxidação da armadura e manchas superficiais; (b) deslocamento do revestimento inicial; (c) perda de cobrimento e exposição das armaduras com corrosão; (d) rompimento dos estribos e flambagem das barras de aço; (e) rompimento das barras longitudinais de aço.

Figura 3 – Encadeamento típico dos sintomas



Fonte: Lopes [10]

A Lei de Sitter evidencia dramaticamente que quanto maior a demora na identificação da manifestação patológica, maior sua evolução e mais onerosa sua recuperação. A aplicação desta lei no contexto do edifício JMM torna-se fundamental para justificar economicamente a necessidade de

intervenções precoces e sistemas de monitoramento eficazes.

Duas questões referentes aos custos são fundamentais na abordagem do problema: como quantificar e orçar os serviços necessários para corrigir as falhas que causam os danos em determinada fase do mecanismo; e como quantificar e estimar o prejuízo de não agir. O trabalho de análise dos dados para responder tais questões transcende a escala humana, demandando ferramentas computacionais avançadas presentes na tecnologia BIM.

3.2 Tecnologia BIM: Conceitos Fundamentais e Aplicação

A tecnologia Building Information Modeling (BIM) representa uma evolução paradigmática na gestão de projetos de construção, integrando dados multidisciplinares em modelos digitais inteligentes que abrangem todo o ciclo de vida do edifício. Definido como um processo holístico de criação e gerenciamento de informações, o BIM é classificado em níveis de maturidade: Nível 0 (CAD 2D não gerenciado), Nível 1 (combinação de 3D conceitual e 2D documental), Nível 2 (colaboração via modelos 3D independentes com interoperabilidade por formatos como IFC (*Industry Foundation Class*) e Nível 3 (modelo único compartilhado em "Open BIM"). Para patrimônio histórico, destaca-se o Historic BIM (HBIM), desenvolvido a partir de varredura a laser e fotogrametria, permitindo a criação de bibliotecas paramétricas de elementos arquitetônicos históricos. Os Níveis de Desenvolvimento ou LOD (*Level of Development*) orientam a evolução do modelo, combinando detalhamento geométrico, especificações técnicas e integração de dados [15,3].

A metodologia de modelagem multidimensional estrutura-se em três eixos interdependentes: pesquisa (histórica, teórica e técnica), modelagem (refinamento progressivo com aumento de complexidade) e documentação (padronização em dados abertos).

Os arquivos externos contendo as definições formais adotadas servem de memória documental de consulta do projeto e verificação do modelo. O conjunto formado pelo par “dado – algoritmo” torna-se o sustento que permite criar e reformular automaticamente o modelo virtual de maneira precisa e consistente. (p. 465) [16]

A localização do edifício é formalizada em sistemas de coordenadas (ex: SIRGAS 2000, UTM Zona 23S), registrando atributos geográficos em arquivos estruturados. A programação visual (VPL's) introduz inovação ao automatizar processos repetitivos, como a modelagem dos módulos na fachada do edifício JMM, garantindo precisão e eficiência através de scripts gráficos.

A abordagem sustenta-se na interoperabilidade de formatos, organização hierárquica de dados e adaptação contínua às normativas, consolidando um sistema dinâmico para preservação patrimonial.

3.3 Modelagem de Patologias no Ambiente BIM

A modelagem das patologias no BIM envolve a criação de entidades digitais que representam os sintomas identificados nas inspeções, permitindo o registro da localização, tipo, severidade e evolução temporal dos danos. No modelo, entidades representam os sintomas patológicos aferidos, os dados referentes a quantificação, qualificação, temporalidade e custos estarão disponíveis de forma integrada.

O mapeamento da fachada sudeste do bloco A foi sistematizado através de uma legenda específica (Figuras 4 e 5) que classifica as patologias em seis categorias principais: (1) deslocamento do revestimento; (2) presença de umidade; (3) perda de cobrimento; (4) exposição de armadura com corrosão; (5) possível dano estrutural coberto com argamassa; (6) presença de vegetação.

Figura 4 – Trecho do Mapeamento

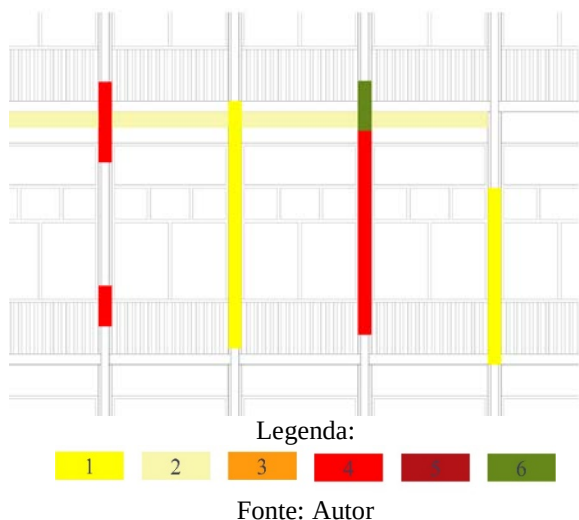


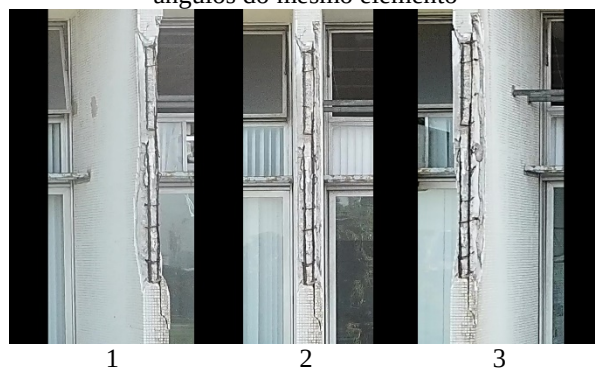
Figura 5 – Trecho da fachada



Fonte: Autor

A análise temporal das patologias constitui aspecto crucial para o entendimento dos processos de deterioração. A documentação permite fazer a comparação do estado de conservação com o passar do tempo, evidenciando a evolução dos sintomas patológicos. Novas camadas de levantamento, inclusive com o uso de drone (Figura 6), foram incorporadas ao acervo técnico. Esta capacidade de análise evolutiva é fundamental para validar hipóteses sobre mecanismos de deterioração e projetar cenários futuros de degradação.

Figura 6 – Levantamento por drone mostrando 3 ângulos do mesmo elemento



Fonte: Autor

4. Projeto Piloto: Estudo de Patologias de Pilar

A escolha dos pilares da fachada sudeste do bloco A como recorte inicial, reflete uma abordagem estratégica que prioriza as áreas de maior complexidade e maior necessidade de intervenção. O 8º andar, afetado pelo incêndio de 2016, representa a área em pior estado de conservação, enquanto o 9º andar concentra o núcleo técnico com falhas que comprometem a estanqueidade de todo o volume.

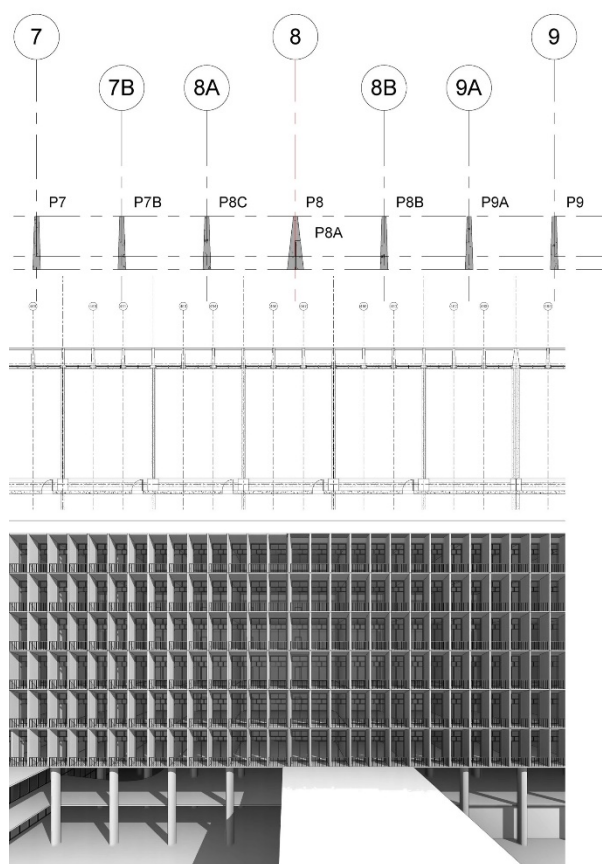
O estudo de patologias de pilar envolveu a análise sistemática dos sintomas identificados em inspeções visuais e ensaios não destrutivos (pacometria), com registro no modelo BIM dos seguintes parâmetros: (i) localização e identificação do pilar com coordenadas espaciais precisas baseadas na tabela de locação original; (ii) dimensões e características geométricas com seções transversais, alturas e detalhes construtivos; (iii) especificação de materiais com resistência do concreto, tipo e diâmetro das armaduras; (iv) estado de conservação com fissuras, perda de cobrimento, corrosão, deformações; (v) origem dos dados com distinção entre informações do projeto original, levantamento atual e relatórios técnicos

A implementação da metodologia baseou-se na tabela de coordenadas de locação dos pilares extraída do projeto original, compreendendo 72 pilares distribuídos em três fileiras (coordenadas Y: 11,175; 21,175 e 34,425) e 24 colunas

(coordenadas X variando de -84,725 a +84,725 com intervalos de 7,350m) (Figura 7). Esta sistematização permite a identificação unívoca de cada elemento estrutural e facilita a rastreabilidade das informações ao longo do tempo.

A utilização de programação visual (Dynamo) permitiu automatizar a criação dos elementos pilares com suas respectivas propriedades e parâmetros. A definição de famílias paramétricas facilita a atualização e modificação das informações, garantindo consistência e precisão no modelo. Além disso, a parametrização permite a criação de relatórios automáticos e análises estatísticas do estado de conservação dos elementos.

Figura 7 – Trecho do modelo da fachada

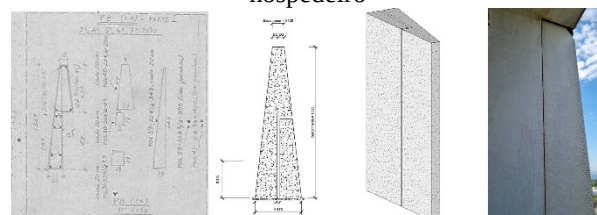


Fonte: Lopes [10]

A modelagem com famílias no BIM torna a construção de modelos complexos mais eficiente, pois alterações em um tipo são aplicadas automaticamente a todas as instâncias relacionadas. Para otimizar o mapeamento de danos, adotou-se a criação de

famílias hospedeiras (ex: parede ou pilar) que recebem famílias hospedadas (ex: esquadrias ou sintomas patológicos), permitindo uma vinculação lógica entre elementos. No caso dos pilares trapezoidais do edifício estudado (Figura 8), foram criadas famílias específicas para representar cinco tipos de sintomas patológicos que evoluem da superfície para o interior, conforme critérios normativos e construtivos.

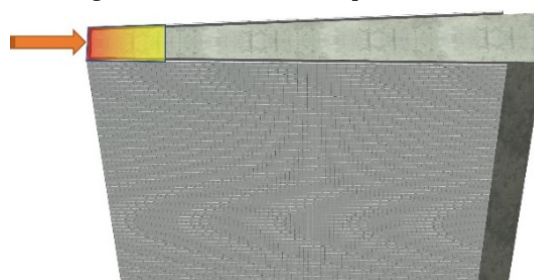
Figura 8 – Pilar trapezoidal com junta “P8” - hospedeiro



Fonte: Lopes [10]

Três fatores principais agravam a situação desse tipo de pilar: o cobrimento adotado na época da construção, considerado insuficiente pelas normas atuais para proteger a armadura de aço; a exposição direta da face extrema do pilar às intempéries, onde há maior densidade de barras de aço; e o formato trapezoidal do pilar, que reduz a seção de concreto na linha da fachada, agravando a vulnerabilidade estrutural. Esses fatores, sobrepostos, aceleram a deterioração do elemento estrutural conforme dinâmica de expansão de danos (Figura 9).

Figura 9 – Dinâmica de expansão de danos

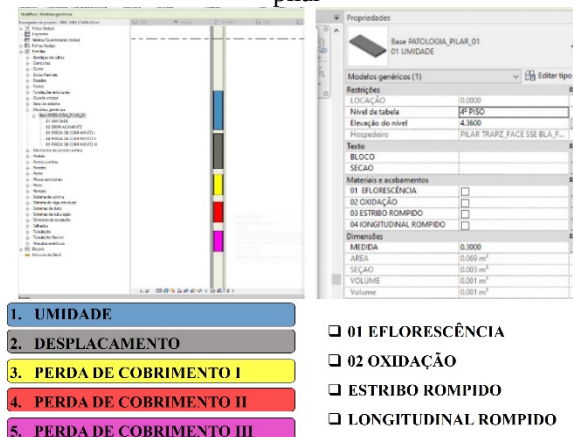


Fonte: Lopes [10]

A criação de famílias de sintomas patológicos facilita o posicionamento dos sintomas que norteou a formulação da família e seus 05 tipos, que abrange a situação mais superficial e vai se aprofundando no pilar, até romper toda a armadura. Cada tipo de sintoma remove volume do pilar hospedeiro e

aplica uma cor para identificação, permitindo análises precisas do grau e localização dos danos estruturais (Figura 10).

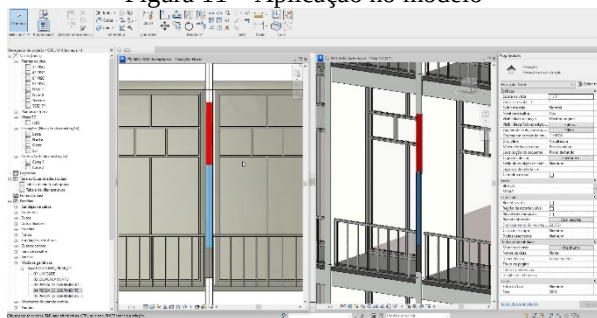
Figura 10 – Instâncias hospedadas em um trecho de pilar



Fonte: Lopes [10]

Uma questão fundamental foi a busca por simplificar a inserção do componente (Figura 11) a partir de uma vista de elevação paralela à face menor do pilar em três etapas: 1- Escolher um tipo na aba famílias e criar instância; 2- Posicionar o cursor sobre a face até alinhar com o eixo; 3- Definir por meio das setas indicativas as alturas de início e fim do componente.

Figura 11 – Aplicação no modelo



Fonte: Autor

A integração com bases orçamentárias e a emissão de estimativas automatizadas constitui funcionalidade essencial do sistema BIM para gestão patrimonial. O modelo permite simular futuras intervenções e comparar alternativas técnicas e econômicas, facilitando a geração de relatórios customizáveis e análises comparativas de diferentes cenários de intervenção.

5. Conclusão

O projeto piloto desenvolvido para o bloco A do edifício Jorge Machado Moreira (JMM) representa um marco na aplicação da tecnologia BIM (Building Information Modeling) à preservação do patrimônio público brasileiro, especialmente no contexto de edificações históricas e de grande relevância arquitetônica. O edifício JMM não é apenas um símbolo do modernismo brasileiro, mas também um caso emblemático dos desafios enfrentados pela administração pública na conservação de bens culturais de uso intensivo e múltiplo.

A partir da escolha estratégica do bloco A, severamente afetado pelos incêndios de 2016 e 2021, o projeto piloto concentrou esforços em áreas com maior complexidade patológica e necessidade de intervenção urgente. O estudo sistemático das patologias dos 72 pilares da fachada sudeste, realizado com base em inspeções visuais, ensaios não destrutivos e registros históricos, permitiu a criação de um acervo digital robusto e parametrizado. Cada pilar foi modelado no ambiente BIM com precisão geométrica, espacial e material, integrando informações sobre localização, dimensões, características construtivas, estado de conservação e origem dos dados (projeto original, levantamentos recentes e relatórios técnicos).

A principal inovação reside na modelagem multidimensional das patologias, que vai além da mera representação geométrica. Por meio da criação de famílias paramétricas, os sintomas patológicos foram incorporados ao modelo digital, permitindo análises evolutivas e comparativas ao longo do tempo. A utilização de programação visual automatizou tarefas repetitivas, acelerando a inserção e atualização dos elementos no modelo e garantindo rastreabilidade e consistência dos dados.

Essa abordagem possibilita a geração automática de relatórios quantitativos e análises estatísticas do estado de conservação dos pilares, otimizando o diagnóstico e o planejamento de intervenções corretivas e preventivas. Além disso, a integração com

bases orçamentárias permite simular cenários de intervenção, quantificar custos e comparar alternativas técnicas e econômicas, alinhando-se à Lei de Sitter, que evidencia o aumento exponencial dos custos de recuperação estrutural quanto maior for a demora na identificação e tratamento das patologias.

O sistema BIM desenvolvido não se limita ao aspecto técnico. Ele estabelece conexões entre as seis interfaces fundamentais para a gestão patrimonial: histórica, teórica, acadêmica, técnica, administrativa e operacional. A espacialização do conjunto de informações mostrou-se essencial para otimizar fluxos burocráticos de contratações [17] e superar a sobreposição de competências institucionais, um dos principais entraves à preservação do patrimônio na UFRJ.

Outro destaque do projeto piloto é a capacidade de modelagem preditiva. Com o BIM, tornou-se possível simular a evolução das patologias ao longo do tempo e projetar os custos futuros de intervenção caso medidas preventivas não sejam adotadas. Essa análise prospectiva é fundamental para justificar técnica e economicamente os investimentos em preservação, demonstrando de forma clara a relação custo-benefício das ações propostas. A possibilidade de identificar precocemente sintomas patológicos por meio de rotinas de vistoria automatizadas viabiliza intervenções em estágios iniciais de deterioração, reduzindo significativamente os custos em relação a intervenções emergenciais.

A metodologia desenvolvida no projeto piloto é replicável e escalável. A experiência adquirida no bloco A pode ser expandida para todo o edifício JMM e para outros patrimônios da UFRJ e de instituições públicas brasileiras. A documentação e sistematização dos processos, aliadas à adoção de padrões abertos e à interoperabilidade entre sistemas, garantem a longevidade e acessibilidade das informações independentemente de softwares proprietários, promovendo a sustentabilidade tecnológica da solução.

Do ponto de vista econômico, a otimização dos processos de manutenção preventiva e a redução dos custos de intervenções corretivas contribuem para a sustentabilidade financeira do sistema de gestão patrimonial [18]. A integração com processos licitatórios, favorecida pela Lei nº 14.133/2021, permite a simulação de cenários contratuais, a geração de relatórios customizáveis e a redução de riscos em contratações públicas, consolidando o BIM como ferramenta estratégica para o setor público.

A dimensão educacional também se destaca como aspecto fundamental para a sustentabilidade da implementação. A capacitação contínua de técnicos, gestores e pesquisadores em linguagens de programação, parametrização e uso de tecnologias digitais é imprescindível para garantir a evolução e atualização do sistema. O projeto piloto evidencia a necessidade de uma “alfabetização digital” na administração pública, preparando as equipes para lidar com as demandas de uma gestão patrimonial baseada em dados e modelos digitais integrados.

O futuro da preservação do patrimônio público brasileiro passa, inevitavelmente, pela adoção de tecnologias como o BIM. A convergência entre as demandas de conservação e as possibilidades oferecidas por gêmeos digitais, sensores IoT (do inglês *Internet of Things*), inteligência artificial e realidade aumentada aponta para um novo paradigma de gestão patrimonial, fundamentado em dados, transparência e eficiência. O desenvolvimento do Plano de Execução BIM (PExBIMJMM), fundamentado nos resultados do projeto piloto, permitirá consolidar uma metodologia robusta e replicável, ampliando as possibilidades de monitoramento, gestão e preservação do patrimônio cultural nacional.

Em síntese, o projeto piloto do bloco A do edifício Jorge Machado Moreira demonstra, de forma inequívoca, a pertinência, eficácia e potencial transformador da tecnologia BIM na

preservação do patrimônio público. Ao integrar múltiplas dimensões de informação, automatizar processos, otimizar recursos e promover a transparência, o BIM se consolida como ferramenta indispensável para a modernização da gestão patrimonial na administração pública brasileira, abrindo caminho para uma nova era de conservação sustentável, inteligente e colaborativa.

6. Referências

- [1] MORAES, Paulo Jardim de. *Edifício Jorge Machado Moreira e o Movimento Moderno em Chamas*. Cadernos PROARQ, Rio de Janeiro, n031, pag. 09-35, Dez/2018.
- [2] COSTA, S. F.; NOVAK, A. C. A.; GRABOIS, T. M.; SILVOSO, M. M.; VARELA, W. D. *Evolução dos sintomas patológicos no edifício Jorge Machado Moreira*. In: Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, 5., 2020, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: UFRJ, 2020.
- [3] EASTMAN, C. et al. *Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.
- [4] CANUTO, Cristiane Lopes. *Modelo BIM e proposta de intervenção no Palácio Gustavo Capanema*, Rio de Janeiro - RJ: Pela preservação digital da arquitetura moderna. 2017. 175 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Projeto e Patrimônio) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- [5] BRASIL. *Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019*. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Brasília, DF: D.O.U de 23/08/2019.
- [6] BRASIL. *Decreto nº 10.306, de 02 de abril de 2020*. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal. Brasília, DF: D.O.U de 03/03/2020.
- [7] CARVALHO, Claudia S. Rodrigues de. *Conservação preventiva de edifícios e sítios históricos: pesquisa e prática*. Revista CPC, São Paulo, n.18, p. 141-153, dez. 2014/abril 2015.
- [8] RODRIGUES, P. F. N; VARELA, W. D. *Diagnóstico do estado atual do sistema estrutural do edifício da FAU - Reitoria/UFRJ*. Rio de Janeiro, set./2010.
- [9] SILVOSO, M. M.; VARELA, W. D. *Avaliação Estrutural do Edifício da FAU - Reitoria/UFRJ - Diagnóstico*, Relatório Técnico apresentado à Reitoria/UFRJ. Rio de Janeiro, 567 p., setembro/2015.
- [10] LOPES, Cleidson Alves. *A tecnologia BIM como ferramenta para a conservação e restauro edifício Jorge Machado Moreira*. 2022. 50 f. TCC (Bacharelado) -Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.
- [11] BRASIL. *Lei nº 9.784 de 29 de janeiro de 1999*. Regula o processo administrativo no âmbito da administração pública federal. Brasília, DF: D.O.U de 01/02/1999.
- [12] HELENE, P. *Vida útil das Estruturas de Concreto*. In: IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções. Anais... Porto Alegre, RS, 1997.
- [13] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas *NBR-5462: Confiabilidade e manutenibilidade*. Rio de Janeiro, 1994.
- [14] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas *NBR-5674: Manutenção de edificações - Procedimento*. Rio de Janeiro, 1999

- [15] AMORIM, Sérgio Roberto Leusin de. *Gerenciamento e coordenação de projetos BIM: um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso de empreendimentos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Gen LTC, 2021.
- [16] MENEGOTTO, José Luis. *Explicitando a estrutura do prédio em modelos BIM*. SIGraDi 2016, XX Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital, Buenos Aires, Argentina, v. 3, n. 1, p. 459-465, nov./2016.
- [17] BRASIL. *Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021*. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, DF: D.O.U de 01/04/2021.
- [18] PEREIRA, S. M. S. de A.; CORREIA, M. C. *Implementação da abordagem e tecnologia BIM no processo de gestão na FIOCRUZ*. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019014, 2019.



Génese e Impacto do ProNIC como Sistema de Informação na Construção em Portugal

Genesis and Impact of ProNIC as an Information System in Construction in Portugal

RIBEIRO, Yanh¹; TEIXEIRA, Jorge²; SOUSA, Hipólito³; MÊDA, Pedro⁴
 yribeiro@fe.up.pt¹; jalt@fe.up.pt²; hipolito@fe.up.pt³; pmeda@fe.up.pt⁴.

¹CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto | Porto, Portugal.

²ICS / CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto | Porto, Portugal

³CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto | Porto, Portugal

⁴ICS / CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto | Porto, Portugal

Informações do Artigo

Palavras-chave:
 Gestão da informação na
 Construção;
 ProNIC;
 Padronização da
 Informação Técnica.

Keywords:
 Information Management in
 Construction;
 ProNIC;
 Standardization of
 Technical Information.

Resumo:

Este artigo analisa a trajetória e os impactos da plataforma ProNIC como sistema de gestão da informação técnica na construção pública em Portugal. Desenvolvido com o objetivo de padronizar os dados técnicos dos projetos, o ProNIC consolidou-se como uma ferramenta estruturante ao longo de quase duas décadas de aplicação, promovendo a padronização de conteúdos, a colaboração entre disciplinas e a rastreabilidade da informação. A partir de um estudo de caso representativo são discutidas as funcionalidades da plataforma, seus mecanismos e os ganhos obtidos em eficiência e controle. O artigo propõe ainda uma análise comparativa com o contexto brasileiro, explorando o potencial de adaptação de princípios do ProNIC a sistemas já consolidados no Brasil. Os resultados apontam para caminhos concretos de transformação digital no setor público da construção, com foco na interoperabilidade e na gestão integrada da informação.

Abstract

This article analyzes the trajectory and impact of the ProNIC platform as a technical information management system for public construction in Portugal. Developed with the aim of standardizing project technical data, ProNIC has established itself as a foundational tool over nearly two decades of application, fostering content standardization, cross-disciplinary collaboration, and information traceability. Based on a representative case study, the platform's functionalities, mechanisms, and the resulting efficiency and control gains are discussed. The article also presents a comparative analysis with the Brazilian context, exploring the potential for adapting ProNIC's principles to systems already established in Brazil. The findings point to concrete pathways for digital transformation in the public construction sector, with a focus on interoperability and integrated information management.

1. Introdução

A gestão da informação é uma temática em evidência crescente na construção. A

capacidade de gerar, organizar e distribuir eficazmente os dados técnicos de um projeto é imprescindível para o futuro da indústria da

Arquitetura e Engenharia e Construção (AEC) [1].

Entretanto, o setor enfrenta dificuldades estruturais, como a ausência de padronização ou normalização da informação, a fragmentação e o desalinhamento entre fases, processos e agentes e a falta de uma estruturação consistente da informação técnica, que permita a gestão da informação ser realizada de maneira adequada. Esta inadequação resulta em desperdícios como, esforços para identificação de inconsistências, conceitos iguais geridos de maneira diferente, ou mesmo erros, defeitos e omissões de informação no processo construtivo. Assim, a padronização dos dados revela-se fundamental para garantir a qualidade, consistência e interoperabilidade da informação [2].

Os sistemas de gestão da informação são ferramentas que podem assegurar um melhor fluxo de informação, aprimorar a comunicação e coordenação e, conseqüentemente, reduzir erros, omissões ou defeitos e, inclusive, eliminar desperdícios de informação e de mão de obra especializada [3].

O presente trabalho de investigação analisa a implementação do ProNIC (Protocolo para a Normalização da Informação Técnica na Construção), desde a sua gênese, resultado da ambição do Governo Português de normatizar a informação técnica dos projetos de construção, até ao seu legado, sendo amplamente testado e validado em um programa para a remodelação de escolas públicas portuguesas, incorporando funcionalidades diversas para adequar à realidade do mercado. Dessa forma, mesmo sendo uma plataforma pioneira em Portugal para a gestão da informação técnica da construção, o ProNIC permitiu entregar, pela primeira vez no país, uma vasta gama de projetos de construção padronizados, com montante total de investimento mais de 1,5 bilhões de euros e mobilizando mais de mil e quinhentos profissionais na utilização da plataforma [4], [5].

