

CICLO DE ESTUDOS
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO
TERRITÓRIO

Gestão e Cadastro de Equipamentos em Espaços Escolares com Recurso a Ferramentas *Open Source*: O Caso da Domus Social, E.M.

Autores

Fábio Daniel Almeida Ferreira

R

2025



Fábio Daniel Almeida Ferreira

Gestão e Cadastro de Equipamentos em Espaços Escolares com Recurso a Ferramentas *Open Source*: O Caso da Domus Social, E.M.

Relatório realizado no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Ricardo José Vieira Baptista e pelo Professor Doutor José Augusto Alves Teixeira

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2025

Sumário

Agradecimentos	5
Resumo.....	6
Abstract	7
Índice de Figuras (ou Ilustrações) [se aplicável].....	9
1.Introdução	11
1.1. Enquadramento do Tema.....	11
1.1. Objetivos.....	16
1.2. Materiais e Métodos	17
2.Enquadramento Teórico-Conceptual e Integração do Tema.....	23
2.1. Estado da Arte	23
2.2. Do Global ao Local: Lições de Smart Cities e o Caso do Porto	28
2.3 Smart Buildings no Contexto Municipal: Tendências Futuras	33
2.4 Modelação 3D e BIM: Perspetivas e Estratégias para a Domus Social	37
2.5 Integração de SIG e Modelação 3D: Enquadramento e Aplicações	44
2.6 Georreferenciação de Espaços Interiores e Equipamentos: Conceitos, Metodologia e Aplicações	48
3 Casos de Estudo: Domus Social, Edifícios Municipais e Gestão de Edifícios Escolares.....	54
3.1 Quadro Legislativo	55
4 Metodologia e Resultados	60
4.1 Descrição dos Casos de Estudo	60
4.2 Desenho de Estudo	63
4.3 Materiais e Fontes de Dados	76
4.4 Análise dos Resultados	78
6.Discussão dos Resultados.....	88
7.Considerações Finais	90
8.Referências Bibliográficas	94
9.Webgrafia.....	100
Anexos	102

Agradecimentos

A realização desta dissertação não teria sido possível sem o apoio e incentivo de várias pessoas e instituições, às quais manifesto o meu mais profundo agradecimento.

Assim sendo, agradeço aos meus pais, pelo exemplo de dedicação, esforço e resiliência, que sempre me transmitiram e que foram fundamentais ao longo de todo o meu percurso académico e pessoal. Embora a minha mãe já não esteja entre nós, foi a estrelinha que precisei para continuar nesta caminhada.

À Inês, minha companheira de todas as lutas, expresso uma gratidão especial pela paciência, compreensão e constante apoio, que me deram força nos momentos mais exigentes. À minha irmã e ao meu cunhado, agradeço a presença, o carinho e as palavras de incentivo, que em muito contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

Ao Hugo, deixo o meu sincero agradecimento pela troca de ideias e pelos contributos que enriqueceram o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha equipa da Domus Social, em especial à Eng.^a Sandra Sequeira, agradeço o impulso e estímulo que me transmitiram para concluir este ciclo, bem como a colaboração e a partilha de conhecimentos, que se revelaram fundamentais tanto no plano académico como profissional.

A todos, deixo o meu sincero e sentido agradecimento.

Resumo

A Domus Social tem vindo a investir na modernização da gestão dos edifícios municipais sob sua responsabilidade, sobretudo no contexto da descentralização de competências, através da adoção de tecnologias digitais avançadas, como os SIG. Esta abordagem permite integrar dados cadastrais, georreferenciação e registos fotográficos numa única plataforma, promovendo a centralização da informação e facilitando análises espaciais detalhadas de compartimentos e equipamentos.