A partir desta experiência, o estudo procura enriquecer e contribuir com a temática sobre a importância da adoção de sistemas de gestão da informação técnica, particularmente em contextos que visam aumentar a maturidade digital do setor. Com base nas lições aprendidas e práticas adotadas nesta iniciativa, propõe-se, para além de abordar as práticas adotadas em Portugal ao longo das últimas duas décadas, uma análise crítica sobre a adaptação destes princípios a novos processos e realidades, com destaque para a aplicação potencial em outros contextos, como o brasileiro.

O conhecimento gerado por esta investigação visa apoiar a definição de estratégias mais eficazes de normatização e digitalização. Estas estratégias devem responder aos desafios da transição digital e verde e atender aos requisitos de interoperabilidade, rastreabilidade e gestão integrada da informação ao longo do ciclo de vida das construções. [6], [7].

2. Metodologia

O estudo adota uma abordagem qualitativa de natureza descritiva e exploratória, apoiada numa metodologia de métodos mistos [8]. A investigação combina três componentes principais: análise documental, estudo de caso e revisão bibliográfica com análise comparativa internacional.

A análise documental foi realizada sobre um conjunto de evidências relacionadas com o desenvolvimento e a aplicação da plataforma ProNIC em Portugal. De forma complementar, foram analisados relatórios do Tribunal de Contas português [9], que avaliaram a eficácia e a eficiência do programa.

O estudo de caso foca-se na utilização do ProNIC em um vasto programa de requalificação das escolas secundárias em Portugal, que constituiu o principal campo de aplicação e validação do sistema. Esta abordagem permite uma compreensão aprofundada do contexto institucional e

operacional, bem como das dinâmicas colaborativas, dos desafios enfrentados e das soluções desenvolvidas no processo de adoção da plataforma.

Por fim, o estudo propõe uma análise comparativa interpretativa, em que as lições aprendidas com o caso português são articuladas com os referenciais brasileiros, visando identificar possíveis convergências, adaptações e oportunidades de aplicação.

3. ProNIC e a Normalização da Informação Técnica

3.1. Visão Geral

O Protocolo para a Normalização da Informação Técnica na Construção (ProNIC) tem sua gênese a partir de iniciativas anteriores adotadas pelo Governo Português para desenvolver diretrizes de normalização ou padronização da informação em formato digital [10]. O desenvolvimento inicial se deu entre 2005 e 2008 com o objetivo de se criar um sistema de classificação com maior detalhamento da informação técnica do que os mais conhecidos à época, Samarbetskommitten for Byggnadsfragor (SfB), Uniclass ou Omniclass, visando o desenvolvimento de uma estrutura de desagregação de trabalhos (WBS – Work Breakdown Structure) completa para obras de construção que fosse também capaz de suportar os requisitos de especificação para cada atividade de construção, incluindo características obrigatórias associadas aos materiais, produtos e trabalhos de construção relacionados com a atividade [11], [12].

Desta fase inicial de desenvolvimento resultou a criação do articulado ProNIC, uma WBS orientada para trabalhos de construção, estruturada em 26 capítulos, com aproximadamente 6700 artigos, ou seja, trabalhos de construção distintos, com aproximadamente 41700 parâmetros que caracterizam os materiais, elementos e trabalhos ou outras informações destes artigos. Esta estruturação baseada em uma plataforma informática permitiu expandir a sua funcionalidade para se possibilitar a

criação de Mapas de Quantidade de Trabalhos (MQT) padronizados, ou seja, uma lista de atividades de construção padronizada, onde todos os projetistas utilizam a mesma fonte de informação para criar a sua lista, permitindo uma consolidação que minimiza duplicações ou omissões de informação [13].

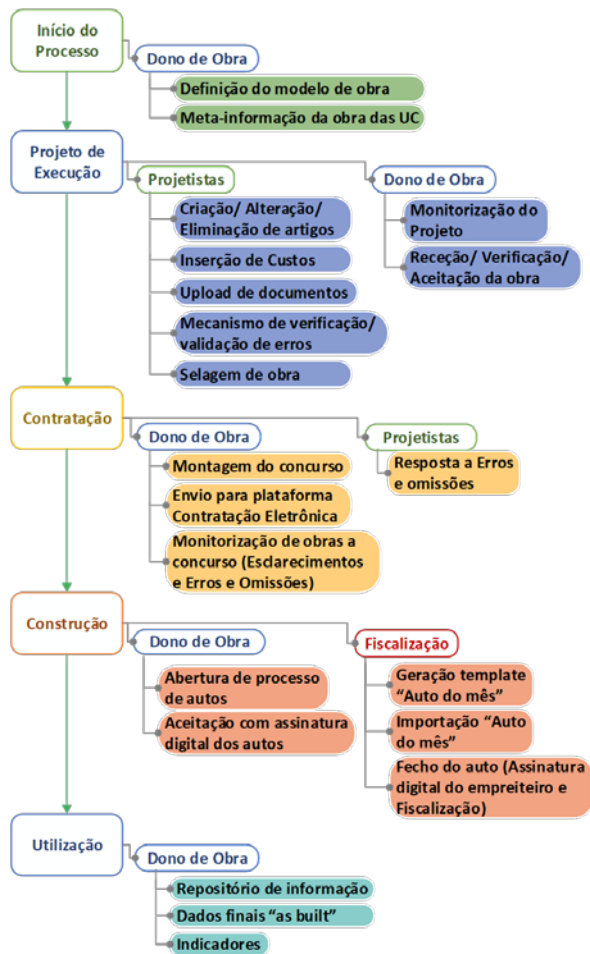
Em 2009 a plataforma começou a ser utilizada em um programa de remodelação de escolas portuguesas gerido por uma empresa pública própria para este fim, a Parque Escolar, EPE. No âmbito deste programa o ProNIC passou por múltiplos desenvolvimentos adicionais [5].

Inicialmente, para a fase de conceção do projeto, foi necessário dar suporte à execução de um grande número de projetos, com múltiplos intervenientes, a trabalhar num único ambiente colaborativo. Posteriormente, a plataforma expandiu para assegurar a gestão da fase de construção, com emissão de relatórios de medição mensal e todos os demais pormenores advindos do CCP – Código dos Contratos Públicos, legislação portuguesa que rege os contratos públicos [10].

Para além disso, o ProNIC agregou funcionalidades que ampliaram a sua utilização e importância enquanto plataforma de gestão para a Parque Escolar, como: Ambiente Comum de Dados (CDE – Common Data Environment), suporte ao envio para as plataformas de contratação eletrônica, acompanhamento dos processos da contratação, sistema de gestão de utilizadores e respetivos perfis [14].

Assim, partindo de uma ambição inicial do Governo Português de padronizar as informações de projetos de construção de edifícios, o ProNIC foi criado e evoluiu gradativamente, agregando funcionalidades ligadas a esta estruturação da informação, tornando-se uma plataforma completa que percorre todo o processo construtivo. Como descrito na Figura 1 [15].

Figura 1 – Exemplo de figura



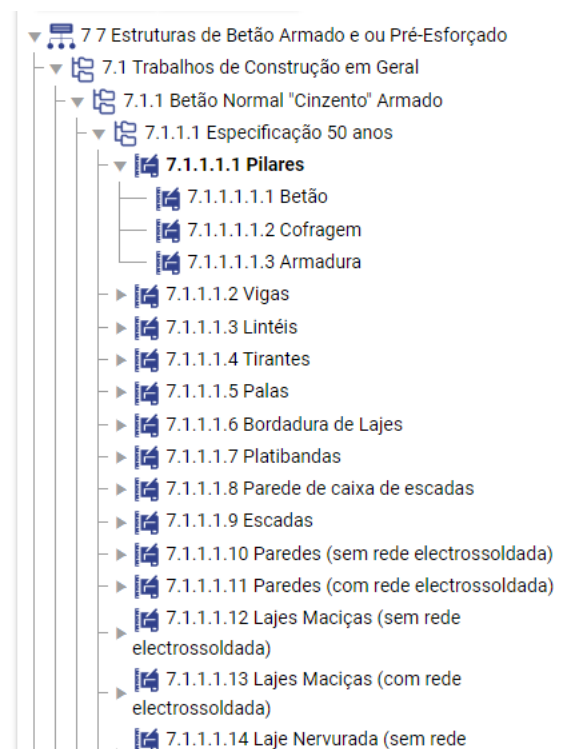
Fonte: os autores

3.2. MQT ProNIC

O MQT – Mapa de Quantidade de Trabalhos é um elemento das peças escritas do projeto de construção que traz a informação do projeto, sistematizada em trabalhos de construção, associada as suas quantidades e custos. Semelhante a planilha de quantidades utilizada no orçamento analítico no Brasil, o MQT possui um maior detalhamento na descrição da atividade, ou do artigo do MQT, uma vez que, diferente do Brasil, as composições de custo não são parte do processo de licitação de obras públicas. Assim, esta especificação da atividade a ser realizada ganha uma enorme relevância, em vista que a descrição deve ser a mais completa e clara possível, uma vez que este é o documento que faz a interligação de toda a informação do projeto as suas quantidades e preços associados [13], [16].

O ProNIC permite que a elaboração dos MQTs seja realizada de forma integrada, padronizada, com a participação de múltiplos intervenientes simultaneamente e com verificação de erros, incoerências e validação por parte dos gestores do projeto. Para isto, a partir da plataforma informática, os projetistas devem selecionar os artigos de uma lista padronizada, chamada de articulado ProNIC, resultante da estrutura de desagregação dos trabalhos de construção, exemplificada na Figura 2.

Figura 2 – Parte do articulado ProNIC



Fonte: os autores

Além da seleção do artigo, deve-se fornecer as informações de caracterização dos materiais, elementos, trabalhos, ou outras informações, pré-definidas ou não [13]. Estas informações são designadas de parâmetros e completam o texto padronizado, formando um artigo padronizado, mas único, caracterizando as especificidades do projeto. Um exemplo de um texto de artigo padronizado existente no ProNIC:

Execução de PAVIMENTOS TÉRREOS em betão armado normal "cinzeno" com \$1 de espessura, incluindo fornecimento, colocação, compactação e cura de betão \$3,

\$4, \$5, \$6, \$7 \$8 \$2 \$20 \$21 \$22 \$23 \$30 \$31; transporte, montagem, desmontagem, óleo descofrante e limpeza de cofragem; fornecimento, colocação, carga e descarga, desperdícios e empalmes e elementos de montagem de armaduras certificadas em aço \$9, e todos os trabalhos, nomeadamente juntas de construção e retração, selagem de juntas, elementos de transferência de carga, materiais e execução de acordo com o projeto.

Os parâmetros estão representados com “\$número” e devem ser editados pelo projetista. Após o preenchimento das opções o mesmo artigo pode assumir uma forma específica para o projeto, como o exemplo a seguir:

Execução de PAVIMENTOS TÉRREOS em betão armado normal “cinzento” com 0.20 m de espessura, incluindo fornecimento, colocação, compactação e cura de betão C35/45, XA1, Cl 0.20, S3, Dmáx 12 mm com incorporação de hidrófugo, aplicação de endurecedor de superfície de agregados de corindo, na cor antracite, resist. à abrasão (BOHME) A6, na dosagem de 4 [kg/m²], filme de polietileno com 0.20 mm de espessura; transporte, montagem, desmontagem, óleo descofrante e limpeza de cofragem; fornecimento, colocação, carga e descarga, desperdícios e empalmes e elementos de montagem de armaduras certificadas em aço A400 NR-SD, e todos os trabalhos, nomeadamente juntas de construção e retração, selagem de juntas, elementos de transferência de carga, materiais e execução de acordo com o projeto.

A implementação do MQT normalizado através do ProNIC representa, assim, um avanço significativo na estruturação da informação técnica dos projetos, assegurando consistência, clareza e rastreabilidade ao longo de todo o ciclo de vida da construção. Para ilustrar a aplicação prática dos conceitos descritos, apresenta-se a experiência do programa Parque Escolar, que foi o principal campo de validação do ProNIC.

3.3. A utilização do ProNIC do Projeto Parque Escolar

O projeto Parque Escolar foi um programa destinado à reabilitação de escolas secundárias em Portugal. Com um alto número de projetos de dimensões e complexidades diversas, e um elevado esforço organizacional e técnico, este foi um dos projetos mais exigentes em termos de reabilitação de edifícios alguma vez realizado em Portugal nas últimas décadas [5].

Estabelecida no início de 2007, a empresa pública Parque Escolar, EPE foi designada pelo Ministério da Educação do Governo Português para atuar como Dono de Obra. Sua missão consistia em estabelecer e preparar os requisitos para a remodelação de escolas secundárias e aprimorar a fase de uso das instalações renovadas [17].

A maior parte dos complexos escolares é composta por vários edifícios e espaços diferentes que têm finalidades diferentes e que, na fase de construção, passariam a fazer parte de uma fase específica do projeto de renovação. A adoção de diferentes critérios permitiu a tomada de consciência de que esta questão deveria ser resolvida. A solução foi a adoção do conceito de Unidades de Construção, que atualmente, do ponto de vista da Gestão de Ativos, corresponde a "Entidade de Construção", segundo a ISO 12006-2 [18] ou "Instalação", segundo o COBie [19]. Isto promoveu uma melhor compreensão e levou a uma forma mais coordenada de trabalhar.

Um dos principais aspetos que introduziu restrições à velocidade dos processos de conceção foi o novo quadro jurídico para os contratos públicos. Este novo pacote regulamentar trouxe alterações substanciais à forma como os processos eram executados, bem como aos requisitos a cumprir nos acordos. Foram também introduzidas alterações importantes na forma como os contratos seriam geridos durante a fase de construção [16]. Embora o ProNIC se destinasse a apoiar todas estas atividades, o que aconteceu foi que o novo quadro jurídico teve de ser introduzido nas sessões de formação para sensibilizar não só para as

funcionalidades da plataforma, mas também para os novos requisitos regulamentares. Esta combinação, por um lado, fomentou as mudanças necessárias, mas, por outro lado, quando surgiram dificuldades, foram associadas indevidamente à plataforma, embora algumas tenham sido causadas pelos requisitos legais.

Portanto, o aumento das exigências regulatórias em termos de análises ambientais e térmicas, de ciclo de vida e outras, e o crescente número de intervenientes envolvidos no processo construtivo exigem mais informação e maior esforço para gerir esta informação, bem como para garantir a sua consistência, mesmo quando dispersa em elementos com origem e forma diferentes.

A complexidade do programa, marcada pela necessidade de manter o funcionamento escolar durante as obras e a elevada diversidade técnica dos projetos, exigiu um robusto sistema de gestão da informação. A introdução do ProNIC permitiu consolidar a utilização de Mapas de Trabalhos e Quantidades (MQT) normalizados, facilitando a colaboração entre os diferentes agentes envolvidos (arquitetos, engenheiros, gestores, empreiteiros, etc.).

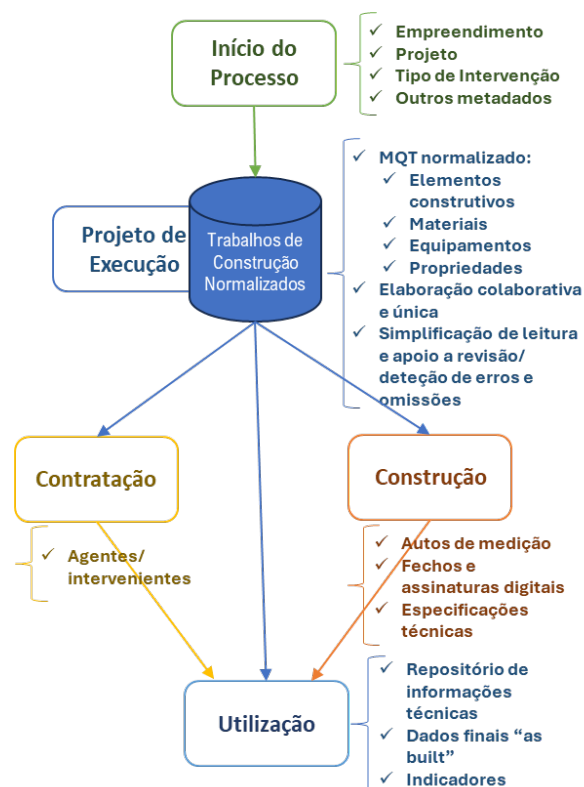
O ProNIC destacou-se por viabilizar: padronização da linguagem técnica entre os diversos intervenientes; ambiente colaborativo com controlo de versões e gestão documental integrada; verificações automáticas de coerência entre disciplinas e deteção de duplicações de tarefas; integração com requisitos legais decorrentes do novo Código dos Contratos Públicos.

Apesar dos desafios iniciais de formação e adaptação dos utilizadores, o ProNIC demonstrou capacidade de adaptação a requisitos legais e operacionais rigorosos. Sua adoção promoveu ganhos de eficiência, rastreabilidade e confiança nos processos, verificada com inquéritos de satisfação, consolidando-se como uma referência na digitalização da gestão da construção pública em Portugal.

4. Lições da Implementação do ProNIC

A estruturação e padronização da informação é o elemento-chave sobre o qual o ProNIC está fundamentado. O articulado ProNIC é o principal conteúdo padronizado, essencial para a fase de conceção, viabiliza a criação dos MQTs padronizados, que constituem o elemento central do processo, desde as fases preliminares de projeto até as fases de construção e entrega. A padronização a esse nível da informação, possibilita o alinhamento ao nível estratégico, aumentando a confiabilidade do processo, tal como apresentado na Figura 3 [3].

Figura 3 – Atividades ligadas diretamente a normalização dos conteúdos técnicos de MQT



Fonte: os autores

O trabalho de construção é a linguagem comum do setor. É a partir da descrição das tarefas que decorrem as informações fundamentais para fases como contratação, construção e utilização dos edifícios. Essas descrições incluem dados sobre os materiais, métodos construtivos e equipamentos associados aos trabalhos. Além disso, estas tarefas incorporam propriedades técnicas que

caracterizam os produtos e os elementos construtivos, servindo como ponto de articulação entre projeto e execução.

A diversidade da composição de uma equipe de projeto, com especialistas das diferentes disciplinas, trabalhando para um mesmo resultado, conduz, muitas vezes a abordagens fragmentadas, onde cada parte trabalha com lógicas próprias. Assim, a criação de um MQT padronizado é fundamental para estabelecer uma base comum de referência. O articulado ProNIC permitiu que todos os agentes se reconhecessem numa linguagem partilhada, respeitando simultaneamente as especificidades de cada área técnica.

O ProNIC foi determinante para promover essa produção colaborativa de informação, funcionando como plataforma integradora que permite, a qualquer momento do projeto, agrupar, comparar e validar as contribuições das diferentes especialidades. A capacidade de incorporar e estruturar a informação de forma integrada foi identificada como um fator de transformação para a maioria dos utilizadores.

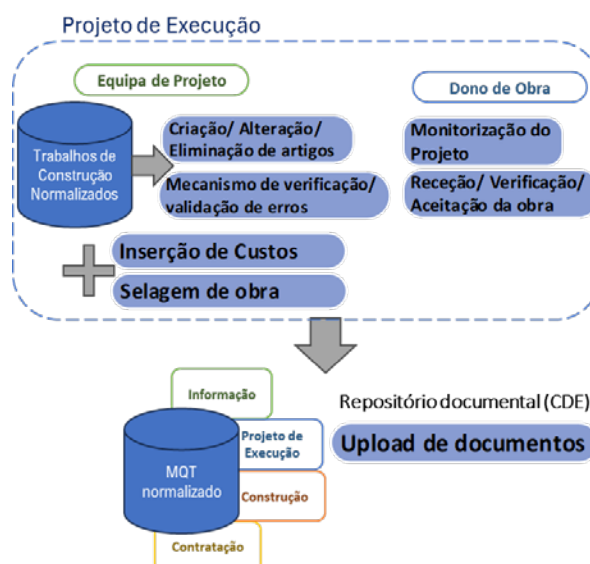
Outro avanço relevante foi a introdução de verificações automáticas, baseadas no articulado. Estas verificações geram alertas sempre que são detetadas inconsistências ou duplicações, como frequentemente ocorria no caso da especificação de luminárias. Dependendo da abordagem adotada pela equipa, estas podem ser definidas pela disciplina de instalações elétricas ou pela arquitetura. Quando ocorre uma dupla especificação, a plataforma notifica os utilizadores, permitindo-lhes decidir se a duplicação é intencional, por exemplo, quando se trata de elementos distintos com requisitos próprios, ou se deve ser eliminada.

Estas funcionalidades reforçaram a confiança na informação técnica, reduziram erros por redundância ou omissão, e consolidaram a plataforma como uma ferramenta de suporte ativo ao processo de conceção e decisão.

Com a obrigatoriedade da contratação pública eletrónica, a apresentação dos elementos do projeto passou a ser realizada através de um ambiente em nuvem, alinhado com o conceito de Ambiente Comum de Dados (CDE – Common Data Environment), como apresentado na Figura 4.

A partir de então, tornou-se prática comum o carregamento da documentação técnica diretamente na plataforma ProNIC, com assinatura digital do responsável pela disciplina e validação posterior pelo coordenador do projeto. Após essa submissão, os documentos eram avaliados para aceitação ou rejeição pelo Dono de Obra ou seu representante. Posteriormente, esse modelo foi expandido para a fase de construção, incorporando um processo mais detalhado para a validação de medições mensais e trabalhos adicionais, promovendo maior rigor e transparência. A centralização da informação na plataforma, sempre na sua versão atualizada, aumentou significativamente a confiança no processo, assegurando o seu acompanhamento contínuo e sob controlo do Dono de Obra [3].

Figura 4 – Trabalhos de Construção normalizados dão origem a MQT normalizados



Fonte: os autores

A eficiência proporcionada pelo MQT ProNIC, estruturado sob uma base de dados, amplia-se ao permitir a visualização e análise

da informação sob múltiplas perspetivas. Seja num único projeto — com vistas personalizadas por diferentes denominadores —, seja na comparação entre projetos distintos, a plataforma permite ao Dono de Obra análises sistemáticas, geração de indicadores e validações a diversos níveis e tipos, desde obras até aos trabalhos, como resume a Figura 5. Com isso, torna-se possível, por exemplo, avaliar se os valores médios por metro quadrado, por especialidade ou capítulo de um novo projeto estão alinhados com o histórico de obras similares, apoiando decisões mais fundamentadas desde o planeamento até à contratação.

Figura 5 – Relatórios para uma única obra e para comparação entre obras



Fonte: os autores

A experiência do ProNIC evidencia como a normalização da informação técnica pode transformar a forma como projetamos, contratamos e construímos. Mais do que uma plataforma de gestão da informação, o ProNIC consolidou-se como uma ferramenta estratégica estruturante para a digitalização da construção pública em Portugal.

5. Desenvolvimentos recentes e perspetivas futuras

Entre 2021 e 2023, o ProNIC passou por uma significativa atualização, tanto ao nível da infraestrutura informática como dos seus conteúdos técnicos, no âmbito do Projeto Mobilizador Rev@Construction. Esta atualização permitiu uma reestruturação a um nível mais granular dos dados do articulado, alcançando os parâmetros que compõem os textos padronizados dos artigos, conforme exemplificado na secção 3.2 do trabalho [13].

A nova estrutura foi concebida com foco na interoperabilidade com modelos BIM, nomeadamente com o formato IFC (Industry Foundation Classes). Esta integração visa permitir a extração de dados diretamente dos modelos, auxiliando os projetistas na criação de MQTs ProNIC de forma semi-automatizada. Parâmetros que antes exigiam preenchimento manual poderão ser obtidos de forma automática a partir dos modelos IFC. Um protótipo experimental validou essa abordagem, com resultados promissores [20].

Esta nova estrutura de dados abre caminho também para a integração com outras fontes de dados estruturadas, como os Passaportes Digitais de Produtos (PDP). Tal como definido no novo Regulamento de Produtos de Construção – Regulamento (EU) 2024/3110, os PDP representam um conjunto estruturado de dados essenciais sobre produtos, incluindo informações sobre desempenho, impacto ambiental e resíduos [21]. A incorporação dessas informações diretamente nos MQTs ProNIC poderá, no futuro, substituir ou complementar o preenchimento de parâmetros realizado pelos projetistas.

Adicionalmente, a automatização da obtenção dos parâmetros, seja via IFC ou PDP, cria oportunidades para o uso de técnicas de *Natural Language Processing* (NLP) na geração dos textos padronizados. Estas técnicas permitem adaptar automaticamente os artigos a situações não previstas, preservando a clareza e a estrutura exigida. Ensaio exploratórios com essa

abordagem indicam grande potencial de aplicabilidade [22].

Por fim, estes novos desenvolvimentos posicionam o ProNIC a par de responder de forma eficaz a novos desafios, como os impostos pelas Compras Públicas Ecológicas (CPE) [23]. As CPE exigem transparência e clareza nos critérios ecológicos associados a materiais ou elementos construtivos [24], [25]. A integração entre dados técnicos estruturados e ferramentas digitais avançadas permitirá assegurar essa verificação do cumprimento dos critérios ao longo de todo o processo, promovendo maior conformidade regulatória.

6. Análise Comparativa: Lições do ProNIC para o Brasil

A experiência portuguesa com o ProNIC oferece lições valiosas para o contexto brasileiro, particularmente no que diz respeito à padronização e estruturação da informação técnica da construção. Neste sentido, é possível identificar pontos de contato conceituais e operacionais entre o ProNIC e sistemas consolidados no Brasil, principalmente os sistemas de composição de custos, amplamente utilizados nas obras públicas brasileiras.

Um exemplo que se destaca é o SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, que desempenha um papel fundamental na elaboração de orçamentos públicos no Brasil. O SINAPI fornece composições analíticas de serviços, com produtividade aferida em campo, codificação estruturada e um processo contínuo de atualização técnica, conferindo-lhe credibilidade e aderência à realidade dos contratos públicos [26].

Embora ambos os sistemas estejam orientados para garantir confiabilidade da informação técnico-econômica, o ProNIC distingue-se por estar, desde a sua origem, integrado a uma plataforma informática, concebida para estruturar a informação desde as fases iniciais do projeto. Essa abordagem digital nativa permitiu não apenas a

centralização e normalização da informação, mas também a sua integração nos fluxos de trabalho dos projetistas, coordenadores e Donos de Obra. Como resultado, o desenvolvimento da plataforma foi aditivo e progressivo, mantendo continuidade com a estrutura de dados original, em vez de propor soluções paralelas ou concorrentes.

Embora a fragmentação institucional seja uma barreira comum tanto em Portugal como no Brasil, a experiência do ProNIC revela que a tentativa de consolidar uma plataforma única e centralizada enfrenta resistência quando os diferentes agentes não seguem o mesmo referencial de informação. Nesse sentido, uma lição importante para o Brasil pode estar na adoção de uma abordagem mais flexível e incremental, capaz de integrar múltiplas fontes de informação minimamente estruturadas, respeitando a diversidade existente. Ainda que tecnicamente desafiadora, essa estratégia pode ser percebida como uma mais-valia para o setor, funcionando como ponto de partida para o desenvolvimento progressivo de uma base comum, capaz de sustentar a tão necessária padronização da informação técnica na construção.

Por outro lado, iniciativas recentes apontam para avanços na direção de uma maior convergência entre padronização e digitalização. A definição da [27] e a Nova Estratégia BIM BR [28], representam passos importantes para uma mudança na direção ambicionada. Esta estratégia visa fomentar a interoperabilidade, a adoção de Ambientes Comuns de Dados, a documentação digital de ativos e o alinhamento com práticas internacionais de transformação digital no setor AECO [29].

Neste contexto, um sistema brasileiro de informações técnicas padronizadas e interoperável, inspirado nos princípios e mecanismos operacionais do ProNIC, representa uma oportunidade concreta para elevar os padrões de qualidade, eficiência e transparência na contratação de obras pública. A sua integração com referenciais como o SINAPI e com bibliotecas BIM públicas —

como as previstas na Nova BIM BR — permitiria estabelecer uma base técnica comum, adaptável e digitalmente conectada ao longo de todo o ciclo de vida da construção.

7. Conclusão

A normalização da informação técnica, especialmente através do MQT padronizado, demonstrou ser fundamental para melhorar a eficiência e a coordenação entre os diversos intervenientes em projetos de construção. A utilização de um Ambiente Comum de Dados contribuiu para a transparência e segurança na gestão documental, assegurando a conformidade com os requisitos regulamentares e fortalecendo a rastreabilidade da informação.

A colaboração entre os especialistas foi facilitada pela estrutura padronizada da plataforma ProNIC, permitindo uma comunicação mais eficaz e uma produção de informação consistente e verificável. Ao reduzir erros, evitar duplicações de esforço e melhorar a qualidade dos dados técnicos, o sistema contribuiu de forma decisiva para a eficiência dos processos de projeto e obra.

No contexto da Parque Escolar, o ProNIC demonstrou sua eficácia na gestão de projetos públicos complexos e de larga escala, com uma adoção progressiva e adaptativa ao longo das fases do projeto. Essa implementação prática permitiu testar, consolidar e aprimorar suas funcionalidades, resultando num modelo robusto e ajustado à realidade do setor público português.

Explorar a trajetória do ProNIC representa uma contribuição relevante para o conhecimento sobre sistemas de gestão da informação na construção, oferecendo uma abordagem inovadora para a padronização dos dados técnicos. As recentes extensões do sistema apontam para novas fronteiras, com a integração a modelos BIM, Green Public Procurement, COBie, Passaportes Digitais de Produtos e até a utilização de técnicas de Natural Language Processing, reforçando o seu papel na transição digital e verde do setor.

A partir da experiência portuguesa, observam-se possibilidades concretas de adaptação ao contexto brasileiro, especialmente em articulação com bases de dados, como o SINAPI e os avanços promovidos pela Nova Estratégia BIM BR. A adoção de soluções inspiradas no ProNIC poderá apoiar o Brasil na construção de um ecossistema digital mais integrado, confiável e transparente, alinhado com as exigências futuras da contratação pública e da gestão de ativos no setor da construção.

8. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base - UIDB/04708/2020 e DOI 10.54499/UIDB/04708/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04708/2020>) da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

9. Referências

- [1] R. Pina, M. C. Gonçalves, P. M. Magalhães, e D. Calvetti, «Informação da Construção em Usos BIM – Estudo de Caso», em *3º Congresso Português de «Building Information Modelling»*, Porto, Portugal: FEUP, 2020, pp. 749–760. doi: 10.24840/978-972-752-272-9_0749-0760.
- [2] P. Mêda, D. Calvetti, E. Hjelseth, e H. Sousa, «Incremental Digital Twin Conceptualisations Targeting Data-Driven Circular Construction», *Buildings*, vol. 11, n.º 11, p. 554, nov. 2021, doi: 10.3390/buildings11110554.
- [3] Y. Ribeiro, J. Teixeira, P. Mêda, J. Moreira, R. Sousa, e H. Sousa, «A Construction Information System as a Lean Information Management Enabler – Case Study», apresentado na 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 31), Lille, France, jun. 2023, pp. 104–115. doi: 10.24928/2023/0166.

- [4] P. Mêda, H. Sousa, «ProNIC Contributions for Building Refurbishment – Procedures and Technology», apresentado na REHABEND 2014, Santander, 2014.
- [5] P. Mêda, H. Sousa, e J. Moreira, «Pronic on the schools refurbishment program – contributions for the construction process improvement», em *REHABEND 2016: Contruction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management (6th REHABED Congress): Burgos (Spain), May 24th-27th, 2016*, Santander (Spain): University of Cantabria, 2014, pp. 1789–1798.
- [6] P. Adekunle, C. Aigabvboa, W. Thwala, O. Akinradewo, e A. Oke, «Challenges confronting construction information management», *Front. Built Environ.*, vol. 8, p. 1075674, dez. 2022, doi: 10.3389/fbuil.2022.1075674.
- [7] C. Llatas *et al.*, «Towards a Life Cycle Sustainability Assessment method for the quantification and reduction of impacts of buildings life cycle», *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 323, n.º 1, p. 012107, ago. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/323/1/012107.
- [8] C. A. McKim, «The Value of Mixed Methods Research: A Mixed Methods Study», *Journal of Mixed Methods Research*, vol. 11, n.º 2, pp. 202–222, abr. 2017, doi: 10.1177/1558689815607096.
- [9] Tribunal de Contas, «Processo n.º 25/2014 –AUDIT2aS – Auditoria à Parque Escolar – Exercício de 2013», Lisboa, Relatório de Auditoria 19/2016, 2016.
- [10] P. Mêda, J. Teixeira, D. Calvetti, Y. Ribeiro, J. Moreira, e H. Sousa, «Legacy practices supporting BIM adoption in Portugal – Reflections from a large use case», em *ECPPM 2022 - eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction 2022*, 1.ª ed., London: CRC Press, 2023, pp. 679–686. doi: 10.1201/9781003354222-86.
- [11] P. Mêda, J. Moreira, e H. Sousa, «Delivering COBie with ProNIC— compliance and implementation», em *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, 1.ª ed., J. Karlshøj e R. Scherer, Eds., CRC Press, 2018, pp. 215–222. doi: 10.1201/9780429506215-27.
- [12] P. Mêda, E. Hjelseth, e H. Sousa, «Construction information framework—the role of classification systems», em *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2016*, 2016.
- [13] Y. Ribeiro, J. Teixeira, P. Mêda, J. Moreira, R. Sousa, e H. Sousa, «Information systems for construction 4.0: classification of contents for integration and interoperability – case study», apresentado na 2023 European Conference on Computing in Construction and the 40th International CIB W78 Conference, jul. 2023. doi: 10.35490/EC3.2023.289.
- [14] H. Sousa e P. Mêda, «Collaborative construction based on work breakdown structures», em *European conference on product and process modelling*, Reykjavik, jul. 2012, pp. 839–845.
- [15] P. Mêda, «Integrated Construction Organization – Contributions to the Portuguese framework», Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.
- [16] Ministério das Obras Públicas - Gabinete do Ministro, «Decreto-Lei n.º 18/2008». janeiro de 2008.
- [17] H. Sousa, P. Mêda, e P. Carvalho, «Electronic Procurement on Construction Works-offer Evaluation Methodologies», em *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction – Proceedings of the European Conference on Product and*

- Process Modelling 2012, ECPPM 2012, 2012.*
- [18] ISO 12006-2:2015 *Building construction Organization of information about construction works Part 2: Framework for classification*, ISO 12006-2, 2015.
- [19] British Standard Institution (BSI), *BS 1192-4:2014. Collaborative production of information Part 4: Fulfilling employer's information exchange requirements using COBie – Code of practice*, BS 1192-4, 2014.
- [20] J. Teixeira, Y. Ribeiro, P. Mêda, J. Moreira, R. Sousa, e H. Sousa, «Interoperabilidade entre modelos BIM e ProNIC: vista de elementos vs. vista de trabalhos.», em *CIRMARE 2023 - VI Congresso Internacional na "Recuperação, Manutenção e Reabilitação de Edifícios"*, Covilhã, Portugal, dez. 2023.
- [21] P. Mêda, D. Calvetti, E. Hjelseth, e H. Sousa, «Digital Product Passports in Construction – Barriers and Opportunities at People, Process and Technology dimensions», apresentado na 2024 European Conference on Computing in Construction, jul. 2024. doi: 10.35490/EC3.2024.233.
- [22] Y. Ribeiro, J. Teixeira, J. Moreira, H. Sousa, F. Carvalhido, e H. Lopes, «UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE GERAÇÃO DE LINGUAGEM NATURAL PARA A CRIAÇÃO DE MQT – APLICABILIDADE À PLATAFORMA PRONIC».
- [23] Presidência do Conselho de Ministros, *Resolução do Conselho de Ministros n.º 13/2023*. 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2023/02/03000/0019300224.pdf>
- [24] Presidência do Conselho de Ministros, *Resolução do Conselho de Ministros n.º 132/2023*. 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2023/10/20700/0002600041.pdf>
- [25] Y. Ribeiro, J. Teixeira, J. Moreira, e H. Sousa, «ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DAS COMPRAS PÚBLICAS ECOLÓGICAS APLICÁVEIS À CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL».
- [26] C. E. Federal, *SINAPI: metodologias e conceitos*. Caixa, 2015.
- [27] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, *ABNT NBR 15575-1: Edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais*, 2013.
- [28] «Plano de trabalho Nova BIM BR».
- [29] L. Zapp, R. Magalhães, e S. Scheer, «Análise comparativa dos esforços e papéis de governo na adoção do BIM no Brasil e em países pioneiros», *Gestão & Tecnologia de Projetos*, vol. v19, n.º n3, 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/gtp.v19i3.219536>



Metodologia HBIM na Gestão do Património: O caso de estudo dos lanternins do aqueduto das Águas Livres

HBIM Methodology in Heritage Management: The case study of the lanterns of the Águas Livres aqueduct.

QUELHAS DA SILVA, Bruno¹; RODRIGUES, Carlos¹; SILVA, Renata¹; REGUERO SILVA, Joana²; MARTINHO, Carla

bruno.quelhas@ncrep.pt¹; carlos.rodrigues@ncrep.pt¹; renata.silva@ncrep.pt¹; joana.reguero.silva@adp.pt²; cm@similar.com.pt

¹NCREP - Consultoria em reabilitação do edificado e Património, Porto.

²EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., Lisboa.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Gestão de Património
Aqueduto
HBIM

Keywords:
Heritage Management
Aqueduct
HBIM

Resumo:

O estudo da secção do Vale de Alcântara do Aqueduto das Águas Livres, com foco nos lanternins, foi essencial para garantir a sua conservação e valorização. Recorrendo a uma abordagem multidisciplinar - incluindo levantamentos arquitetónicos detalhados, inspeções e análise da vulnerabilidade sísmica - caracterizou-se o estado estrutural dos 16 lanternins e delineou-se um plano de intervenção para corrigir as anomalias detetadas e reforçar a sua resiliência sísmica. A metodologia HBIM (Historic Building Information Modelling) foi central neste processo, ao integrar dados geométricos, materiais, construtivos, históricos e estruturais num modelo digital único. Os modelos desenvolvidos foram essenciais na documentação rigorosa, o diagnóstico e o desenvolvimento das soluções de intervenção. O modelo HBIM desenvolvido pretende funcionar como uma plataforma dinâmica de apoio à decisão, promovendo uma gestão preventiva e baseada em evidência. O estudo confirma o valor do HBIM como ferramenta estratégica na reabilitação de património histórico, com aplicabilidade alargada em contextos nacionais e internacionais.

Abstract:

The study of the Alcântara Valley section of the Águas Livres Aqueduct, focusing on the lanterns, was essential to ensure its conservation and enhancement. Using a multidisciplinary approach – including detailed architectural surveys, inspections, and seismic vulnerability analysis – the structural condition of the 16 lanterns was characterized, and an intervention plan was outlined to correct the detected anomalies and reinforce their seismic resilience. The HBIM (Historic Building Information Modelling) methodology was central to this process, integrating geometric, material, construction, historical, and structural data into a single digital model. The developed models were essential for rigorous documentation, diagnosis, and the development of intervention solutions. The developed HBIM model aims to function as a dynamic decision support platform, promoting preventive and evidence-based management. The study confirms the value of HBIM as a strategic tool in the rehabilitation of historical heritage, with broad applicability in national and international contexts.

1. Introdução

A secção do Vale de Alcântara do Aqueduto das Águas Livres estende-se por 941 metros e foi construída em alvenaria de calcário, apresentando uma galeria central de canal coberta por uma cobertura inclinada e ladeada por caminhos de ronda pavimentados em pedra. O aqueduto integra 16 estruturas em forma de lanternim que asseguram ventilação e iluminação natural, com o objetivo de garantir a qualidade da água. Esta estrutura é um dos mais emblemáticos monumentos nacionais portugueses e alberga atualmente o Museu da Água, estando sob a gestão da EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.

Face à degradação material visível nos lanternins, a EPAL contratou o gabinete de projetos NCREP [1] para desenvolver uma avaliação abrangente do estado de conservação e da segurança estrutural, incluindo a vulnerabilidade sísmica, destas estruturas. Paralelamente, foi desenvolvido um modelo HBIM do aqueduto e dos lanternins com o intuito de consolidar toda a informação técnica e patrimonial resultante deste estudo, estruturando-a num sistema coerente e sustentável que suporte a futura gestão do bem imóvel.

Este trabalho foi organizado em quatro fases principais: (Fase 1) levantamento arquitetónico e topográfico pormenorizado, com recurso a varrimento laser e georreferenciação GPS, gerando modelos tridimensionais de alta precisão; (Fase 2) inspeções visuais e ensaios experimentais in situ, para caracterizar o estado de conservação dos materiais e componentes estruturais; (Fase 3) avaliação da vulnerabilidade sísmica dos lanternins, em colaboração com o LNEC, incluindo a identificação das suas principais fragilidades; e (Fase 4) desenvolvimento do projeto de intervenção para reforço estrutural e conservação.

O recurso ao HBIM revelou-se central neste processo, não só como meio de documentação tridimensional detalhada, mas também como plataforma integradora de informação multi-escalar e multi-sensorial.

Os modelos permitiram o mapeamento de patologias estruturais e a organização dos dados dos ensaios experimentais, além de fornecerem a base para a modelação numérica e análise sísmica. Além disso, o HBIM apoiou a definição e registo das medidas de intervenção, consolidando-se como uma ferramenta estratégica para a gestão contínua do monumento.

A estruturação da informação no modelo HBIM visa, numa perspetiva futura, a sua utilização como repositório dinâmico e interativo, agregando toda a informação técnica, histórica e operacional sobre o aqueduto. Desta forma, procura-se garantir não apenas uma gestão mais eficiente e informada por parte da EPAL, mas também uma preservação mais sustentável e transparente do património construído, em consonância com as boas práticas emergentes na área da conservação digital do património.

2. Metodologia HBIM

A gestão do património arquitetónico tem sido profundamente transformada pelas tecnologias digitais, com o Historic Building Information Modelling (HBIM) a afirmar-se como uma metodologia inovadora e em crescente consolidação. Derivado do BIM tradicional, o HBIM foi adaptado às especificidades dos edifícios históricos, possibilitando a modelação tridimensional enriquecida com informação técnica e patrimonial [2], ao contrário do BIM convencional, que se foca em construções novas [3].

O HBIM permite integrar dados multidisciplinares - de levantamentos arquitetónicos, diagnósticos e ensaios [4,5] - num único modelo digital. Estas ferramentas funcionam simultaneamente como arquivos e suporte à decisão, facilitando a identificação e localização de patologias [6] e promovendo a classificação semântica de elementos conforme o seu papel estrutural e estado de conservação [7,3]. Esta estruturação da informação possibilita uma conservação preventiva eficaz, a simulação de cenários de

intervenção e a previsão de processos de degradação a longo prazo.

A recente integração com modelos de elementos finitos (FEM) e sistemas de monitorização estrutural (SHM) aumenta o potencial do HBIM para gerir edifícios em tempo real [8].

Casos internacionais, como a Basílica de Santa Maria del Fiore [9,10], a Catedral de Notre-Dame [11,12], o Palácio de Westminster e o Castelo de Schönbrunn [13,14], ilustram a sua aplicabilidade. Em Portugal, o HBIM tem sido usado em projetos no Mosteiro da Batalha [15], Casa de Santa Maria [16], Casa de Santo António [17], entre outros [18,19]. Apesar dos avanços, persistem desafios, como a falta de normalização [20], e a necessidade de frameworks integradas [21], embora a automação e inovação tecnológica apontem para um futuro promissor [22].

Em suma, o estado da arte do HBIM revela uma metodologia cada vez mais robusta e imprescindível para a gestão moderna do património edificado. A sua capacidade de integrar precisão geométrica, informação diagnóstica e estratégias de conservação oferece uma abordagem multidisciplinar e colaborativa, essencial para enfrentar os desafios da reabilitação, manutenção e valorização de bens culturais.

3. Descrição construtiva e estrutural do Aqueduto

A secção do Vale de Alcântara do Aqueduto das Águas Livres (também conhecido como Aqueduto de Alcântara) apresenta uma impressionante série de arcos e uma extensão de 941 metros de comprimento (figura 1). Esta estrutura estende-se desde o bairro da Serafina (Monsanto) até ao bairro de Campolide (Amoreiras). Toda a estrutura do aqueduto foi construída com alvenaria tradicional em calcário, utilizando blocos de calcário lioz e argamassa fraca nas juntas, formando uma estrutura de alvenaria isodómica altamente regular.

Figura 1 - Aqueduto das Águas Livres. Bairro da Serafina à direita e Campolide à esquerda, [23].



Por cima dos arcos do aqueduto encontra-se uma galeria central retangular coberta por uma cobertura inclinado. Em ambos os lados da galeria do canal existem caminhos de ronda pavimentados em pedra, (figura 1 e 2). A galeria do canal, concebida para transportar e proteger a água da poluição, foi construída em alvenaria de calcário, com as faces interiores e exteriores rebocadas. O teto do canal é uma abóbada de berço construída em alvenaria de tijolo cerâmico, apoiada nas paredes de calcário. Embora não tenham sido realizadas investigações diretas sobre a cobertura exterior do canal, acredita-se que exista uma camada de enchimento por cima da abóbada, servindo de base às lajes de pedra que formam a cobertura exterior.

A galeria do canal é marcada por 16 estruturas de ventilação em pedra, conhecidas como lanternins, que são o objeto deste estudo (figura 2). Os lanternins funcionam como estruturas de ventilação e iluminação para manter a qualidade da água. Construídos com blocos de calcário de médio e grande porte, estendem-se desde o nível da base dos passadiços até aos seus telhados polinucleares.

Figura 2 - Lanternins do aqueduto das Águas Livres.



Os 16 lanternins da secção do Aqueduto de Alcântara estão identificados por numeração sequencial, desde Campolide - L1 até à Serafina - L16. Cada lanternim apresenta características geométricas e estruturais únicas, mas podem ser classificados em 3 tipologias, aqui designadas por LT1, LT2 e LT3. A tipologia LT1 refere-se aos lanternins com planta hexagonal irregular localizados nos pontos onde o canal do aqueduto muda de direção. As tipologias LT2 e LT3, com planta quadrada, são semelhantes entre si, diferindo apenas no design da cobertura. Alguns lanternins possuem portas que permitem a passagem entre os dois caminhos de ronda.

Os lanternins são compostos pelo mesmo tipo de alvenaria que o aqueduto: blocos de calcário grandes, quadrados ou retangulares, com arestas precisamente ajustadas, resultando em juntas praticamente invisíveis entre os blocos. Ao contrário da galeria do canal, a estrutura em alvenaria dos lanternins está totalmente exposta no exterior e na cobertura e, geralmente, também no interior.

Estrutural e arquitetonicamente, o corpo dos lanternins pode ser dividido em 3 secções verticais distintas: (i) Secção inferior - Constituída por grossas paredes em alvenaria regular com grandes blocos de calcário, ligadas às paredes da galeria do canal. (ii) Secção superior - Composta por 4 pilares/colunas de silharia isodómica bem

trabalhados, iluminados em todas as fachadas por aberturas em arco redondo. (iii) Cobertura - Constituída por grandes blocos em calcário, formando uma laje de pedra bem ajustada, encimada por um pináculo central igualmente em calcário.

Em [24], são apresentados valores médios das propriedades mecânicas da pedra e do enchimento, obtidos a partir de amostras retiradas dos pilares do aqueduto.

4. Trabalho de campo

4.1. Levantamento Laserscanning

A primeira fase do trabalho passou pela realização do levantamento arquitetónico e topográfico do troço do Vale de Alcântara do Aqueduto das Águas Livres com recurso a tecnologia de varrimento laser terrestre (Terrestrial Laser Scanning - TLS), complementada por técnicas de posicionamento por satélite baseadas em GNSS/GPS, com o objetivo de obter uma representação tridimensional precisa e georreferenciada da estrutura.

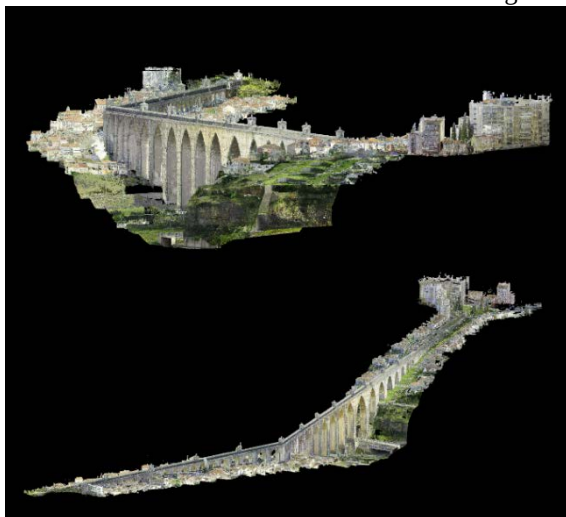
A aquisição de dados decorreu em duas campanhas de campo. Durante a primeira campanha, foram executados 486 varrimentos, abrangendo a totalidade da estrutura inferior do aqueduto, incluindo os 35 arcos, a galeria, os passeios de ronda e os 16 lanternins. A segunda campanha acrescentou 331 varrimentos adicionais, com enfoque nos lanternins, galeria e passeios, integrando a recolha de nuvem de pontos com informação cromática (color cloud). O equipamento utilizado foi o scanner laser Leica RTC360 LT, reconhecido pela sua precisão e eficiência em contextos de documentação patrimonial.

Complementarmente ao TLS, a georreferenciação do modelo foi assegurada por meio da implantação de alvos distribuídos ao longo da extensão do aqueduto, cuja posição foi determinada com recurso a técnicas GNSS de alta precisão. Para a estabilização das coordenadas, foi adotada a média de múltiplas leituras consecutivas.

Posteriormente, os dados foram integrados com a rede topográfica de apoio da cidade de Lisboa, permitindo uma correta inserção espacial do modelo obtido.

O processamento e registo da nuvem de pontos foi efetuado através do software Leica Cyclone REGISTER 360, permitindo a fusão dos varrimentos individuais e a sua calibração com base nos alvos de controlo. Após o tratamento dos dados, foi obtido um erro médio final de apenas 0.003 metros, evidenciando a elevada precisão geométrica do levantamento. A figura 3 ilustra a configuração global da nuvem de pontos colorida que representa o Aqueduto e a sua envolvente.

Figura 3 - Nuvem de pontos do aqueduto resultante do levantamento com recurso a Laser scanning.



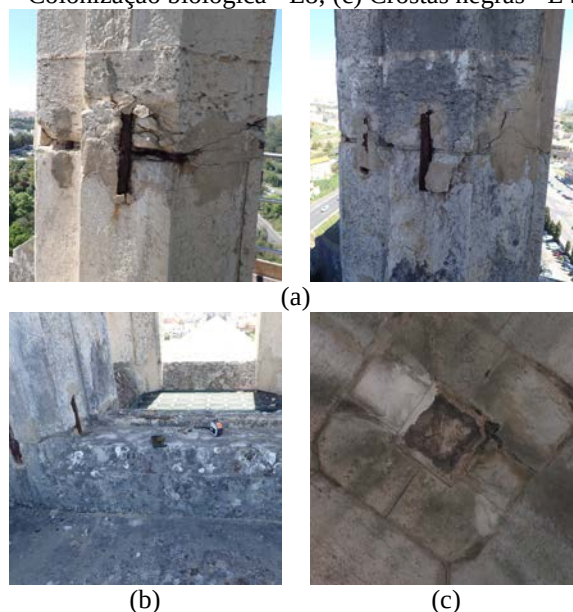
4.2. Inspeção e diagnóstico estrutural e de conservação e restauro

A inspeção visual in situ dos lanternins permitiu a identificação e catalogação das anomalias que afetam estas estruturas, bem como a definição do seu estado global de conservação e das suas necessidades de intervenção. Para tal, foi realizada uma inspeção completa dos lanternins, sendo registados todos os danos existentes, juntamente com a sua intensidade. Neste trabalho, foram adotadas, sempre que aplicável, as designações e classificações dos mecanismos de deterioração da pedra presentes no "Glossário Ilustrado das Formas de Deterioração da Pedra" do ICOMOS [25].

Esta base de classificação está estruturada em famílias e termos - tipos e subtipos.

A inspeção realizada revelou que, em geral, as alterações mais comuns e extensas afetam sobretudo a perceção estética dos lanternins, sem constituírem um risco imediato para a estabilidade estrutural dos elementos inspecionados. Os danos predominantes estão relacionados com a proliferação de agentes biológicos, tanto ao nível superficial como com a presença de plantas superiores, figura 4. De forma geral, a alvenaria dos lanternins encontra-se num estado de conservação razoável. No entanto, foram observadas algumas anomalias materiais que poderão afetar o desempenho estrutural em caso de solicitação por forças horizontais, nomeadamente: (i) degradação avançada dos elementos metálicos existentes e consequente fissuração e perda de material pétreo (figura 4a); (ii) problemas relacionados com a deformação global de alguns lanternins.

Figura 4 - Anomalias nos lanternins. (a) Corrosão dos elementos metálicos com perda de material pétreo, aplicação de argamassas impróprias - L8. (b) Colonização biológica - L8; (c) Crostas negras - L4.



4.3. Ensaios experimentais in-situ e recolha de provetes

Para além dos trabalhos de inspeção visual, foi conduzida uma campanha

experimental de ensaios de identificação dinâmica, figura 5, com o objetivo de caracterizar os parâmetros modais (frequências naturais de vibração e modos de vibração) do comportamento dinâmico dos lanternins sob vibrações de pequena amplitude. Os ensaios foram realizados em três lanternins distintos (L5-LT2, L10-LT3 e L11-LT1), representando as três principais tipologias presentes no aqueduto. As medições foram realizadas utilizando acelerômetros uniaxiais fixos aos elementos estruturais e em condições de ruído ambiente.

Os dados recolhidos consistiram em registos temporais de aceleração. Após o processamento adequado, esses registos foram transformados em dados no domínio da frequência, utilizando um procedimento concebido para minimizar erros numéricos no processamento do sinal. O tratamento dos dados foi realizado com recurso ao software de código aberto PyOMA [26], o qual permitiu extrair quer as formas modais quer as frequências naturais.

Figura 5 - Instalação do sistema de ensaio para identificação dinâmica nos lanternins.