A aplicação desta metodologia nas escolas EB 2/3 Gomes Teixeira e EB 2/3S Leonardo Coimbra-Filho possibilitou a replicação de um modelo de cadastro eficaz, ampliando significativamente o conhecimento técnico e funcional sobre os edifícios. Este conhecimento revelou-se fundamental para a otimização da gestão das manutenções corretiva e preventiva, contribuindo para a eficiência operacional e para a sustentabilidade da gestão patrimonial. Pretende-se, assim, expandir progressivamente esta abordagem a outros edifícios municipais, designadamente escolas e centros de saúde, promovendo a uniformização de processos e a integração de dados num sistema único.

A utilização de ferramentas *open source* no cadastro de equipamentos do parque escolar público sob gestão da Domus Social, E.M., constitui uma estratégia de particular relevância, uma vez que potencia o desenvolvimento de soluções tecnológicas mais acessíveis, flexíveis e autónomas. Acresce ainda o elevado potencial desta abordagem para a sua futura articulação com a plataforma de cadastro da Domus Social, reforçando a integração e a eficiência dos processos de gestão do património escolar.

A integração futura destes modelos com metodologias BIM insere-se no movimento mais amplo de transformação digital do setor da construção, em alinhamento com diretrizes europeias e nacionais, como o Plano de Digitalização da Construção 2030.

Palavras-chave: [SIG, Open Source, Cadastro, Equipamentos]

Abstract

Domus Social has been investing in the modernization of the management of municipal buildings under its responsibility, particularly in the context of the decentralization of competencies, through the adoption of advanced digital technologies, such as Geographic Information Systems (GIS). This approach allows for the integration of cadastral data, georeferencing, and photographic records into a single platform, promoting the centralization of information and facilitating detailed spatial analyses of compartments and equipment.

The application of this methodology in the schools EB 2/3 Gomes Teixeira and EB 2/3S Leonardo Coimbra-Filho enabled the replication of an effective cadastral model, significantly enhancing technical and functional knowledge about the buildings. This knowledge has proven essential for optimizing corrective and preventive maintenance management, contributing to operational efficiency and the sustainability of asset management. The objective is to progressively extend this approach to other municipal buildings, particularly schools and health centers, promoting process standardization and the integration of data into a single system.

The use of *open source* tools for the registration of equipment in the public school network managed by Domus Social, E.M., constitutes a particularly relevant strategy, as it fosters the development of more accessible, flexible, and autonomous technological solutions. Additionally, this approach has considerable potential for future integration with Domus Social's cadastral platform, strengthening the integration and efficiency of school asset management processes.

The future integration of these models with BIM methodologies is part of the broader digital transformation of the construction sector, in alignment with European and national guidelines, such as the 2030 Construction Digitalization Plan.

Key-words: [GIS, Open Source, Georeferencing, Equipment Registration]

Índice de Figuras (ou Ilustrações) [se aplicável]