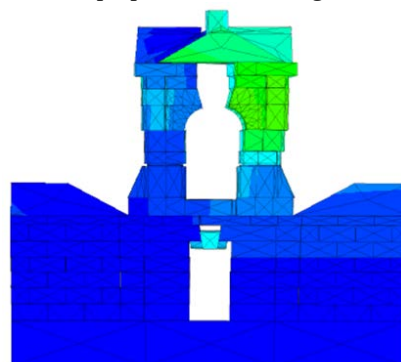
5. Avaliação de segurança sísmica

Para avaliar a vulnerabilidade sísmica das diferentes estruturas dos lanternins do Aqueduto e determinar tanto as suas fragilidades estruturais como as necessidades de reforço, foi realizado um estudo conjunto entre a NCREP e o LNEC. A análise seguiu os seguintes passos: 1) Definição dos cenários sísmicos - Identificação das ações sísmicas a considerar na análise, aplicadas à base do

aqueduto. 2) Desenvolvimento do modelo numérico global - Criação e calibração de um modelo do aqueduto (3DEC, [27]), com base nos levantamentos geométricos e na bibliografia existente, para permitir a transferência das ações sísmicas até à base dos lanternins. 3) Desenvolvimento dos modelos numéricos detalhados dos lanternins - Elaboração de modelos individuais em 3DEC, incorporando danos que possam influenciar o comportamento estrutural. 4) Análise sísmica dos lanternins existentes - Avaliação da sua vulnerabilidade e definição de estados-limite de dano com base na resposta estrutural.

A análise sísmica identificou um conjunto de vulnerabilidades nos pináculos e nas pedras de fecho dos arcos, com alguns lanternins em risco de colapso em caso de atividade sísmica intensa (L7, L8 e L9), figura 6.

Figura 6 - Deformada final do lanternim L7 para a ação sísmica o tipo próxima com magnitude 7.1.



6. Medidas de intervenção

O trabalho de inspeção e diagnóstico realizado permitiu identificar diversas anomalias, em particular nos elementos pétreos dos lanternins do Aqueduto das Águas Livres, em particular, destacamentos, fissuração, perda de material, presença de crostas negras, colonização biológica e utilização de materiais incongruentes em intervenções anteriores. Estes danos resultam da exposição prolongada a agentes atmosféricos, biológicos e mecânicos, assim como de intervenções inadequadas que

comprometeram a integridade dos materiais originais.

As degradações encontradas são as expectáveis neste tipo de estrutura, pelo que a intervenção proposta, além da ação principal de limpeza e tratamento das superfícies, estender-se-á também a ações preventivas e curativas que visam a reposição do estado de conservação dos elementos.

A eliminação ou minimização da ação de agentes causadores de degradação dos materiais e a obtenção de melhores condições para resistir à ação dos agentes atmosféricos exteriores foram objetivos fundamentais para a definição das medidas de intervenção.

As características dos diferentes materiais implicam metodologias e estratégias de intervenção coerentes e distintas, quer nos trabalhos preliminares quer nas diferentes frentes de atuação com o objetivo principal de conservar e salvaguardar todos os materiais originais existentes. As anomalias observadas são recorrentes neste tipo de estrutura e as diversas ações a promover visam não só minimizar os efeitos das mesmas (fatores de degradações), mas também, e sobretudo, atuar nos mecanismos (fatores de alterações) que as provocam.

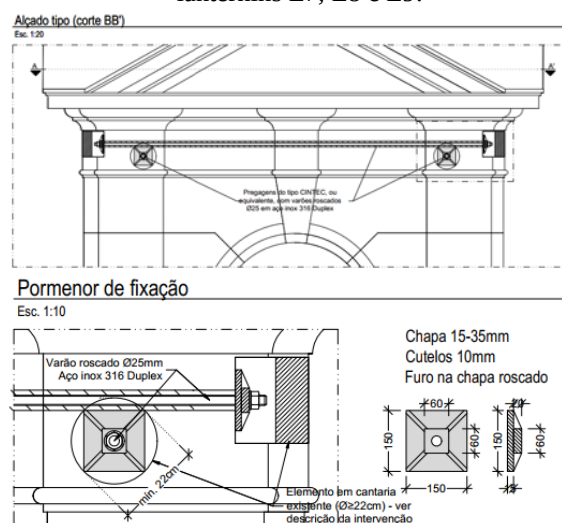
Assim sendo, as principais ações de intervenção propostas em termos de conservação e restauro foram: 1) Proceder a operações de limpeza que permitam remover os materiais nocivos e descontinuação visual, presentes nos elementos pétreos, nomeadamente a colonização biológica, os produtos de alteração como as crostas negras e os materiais inadequados como os preenchimentos em argamassas à base de cimento e outros preenchimentos aplicados, quer como solução provisória para prevenir novos destacamentos, quer para colmatação de lacunas, efetuada sem respeitar a qualidade dos materiais; 2) Colmatar lacunas volumétricas nos diferentes materiais, devolvendo uma leitura estética coerente e minimizando a continuação de alterações e degradações; 3) Efetuar a revisão estrutural (tratamento profundo de juntas, correção de fraturas incluindo reforço estrutural nos casos

em que se verifique necessário) e estética dos elementos pétreos, providenciando solidez funcional (impedimento de entradas de água); 4) Remover ou substituir todos os elementos metálicos degradados ou sem função.

A análise sísmica identificou vulnerabilidades nos pináculos e nas pedras de fecho dos arcos, com alguns lanternins em risco de colapso em caso de atividade sísmica intensa, orientando a necessidade de medidas de reforço estrutural. Nos lanternins em que se observaram danos mais extenso e que apresentaram colapsos quando submetidos às ações mais condicionantes, nomeadamente o L7, L8 e L9, adoptou-se a introdução de tirantes de confinamento ao nível da cota base da cobertura.

Na tabela 1 são resumidas as soluções de reforço sísmico que se consideraram necessárias para cada um dos lanternins.

Figura 7 - Solução de intervenção: Aplicação de tirantes de confinamento à cota base da cobertura dos lanternins L7, L8 e L9.



7. Submodelos HBIM e Modelo Global Federado do aqueduto

7.1. Caracterização geométrica

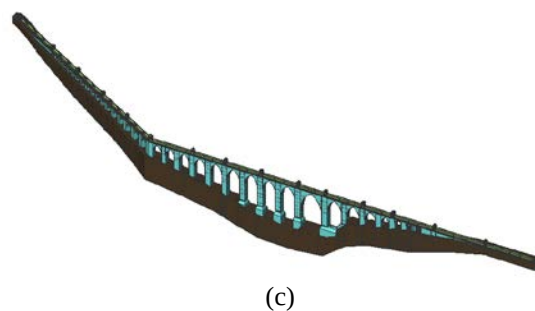
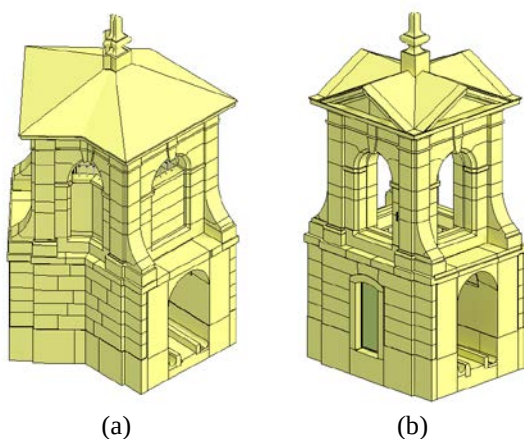
O levantamento arquitetônico e topográfico do Aqueduto das Águas Livres foi realizado mediante a integração de técnicas de varrimento laser (Laser Scanning) e técnicas de posicionamento baseadas em GPS. Este levantamento permitiu a elaboração de: (i) modelos tridimensionais,

com base na metodologia BIM, para cada um dos 16 lanternins que compõem o aqueduto (designados por submodelos HBIM), figura 8a e figura 8b; (ii) modelo tridimensional da geometria da estrutura do Aqueduto, em toda a sua extensão, a partir da agregação dos submodelos HBIM dos lanternins, bem como do submodelo representativo da estrutura inferior (arcos), num único modelo global (designado por modelo global federado HBIM), figura 8c.

A geometria dos submodelos HBIM foi construída sobre a nuvem de pontos resultante do levantamento com varrimento laser. Para além dos contornos gerais da estrutura, procurou-se a divisão dos submodelos BIM em objetos representativos de cada elemento estrutural, nomeadamente, no caso da cantaria de pedra, em cada bloco de pedra. Tal definição permitirá a atribuição de propriedades específicas a cada elemento, entre elas as propriedades mecânicas, químicas e estado de conservação, se aplicável. A geometria dos submodelos HBIM dos lanternins apresenta também, de forma simplificada, as deformações estruturais existentes em cada um dos lanternins analisados.

Importa notar que neste caso, o modelo global federado é a ligação referenciada de cada submodelo (referência). Alterações realizadas nos modelos parciais dos lanternins refletem-se no modelo global.

Figura 8 - Exemplos de modelos geométricos dos lanternins. (a) Submodelo do Lanternim L1. (b) Submodelo do Lanternim L4. (c) Modelo global federado do Aqueduto.



7.2. Definição dos parâmetros e objectos dos submodelos HBIM

Para além da componente gráfica, pretende-se que cada objeto que define os submodelos HBIM tenha associada informação complementar à definição geométrica do próprio objeto. Esta informação foi introduzida nos modelos sob a forma de parâmetros partilhados.

Um dos aspetos que mereceu particular desenvolvimento foi a classificação dos objetos que constituem os submodelos. Pretende-se ter uma base unívoca e de fácil consulta para a identificação e consulta de todos os objetos que os compõem. Pretende-se ainda que esta base possa ser expansível e transversal a outras obras.

No caso dos elementos construtivos que definem o submodelo, foi adotada uma classificação que teve por base o sistema da Uniclass 2015 [28]. Pese embora a abrangência da classificação Uniclass, a especificidade do Aqueduto enquanto infraestrutura e enquanto composição espacial, estrutural e material evidencia as limitações do sistema para este fim. Note-se que a origem do sistema Uniclass está particularmente relacionada com edifícios.

Assim, a codificação / classificação dos objetos e parâmetros foi incluída no sistema em desenvolvimento pela EPAL, o qual tem por base um sistema hierárquico idêntico ao Uniclass 2015, apesar de haver diferenças nos grandes grupos, terem sido criados outros grupos, e os códigos não terem associação direta ao sistema anglo-saxónico. Na tabela 2 é apresentada a classificação quanto ao elemento/função, na tabela 3 é apresentada a classificação quanto ao espaço/localização e

na tabela 4 é apresentada a classificação quanto ao material.

7.3. Mapeamento e caracterização de danos

Todos os danos significativos foram mapeados nos submodelos 3D HBIM, utilizando camadas superficiais para os danos mais superficiais (ex: manchas) ou símbolos adequados para plantas, conectores metálicos corroídos e deformações, figura 9a. Os objetos relacionados com danos foram agrupados em famílias para cada lanternim, facilitando a sua identificação e seleção com base em convenções de nomenclatura, codificação BIM e graficamente por diferenciação por cor, figura 9a.

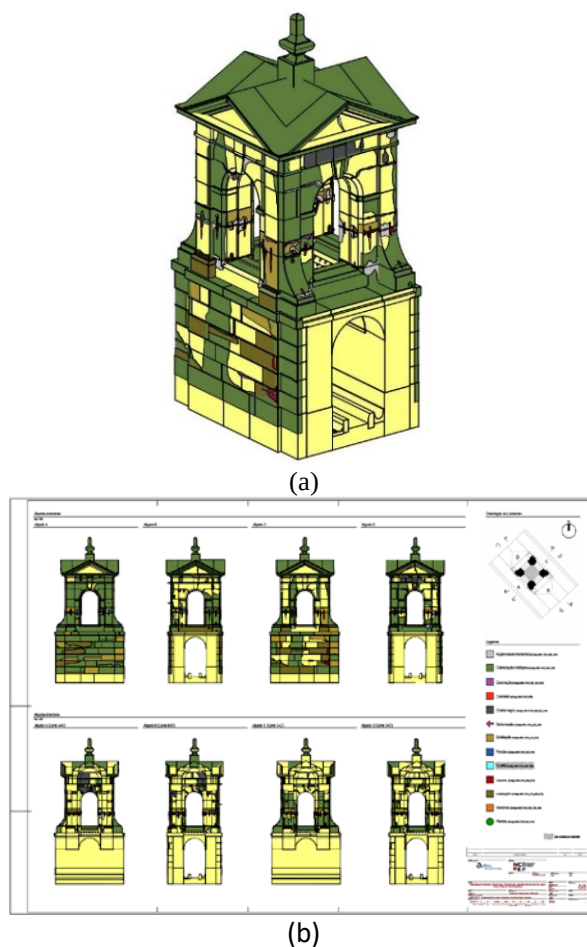
Cada família que representa um dano, nos submodelos HBIM, tem associada informação complementar à definição geométrica do próprio objeto. Para o efeito, foi desenvolvido e adotado o sistema de classificação de danos apresentado na tabela 5.

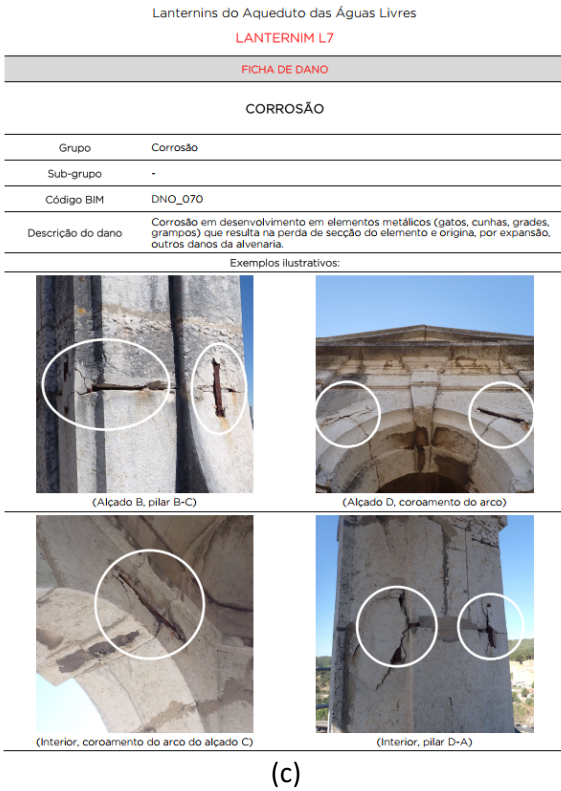
Faz-se notar que se trata de um sistema de classificação com níveis hierárquicos, estruturado em grupos e subgrupos, que assenta numa abordagem idêntica à preconizada para os elementos construtivos apresentado na secção anterior e à filosofia do sistema Uniclass. A divisão em grupos e subgrupos e eventuais subníveis, quando aplicável, nomeadamente para os elementos pétreos, segue a estrutura do glossário ICOMOS [25], comum a todo o trabalho.

Na figura 9b é apresentada a exportação direta do REVIT, [29], das anomalias dos lanternins em formato 2D.

Foram ainda elaborados relatórios de danos com informação detalhada para cada dano e para cada lanternim, os quais foram anexados aos respectivos submodelos HBIM e objectos de dano. Esta ficha de dano, figura 9c, assume a forma de um documento PDF referenciado a partir da sua localização (url) com hiperligação dentro dos submodelos HBIM associado ao parâmetro DO_FichaDano de cada um dos danos.

Figura 9 - Mapeamento da danos no submodelo HBIM do lanternin L8. (a) Representação 3D. (b) Representação 2D. (c) Ficha de dano do lanternim L7, associado a corrosão.





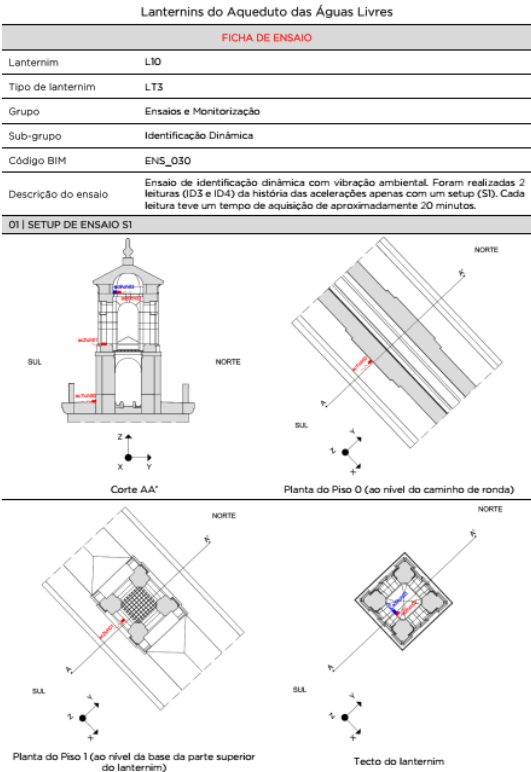
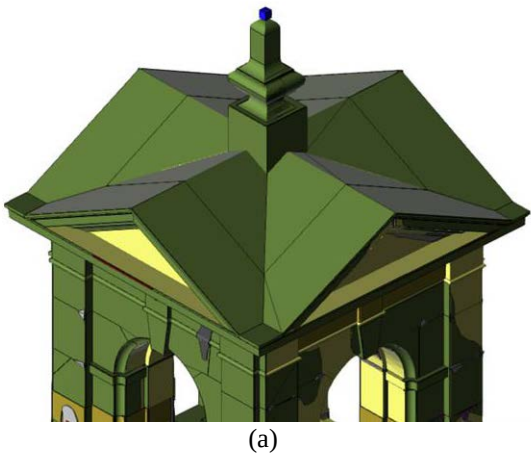
7.4. Mapeamento e caracterização de ensaios

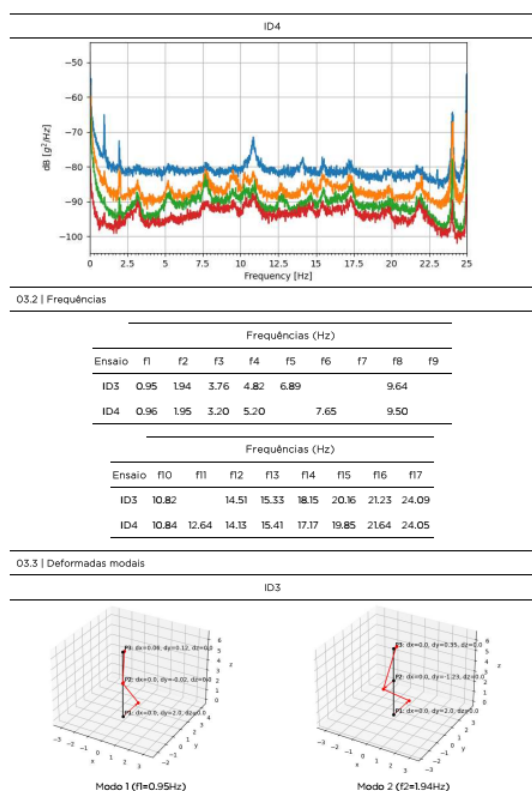
Os ensaios realizados nos lanternins encontram-se representadas nos submodelos HBIM sob a forma de símbolos. Estes símbolos, de acordo com a natureza dos ensaios, podem ser aplicados de forma global ao lanternim (por exemplo, os ensaios de identificação dinâmica) e assumem, nesse caso, uma posição de esquemática sobre pináculo para fácil visualização (cubo azul no topo do lanternim, figura 10a), ou ser implantados na posição exata caso representem caracterizações de natureza pontual (por exemplo, recolha de amostras para determinação da percentagem de argila na pedra).

Foi adotado o sistema de classificação de ensaios apresentado na Tabela 6, cuja definição, no ambiente do software REVIT, é ilustrada na figura 10a. No campo “Dados”, é apresentado o caminho para a ficha de ensaio que descreve, localiza apresenta os resultados do ensaio no contexto do lanternim (ver exemplo na figura 10b). À semelhança da ficha de dano, a ficha de ensaio assume a forma de um documento PDF referenciado a partir da sua localização (url) com

hiperligação dentro dos submodelos HBIM associado ao parâmetro DO_FichaEnsaio de cada um dos ensaios.

Figura 10 - Mapeamento e caracterização dos ensaios no submodelo HBIM. (a) Representação 3D com símbolo de acesso à ficha de ensaios - L5. (b) Ficha de ensaio acedida a partir da hiperligação do submodelo HBIM.





(b)

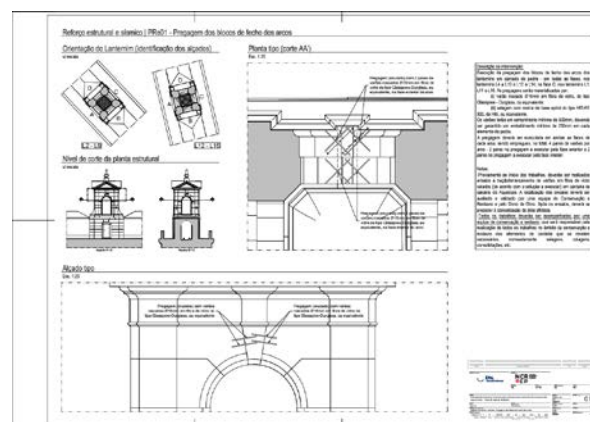
7.5. Mapeamento e caracterização das soluções de intervenção

As medidas de intervenção de reforço estrutural e sísmico, bem como de conservação e restauro dos lanternins encontram-se igualmente definidas nos submodelos HBIM. A sua representação varia consoante a natureza e a materialização da intervenção. Assim, surgem associadas às famílias de danos quando se trata do tratamento específico desse dano (por exemplo, a remoção de crostas negras), representadas geometricamente quando envolvem a introdução de novos elementos (por exemplo, a implementação de tirantes) e, no caso das intervenções de carácter global (por exemplo, aplicação de hidrofugante), com um símbolo distinto junto ao pináculo, para fácil visualização.

Foi definida a grelha de classificação de intervenções apresentada na Tabela 7. Nos submodelos HBIM, para além da informação geral e da codificação de cada intervenção para fácil consulta, está definido o caminho (url) com hiperligação para a respetiva ficha de intervenção que a descreve, localiza e

pormenoriza, quando justificável, em peças desenhadas (exemplo na figura 11).

Figura 11 - Ficha de intervenção de reforço estrutural acessada a partir da hiperligação do submodelo HBIM.



8. Considerações finais

O estudo da secção do Vale de Alcântara do Aqueduto das Águas Livres, com especial foco nos lanternins, revelou-se fundamental para garantir a preservação e gestão sustentável deste importante monumento nacional. Através de um processo rigoroso e multidisciplinar, composto por levantamento arquitetónico detalhado, inspeções in situ, realização de ensaios experimentais e análise da vulnerabilidade sísmica, foi possível diagnosticar com precisão o estado de conservação estrutural dos 16 lanternins e desenvolver um projeto de intervenção dirigido para a resolução das anomalias detetadas e para o aumento da resiliência sísmica destas estruturas.

A aplicação da metodologia HBIM (Historic Building Information Modelling) desempenhou um papel central ao longo de todo o processo, ao integrar dados geométricos, diagnósticos estruturais e informações patrimoniais num único modelo digital coerente. Este modelo não só facilitou a análise e documentação das anomalias existentes, como também se constituiu como uma ferramenta estratégica para a tomada de decisões, planeamento de intervenções e futura monitorização do aqueduto.

Além disso, o desenvolvimento do modelo global federado HBIM enquanto

repositório dinâmico de informação técnica, histórica e operacional reforça o compromisso com uma abordagem preventiva e baseada em evidências na conservação do património. Este estudo demonstra, assim, o potencial do HBIM como instrumento essencial para a gestão informada, eficiente e sustentável de bens culturais complexos, apontando o caminho para a sua adoção mais alargada em projetos de reabilitação patrimonial em Portugal e internacionalmente.

Apesar das vantagens identificadas neste tipo de abordagem e ferramenta, existem ainda uma grande resistência à utilização destas ferramentas e, como tal, tem que existir um esforço das entidades que as desenvolvem, em particular numa fase inicial, para perpetuar a sua utilização e desenvolvimento.

9. Referências

- [1] RAFEIRO, J.; TOMÉ, A. *Digitalização e HBIM na Capela da Senhora da Piedade da Caparica*. Cadernos de Património, Almada, n. 7, p. 88–102, 2020.
- [2] MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. *Historic Building Information Modelling (HBIM): Surveying and recording historic buildings through laser scanning and building information modelling*. Structural Survey, s.l., v. 31, n. 2, p. 77–95, 2013.
- [3] LÓPEZ, F. J.; LERONES, P. M.; LLAMAS, J.; GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO, J.; ZALAMA, E. *A review of heritage building information modeling (H-BIM)*. Multimodal Technologies and Interaction, s.l., v. 2, n. 2, p. 21, 2018.
- [4] GARAGNANI, S.; MANFERDINI, A. M. *Building Information Modeling and real world knowledge: A method to enrich semantic representation of built heritage*. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, s.l., v. XL-5/W2, p. 163–168, 2013.
- [5] HISTORIC ENGLAND. *3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*. London: Historic England, 2017.
- [6] FREGONESE, L.; TAFFURELLI, L.; ADAMI, A. *HBIM for the preservation of historical buildings: The case study of the Basilica di Collemaggio*. ISPRS Archives, s.l., v. 42(2/W5), p. 261–268, 2017.
- [7] BAIK, A.; BOEHM, J.; ROBSON, S. *Jeddah historical building information modeling “JHBIM”—object library*. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, s.l., v. XL-5/W7, p. 29–34, 2015.
- [8] TEZA, G.; PESCE, A.; DALLA MURA, M. *Integration of HBIM and SHM systems for structural analysis in historical buildings*. Sensors, s.l., v. 21, n. 6, p. 1987, 2021.
- [9] CELLI, M.; OTTONI, M. *HBIM and structural diagnosis for the Basilica di Santa Maria del Fiore*. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, s.l., v. 13, n. 1, p. 1–15, 2023.
- [10] PARENTE, R. *Monitorização estrutural e HBIM em edifícios históricos italianos: A cúpula de Brunelleschi*. Revista Italiana de Engenharia Estrutural, Florença, v. 29, n. 3, p. 98–114, 2023.
- [11] BIMCOMMUNITY. *Notre-Dame: A digital twin for heritage recovery*. s.l., 2019. Disponível em: <https://www.bimcommunity.com>. Acesso em: 26 jun. 2025.
- [12] SOUZA, J. M. *Notre-Dame digital: BIM como ferramenta de reconstrução patrimonial após desastres*. Revista Património e Tecnologia, Paris, v. 12, n. 1, p. 31–48, 2025.
- [13] IPPOLITO, A.; NICOLUCCI, F.; ARLETTI, R. *Integrating HBIM and preventive conservation strategies at*

- Schönbrunn Palace*. Heritage Science, s.l., v. 11, n. 1, p. 112, 2023.
- [14] MATRONE, F.; FASSI, F.; MANDELLI, A. *From 3D survey to HBIM for maintenance and conservation: The case of the Palace of Westminster*. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, s.l., v. IV-2/W6, p. 71–78, 2019.
- [15] FRANCISCO, D. *Modelação BIM aplicada à conservação do Mosteiro da Batalha*. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).
- [16] ROCHA, H. *Plataforma HBIM para gestão e divulgação da Casa de Santa Maria em Cascais*. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura).
- [17] TEIXEIRA, A. *Casa de Santo António: Aplicação de um modelo 3D-BIM para manutenção e gestão patrimonial*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).
- [18] MENDES PINTO, P. *Bibliotecas paramétricas e interoperabilidade na reabilitação do património*. Guimarães: Universidade do Minho, 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).
- [19] ROCHA, H.; RATO, V.; DUARTE, J. P. *Scan-to-BIM aplicado ao património edificado de Lisboa: metodologia e desafios*. In: Congresso de Modelação Digital no Património. Lisboa, 2020. Anais [...]. p. 42–57.
- [20] VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs*. Automation in Construction, s.l., v. 38, p. 109–127, 2014.
- [21] SAMPAIO, A. Z.; GOMES, A.; BRITO, A. *Framework para a gestão integrada de património edificado com recurso a BIM*. Revista Construção e Tecnologia, Lisboa, v. 28, n. 2, p. 47–60, 2020.
- [22] QUATTRINI, R.; PIERDICCA, R.; MORBIDONI, C. *Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-level semantics for parametric modeling of historical buildings*. Journal of Cultural Heritage, s.l., v. 29, p. 29–38, 2018.
- [23] WEBSITE e-cultura.pt. *Museu da Água da EPAL - Núcleo Aqueduto das Águas Livres*. Disponível em: www.e-cultura.pt/patrimonio_item/3558. Acesso em: 26 julho 2025.
- [24] SCHIAPPA DE AZEVEDO, A. et al. *Estudo dos efeitos das vibrações no Aqueduto das Águas Livres, produzidas pelas construções e tráfego do eixo Norte-Sul*. Relatório 207/96 – NDA, 1996.
- [25] ICOMOS. *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*. Manual. Paris: ICOMOS, 2008.
- [26] PYOMA, Pyoma homepage, <https://pypi.org/project/Py-OMA/>. Acesso em: 30 março 2025.
- [27] ITASCA CONSULTING GROUP. *3DEC - Three-dimensional distinct element code: Theory and background*. Version 5.2. Minneapolis: Itasca Consulting Group, 2018.
- [28] NBS, Uniclass 2015: *Unified classification for the construction industry*, National Building Specification, 2015. [Online]. Available: <https://www.thenbs.com/our-tools/uniclass-2015>
- [29] AUTODESK, Revit, Version 2024 [Software], Autodesk Inc., 2024. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/revit/>

11. Anexos e Apêndices

ANEXO A

Tabela 1 - Resumo das medidas de intervenção estrutural - reforço sísmico.

Lanternim	Tipologia	Medidas de intervenção estrutural e sísmico
L1/L11/L16	LT1	Executar a pregagem do bloco de fecho do arco da face C com varões $\phi 16\text{mm}$ de fibra selados aos blocos adjacentes com resina de base epóxi.
L2/L3/L15	LT3	Uma vez que as análises destes lanternins em estado não reforçado resultam em estados limite de dano DS0 e DS1 sem elementos colapsados, considera-se que o estado deformado final é aceitável, mesmo para ações mais elevadas. Assim, considera-se que não são necessárias intervenções de reforço sísmico.
L4/L5/L6	LT2 (com e sem porta)	Executar a pregagem dos blocos de fecho dos arcos das diferentes faces com varões $\phi 16\text{mm}$ selados aos blocos adjacentes.
L7/L8/L9	LT2 (com e sem porta)	- Executar a pregagem dos blocos de fecho dos arcos das diferentes faces com varões selados aos blocos adjacentes. - implementar tirantes $\phi 25\text{mm}$ em aço inoxidável do tipo 316 Duplex à cota da cobertura nas diferentes faces dos lanternins. Todos os elementos de metálicos devem ser de aço da mesma tipologia. Os tirantes metálicos devem integrar um sistema certificado tipo CINTEC, ou equivalente.
L10/L12/L13/L14	LT3 (com e sem porta)	Executar a pregagem dos blocos de fecho dos arcos das diferentes faces com varões $\phi 16\text{mm}$ de fibra selados aos blocos adjacentes com resina de base epóxi.

Tabela 2 - Grelha de classificação de Elemento/Função (SCC).

TITLE	SCC		
DESCRIPTION	Sistemas de Construção Civil		
VERSION	Novembro23		
FUNCTION	Element		
NUMBER PARAMETER	DO_CodificacaoSCC		
DESCRIPTION PARAMETER	DO_DescricaoSCC		
NUMBER	DESCRIPTION	LEVEL	REVIT CATEGORY
SCC	Sistemas de Construção Civil (Novembro23)	1	
SCC_050	Estrutura	2	
SCC_050_100	Elementos Estruturais De Construção Tradicional	3	
SCC_050_100_010	Ombreiras	4	
SCC_050_100_010_010	Ombreiras De Alvenaria De Pedra	5	
SCC_050_100_020	Vergas	4	
SCC_050_100_020_010	Vergas De Alvenaria De Pedra	5	
SCC_050_100_030	Grelhas e Guardas Metálicas	4	
SCC_050_100_031	Elementos De Fixação e Reforço	4	
SCC_050_100_040	Pináculos	4	
SCC_050_100_050	Gárgulas	4	
SCC_050_100_060	Lajes	4	
SCC_050_100_070	Vigas e Vigotas	4	
SCC_050_100_080	Pilares E Colunas	4	
SCC_050_100_090	Cobertura	4	
SCC_050_100_100	Paredes, Núcleos e Barreiras	4	
SCC_050_100_110	Arco	4	
SCC_050_100_120	Abóboda	4	
SCC_050_100_130	Fundações	4	
SCC_050_100_140	Canais	4	

Tabela 3 - Grelha de classificação de Espaço/Localização (EZO).

TITLE	EZO		
DESCRIPTION	Espaços e Zonas		
VERSION	Junho23		
FUNCTION	Space		
NUMBER PARAMETER	DO_CodificacaoEZO		
DESCRIPTION PARAMETER	DO_DescricaoEZO		
NUMBER	DESCRIPTION	LEVEL	REVIT CATEGORY
EZO	Espaços e Zonas (Junho23)	1	
EZO_050	Património Não Operacional	2	
EZO_050_010	Lanternim	3	
EZO_050_020	Passeio De Ronda	3	
EZO_050_030	Cornija	3	
EZO_050_040	Arcada	3	
EZO_050_050	Guarda	3	
EZO_050_060	Galeria AAL	3	

Tabela 4 - Grelha de classificação de Materiais (MAT).

TITLE	MAT		
DESCRIPTION	Materiais		
VERSION	Junho23		
FUNCTION	Element		
NUMBER PARAMETER	DO_CodificacaoMAT		
DESCRIPTION PARAMETER	DO_DescricaoMAT		
NUMBER	DESCRIPTION	LEVEL	REVIT CATEGORY
MAT	Materiais (Junho23)	1	
MAT_050	Materiais de construção tradicional	2	
MAT_050_010	Compostos	3	
MAT_050_010_010	Alvenaria de pedra aparelhada de calcário lioz com reboco interior	4	
MAT_050_010_020	Alvenaria de pedra aparelhada de calcário lioz com reboco interior e exterior	4	
MAT_050_010_030	Alvenaria de pedra aparelhada de calcário lioz à vista	4	
MAT_050_010_040	Alvenaria de pedra aparelhada de calcário lioz à vista com material de enchimento	4	
MAT_050_010_050	Alvenaria mista de pedra solta e tijolo à vista	4	
MAT_050_010_060	Alvenaria mista de pedra solta e tijolo com reboco interior	4	
MAT_050_010_070	Alvenaria mista de pedra solta e tijolo com reboco interior e exterior	4	
MAT_050_010_080	Alvenaria de tijolo cerâmico maciço à vista	4	
MAT_050_010_090	Alvenaria de tijolo cerâmico maciço com reboco interior	4	
MAT_050_010_100	Alvenaria de tijolo cerâmico maciço com reboco interior e exterior	4	
MAT_050_020	Inorgânicos	3	
MAT_050_020_010	Metal	4	
MAT_050_030	Orgânicos	3	
MAT_050_030_010	Madeira	4	

Tabela 5 - Grelha de classificação de Danos (DNO).

TITLE	DNO		
DESCRIPTION	Danos e Patologias		
VERSION	Junho23		
FUNCTION	Element		
NUMBER PARAMETER	DO_CodificacaoDNO		
DESCRIPTION PARAMETER	DO_DescricaoDNO		
NUMBER	DESCRIPTION	LEVEL	REVIT CATEGORY
DNO	Danos e Patologias (Junho23)	1	
DNO_010	Destacamento	2	
DNO_010_010	Esfoliação	3	
DNO_010_020	Desagregação	3	
DNO_010_030	Fragmentação	3	
DNO_010_030_010	Lascagem	4	
DNO_010_040	Destacamento Pelicular	3	
DNO_010_050	Destacamento Em Espessura	3	
DNO_020	Fenda e deformação	2	
DNO_020_010	Fenda	3	
DNO_020_010_010	Fissura	4	
DNO_020_010_020	Fratura	4	
DNO_020_020	Deformação	4	
DNO_030	Descoloração e Depósito	2	
DNO_030_010	Crosta	3	
DNO_030_010_010	Crosta Negra	4	
DNO_030_010_020	Crosta De Sal	4	
DNO_030_020	Alteração Cromática e Depósito	3	
DNO_030_020_010	Coloração	4	
DNO_030_020_020	Mancha De Humidade	4	
DNO_030_020_030	Mancha	4	
DNO_030_030	Graffiti	3	
DNO_030_040	Incrustação	3	
DNO_030_040_010	Concreção	4	
DNO_030_050	Pátina	3	
DNO_030_050_010	Filmes Negros (Patine Ferrosa)	4	
DNO_040	Colonização Biológica	2	
DNO_040_010	Plantas	3	
DNO_040_020	Biodegradação	3	
DNO_050	Formas Devidas À Perda De Material	2	
DNO_050_010	Lacuna	3	
DNO_060	Incompatibilidade De Materiais	2	
DNO_060_010	Argamassas Impróprias	3	
DNO_070	Corrosão	2	

Tabela 6 - Grelha de classificação de Ensaios (ENS).

TITLE	ENS		
DESCRIPTION	Ensaio e Monitorização		
VERSION	Novembro23		
FUNCTION	Element		
NUMBER PARAMETER	DO_CodificacaoENS		
DESCRIPTION PARAMETER	DO_DescricaoENS		
NUMBER	DESCRIPTION	LEVEL	REVIT CATEGORY
ENS	Ensaio e Monitorização (Novembro23)	1	
ENS_010	Porosidade da Pedra	2	
ENS_020	Porcentagem de Argila na Pedra	2	
ENS_030	Identificação Dinâmica	2	

Tabela 7 - Grelha de classificação de Medidas de Intervenção (INT).

TITLE	INT		
DESCRIPTION	Intervenções		
VERSION	Maio25		
FUNCTION	Element		
NUMBER PARAMETER	DO_CodificacaoINT		
DESCRIPTION PARAMETER	DO_DescricaoINT		
NUMBER	DESCRIPTION	LEVEL	REVIT CATEGORY
INT	Intervenções (Maio25)	1	
INT_010	Reforço estrutural e sísmico	2	
INT_010_010	Implementação de tirantes	3	
INT_010_020	Realização de pregagens de blocos	3	
INT_020	Conservação e Restauro	2	
INT_020_010	Aplicação de biocida e herbicida	3	
INT_020_020	Lavagem controlada	3	
INT_020_030	Remoção de crostas negras	3	
INT_020_040	Remoção de manchas e graffiti	3	
INT_020_050	Remoção de argamassas	3	
INT_020_060	Tratamento de juntas	3	
INT_020_070	Tratamento de fendas (incluindo fraturas) e colagem de elementos	3	
INT_020_080	Consolidação e tratamento de áreas fragilizadas	3	
INT_020_090	Consolidação e preenchimento de lacunas	3	
INT_020_100	Aplicação de microestucagem	3	
INT_020_110	Aplicação de hidrofugante	3	
INT_020_120	Remoção e substituição de elementos metálicos - gatos	3	
INT_020_130	Limpeza e tratamento de elementos metálicos - gatos	3	
INT_020_140	Remoção de elementos metálicos - cunhas	3	
INT_020_150	Limpeza e tratamento de elementos metálicos - gradeamentos e portões	3	
INT_020_160	Limpeza, tratamento e pintura de portas de madeira	3	



Reabilitação das ilhas do Porto: princípios, conquistas e desafios de um processo em curso.

Rehabilitation of the islands of Porto: principles, achievements and challenges of an ongoing process.

SOUSA, Marta¹; VAREA ORO, Aitor ²
 mmsousa@arq.up.pt¹; avoro@arq.up.pt².

¹Arquiteta, Centro de Estudos em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto.

²Arquiteto, Centro de Estudos em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto.

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Ilhas do Porto
Reabilitação Urbana
Habitação digna

Keywords:

Porto Islands
Urban Rehabilitation
Decent Housing

Resumo:

As Ilhas do Porto são núcleos habitacionais operários do século XIX, que subsistem até hoje e tem uma implantação territorial abrangente e heterogênea, estimando-se que residam nas Ilhas cerca de 10.000 pessoas. Durante o último século, a abordagem do poder público a estes núcleos oscilou entre as propostas de qualificação e as de erradicação. Nos últimos anos, abriu-se a porta à hipótese de que era possível reabilitar e garantir condições de habitabilidade, sem pôr em causa os padrões atuais de salubridade e conforto, trazendo melhorias às casas e ao território. Este artigo apresenta os resultados parciais da política municipal de reabilitação de ilhas, que depende da resolução do triângulo acompanhamento técnico, viabilidade financeira e viabilidade urbanística. O texto debruçar-se-á sobre esta última componente, apresentando os princípios de reabilitação propostos, ilustrando a partir de casos concretos e avaliando a sua adequação. Concluímos que a reabilitação das ilhas é viável do ponto de vista físico, servindo os resultados apresentados como base para estabelecer estratégias de resolução para os outros dois vértices, ainda em aberto.

Abstract:

The “Ilhas” of Porto are 19th century working class housing estates that still exist today and have a wide-ranging and heterogeneous territorial implantation, with an estimated 10,000 people living on there. Over the last century, the government's approach to these neighbourhoods has oscillated between proposals to upgrade and eradicate them. In recent years, the door has been opened to the hypothesis that it was possible to rehabilitate and guarantee habitable conditions, without jeopardising current standards of health and comfort, bringing improvements to the houses and the territory. This article presents the partial results of the municipal rehabilitation policy for the “ilhas”, which depends on resolving the triangle of technical support, financial viability and urban viability. The text will focus on this last component, presenting the proposed rehabilitation principles, illustrating them from concrete cases and assessing their suitability. We conclude that the rehabilitation of the “ilhas” is viable from a physical point of view, and the results presented

serve as a basis for establishing resolution strategies for the other two vertices, which are still open.

1. Introdução

1.1 Contexto

Desde a sua génese, enquanto tipologia primordial para habitação operária no Porto do século XIX [1], as Ilhas foram albergando diferentes tempos, modos de vida, contextos políticos, mantendo-se um fio condutor: uma solução de abrigo mais barata para a classe trabalhadora que sempre teve problemas de habitação. Não a habitação que as pessoas querem ou precisam, mas a que conseguem pagar com os seus rendimentos.

Este contexto ficou mais evidente quando, em março de 2021, foi conduzido um levantamento socio-económico aos agregados residentes nas ilhas da zona da Lomba¹. A compilação desses dados deixou claros dois tipos de situação: agregados que habitavam há mais de dez anos das ilhas - sempre foi a sua morada e tem raízes naquele território; e novos residentes, que habitavam há um ano ou menos naquela localização. Estes últimos, fruto de dois cenários: a financeirização da habitação e a máxima rentabilidade que é possível extrair de uma casa de ilha, com arrendamentos de curta e muito curta duração, e novos agregados de baixa condição económica, cuja morada na ilha tinha sido a única opção de habitação disponível face à perda de rendimentos e instabilidade laboral que se instalou aquando da pandemia COVID-19. Face a estes dois pólos de problemas, a reabilitação qualificada das ilhas do porto permite aumentar o parque de habitação a custos controlados no município.

Com a contínua degradação do acesso à habitação em Portugal - é um dos países da OCDE com pior rácio entre custo da habitação e rendimento disponível das famílias², as opções de habitação são cada vez mais escassas e paga-se cada vez mais por piores condições de habitação [2]. As ilhas,

pela concentração de vulnerabilidades que apresentam, têm uma capacidade transformadora evidente: se for possível reabilitar estes núcleos e garantir condições de habitabilidade com recurso a programas de financiamento que impliquem um teto máximo às rendas cobradas, então é possível garantir a estes agregados uma habitação digna a preços que não põe em causa a sua qualidade de vida, o seu direito ao lugar e condição de centralidade urbana.

O trabalho desenvolvido pelo Habitar acompanha, desde a sua génese, as ilhas do Porto [3]. A sua atuação parte de um posicionamento que combina o conhecimento técnico e académico com uma prática continuada nos territórios, resultando numa metodologia que articula levantamento socioespacial, escuta ativa das comunidades e diálogo interinstitucional. Desde os primeiros levantamentos sistemáticos e intervenções-piloto, o programa procurou evidenciar o potencial de reabilitação das ilhas, contrapondo-se à lógica histórica da erradicação e da invisibilização destas morfologias urbanas. Esta trajetória permitiu não só reconhecer a relevância habitacional e simbólica destes núcleos, mas também consolidar instrumentos técnicos e políticos que hoje orientam as intervenções em curso. Essa viragem possibilitou que os princípios de intervenção hoje aplicados a dezenas de ilhas tivessem um fundamento empírico robusto, construído a partir de casos concretos e experiências enraizadas nos territórios. O percurso do Habitar foi assim determinante para o enquadramento técnico e político que dá corpo às práticas descritas neste artigo, fornecendo a base metodológica e conceptual sobre a qual se desenvolvem os casos de estudo aqui apresentados.

1.2 Objetivos

Este artigo pretende enunciar os princípios de intervenção em Ilhas que foram construídos e consolidados ao longo dos últimos anos, partindo da base regulamentar vigente, comprovando a sua aplicabilidade e replicabilidade em mais de cinquenta núcleos de ilha estudados no âmbito do Gabinete do 1ºDireito³. Passando de casas de estudo limitados e avulsos a uma intervenção sistemática e equitativa, no âmbito das políticas de habitação atuais e com as particularidades decorrentes dos diversos contextos das ilhas, provando que a possibilidade de reabilitar as Ilhas do Porto não colide com os padrões de salubridade e conforto atuais e que estas se mantêm enquanto elementos territoriais estratégicos para garantir habitação a custos controlados no centro da cidade.

Os princípios de intervenção foram construídos a partir da estreita e consistente articulação entre a Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (FAUP) e a Direção Municipal de Desenvolvimento Urbano (DMDU) da Câmara Municipal do Porto (CMP), no âmbito de vários contratos de cooperação entre a FAUP e o Município do Porto⁴.

Pretende-se aqui demonstrar que:

1. A mudança de paradigma face às ilhas do Porto encontra bases teóricas consistentes e aplicabilidade prática testada. No artigo “Nem perpetuar nem erradicar: uma proposta de transição para as ilhas do Porto” [4], são lançadas as bases para que a mudança de paradigma retórico se possa concretizar numa mudança de paradigma regulamentar, material e construído. Seis anos passados, é possível analisar resultados e retirar conclusões que podem contribuir para a consolidação e enraizamento de uma metodologia que aqui se defende válida.
2. A via apresentada garante condições de equidade e de acesso à habitação dos moradores das ilhas do Porto, como se verá pelos resultados atingidos. A análise crítica de outras duas posições teóricas face a esta morfo-tipologia, adotando uma terceira visão, pode ser sustentada pela realidade e pelas

aspirações dos moradores das ilhas, que nos últimos anos fomos encontrando nos vários levantamentos realizados⁵. Com base em sucessivos levantamentos e trabalho desenvolvido junto de proprietários e inquilinos das ilhas do Porto, reforça-se uma posição que não pode ser binária e que deve ser ajustada ao contexto de cada situação. A erradicação das ilhas não permite dar resposta aos moradores residentes nem tem meios para garantir o direito à cidade que neste momento os moradores têm. Por outro lado, a romantização da vida na ilha não pode existir alienada das condições materiais dos moradores e, enquanto política pública, é discriminatória desta população, reduzindo as ilhas à sua forma e “modos de vida”, justificando com isso a perpetuação das más condições de habitabilidade em que vive quase 5% da população do Porto. As reabilitações circunscritas às estruturas preexistentes de cerca de 20m2 de área bruta de habitação – e o seu enquadramento regulamentar com recurso ao direito ao existente [5], – são negativas por duas vias: por um lado, perpetuam a condição extrativista inicial das ilhas, ainda que atualmente com um novo rosto, a partir do arrendamento de curta e muito curta duração; por outro, com o contínuo aumento das rendas e a crescente dificuldade de acesso à habitação das classes mais baixas, a reabilitação parcela a parcela implica a perpetuação de más condições de habitabilidade, empurrando as classes mais baixas para estas habitações que, pelas condições que oferecem, acabam por ter preços abaixo dos praticados no mercado de habitação corrente [6].

3. O enquadramento regulamentar e a inserção de especificidades territoriais nas políticas e financiamentos públicos de habitação permitem uma construção de critérios descentralizada, focados na resolução dos problemas urbanísticos e de situações de vulnerabilidade habitacional identificados, potenciando a qualidade da resposta dada. Por último, demonstrar que os princípios de intervenção consolidados têm

provas dadas de aplicabilidade, permitindo levar a narrativa sobre as ilhas mais longe.

2. Enquadramento

2.1 Regulamentar

Os princípios de intervenção foram construídos a partir da estreita e consistente articulação entre a Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (FAUP) e a Direção Municipal de Desenvolvimento Urbano (DMDU) da Câmara Municipal do Porto (CMP), no âmbito de vários contratos de cooperação entre a FAUP e o Município do Porto³.

Nos últimos anos os quadros regulamentares têm sido alterados, tanto na vertente das políticas de habitação nacionais – com a Nova Geração de Políticas de Habitação [7] e a Lei de bases da Habitação [8], como na vertente dos instrumentos de gestão territorial municipais – tendo o Porto um dos primeiros Planos Diretores Municipais de 3ª geração [5].

Estas alterações têm tido consequência direta nas Ilhas do Porto. Se até há poucos anos esta morfo-tipologia não era enquadrada e parecia ser contraditória com Decretos-Lei nacionais de proteção do existente – veja-se que o PDM anteriormente em vigor previa que os interiores dos quarteirões pudessem ser lugares totalmente livres de construção e com solos permeáveis – na última revisão do PDM foi incluída a possibilidade de existência e reabilitação destes núcleos cumprindo, cumulativamente, quatro condições:

No caso dos conjuntos habitacionais consolidados existentes no interior dos quarteirões, identificados no Relatório do Plano (Capítulo 4), admitem-se operações urbanísticas que não cumpram a totalidade dos parâmetros urbanísticos definidos para a respectiva categoria e subcategoria desde que, cumulativamente:

a. Abranjam a totalidade do conjunto habitacional em causa;

b. Contribuam para a melhoria dos parâmetros de impermeabilização da área de intervenção;

c. Contribuam para a melhoria das condições de habitabilidade;

d. Se destinem a habitação social, acessível ou a custos controlados. [5]

Esta alteração vem na sequência de trabalho desenvolvido sobre as ilhas do Porto no âmbito dos protocolos de colaboração entre a FAUP e o Município do Porto, já citados anteriormente. Esta mudança de paradigma deve ser abordada sem perder de vista o principal objetivo: garantir condições de habitabilidade aos residentes das ilhas.

A partir destas alterações, o trabalho desenvolvido tentou aliar os objetivos urbanísticos e a necessidade de melhoria das condições de habitação destes agregados, ao quadro financeiro disponível, que tinha capacidade de transformar os estudos em possibilidades concretas de reabilitação.

2.2 Financeiro

A população que reside nas Ilhas do Porto, na sua maioria inquilinos de baixos rendimentos, não tem à sua disposição os meios (financeiros, burocráticos e de reivindicação junto das instituições), para melhorar as suas condições de habitabilidade. Por outro lado, alguns proprietários – senhorios – também não dispõem de capital suficiente para reabilitar estes núcleos de forma integral, acabando por fazer as melhorias mínimas pontuais para que as casas se mantenham de pé, ou deixando essas melhorias a cargo dos inquilinos. Este cenário é a tempestade perfeita para que nada se faça, se a política de habitação não tiver em conta as especificidades territoriais.

Em 2018 é lançado o Programa 1º Direito [9] – que dedica um artigo às Ilhas (e pátios) – prevendo financiamento para a sua reabilitação por forma a garantir condições de habitabilidade aos moradores. Em 2019, a Estratégia Local de Habitação do Porto, identifica a necessidade de intervir em prol de 750 agregados residentes em ilhas [10]. Em finais de 2021, o Plano de Recuperação e

Resiliência [11] vem melhorar as condições de financiamento dos proprietários das ilhas, em entidades beneficiárias, que passam a poder aceder a financiamento 100% a fundo perdido.

É neste contexto que, em 2021, trabalhamos no Projeto AIIA – Abordagens Integradas para a Inclusão Ativa, a partir do levantamento e caracterização das ilhas localizadas na Unidade de Intervenção da Lomba, na Operação de Reabilitação Urbana de Campanhã-Estação, que tinha como objetivos definir modelos e princípios de intervenção e propor uma metodologia de atuação para o que se viria a consagrar, a partir de julho de 2022, como o Gabinete do 1º Direito – situado na Porto Vivo, SRU.

2.3 Institucional

Os dois pontos anteriores ganharam enquadramento com a cooperação interinstitucional firmada entre a Porto Vivo, SRU e a FAUP⁶, para submissão de candidaturas ao programa, focado nas Ilhas do Porto. Esta articulação previa o atendimento aos proprietários, o levantamento das condições socioespaciais das suas ilhas e a definição de uma proposta de reabilitação passível de ser submetida a financiamento. A partir de uma ferramenta desenvolvida ao longo dos anos – o Programa Base⁷ – e da relação estreita entre a equipa da FAUP e a DMDU, foi possível desenvolver propostas que permitiam:

- Obter o parecer de viabilidade urbanística por parte do município, que era exigido pelo IHRU⁸ e que garantia que as obras a realizar, mesmo sendo em propriedade privada, contribuíam para o bem comum e melhoravam um território mais abrangente;
- Apresentar uma solução viável aos proprietários que contactavam o Gabinete – garantindo-lhes uma operação viável urbanística e financeiramente, sem perda de rendimento e qualificando o seu património;
- Submeter ao IHRU um pedido de financiamento com base em possibilidades reais de intervenção, respondendo à ELH e aumentando, na maioria das vezes, o número

de fogos disponíveis em regime de habitação a custos controlados.

A mobilização dos proprietários privados para a implementação de políticas públicas de habitação, no caso das Ilhas do Porto, para além de desejável (já que a maioria das ilhas são privadas), provou-se viável, tendo estes não só assumido as exigências impostas pelo quadro de princípios, como aceitado as condições do financiamento: rendas condicionadas, manutenção e seleção pública dos inquilinos e ónus de inalienabilidade, durante 15 anos [6].

Durante a vigência do PRR (a submissão de candidaturas encerrou a 31 de março de 2024), estiveram reunidas as três condições essenciais e cumulativas para a implementação destes princípios:

- 1º envolvimento dos proprietários, porque as ilhas são, maioritariamente, privadas;
- 2º quadro de intervenção público, porque reabilitar só por si não garante condições dignas de habitabilidade nem destina essas habitações a quem mais precisa;
- 3º financiamento público disponível, 100% a fundo perdido, que tinha em atenção as especificidades territoriais destes núcleos e as condições socioeconómicas destes agregados.