FIGURA 1 - ESQUEMA METODOLÓGICO	20
FIGURA 2 - DRONE (DOMUS SOCIAL, 2025)	40
FIGURA 3 - LASER SCANNER (DOMUS SOCIAL, 2025)	42
FIGURA 4 - ENQUADRAMENTO DAS ESCOLAS EM ESTUDO (DOMUS SOCIAL, 2025)	60
FIGURA 5 - ESCOLA EB 2/3 GOMES TEIXEIRA (DOMUS SOCIAL, 2025)	61
FIGURA 6 - ESCOLA EB 2/3S LEONARDO COIMBRA FILHO (DOMUS SOCIAL, 2025).....	62
FIGURA 7 - PLANTA DE IMPLANTAÇÃO DA ESCOLA EB 2/3S LEONARDO COIMBRA FILHO (DOMUS SOCIAL, 2025)	64
FIGURA 8 - PLANTA DE IMPLANTAÇÃO DA ESCOLA EB 2/3 GOMES TEIXEIRA (DOMUS SOCIAL, 2025)	67
FIGURA 9 - ESTRUTURA DOS DADOS (DOMUS SOCIAL, 2025)	68
FIGURA 10 - ESTRUTURA DE DADOS DOS EQUIPAMENTOS	69
FIGURA 11 - CRIAÇÃO DE ATRIBUTO DE FOTOGRAFIAS	70
FIGURA 12 - ESTRUTURA DE DADOS DOS COMPARTIMENTOS	71
FIGURA 13 - PLANTA DOS COMPARTIMENTOS DO PISO 0 DA EB GOMES TEIXEIRA	72
FIGURA 14 - DADOS DE LEVANTAMENTO NO QFIELD.....	72
FIGURA 15 - LEVANTAMENTO IN SITU DE EQUIPAMENTOS NO QFIELD	73
FIGURA 16 - EXTINTOR DA ESCOLA BÁSICA 2/3 GOMES TEIXEIRA.....	74
FIGURA 17 - COMPARTIMENTO DA ESCOLA BÁSICA 2/3 GOMES TEIXEIRA.....	74
FIGURA 18 - PLANTA DO CADASTRO DO PISO 0 DA ESCOLA BÁSICA 2/3 GOMES TEIXEIRA.....	80
FIGURA 19 - PLANTA DO CADASTRO DO PISO 1 DA ESCOLA BÁSICA 2/3 GOMES TEIXEIRA.....	81
FIGURA 20 - PLANTA DO CADASTRO DO PISO 2 DA ESCOLA BÁSICA 2/3 GOMES TEIXEIRA.....	82
FIGURA 21 - PLANTA DO CADASTRO DO PISO -1 DA ESCOLA BÁSICA 2/3 GOMES TEIXEIRA	83
FIGURA 22 - PLANTA DO CADASTRO DO PISO 0 DA ESCOLA BÁSICA 2/3S LEONARDO COIMBRA – FILHO	84
FIGURA 23 - PLANTA DO CADASTRO DO PISO 1 DA ESCOLA BÁSICA 2/3S LEONARDO COIMBRA - FILHO	85
FIGURA 24 - PLANTA DO CADASTRO DO ESPAÇO EXTERIOR DA ESCOLA BÁSICA 2/3S LEONARDO COIMBRA - FILHO.....	86

1. Introdução

1.1. Enquadramento do Tema

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido como uma estrutura tecnológica de suporte à decisão, concebida para a aquisição, organização, gestão, análise e visualização de dados espaciais e alfanuméricos (Duckham et al., 2003; Goodchild, 2009b, 2010). O termo "SIG" foi introduzido por Roger Tomlinson no início da década de 1960, tendo desenvolvido os fundamentos teóricos e metodológicos que dariam origem às ferramentas atualmente utilizadas (Wing & Bettinger, 2003).

A partir do final da década de 1980, verificou-se uma crescente adoção dos SIG por especialistas de diversas áreas científicas, potenciada pela melhoria no acesso a dados espaciais (Karimi & Akinci, 2009; Waters, 2018). Este avanço tecnológico permitiu que os mapas deixassem de ser meramente descritivos, assumindo-se progressivamente como instrumentos analíticos capazes de integrar dados, suportar tarefas de análise complexas e revelar padrões espaço-temporais, frequentemente através da sobreposição de múltiplas camadas de informação sobre uma base cartográfica (Maliene et al., 2011; Teixeira & Pina, 2018; Wieczorek & Delmerico, 2009).

Presentemente, os dados geoespaciais tornaram-se amplamente disseminados, sendo utilizados por diversos sectores da sociedade. Esta realidade evidencia o carácter multidisciplinar e multiparadigmático dos SIG, os quais se têm afirmado como ferramentas versáteis e robustas na análise e resolução de problemas espaciais complexos (Blaschke & Merschdorf, 2014).

Atualmente, é cada vez mais evidente a integração dos SIG em domínios científicos que vão muito além da geografia ou da cartografia, como é o caso da engenharia, visão computacional, geometria computacional, sensoriamento remoto, robótica e arquitetura. Esta transversalidade confirma que os SIG não conhecem fronteiras disciplinares, demonstrando um potencial de aplicação vasto e em constante expansão (Kumar & Shekhar, 2016; Obaidat & Al-Kheder, 2006).