3. Reabilitação do edificado das Ilhas

3.1. Definição de três modelos

Durante o projeto AIIA, foram definidos três modelos de intervenção que permitem identificar as potencialidades e os desafios subjacentes à reabilitação de cada ilha [23].

1. Intervenção integral dentro dos limites de uma ilha;
2. Intervenção integral integrando várias ilhas;
3. Intervenção parcial articulando as ilhas com o restante edificado envolvente;

Começando pelo terceiro modelo, ainda que fosse viável integrar o edificado de frente de rua na proposta, a intervenção sem considerar a totalidade das casas de ilha seria

de mais difícil enquadramento no diploma do 1ºDireito e na ELH, onde é privilegiada a reabilitação integral da ilha.

O segundo modelo, que prevê a intervenção integral de várias ilhas, tendo em conta a dispersão atual da propriedade e a necessidade de negociação entre diferentes proprietários não seria viável sem a existência de outros Instrumentos de Gestão Territorial. O caso piloto e de validação deste modelo, são as seis ilhas da Lomba onde, pela existência de uma Unidade de Intervenção no âmbito da Operação de Reabilitação Urbana de Campanhã-Estação, foram utilizadas ferramentas que permitiram à Porto Vivo, SRU adquirir e reabilitar as seis ilhas em conjunto, com recurso ao financiamento do PRR.

É sobre o primeiro modelo que visa este artigo, por ter sido o mais replicado e o que permitiu submeter 22 candidaturas ao 1ºDireito, validando os princípios e contribuindo não só para a reabilitação da ilha como para a reabilitação urbana do território envolvente.

3.2. Consolidação dos princípios de intervenção

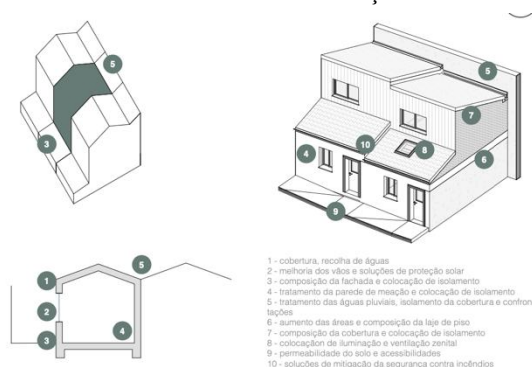
Os princípios de intervenção, firmados na publicação final do projeto AIIA [23], aplicados às 19 ilhas da Zona da Lomba, foram depois, durante a vigência do Gabinete do 1ºDireito com recurso a financiamento do PRR, aplicados sempre que um proprietário de ilha contactava o Gabinete com vista à obtenção de financiamento para a reabilitação.

Estes princípios têm como objetivo (1) assegurar a viabilidade urbanística e financeira da operação; (2) garantir condições de habitabilidade dignas aos agregados residentes nas ilhas; (3) promover uma reabilitação urbana mais abrangente, melhorando o interior dos quarteirões e contribuir para um território mais coeso e qualificado.

Os princípios transversais subjacentes às propostas são:

- aumento das áreas permeáveis
- redução das barreiras arquitetónicas
- aumento das áreas interiores dos fogos (RGEU)
- percursos de evacuação e acessibilidades
- melhoria da ventilação e iluminação dos fogos
- colmatação de empenas e criação de novas frentes de rua
- preservação da escala e relações de vizinhança
- permanência dos agregados residentes e adequação das respostas às suas necessidades

Figura 1 – Condicionantes de intervenção à escalada ilha e à escala da habitação



Fonte: Habitar

Na parte seguinte vamos demonstrar como estes princípios orientadores foram aplicados a 41 ilhas do município do Porto, durante a vigência do Gabinete do 1ºDireito (VER ANEXO A – Figura 2).

4. Estudos de caso

4.1. Desafios e oportunidades da mobilização dos instrumentos

A partir de reuniões mensais entre a FAUP e a DMDU, foram discutidas dezenas de soluções e propostas de reabilitação para as ilhas que entravam no Gabinete. Esta articulação permitiu aplicar os princípios de intervenção em diferentes contextos,

envolventes territoriais, resolver diferentes desafios do Plano e, para cada caso de estudo, firmar uma solução viável do ponto de vista urbanístico e financeiro.

Diferentes enquadramentos territoriais apresentam diferentes desafios em termos de cumprimento do Plano. A estratégia para o cumprimento dos princípios, no que toca ao aumento das áreas, introdução das funções essenciais e garantia das condições de habitabilidade em termos de iluminação e ventilação, partia da análise das possibilidades de aumento das cérceas, transferências de área construtiva e aglutinação de parcelas.

Pode-se dividir essa abordagem em três tipos: manutenção - quando a casa já apresenta áreas próximas das regulamentares e viabilidade habitacional; ampliação - quando a partir da aglutinação de parcelas, da adição de um segundo piso ou da expansão da área de implantação é possível chegar às áreas regulamentares; ou construção nova - quando os planos urbanísticos apontam para uma alteração da morfologia ou quando o aumento em altura possibilita a introdução de novas frações (VER ANEXO B - Figura 3).

4.2. Ilustração dos princípios

Na publicação final do projeto AIIA, é possível ver a aplicação dos princípios de intervenção em diferentes ilhas, sendo casos paradigmáticos da construção desta metodologia três ilhas que se encontram atualmente em obras: as seis ilhas na Lomba, a ilha na Rua das Antas 52 e a ilha na Rua de S. Vitor 172.

Recorremos aqui a outros exemplos, trabalhados no âmbito do Gabinete do 1ºDireito, demonstrando que, com os princípios definidos, é possível ganhar celeridade e escala, permitindo que estes núcleos podem aceder a financiamentos públicos e comunitários, onde a burocracia e o escasso tempo para submeter as candidaturas muitas vezes ditam a exclusão de quem tem menos recursos. Olhamos aqui para nove exemplos, de ilhas privadas, em localizações distintas da cidade e com

diferentes constrangimentos aos quais era necessário dar resposta. Dividimos estes nove exemplos em três grupos:

1. Ilhas com possibilidade de intervenção na frente de rua (VER ANEXO C - Figuras 4 a 6):

Pretende-se ilustrar que a leitura dos regulamentos e do Plano em vigor, aliados aos princípios de intervenção, permitem intervir nestes núcleos e garantir condições de habitabilidade aos seus moradores. Ao trabalhar com as ferramentas elencadas de ampliação e construção nova, respeitando a escala das ilhas, é possível garantir que as casas aumentam a área, têm ventilação e iluminação suficientes, são introduzidas as funções essenciais e, nestes casos, é dado também o contributo para a cidade de harmonização da frente de rua e das fachadas de tardoz. Nos três casos elencados, é possível também resolver problemas históricos e estruturais das ilhas, no que toca à permeabilidade do solo: evitando cheias e estragos desproporcionais que advêm da existência de muitas construções precárias, aumentando a permeabilidade do solo; e garantir o cumprimento dos regulamentos de segurança contra incêndios, proporcionando mais do que uma entrada/saída, desobstruindo os percursos de evacuação e garantindo que são acessíveis.

2. Ilhas com implantação à volta de um pátio comum (VER ANEXO D - Figuras 7 a 9):

Nestes casos, apesar de implantações territoriais bastante distintas, pretende-se ilustrar que em muitas das ilhas, que se desenvolvem com recurso a um pátio central comum, as possibilidades dependem da sua relação com as construções vizinhas no interior do quarteirão. Ao conjugar os regulamentos em vigor, o Plano, e os princípios de intervenção, foi possível chegar a soluções distintas, sem pôr em causa as condições de habitabilidade que se pretende atingir. No primeiro caso, as ferramentas de manutenção e ampliação a partir da aglutinação, foram utilizadas tendo em conta o contexto de impossibilidade de aumento de

construção ou cêrceas, dada a implantação territorial da ilha na escarpa das Fontainhas. Ainda assim, ao regularizar as fachadas, demolir os anexos e introduzindo as funções essenciais dentro das casas, foi possível garantir as áreas mínimas habitáveis, ventilação e iluminação em todas as habitações. Estas condições foram também garantidas no segundo caso, ainda que com recurso a ferramentas de adição – permitidas pela diferença de cota com os terrenos vizinhos e tendo em conta os muros de meação existentes. Utilizando como recurso principal o pátio de grandes áreas que eram anteriormente ocupadas por anexos, foi possível viabilizar a introdução de mais fogos no miolo da ilha, contribuindo para a não diminuição do número de habitações, sem pôr em causa questões de privacidade, acessibilidades e permeabilidade do solo.

O terceiro caso permite-nos ilustrar um enquadramento regulamentar diferente, estando a ilha inserida num plano urbanístico em curso por parte do Município. Esta ilha ilustra a necessidade e as vantagens de manter os processos de reabilitação das ilhas privadas em articulação próxima com os serviços municipais. Apesar de não serem uma amostra representativa em relação ao número de ilhas da cidade, permitem ilustrar as possibilidades de articulação entre diferentes entidades e agendas, no cumprimento do objetivo principal de garantir condições de habitabilidade aos agregados residentes, alavancando transformações territoriais mais abrangentes e qualificadas.

3. Ilhas com implantação ao longo do corredor de acesso, única frente das casas (VER ANEXO E – Figuras 10 a 12):

Intervir em ilhas-corredor representam a maior dificuldade de se intervir nestes núcleos. Ao longo dos anos, foram trabalhadas diversas ilhas – implantadas ao longo do lote e com recurso a apenas uma fachada – que permitiram testar a viabilidade dos princípios de intervenção face aos maiores constrangimentos. Nestes casos, a leitura das possibilidades de intervenção à luz dos regulamentos e planos fica limitada às

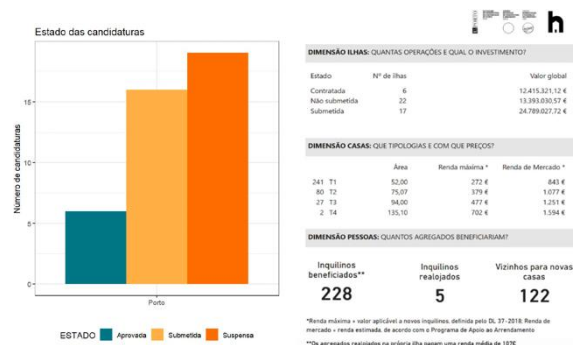
relações com a envolvente que cada ilha apresenta e a existência ou não, de uma casa de frente de rua que possa ser integrada no projeto de reabilitação da ilha.

Partindo das três ilhas aqui selecionadas, é possível ver que o recurso à ferramenta de ampliação por aglutinação é a opção mais corrente para o aumento das áreas das casas, no entanto, esta ferramenta implica perder número total de fogos. Na leitura da envolvente e da relação com os terrenos vizinhos, pode ser viável considerar o aumento da cêrcea para a introdução de novas habitações, ou para aumento da área das habitações existentes, que passam a desenvolver-se em dois pisos e podem atingir tipologias maiores. Nestas ilhas, a demolição dos anexos, a criação de percursos acessíveis e a permeabilidade do solo, são ainda mais importantes. Na maioria das ilhas corredor, não existe uma segunda saída que possa facilitar os percursos de fuga em caso de incêndio, e por isso foram estudadas nestas propostas de reabilitação, outras medidas de mitigação para proteger os moradores. Nos três casos é possível comprovar que a reabilitação das ilhas não implica a manutenção das construções precárias ou a perpetuação de más condições de habitabilidade, sendo possível, na maioria dos casos de estudo, garantir às habitações a ventilação, iluminação e salubridade necessárias.

4.3 Avaliação dos resultados – quantificações⁹

O desenvolvimento dos programas base a partir dos princípios de intervenção permitiram obter viabilidade urbanística para 22 ilhas com candidaturas submetidas – 6 em curso e 16 que aguardam aprovação, tendo 19 não sido submetidas por variadas razões, como a falta de acordo entre os proprietários, condições de financiamento desfavoráveis (por implicarem, por exemplo, o realojamento temporário de muitos moradores), a percepção de pouca rentabilidade ou pelo facto de não abrangerem a totalidade da ilha.

Figura 13 – Estado das 41 ilhas analisadas no Relatório de Balanço e resultados compilados do financiamento previsto, incluindo Beneficiários Diretos



Fonte: Gabinete do 1ºDireito. Elaboração: Autores

Face a situações pré-existentes onde as áreas das parcelas rondam os 20m², tendo algumas delas sido aumentadas a partir de acrescentos e anexos não legalizados, as áreas médias das habitações propostas conseguem garantir o cumprimento dos regulamentos, nomeadamente do RGEU. Como é possível ver pela imagem acima, a área média dos T1 ronda os 52m², a do T2 ronda os 75m², a do T3 os 94m² e os T4 atingem 135m².

Este é um trabalho de apoio técnico ao proprietário da ilha e aos seus moradores, permitindo viabilizar a submissão atempada da candidatura. Após a aprovação da mesma, o proprietário dispõe de verba para financiar a maioria das despesas associadas ao processo: desde os projetos e certificados energéticos, à empreitada e à emissão final das novas cadernetas prediais.

O programa base não tem valor de anteprojecto ou de Pedido de Informação Prévia (PIP), mas é a garantia – para o proprietário, os moradores e para os futuros projetistas – de que a reabilitação da ilha, seguindo aquelas premissas, é viável e será licenciada pelo urbanismo de forma célere, ao mesmo tempo que garante uma solução qualificada.

Uma das conclusões que foi possível retirar dos relatórios já citados, foi a diferença entre um proprietário profissionalizado – com equipa de projetistas envolvida desde o início do processo, e um proprietário não profissionalizado – que contratará os projetistas apenas após a aprovação da

candidatura. Os proprietários profissionalizados apresentavam maior destreza e capacidade de resolução dos problemas burocráticos associados ao processo, deixando evidente a necessidade de manter e reforçar estruturas de mediação compostas por diferentes técnicos, para que as políticas públicas possam chegar a um público mais abrangente. Por outro lado, os proprietários profissionalizados tendem a solicitar mais revisões ao projeto e mais atendimentos com as equipas projetistas, prolongando a fase de submissão de candidatura, o que nestes casos prejudicou a obtenção do financiamento 100% a fundo perdido.

Figura 14 – Desfecho por tipo de atendimento (considerando a totalidade do processo acompanhado e mediana de atendimentos e revisões por tipo de proprietário (na elaboração dos programas base)

	Aprovada	Submetida	Suspensa
Proprietário profissionalizado	4	9	17
Proprietário não profissionalizado	2	7	2

	Atendimentos	Revisões
Proprietário não profissionalizado	4	<1
Proprietário profissionalizado	8	2

Fonte: Gabinete do 1ºDireito. Elaboração: Autores

5. Conclusões

5.1. Regras e exceções: validação da metodologia

Os resultados alcançados ao longo dos últimos anos validam a aplicabilidade da metodologia desenvolvida para a reabilitação das Ilhas do Porto. Através da elaboração e implementação de programas base, orientados pelos princípios sistematizados pela FAUP em articulação com a DMDU da CMP, demonstrou-se que é possível garantir condições de habitabilidade digna aos residentes destes núcleos, respeitando as exigências regulamentares e potenciando a qualidade urbana dos territórios envolvidos.

Com propostas aplicadas a cerca de 100 ilhas e candidaturas submetidas para 22 delas, a metodologia provou ser suficientemente

robusta e flexível para acomodar a diversidade morfológica e urbanística das ilhas existentes na cidade: ilhas corredor, ilhas pátio, ilhas irregulares, ilhas com e sem casa de frente de rua, ilhas localizadas em Áreas de Reabilitação Urbana/Operações de Reabilitação Urbana, ilhas em zonas de proteção de património, ilhas em zonas de escarpa, ilhas em zonas em consolidação, ilhas em Unidades Operativas de Planeamento e Gestão, ilhas com vários proprietários, várias ilhas juntas. Esta diversidade de casos demonstrou que a abordagem sistemática é capaz de responder tanto à excecionalidade como à regra, sem perder o foco no objetivo central — garantir habitação digna aos moradores das ilhas e reforçar a função urbana destes núcleos.

A validação urbanística dos princípios, agora espelhada na revisão do PDM e consagrada na Estratégia Local de Habitação, confirma o impacto da colaboração técnica e institucional como motor de mudança concreta no território (VER ANEXO F).

5.2. Questões de futuro: custo de oportunidade

Comprovada a viabilidade urbanística e técnica da reabilitação das ilhas, o desafio que se coloca a partir de agora é o da continuidade e consolidação destas políticas públicas. O encerramento da fase de financiamento do PRR, a 31 de março de 2024, marca um ponto de viragem: ou se reforçam os instrumentos que permitiram a mobilização dos proprietários e o apoio técnico às candidaturas, ou corre-se o risco de descontinuar um processo que demonstrou resultados relevantes.

A manutenção de estruturas interinstitucionais, como o Gabinete do 1º Direito, e de ferramentas técnicas como os programas base, são peças-chave para assegurar que as futuras reabilitações não voltem a ser exceções, mas uma prática habitual e acessível. A ausência de financiamento continuado ou de mediação técnica pode transformar o que hoje é uma política pública viável num custo de oportunidade desperdiçado — tanto para os

moradores das ilhas como para a cidade no seu todo.

O trabalho desenvolvido mostra que a reabilitação das ilhas não é apenas possível: é necessária e estratégica. Reabilitar estas estruturas é, em simultâneo, garantir habitação a custos controlados, recuperar património edificado, qualificar o tecido urbano e promover justiça territorial. Para que esse processo se mantenha viável, é essencial preservar o equilíbrio do triângulo das condições — acompanhamento técnico, viabilidade urbanística e financiamento público — que sustentou o sucesso das intervenções até aqui. A consolidação de uma política pública que assegure estes três vértices será determinante para o futuro das ilhas do Porto.

Referências

1. Este levantamento foi realizado no âmbito do Projeto AIIA – Abordagens Integradas para a Inclusão Ativa, Porto Vivo, SRU, 2020-2022, que decorreu com financiamento do Portugal2020 – “atividade III.7. do Programa Estratégico “As Ilhas do Porto”: Estratégias específicas para a regeneração habitacional das “Ilhas do Porto”
2. “Preços da Habitação” – preços da habitação incluem índices dos preços das rendas, valor real e nominal dos índices dos preços da habitação, e rácios de preço para renda e preço para rendimento – para o ano de 2024 – consultado em <https://www.oecd.org/en/data/indicators/housing-prices.html>
3. O Gabinete do 1º Direito, instalado na Porto Vivo, SRU desde Julho de 2022, é um gabinete de atendimento para questões de habitação, nomeadamente para apoio a Beneficiários Diretos e Proprietários de Núcleos Degradados para submissão de candidaturas ao 1º Direito, com a qual a equipa Habitar, da Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto colabora até aos dias de hoje a partir de contratos Inter administrativos firmados entre as duas entidades

4. São exemplos desta colaboração o “Programa Ponte” – que vigorou entre 2019 e 2022, o Programa “Abordagens Integradas para a Inclusão Ativa” – que incluiu a participação de membros da equipa do Habitar, o protocolo de implementação e colaboração no Gabinete do 1ºDireito com a Porto Vivo, SRU, e o “Habitar as Ilhas”, protocolo de colaboração entre a equipa da Faculdade de Arquitetura e a Direção Municipal de Desenvolvimento Urbano, que vigorou entre abril de 2022 e abril de 2025.

5. Durante os anos de trabalho do Habitar sobre as ilhas, foram conduzidos vários levantamentos, como: “Levantamento e caracterização de núcleos residenciais designados como “ilhas” na ARU de Campanhã-Estação”, levantamento e caracterização das 19 ilhas da Zona da Lomba – objeto de estudo do Programa AIIA, os levantamentos conduzidos no âmbito de contatos de proprietários de ilhas ao Gabinete do 1ºDireito – Porto Vivo, SRU e os levantamentos conduzidos no âmbito dos Workshops “Arquitetos de Família”, tendo a maioria das edições sido realizadas em ilhas do Município do Porto.

6. Após o Programa AIIA foi celebrado um contrato de cooperação interadministrativa entre a FAUP e a Porto Vivo, SRU, que vigorou entre julho de 2022 e dezembro de 2024, tendo sido assinado novo protocolo de cooperação interadministrativa para os anos de 2025-2026.

7. São elementos de um Programa Base: uma planta da situação existente com o levantamento das habitações ocupadas/desocupadas, plantas da solução proposta com vermelhos e amarelos, cortes e alçados para representação das soluções propostas com vermelhos e amarelos, um quadro síntese com a situação dos agregados – número de residentes, tipologias adequadas, renda paga, um quadro síntese das habitações propostas – com cálculo da renda condicionada de cada fogo, uma tabela de tipologias existentes e propostas, um gráfico de permeabilidade existente e proposta, e fotografias da ilha.

8. Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, responsável pela gestão dos fundos comunitários para a habitação, nomeadamente pela aprovação das candidaturas e gestão dos processos do Programa 1ºDireito.

9. Estes resultados foram apresentados num relatório de Balanço Provisório do Gabinete do 1ºDireito, no âmbito do contrato de cooperação com a Porto Vivo, SRU e no relatório final do projeto “Habitar as Ilhas” em Novembro de 2024, no âmbito da cooperação com a Direção Municipal de Desenvolvimento Urbano, em Março de 2025.

Bibliografia

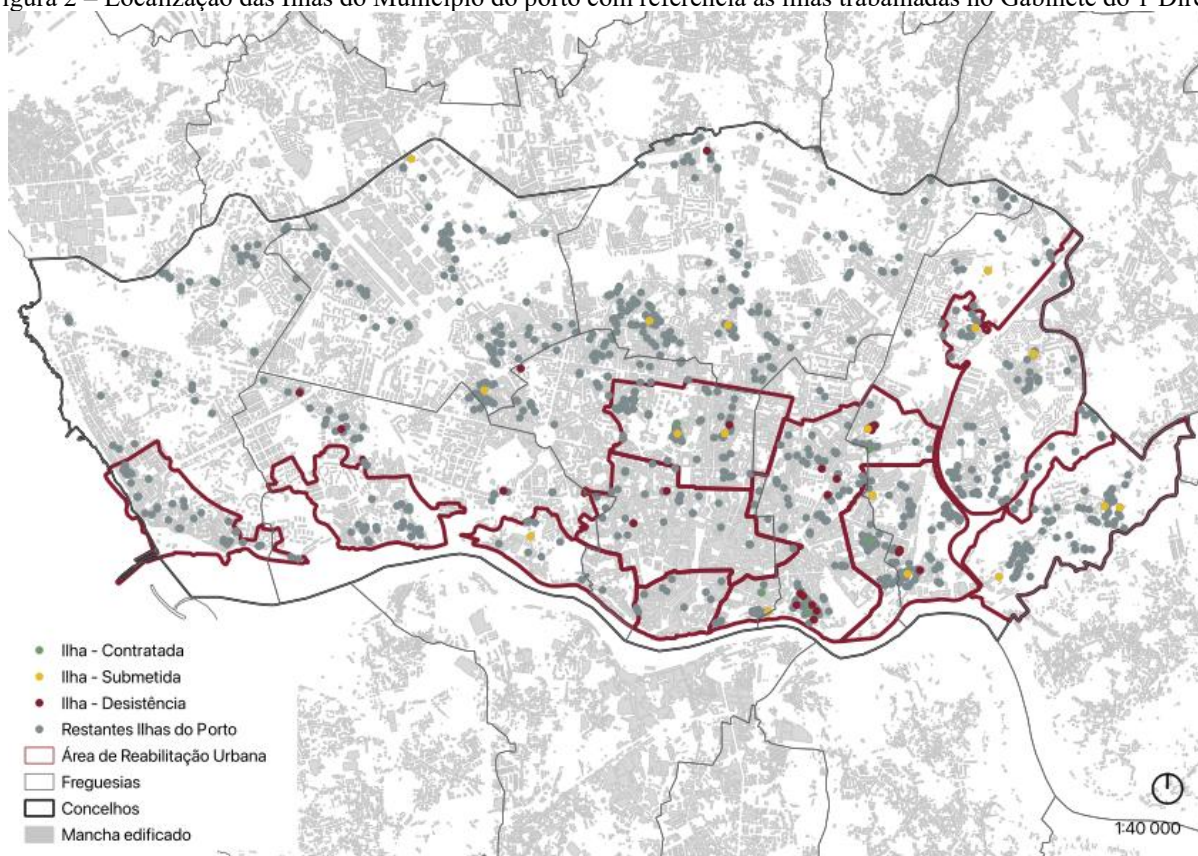
- [1] TEIXEIRA, M. C. Habitação popular na cidade oitocentista: as Ilhas do Porto. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.
- [2] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE LUTA CONTRA A POBREZA. Pobreza Habitacional em Portugal: desafios e vulnerabilidades. EAPN Portugal, 2023.
- [3] VAREA ORO, A.; PEREIRA, M. A. A. Entre as práticas e as políticas. O programa Habitar Porto. Revista Fórum Sociológico, n. 34, p. 61-70, 2019.
- [4] VAREA ORO, A.; TRAVASSO, N. M.; ALMEIDA, M. R.; VIEIRA, P. A. Nem perpetuar nem erradicar: uma proposta de transição para as Ilhas do Porto. Revista Morfologia Urbana - Rede Lusófona de Morfologia Urbana, 2019. ISSN 2182-7214.
- [5] CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO. Plano Diretor Municipal. Porto, 2021.
- [6] VAREA ORO, A. Ilhas do Porto: reabilitar para incluir. Porto: Município do Porto - Porto Vivo, SRU, 2022.
- [7] PORTUGAL. Resolução do Conselho de Ministros n.º 50-A/2018. República Portuguesa, 2018.
- [8] PORTUGAL. Lei n.º 83/2019. República Portuguesa, 2019.

- [9] PORTUGAL. Decreto-Lei n.º 37/2018. República Portuguesa, 2018.
- [10] INSTITUTO DA CONSTRUÇÃO. Estratégia Local de Habitação do Porto com vista à apresentação de candidaturas ao 1º Direito. Porto: Câmara Municipal do Porto, 2019.
- [11] MINISTÉRIO DO PLANEAMENTO. Plano de Recuperação e Resiliência: Recuperar Portugal, construindo o futuro. Lisboa: Ministério do Planeamento, 2021.

6. Anexos e Apêndices

ANEXO A

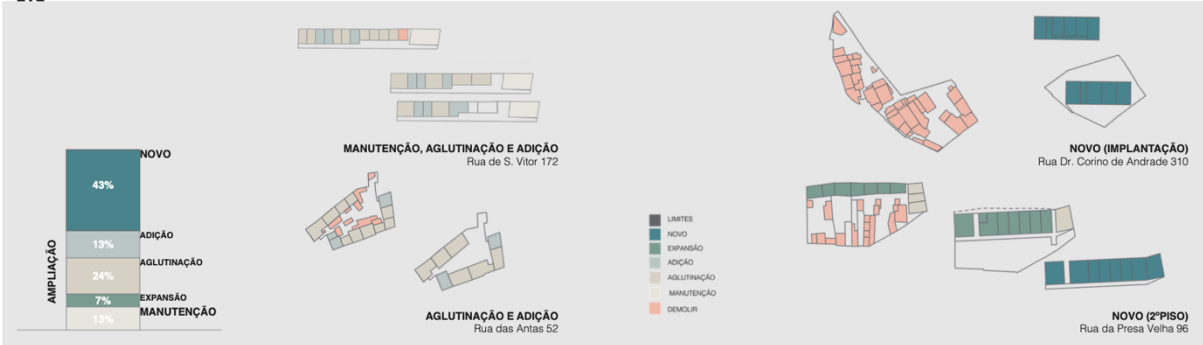
Figura 2 – Localização das Ilhas do Município do porto com referência às ilhas trabalhadas no Gabinete do 1ºDireito



Fonte: Gabinete do 1ºDireito. Elaboração: Autores

ANEXO B

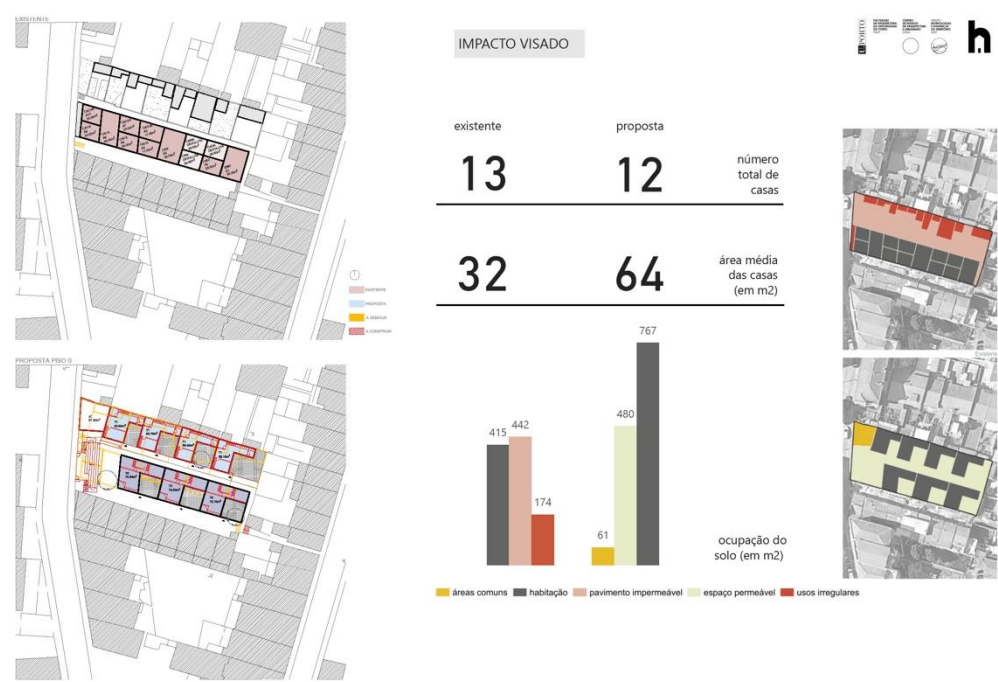
Figura 3 – Estratégias de aumento das áreas: manutenção, ampliação e construção nova



Fonte: Programas Base desenvolvidos pelo Habitar. Elaboração: Autores.

ANEXO C

Figura 4 – Programa base da proposta de intervenção para a ilha na Rua de São Roque da Lameira – existente e proposto e síntese de impacto visado



Fonte: Gabinete do 1ºDireito. Elaboração: Autores.

Figura 5 – Programa base da proposta de intervenção para a ilha na Rua da Presa Velha– existente e proposto e síntese de impacto visado

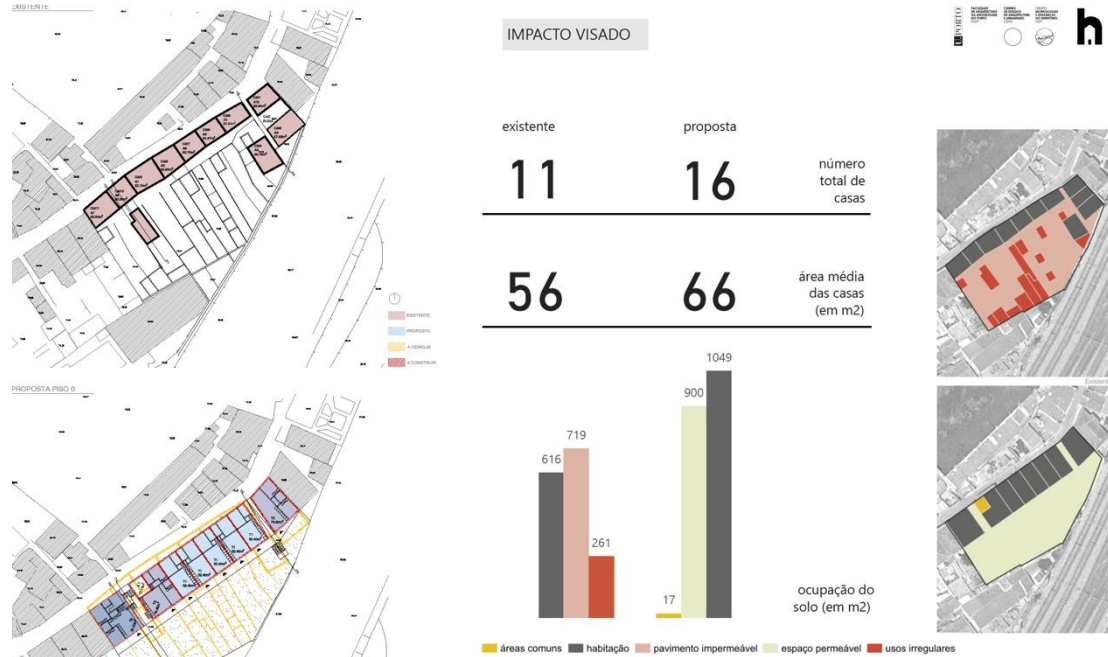
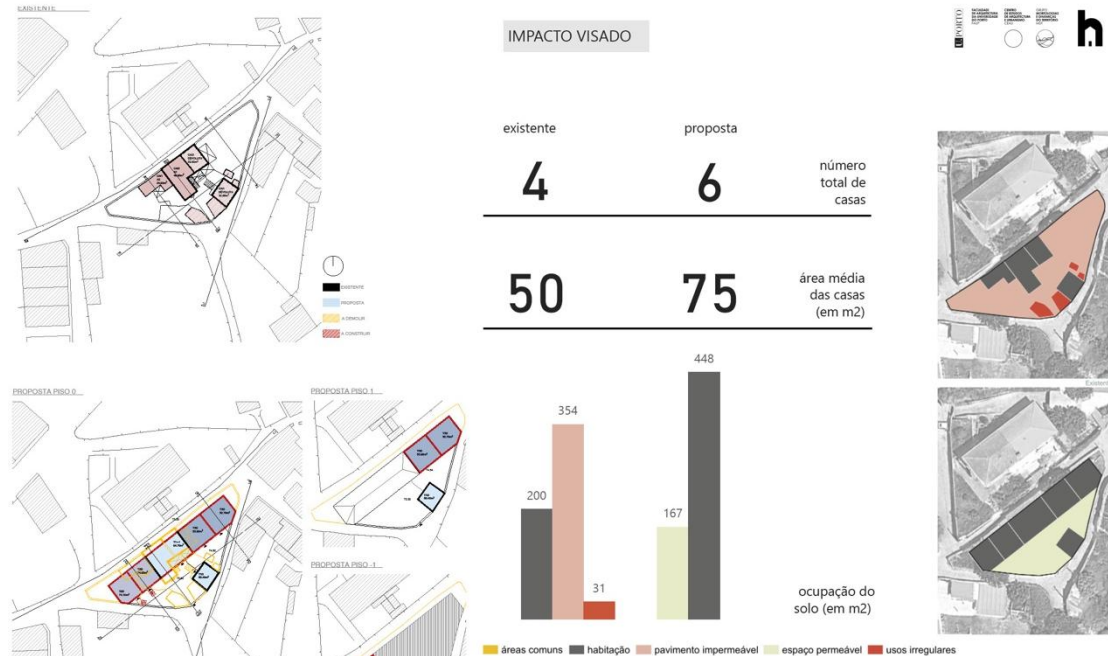
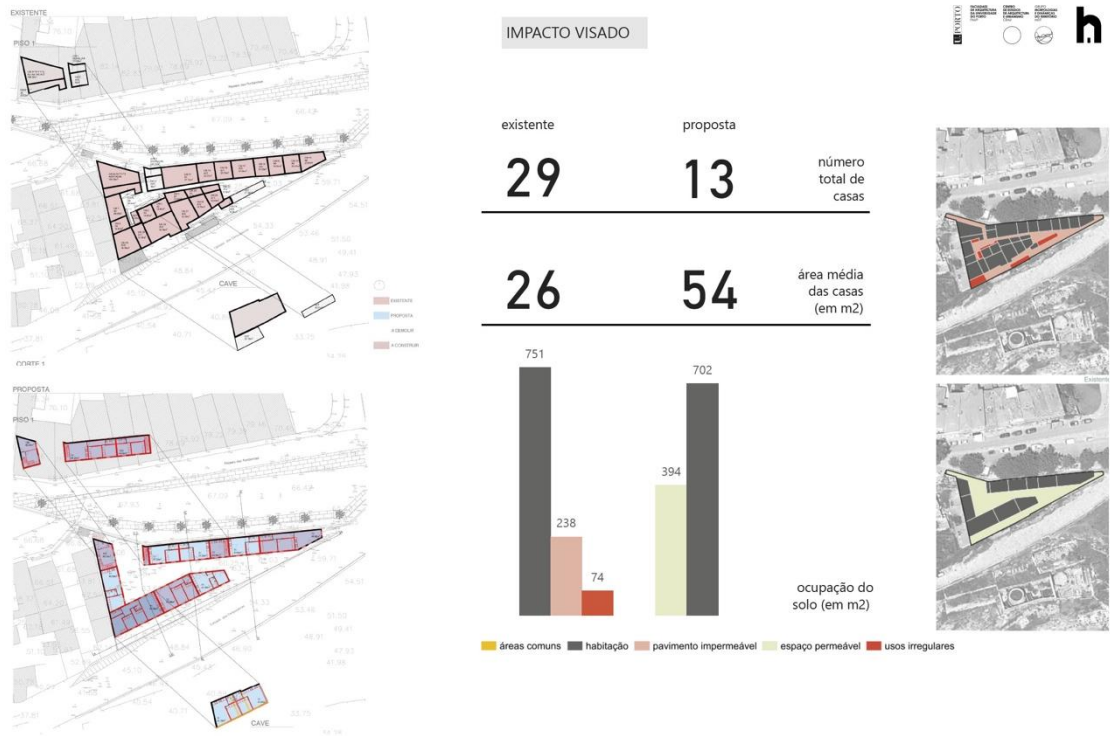


Figura 6 – Programa base da proposta de intervenção para a ilha na Travessa da Ponte do Gato – existente e proposto e síntese de impacto visado



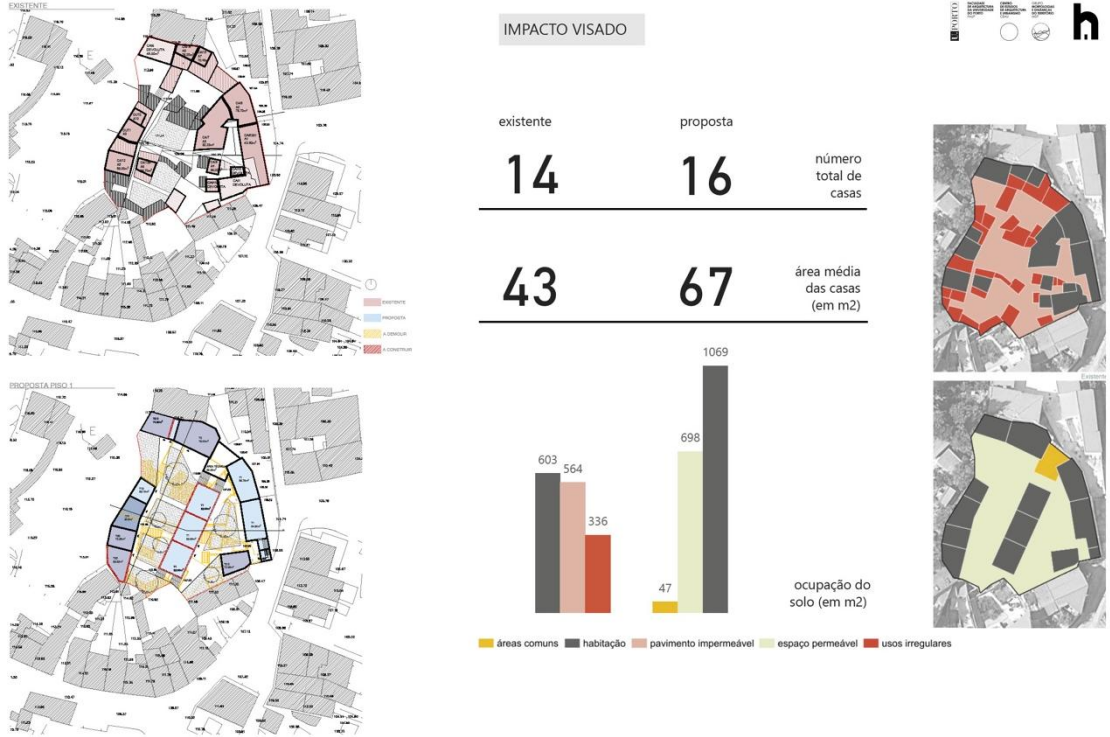
ANEXO D

Figura 7 – Programa base da proposta de intervenção para a ilha no Passeio das Fontainhas – existente e proposto e síntese de impacto visado



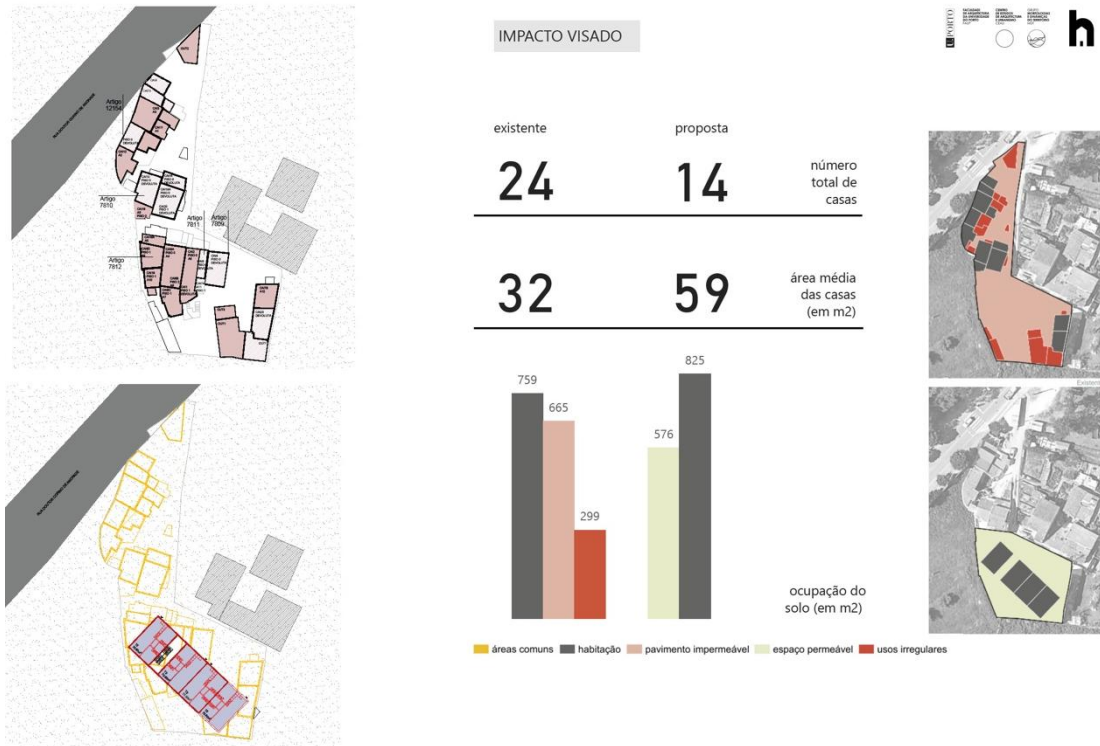
Fonte: Gabinete do 1ºDireito. Elaboração: Autores.

Figura 8 – Programa base da proposta de intervenção para a ilha na Rua Souto de Contumil – existente e proposto e síntese de impacto visado



Fonte: Gabinete do 1ºDireito. Elaboração: Autores.

Figura 9 – Programa base da proposta de intervenção para a ilha na Rua Dr. Corino de Andrade – existente e proposto e síntese de impacto visado



ANEXO E

Figura 10 – Programa base da proposta de intervenção para a ilha na Rua de S. Vitor – existente e proposto e síntese de impacto visado

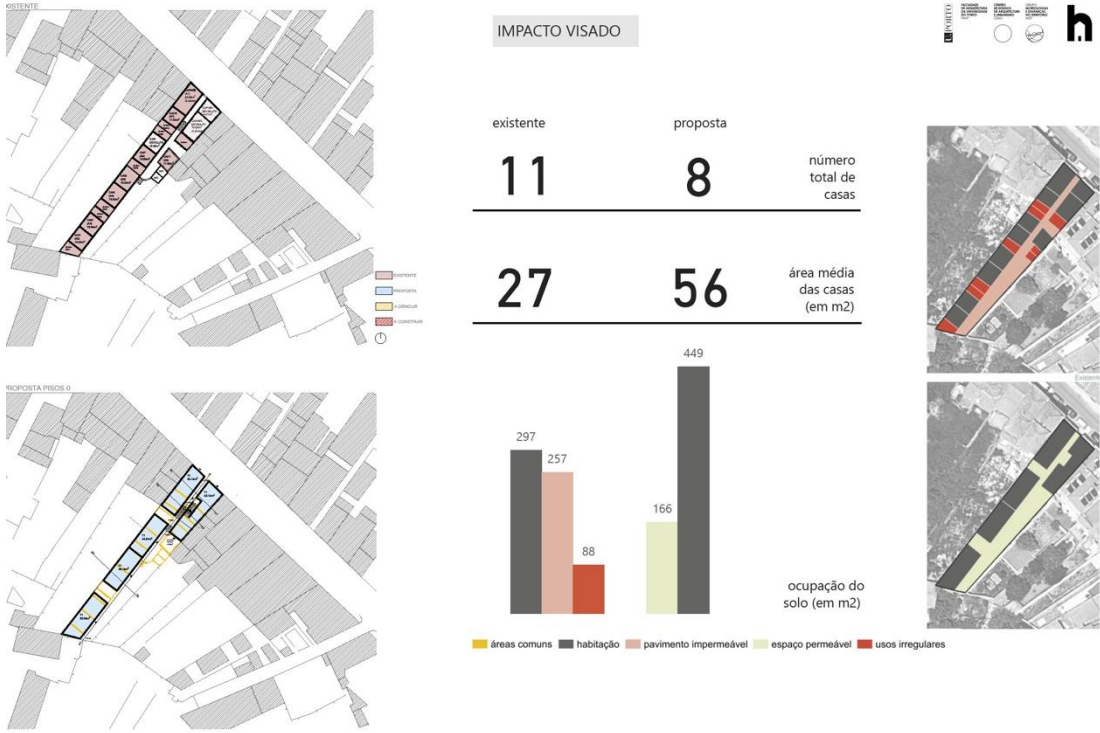


Figura 11 – Programa base da proposta de intervenção para a ilha na Rua de S. Vitor – existente e proposto e síntese de impacto visado

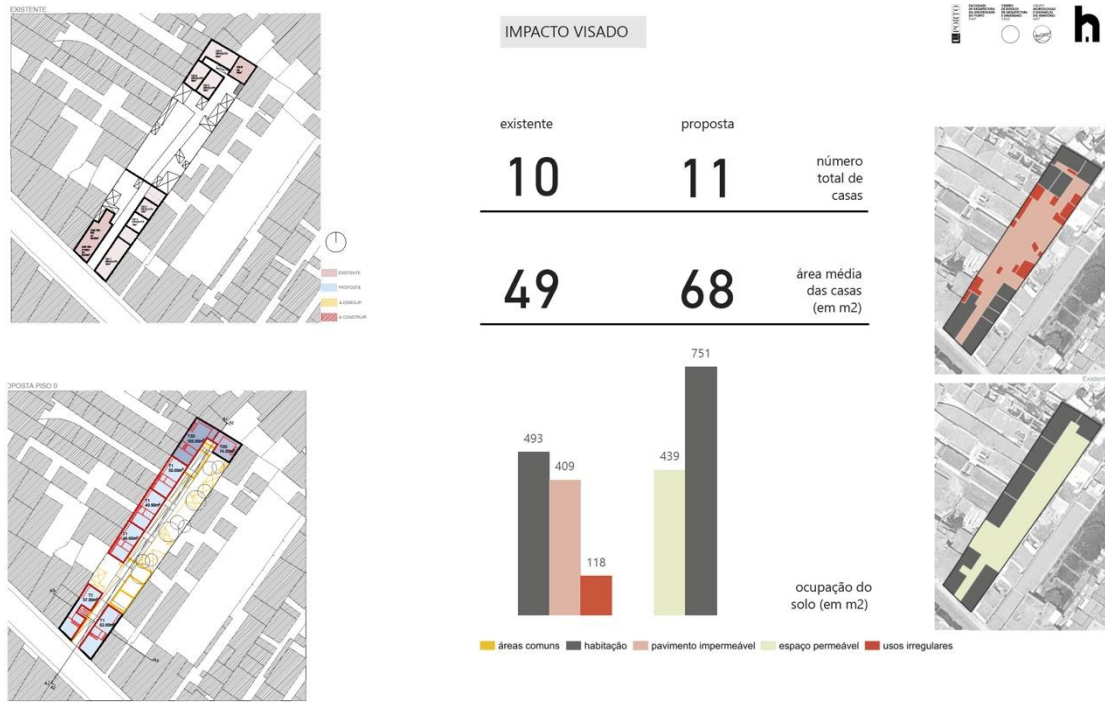


Figura 12 – Programa base da proposta de intervenção para a ilha na Rua Moreira da Assunção– existente e proposto e síntese de impacto visado



ANEXO F

Figura 13 – Aplicação dos princípios de intervenção a ilhas em diferentes contextos.



Fonte: Gabinete do 1ºDireito. Elaboração: Autores.



Caso de Estudo Sobre Reabilitação e Reforço Estrutural de Edifício Situado na Baixa Pombalina de Lisboa

Case Study on the Rehabilitation and Structural Reinforcement of a Building Located in Lisbon's Pombaline Downtown Area

MARQUES, Sérgio

sergio.marques@telhabel.net

Engenheiro Civil, Telhabel Construções, S.A.

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Baixa Pombalina

Reabilitação

Reforço Estrutural

Keywords:

Baixa Pombalina

Rehabilitation

Strutural Reinforcement

Resumo:

O presente artigo tem por objetivo apresentar um caso de estudo da reabilitação integral de um edifício objeto de intervenção, o Edifício Rossio 62, situado na Baixa Pombalina de Lisboa, procurando restituir-lhe alguns elementos da sua construção original que se encontrava profundamente adulterada por diversas alterações efetuadas ao longo da sua existência. O artigo tem como intuito apresentar algumas características arquitetônicas e estruturais encontradas neste tipo de edifícios, bem como alguns desafios encontrados e técnicas de reabilitação e reforço estrutural do edifício utilizadas no decorrer dos trabalhos.

Abstract

This paper intends to present a case study of the comprehensive rehabilitation of a building subject to renovation, the Rossio 62 Building, located in Lisbon's Baixa Pombalina district. The aim was to restore some elements of its original construction, which had been severely damaged by various alterations made throughout its existence. The article aims to present some of the architectural and structural characteristics found in this type of building, as well as some of the challenges encountered, and the rehabilitation and structural reinforcement techniques used during the renovation.

1. Introdução

A Baixa Pombalina de Lisboa é um dos primeiros exemplos mundiais de urbanismo moderno e planeamento urbano racional após a destruição resultante do violento terramoto de 1755, seguido por diversos focos de incêndio que devastaram uma parte significativa dos edifícios da antiga cidade.

O secretário de estado dos negócios estrangeiros e da guerra da altura, cargo homólogo ao atual Primeiro-ministro, o Marquês de Pombal, reuniu diversos

Engenheiros e Arquitetos, tais como Manuel da Maia, Eugénio dos Santos e Carlos Mardel, para desenvolverem um plano urbanístico inovador para a Baixa de Lisboa, cuja prioridade era garantir a segurança, salubridade e funcionalidade. A nova cidade deveria ser resistente a novos sismos e incêndios, organizada segundo critérios racionais, modernos e inovadores para a época e adaptada às necessidades comerciais da capital do Império.

A arquitetura da Baixa Pombalina reflete os ideais do iluminismo, foi pensada com base na racionalidade e ordem (ruas dispostas em grelha ortogonal), com um propósito prioritariamente prático e funcional (comércio no rés-do-chão e habitação nos andares superiores), segurança através inovações técnicas (gaiola pombalina, sistemas de drenagem modernos, ruas largas com melhor arejamento, iluminação e segurança contra incêndios), estética clássica e neoclássica (fachadas sóbrias, linhas retas, simetria, proporção e pouca ornamentação) e interesse pelo bem coletivo (acesso facilitado ao comércio, melhores condições de salubridade e com espaços públicos amplos que promovem a reunião e convivência social) [1].

2. Caso de Estudo: Edifício Rossio 62

2.1 Descrição do Edifício

O edifício em causa, designado por Edifício Rossio 62, situa-se no topo norte do conjunto de edifícios que delimitam a Praça D. Pedro IV a ponte. É composto por 5 pisos acima do solo (o último de mansarda) e uma cav e.

Figura 01 – Localização do edifício na baixa Pombalina



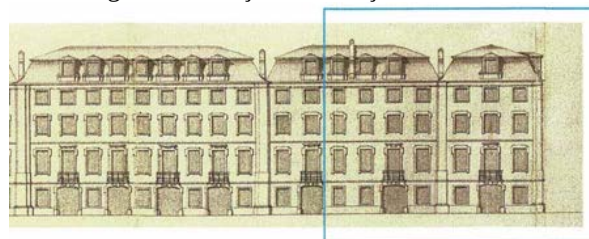
Fonte: Cóias, Vitor [2]

A construção do edifício data da década de 1840, correspondendo ao período ultra tardio da reconstrução da cidade de Lisboa pós-terramoto. Reconstrução esta que havia de ser sujeita a um plano regulador e a um sistema construtivo e tecnológico assente nos ideais iluministas. Os processos técnicos de construção incluíam o chamado sistema de gaiola e os princípios de pré-fabricação de peças normalizadas de cantaria e carpintaria [3].

Grande parte das alterações efetuadas no edifício, muitas vezes não licenciadas, transformaram profundamente o seu interior e, principalmente, a sua capacidade estrutural. Ao nível do piso térreo a configuração pombalina foi fortemente alterada, com as apropriações dos espaços comerciais.

Os primeiros registos que se encontram do edifício remontam à década de 60 do século XVIII e estão presentes no Cartulário Pombalino, onde à data se projetavam dois edifícios independentes.

Figura 02 – Alçado da Praça D. Pedro IV



Fonte: Mardel, Carlos [4]

Fazendo uma análise do que foi construído, a julgar pelo posicionamento da escada interior e pela ausência de cozinhas no que seria o edifício mais a norte, entende-se que se tratou sempre de um único edifício. Não obstante, a sua base construtiva é bipartida, funcionando como charneira a parede de alvenaria de pedra assinalada pela pilastra no alçado, ou mesmo tripartida, se considerarmos o saguão enquanto eixo de simetria.