Desta forma, a engenharia e a geometria computacional, têm vindo a integrar os SIG com modelos BIM sobretudo com o objetivo de analisar relações espaciais complexas. Esta integração tem revelado ganhos significativos ao nível da eficiência operacional, redução de custos e suporte à tomada de decisões mais informadas (Kang & Hong, 2015; Zhang et al., 2009).

Também no domínio da arquitetura, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm vindo a ser progressivamente integrados na análise espacial, nomeadamente através do cálculo de isovistas — áreas do espaço visíveis a partir de um ponto de observação específico. Esta abordagem possibilita a análise das propriedades espaciais decorrentes da configuração formal dos ambientes construídos, contribuindo para uma interpretação mais aprofundada da sua estrutura gráfica. A utilização dos SIG neste contexto evidencia o seu potencial enquanto instrumento analítico no estudo e compreensão do espaço arquitetónico. (Llobera, 2003).

Apesar da notável evolução verificada nas últimas décadas, a compreensão da informação espacial manteve-se relativamente inalterada ao longo do tempo. As abordagens tradicionais dos SIG continuam a ser aplicadas com enfoque em elementos geográficos externos, como bairros, cidades e regiões (Misra et al., 2020; Teixeira & Pina, 2018). Contudo, atualmente, é inadequado restringir o conceito de “lugar” apenas ao território exterior, uma vez que cerca de 80% da vida quotidiana das pessoas decorre em espaços interiores (Deng et al., 2013).

De acordo com a definição proposta por (Santos, 1996), o território constitui-se como um espaço no qual pessoas e processos interagem, sendo palco de dinâmicas, fenómenos e história, não implicando, necessariamente, a sua localização ao ar livre (Zlatanova et al., 2014). A caracterização do espaço revela-se, assim, um avanço crucial, ao permitir uma compreensão mais profunda do mesmo (Mennis & Yoo, 2018), sobretudo considerando que o espaço atualmente estudado já não se limita ao exterior, estendendo-se igualmente aos ambientes interiores (Li, 2008).

Os espaços interiores diferem significativamente dos exteriores em múltiplas dimensões. Enquanto o espaço exterior é geralmente entendido como uma porção de

terreno não delimitada por estruturas envolventes, o espaço interior é, por norma, limitado e condicionado por elementos arquitetónicos (Goetz, 2012; Li, 2008; Vanclooster et al., 2012; Worboys, 2011; Zlatanova et al., 2020). Para dar resposta aos requisitos específicos das aplicações espaciais em interiores, é necessário redefinir conceitos fundamentais, modelos e normas — ainda que sem uma rutura total com as metodologias existentes.

Um exemplo paradigmático é o modelo de dados espaciais IndoorGML, o qual contempla propriedades essenciais à representação do espaço interior, tais como a geometria, o espaço simbólico, a topologia em rede e os sistemas de referência espacial (Afyouni et al., 2012).

Apesar do crescente interesse na investigação sobre espaços interiores, verifica-se ainda uma limitada adoção dos SIG e dos seus modelos conceptuais neste domínio. A recolha de dados brutos relativos a tais espaços deve assentar em métodos viáveis e robustos, capazes de representar fielmente o ambiente interior, incorporando informação contextual e conceitos topológicos (Afyouni et al., 2012; Kang & Li, 2017).

Neste contexto, a transição do uso tradicional dos SIG — historicamente orientado para a análise de territórios exteriores — para a aplicação em espaços interiores, como edifícios, constitui um desafio metodológico de grande relevância. Não obstante, esta transição representa uma oportunidade promissora para investigadores de diversas áreas disciplinares, podendo impulsionar avanços significativos, especialmente em contextos complexos, como hospitais, unidades industriais ou outras infraestruturas caracterizadas por uma elevada circulação de pessoas (Goetz, 2012).

No âmbito das suas áreas da gestão e monitorização, a Domus Social, E.M. tem desenvolvido um SIG adaptado às suas necessidades específicas. Este sistema tem sido sujeito a constantes aprimoramentos e ajustes, com o objetivo de garantir a sistematização, validação, disponibilização e partilha eficaz de dados e informação.