Figura 03 – Alçado da Praça D. João da Câmara



Fonte: Cunha, Alexandre [5]

2.2 Sistema Construtivo do Edifício

2.2.1 Fachadas

As paredes de fachada são construídas em alvenaria de pedra com guarnecimento e regularizadas com argamassas de cal.

A composição das fachadas permite estabelecer um inteligente equilíbrio de forças que contribui para a sua estabilidade. Os vãos precisamente alinhados na vertical e na horizontal permitem utilizar métodos construtivos eficientes, com o intuito de diminuir as patologias ao longo do tempo e aumentar a estabilidade da fachada.

A construção dos vãos possuem algumas técnicas interessantes, tais como: a utilização de arcos de ressalva (arcos em tijolo lambaz sobre a padieira), que desviam as cargas da zona da padieira; as pedras das ombreiras passam abaixo do peitoril, ficando a pedra de peitoril entalada entre as pedras das ombreiras; e a utilização de arcos de compressão (arco reto de alvenaria de tijolo lambaz sob o peitoril) para que em caso de sismo os impulsos do arco de ressalva transmitidos às ombreiras não esmaguem o peitoril [6].

As cantarias dos vãos são fixas à estrutura de gaiola para que em caso de sismo não sejam projetadas para a via pública.

Figura 04 – Fachadas do Edifício



Fonte: Acervo do Autor

2.2.2 Pisos

O piso térreo do edifício sofreu diversas alterações ao longo da sua existência de forma a adaptar os espaços às diversas atividades comerciais, alterando em algumas situações a estrutura pombalina inicial, nomeadamente a substituição parcial de alinhamento de arcos em pedra por vigas em aço.

Figura 05 – Arco remanescente a alterações anteriores



Fonte: Acervo do Autor

Os pisos superiores, maioritariamente para uso habitacional, são constituídos por um vigamento principal, aplicado paralelamente entre si, com afastamentos de cerca de 40cm, e revestido superiormente por tábuas, que lhe conferiam uma função de contraventamento.

Figura 06 – Vigamento do piso



Fonte: Acervo do Autor

2.2.3 Paredes Meeiras

As paredes meeiras, de separação entre edifícios contíguos, são constituídas por pedra rebocada com argamassa de cal, com uma espessura média de 0,60m ao longo do seu desenvolvimento, as quais se projetam acima da cobertura, que lhe conferem o papel de elemento corta-fogo.

Figura 07 – Paredes meeira



Fonte: Acervo do Autor

2.2.4 Paredes de Empena e de Fachada Exteriores

As paredes exteriores, de fachada e empena, são constituídas por alvenaria de pedra, com espessuras entre 0,90 e 1,10m, ao nível do piso térreo, reduzindo a sua espessura sucessivamente nos pisos superiores, à medida que as cargas reduzem.

Estas paredes são interligadas transversalmente ao nível do piso térreo, por

outras com alvenaria de pedra, com espessura de 0.50 a 0.70 m de espessura, das quais algumas se prolongam até aos pisos superiores, servindo de separação entre fogos.

Figura 08 – Paredes exterior em alvenaria de pedra



Fonte: Acervo do Autor

2.2.5 Paredes de Frontal

As paredes interiores de frontal, resistentes, são constituídas por uma treliça de madeira preenchida por elementos cerâmicos e/ou pedras rebocadas. Apresentam-se no interior do edifício e fazem o travamento nas duas direções.

São constituídas por prumos, travessanhos ou travessas e diagonais de madeira, conhecido pela “Cruz de Santo André”. Estas paredes antissísmicas funcionam como travamento em duas direções no interior do edifício.

Figura 09 – Paredes de frontal (Cruz de Santo André)



Fonte: Acervo do Auto

2.2.6 Paredes de Tabique

As paredes de tabique são paredes divisórias, sem função resistente e de menor espessura, constituídas por tábuas costaneiras com fasquiado de madeira rebocado com argamassas de cal em ambas as faces [7].

Figura 10 – Paredes em tabique



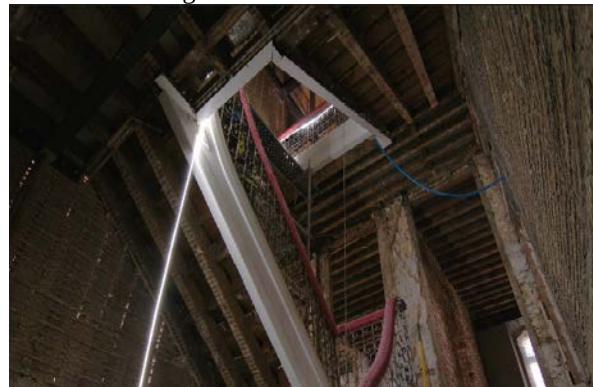
Fonte: Acervo do Autor

2.2.7 Escada interior

A escada em madeira, possuiu lanços constituídos por quatro vigas longitudinais apoiadas no vigamento transversal dos patamares (intermédio e de piso). O vigamento do patamar intermédio está encastrado nas duas paredes lateral da escada em tabique e na parede de frontal no topo, enquanto que o patamar de piso tem como estrutura o vigamento do próprio piso. Os degraus apoiados nas quatro vigas dos lanços de escada, estão solidários com as paredes laterais.

Os cobertores e espelhos eram constituídos por simples pranchas em madeira, pregadas sobre as pernas, com o focinho adossado. Os rodapés em madeira eram recortados com a forma do perfil dos degraus.

Figura 11 – Escada interior



Fonte: Acervo do Autor

2.2.8 Cobertura de mansarda

A cobertura, já intervencionada no passado, com estrutura em madeira e reforços com vigas em betão armado, apresentava-se de fraca qualidade, com um problema generalizado de deterioração, deformação e fissuração. As asnas em madeira encontravam-se em deformadas, com a madeira podre e fissurada em vários locais. O revestimento em telha cerâmica encontrava-se em mau estado de conservação, provocando infiltrações no interior.

As trapeiras tinham as suas laterais construídas em alvenaria de pedra e a projeção da sua cobertura em barrotes de madeira.

Figura 12 – Estrutura da trapeira



Fonte: Acervo do Autor

2.2.9 Saguão

O saguão, pátio interno estreito, descoberto, sem acesso direto ao exterior, permite garantir iluminação e ventilação a ambientes que não receberiam de outra forma luz direta da rua.

Este espaço do edifício encontrava-se com construções anexas nos diversos pisos, adicionadas pelos seus habitantes ao longo do tempo. Também foram colocados diversos equipamentos e a tubagem de exaustão dos comércios do piso térreo.

Figura 13 – Estado do saguão



Fonte: Acervo do Autor

2.3 Descrição da Intervenção no Edifício

As obras previstas visavam a reabilitação e conservação do imóvel num momento em que ainda se apresentava viável a possibilidade de recuperar parcialmente a sua estrutura pombalina.

O primeiro intuito das obras foi reabilitar, respeitar e preservar a memória dos espaços mais icónicos e identitários do edifício. Todas as alterações visavam não só recuperar os elementos originais, como também dotar o edifício com novos espaços capazes de responder às necessidades inerentes à alteração do seu uso [3].

Esta intervenção constitui uma 1.^a fase de execução dos trabalhos (a 2.^a fase será para execução de acabamentos), procedendo-se à reabilitação dos elementos que não se encontravam no melhor estado de conservação, mas capazes de continuar a cumprir a sua função com uma ação de recuperação e à completa ou parcial substituição dos elementos em estado degradado, não capazes de cumprir a sua função estrutural e/ou estética.

2.3.1 Fachadas

No exterior, pretendendo-se manter a linguagem de conjunto, as alterações foram pontuais. Foi substituída toda a caixilharia existente, por caixilharia em madeira nos pisos superiores e caixilharia em aço no piso térreo e saguão.

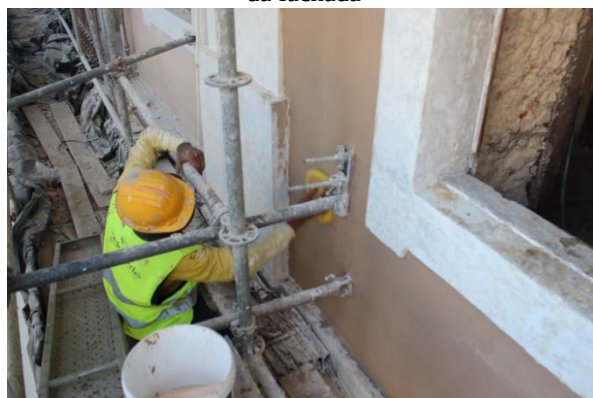
Figura 14 – Vãos exteriores em caixilharia de madeira



Fonte: Acervo do Autor

O reboco da fachada foi pontualmente picado em locais de alguma fissuração e despreendimento, restaurado com argamassas de reparação e aplicado um acabamento mineral colorido à base de cal.

Figura 15 – Aplicação de acabamento sobre o reboco da fachada



Fonte: Acervo do Autor

Todas as cantarias existentes (soleiras, parapeitos, ombreiras, padieiras, pilastras e cunhais) foram limpas e recuperadas. Procedeu-se à sua limpeza com jatos de água

à pressão, e à eliminação das imperfeições da pedra com argamassas de reparação.

Figura 16 – Cantarias reparadas



Fonte: Acervo do Autor

As cimalthas devido à dificuldade de fazer a sua manutenção são elementos que normalmente apresentam uma degradação acentuada. Este edifício, não foi exceção. As cantarias foram reparadas e as cimalthas substituídas por novas em GRC (*Glass fiber Reinforced Cement*).

Figura 17 – Cimalthas (antes e depois da intervenção)



Fonte: Acervo do Autor

As guardas metálicas em ferro forjado dos varandins do 1.º piso foram removidas para tratamento em serralharia, onde foram decapadas com abrasivo ao grau Sa 2 ½ e metalização. Após o tratamento, as guardas foram fixas novamente no seu local original e pintadas. Foi colocado um passa-mãos idêntico ao que já tinha existido na guarda, também ele pintado.

Figura 18 – Tratamento das guardas metálicas (antes e depois da intervenção)



Fonte: Acervo do Autor

Um trabalho relevante realizado, foi a reposição de uma réplica de pala metálica em Art Déco e cunhal em cantaria que foram removidos há já algumas décadas. Desta forma pretendeu-se restituir um carisma adicional ao edifício que tinha sido prejudicado por opções menos acertadas no passado.

Figura 19 – Pala original Art Déco do Stand “Castanheira, Lima & Rugeroni, Lda”



Fonte: Restos de Colecção Blogspot [8]

Figura 20 – Fachada sem pala e cunhal em cantaria



Fonte: Caiado, André [3]

Figura 21 – Nova pala Art Decó

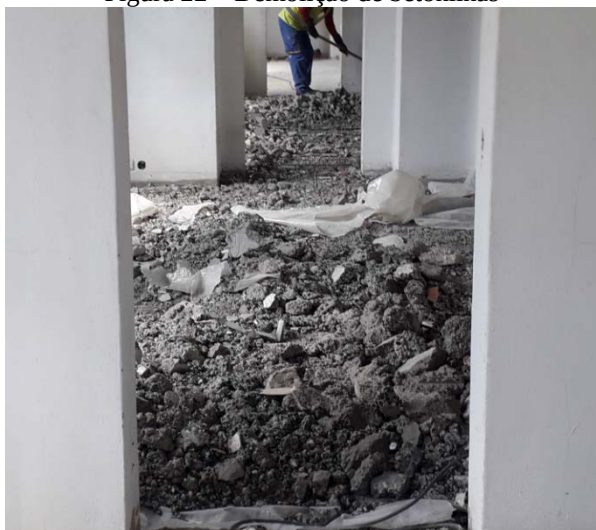


Fonte: Acervo do Autor

2.3.2 Pisos

Foram removidas todas as betonilhas assentes sobre o sobrado original, que em alguns transmitia sobrecargas permanentes excessivas.

Figura 22 – Demolição de betonilhas



Fonte: Acervo do Autor

Todos os elementos que constituíam o sobrado pombalino que se encontravam em mau estado de conservação foram substituídos por madeira tratada em autoclave da classe 2 por impregnação quase total de produtos para proteção ao ataque de insetos.

Figura 23 – Sobrado em mau estado de conservação



Fonte: Acervo do Autor

Todo sobrado existente no edifício foi tratado com produto de proteção anti-insetos da madeira.

No 1.º piso, devido à alteração da compartimentação, com a demolição de algumas paredes, houve necessidade de reforçar algumas lajes com perfis em aço S275JR encastrados nas paredes exteriores entretanto reforçadas com microbetão.

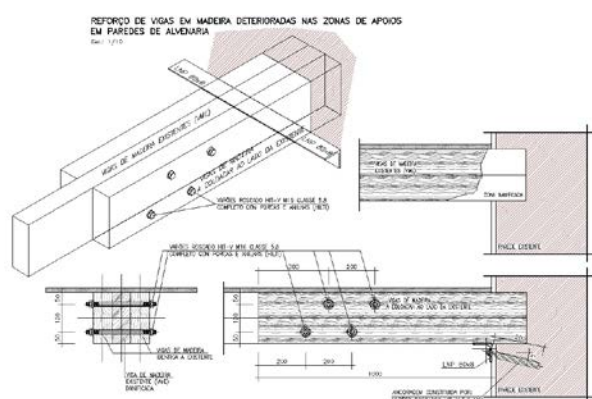
Figura 24 – Reforço estrutural com perfis em aço



Fonte: Acervo do Autor

Em situações em que os apoios das vigas em madeira se encontravam deteriorados, na sua entrega nas alvenarias, foram aplicados reforços.

Figura 25 – Reforço de vigas deterioradas nas zonas de apoio em paredes de alvenaria



Fonte: Marques, Luis [9]

Sobre o vigamento do piso existente foi efetuado o nivelamento com sarrafos em madeira e assoalhamento com painéis compósitos madeira/cimento (Viroc).

Figura 26 – Nivelamento dos pisos e assoalhamento com placas de Viroc

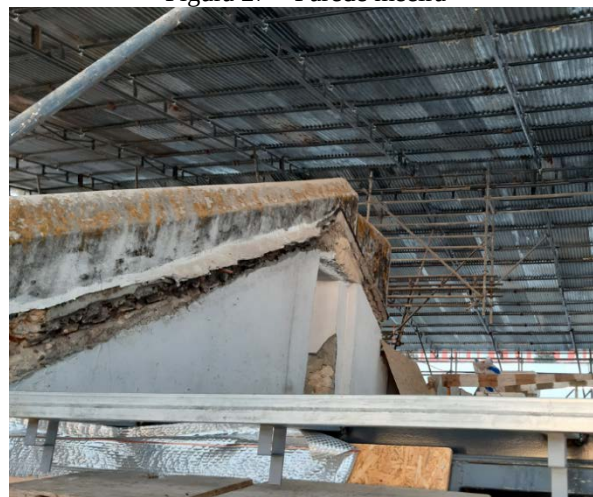


Fonte: Acervo do Autor

2.3.3 Parede Meeiras

As paredes meeiras, de separação, encontravam-se em bom estado, tendo sido apenas necessário, proceder à sua limpeza, pequenas reparações e posterior pintura.

Figura 27 – Parede meeira

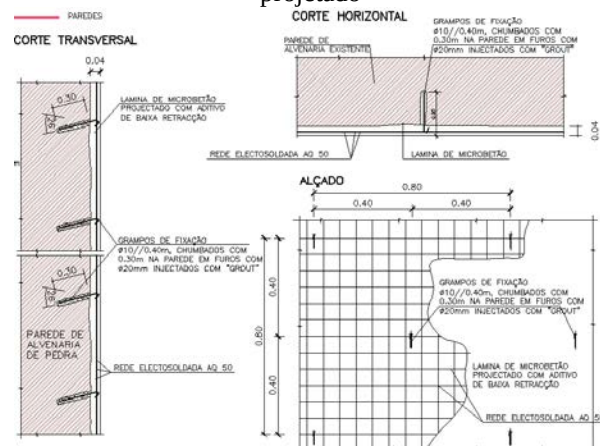


Fonte: Acervo do Autor

2.3.4 Paredes de empena e de fachada exteriores

O revestimento interior das paredes exteriores foi removido até ficar exposta a alvenaria de pedra. Estas paredes foram reforçadas com lâmina de microbetão projetado com espessura de 4cm e rede eletrossoldada AQ50.

28 – Reforço das paredes com lâmina de microbetão projetado



Fonte: Marques, Luis [9]

Figura 29 – Projeção de microbetão



Fonte: Acervo do autor

2.3.5 Paredes de frontal

O revestimento das paredes de frontal foi removido até ficar exposta a gaiola pombalina preenchida por elementos cerâmicos e/ou pedras rebocadas. Estas paredes foram reforçadas com argamassa com aditivo de baixa retração e rede de aço distendida zincado.

Figura 30 – Execução de reforço de parede frontal com argamassa e rede distendida



Fonte: Acervo do autor

2.3.6 Paredes de tabique

O revestimento das paredes de tabique foi removido até ficar exposta a sua estrutura em madeira. Estas paredes foram reforçadas com lâmina de microbetão projetado com espessura de 4cm e rede eletrossoldada AQ50.

Figura 31 – Reforço da parede de tabique com malha eletrossoldada AQ50



Fonte: Acervo do autor

2.3.7 Escada interior

O revestimento da escadaria interior foi retirado para receber novos acabamentos (a executar numa 2.^a fase). A escada em madeira, foi reforçada estruturalmente, com a inclusão de perfis metálicos nos patamares intermédios, procedeu-se à substituição de vigamento que não se encontrava em condições estruturais adequadas, executou-se o nivelamento das peças para as cotas de projeto e a colocação dos degraus e assoalhamento dos patamares. Manteve-se a lateral em madeira da escada, a guarda metálica em ferro forjado e o corrimão em madeira que se encontravam em bom estado.

Para acesso à zona técnica na cobertura, houve necessidade de prolongar a escada existente, mantendo a mesma configuração.

Figura 32 – Prolongamento da escada interior



Fonte: Acervo do autor

Para manter a harmonia estética de toda a escadaria foi replicada a guarda metálica existente e o corrimão em madeira.

Figura 33 – Réplica da guarda metálica e do corrimão existente



Fonte: Acervo do autor

2.3.8 Cobertura de mansarda

A cobertura existente não era recuperável e optou-se pela reexecução da mesma com uma estrutura leve em aço e madeira. Esta solução permitiu uma otimização dos espaços no último piso de mansarda e permitiu a criação de uma zona técnica para equipamentos de climatização e hidráulica, que são necessários para uma modernização do edifício e garantir um nível de conforto de acordo com os padrões atuais.

Com o intuito de receber as cargas provenientes da cobertura metálica foram executados lintéis de coroamento em betão

armado no topo das paredes exteriores resistentes.

Figura 34 – Lintéis de coroamento para reforço das paredes



Fonte: Acervo do autor

A estrutura da cobertura foi executada em perfis em aço procurando manter a configuração do telhado existente, mantendo-se as mesmas águas do telhado, as trapeiras e as paredes meeiras.

Figura 35 – Estrutura metálica da cobertura



Fonte: Acervo do autor

A estrutura foi revestida com painéis OSB de 20mm, barreira para-vapor, isolamento térmico XPS com 80mm, sub-telha e todos os acessórios necessários e telha cerâmica lusa.

Figura 36 – Telhado em execução



Fonte: Acervo do autor

Figura 37 – Pormenor do telhado de mansarda



Fonte: Acervo do autor

2.3.9 Saguão

Foram demolidos todos os anexos e estruturas provisórias construídas ao longo do tempo de utilização do edifício.

O revestimento das paredes exteriores foi removido até ficar exposta a sua estrutura original. Nas paredes exteriores ficou visível a sua alvenaria em pedra aparelhada. De salientar a utilização visível dos arcos de ressalva (ou descarga) sobre as padieiras.

Figura 38 – Alvenarias em pedra do saguão



Fonte: Acervo do autor

As paredes do saguão foram rebocadas com argamassa à base de cal hidráulica.

Foram detectados varandins com graves problemas estruturais, com fissuração acentuada e com pedras partidas e em falta.

Figura 39 – Varandins com graves patologias estruturais



Fonte: Acervo do autor

Para resolução destas patologias foram efetuados excertos de pedra e injeções com resina epóxi para selagem das fissuras.

Figura 40 – Selagens de fissuras com resina époxi



Fonte: Acervo do autor

3. Considerações Finais

Pretendeu-se com este estudo de caso caracterizar construtiva e estruturalmente o edifício intervencionado, de origem pombalina.

O edifício Pombalino caracteriza-se pela sua solidez, regularidade e simplicidade, concebido pelo engenho de técnicos que souberam através da sua experiência acumulada e pela observação, não só pelos estragos diretos provocados nos edifícios pelo grande terramoto de 1 de novembro de 1755 em Lisboa, mas também indiretamente, pelos subsequentes incêndios dos dias seguintes.

Estruturalmente, o edifício Pombalino apesar de aparentar ser em pedra e alvenaria, é constituído por uma estrutura tridimensional de madeira, usualmente chamada de Gaiola Pombalina, que não é visível por se encontrar embebida nas paredes internas de alvenaria, mas que tem um bom desempenho na absorção das ações e deslocamentos provocados por um sismo. A gaiola é uma armação em madeira constituída por peças verticais, horizontais e diagonais, devidamente interligadas, formando as cruces de Santo André, constituindo um sistema sólido e estável. Para tal, também contribui o pavimento formado por vigamentos em madeira perpendiculares às fachadas.

Também se procurou mostrar algumas técnicas contemporâneas de reabilitação, como o reforço com microbetão projetado,

perfis metálicos e substituição de componentes degradados por materiais de alta durabilidade, foi possível restaurar a integridade do sistema ancestral da “gaiola pombalina”. Estimativas baseadas em intervenções similares sugerem que estas medidas podem proporcionar uma redução do risco sísmico superior a 50% em relação à condição pré-intervenção [10], aproximando sensivelmente o comportamento global dos edifícios pombalinos reforçados, aos requisitos atuais definidos na legislação sísmica (Eurocódigo 8).

Em termos de durabilidade, a reabilitação permitiu, segundo padrões internacionais e referências do LNEC [11], aumentar a vida útil do edifício em pelo menos 50 anos, garantindo condições de segurança e habitabilidade muito superiores ao estado de conservação inicial. A substituição de madeiras comprometidas por madeira tratada, bem como a proteção anti-insetos, contribui para a estabilidade estrutural a longo prazo e reduz substancialmente a necessidade de intervenções corretivas futuras. Intervenções nas fachadas, cobertura e infraestruturas não só repuseram o valor estético e arquitetónico, mas também aumentaram a eficiência energética e o conforto dos utilizadores, aspetos fundamentais num contexto de sustentabilidade urbana.

A reabilitação dos edifícios pombalinos, para além do seu valor patrimonial e histórico inegável, revela-se estratégica no contexto urbano contemporâneo. Numa cidade com forte pressão turística e imobiliária, como Lisboa, a conservação qualificada do edificado existente representa uma resposta sustentável à necessidade de incorporar novas funções e estilos de vida sem recorrer à demolição integral e reconstrução. Mais do que resgatar técnicas construtivas e valorizar a memória coletiva, estas intervenções contribuem para a densificação urbana sustentável, a valorização do espaço público e o fortalecimento da identidade local, ao mesmo tempo que promovem a segurança sísmica e a resiliência da cidade face a futuros eventos naturais.

Investir na reabilitação e reforço do património construído é investir no futuro de Lisboa: é dotar o centro histórico de qualidade, resistência e atratividade, salvaguardando o passado enquanto se constrói para as futuras gerações.

4. Referências

- [1] FRANÇA, José-Augusto. *Lisboa Pombalina e o Iluminismo*. Lisboa, Imprensa Nacional Casa da Moeda, 2022.
- [2] CÓIAS, Vitor. *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*, p.18, Lisboa, Argumentum, 2019.
- [3] CAIADO, André. *Memória Descritiva e Justificativa do Projeto de Arquitetura para o Requerente Rossio 62 – Sociedade Imobiliária, SA*, Lisboa, 2017.
- [4] MARDEL, Carlos. *Cartulário Pombalino*, Arquivo Municipal de Lisboa, Cód. Ref. PT/AMLSB/CMLSBAH/PURB/007/020, <https://arquivomunicipal3.cm-lisboa.pt/X-arqWEB/Result.aspx?id=301560&type=PCD>, circa 1760.
- [5] CUNHA, Alexandre, *Lisboa de Antigamente*, Lisboa, circa 1900
- [6] MASCARENHAS, Jorge. *Sistemas de Construção – V*, Lisboa, Livros horizonte, 2004
- [7] LNEC, *Edifícios com estrutura de alvenaria (< 1755)*, Lisboa, 2005.
- [8] Autor Desconhecido, Restos de Coleção, <https://restosdecolecao.blogspot.com/2019/10/castanheira-lima-rugeroni.html> (31/08/1922)
- [9] MARQUES, Luis, *Projeto de Estruturas e Fundações, desenho 12*, Lisboa, 2017.
- [10] MORAIS, M.M. *Seismic Risk Mitigation in Pombalino Buildings. Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 12, 2014, pp. 1819–1848.
- [11] LNEC, *Guia para o Reforço de Edifícios de Alvenaria Não Armadas para Resistência a Sismos*, Lisboa, 2009.



Expediente

Supervisão Editorial:

Eduardo Linhares Qualharini

Conselho Editorial:

Assed Naked Haddad, D. Sc., UFRJ, Brasil.

Darci Prado, PhD., Brasil

Humberto Varum, D. Sc., FEUP, Portugal

João Carlos Gonçalves Lanzinha, D. Sc., UBI, Portugal

João Castro Gomes, D. Sc., UBI, Portugal

José Rodrigues de Farias Filho, D.Sc., UFF, Brasil

Vasco Manuel A. Peixoto de Freitas, D. Sc., FEUP, Portugal

Comitê Editorial:

Ahmed W. A. Hammad, D.Sc. Austrália

Americo Pinto, D.Sc. Brasil

Bruno Barzellay, D.Sc. UFRJ, Brasil

Carina Mariane Stolz, D.Sc. UFRJ, Brasil

Claudia Garrido Martins, D.Sc. UNCC, EUA

Diego André Vasco Calle, D.Sc. Usach, Chile

Dieter Thomas Bauer, D.Sc. URV, Espanha

Elaine Garrido Vazquez, D.Sc. UFRJ, Brasil

Elton Bauer, D.Sc. UnB, Brasil

Leandro T. Di Gregório, D.Sc. UFRJ, Brasil

Liane Flemming, D.Sc. Brasil

Luiz Otávio C. de Araujo, D.Sc. UFRJ, Brasil

Lysio Séllos da Costa Filho, D.Sc., Brasil

Marcos Barreto, D.Sc. UFRJ, Brasil

Maria Alice Ferruccio, D.Sc. UFRJ, Brasil

Mayara Amario, D.Sc. UFRJ, Brasil

Mohammad Najjar, D.Sc. UFRJ, Brasil

Renata Gonçalves Faísca, D.Sc. UFF, Brasil

Raphael Albergarias, IPMA, D.Sc. Brasil

Ricardo Viana Vargas, PhD., UFF, Brasil

Sheila Mara B. Serra, D. Sc. UFSCar, Brasil

Vivian W. Y. Tam, PhD. WSU, Austrália

Jornalista Responsável, edição e diagramação:

Denise S. Mello Lacerda _ SRTE/RJ 33887

Periodicidade da Publicação

Bimestral