Estas melhorias visam não só o fortalecimento da gestão interna da organização, mas também a sua articulação com o contexto municipal e o acesso público à informação geoespacial. A vertente cadastral do SIG, em particular, tem vindo a evidenciar um papel

cada vez mais determinante na tomada de decisões estratégicas, evidenciado pela realização de múltiplos projetos colaborativos que envolvem diversas áreas da empresa.

No que diz respeito ao apoio na tomada de decisão, o SIG tem sido essencial para a gestão do parque habitacional e não habitacional, permitindo uma visão detalhada da informação existente e da localização.

A contínua evolução do SIG na Domus Social, E.M. tem permitido uma melhor organização, validação e partilha de dados geoespaciais, tanto internamente como no contexto municipal e público. A adoção de novas tecnologias e metodologias reforça a sua importância como ferramenta estratégica na gestão do território.

A implementação de um modelo de georreferenciação de equipamentos, assente numa base de dados consolidada, constitui uma etapa fundamental na gestão integrada do património público, permitindo uma localização precisa, em tempo real dos ativos instalados e facilitando a sua monitorização, manutenção e substituição.

A aplicação deste modelo não se limita à otimização de processos operacionais, tendo igualmente impacto na estrutura e desempenho institucional, na medida em que possibilita a:

- Redução de custos de manutenção preventiva e corretiva;
- Aumento da eficiência das intervenções técnicas;
- Suporte à auditoria e certificações energéticas ou de segurança
- Tomada de decisão fundamentada para renovação e modernização de infraestruturas;
- Melhoria na resposta a emergências.

A consolidação deste tipo de modelos possibilita o desenvolvimento de modelos tridimensionais integrados, resultantes da articulação entre os dados espaciais obtidos através da georreferenciação dos equipamentos e a modelação 3D do espaço construído. Esta integração permite alcançar uma representação mais precisa, realista e interativa dos equipamentos no seu contexto físico, com impactos significativos ao nível da análise espacial, da gestão de intervenções técnicas e do planeamento estratégico.

O avanço destas tecnologias tem vindo a impulsionar novas abordagens na forma como se conceptualizam as cidades e os edifícios. Neste contexto, os conceitos de *Smart Cities* e *Smart Buildings* têm sido amplamente estudados, desenvolvidos e implementados a nível global, promovendo uma gestão mais eficiente, sustentável e interconectada dos espaços urbanos e edificados (Vasconcelos, 2020).

Assim, enquadra-se nesta lógica de aproximação ao mundo digital a necessidade de integrar os edifícios da Domus Social, E.M. num sistema unificado que contemple a sua localização e a georreferenciação dos equipamentos aí instalados. Esta abordagem insere-se no conceito de *Smart Buildings*, caracterizado pela incorporação de tecnologias digitais e sistemas inteligentes na infraestrutura dos edifícios, com o objetivo de otimizar o seu funcionamento, aumentar a eficiência energética e melhorar a gestão operacional.

A transformação dos edifícios da Domus Social, E.M. em edifícios inteligentes permitiria uma gestão mais eficaz da informação geográfica associada aos ativos físicos, promovendo uma maior capacidade de monitorização, manutenção e planeamento, tanto a nível dos edifícios como dos equipamentos neles integrados.

As novas tecnologias, aliadas aos softwares SIG, representam uma estratégia promissora para a transformação e modernização dos edifícios. A sua utilização permitirá, no futuro, a integração com modelos BIM (Building Information Modeling), possibilitando a associação de cada equipamento a um conjunto detalhado de dados técnicos, incluindo o histórico de manutenção, especificações técnicas e manuais de operação, todos acessíveis diretamente através do modelo tridimensional (Lima, 2016).

Esta integração constitui uma ferramenta essencial de apoio à decisão, contribuindo de forma decisiva para práticas de planeamento e ordenamento do território mais sustentáveis e eficientes. Para além disso, viabiliza um conjunto de operações fundamentais para a otimização da gestão dos edifícios e equipamentos sob responsabilidade da empresa, promovendo uma abordagem mais informada, preventiva e digitalmente estruturada.

1.1. Objetivos

O presente estudo tem como propósito central contribuir para o aprofundamento do conhecimento técnico e operativo relativo aos edifícios sob gestão da Domus Social, E.M., através de uma abordagem orientada para a melhoria dos processos de inventariação, gestão e manutenção de espaços e equipamentos.

Pretende-se, deste modo, apoiar a integração de todo o património imobiliário gerido pela Domus Social, salientando as potencialidades dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e da georreferenciação de ativos. Esta perspetiva visa promover uma gestão do edificado municipal mais eficaz, integrada e sustentável, perspetivando, ainda, a sua evolução futura para a modelação tridimensional (3D).

Neste sentido, os grandes objectivos compreendem:

- desenvolver um estado da arte, realizando uma revisão bibliográfica com a identificação das teses de doutoramento; dissertações de mestrados; artigos científicos e outras obras que contribuam para um profundo conhecimento sobre modelação 3D em cadastro de Edifícios e georreferenciação de equipamentos;
- estabelecer uma abordagem teórica dos conceitos ligados à modelação 3D, quer de edifícios, quer de equipamentos num contexto internacional e nacional ;
- analisar as políticas legislativas da implementação da modelação 3D e do BIM no quadro nacional;
- incrementar a base de dados geográfica, com a estabilização das camadas de base e a criação de fluxos de trabalho que garantam a sua permanente atualização;
- apoiar a atividade da empresa, garantindo a gradual interligação das diferentes áreas da empresa, e auxiliando a tomada de decisão;
- desenvolver o levantamento e georreferenciação de espaços e equipamentos em edifícios escolares sob gestão da Domus Social;
- implementar a tecnologia NFC, através da colocação de Tag's nos equipamentos, com integração na base de dados nos edifícios escolares sob gestão da Domus Social.

De acordo com os objectivos enunciados, e a dada crescente implementação dos SIG na empresa municipal Domus Social, o cadastro revela-se uma ferramenta fundamental para a gestão eficiente do edificado sob sua responsabilidade. A resposta às exigências deste processo implica um conhecimento detalhado e sistemático dos espaços e dos equipamentos existentes nos edifícios municipais. Assim, a identificação e georreferenciação desses elementos constituem etapas cruciais para o reforço e consolidação do cadastro, assegurando a fiabilidade da informação geoespacial e apoiando a tomada de decisão estratégica.

1.2. Materiais e Métodos

Com o objetivo de assegurar a relevância e a qualidade científica dos estudos analisados no presente trabalho, foram considerados apenas artigos de investigação originais que abordassem a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em espaços ou ambientes interiores. Em particular, foram selecionados estudos que analisassem dados provenientes do interior de edifícios, abrangendo uma ampla tipologia de construções com diferentes funcionalidades. Esta abordagem permitiu garantir uma base documental representativa e diversificada, adequada à complexidade e à crescente importância do uso dos SIG em contextos espaciais interiores. Além disso, foram incorporados trabalhos que propusessem técnicas específicas de modelação ou navegação em ambientes interiores, bem como investigações relativas a sistemas de posicionamento indoor que fizessem uso das mais diversas tecnologias. Também foram incluídos estudos focados na aquisição de dados através dispositivos instalados diretamente no ambiente interior, permitindo uma recolha de informação mais precisa e contextualizada. Estes critérios permitiram a seleção de um conjunto de estudos que fornecem uma visão abrangente e atualizada sobre a utilização e potencialidades dos SIG em contextos interiores, contribuindo para a consolidação do conhecimento nesta área emergente.

Apresentamos, de seguida, os materiais utilizados para validar os desígnios apresentados e os objetivos a concretizar. Deste modo, a escolha do tema surgiu na

sequência de um projeto piloto de levantamento e georreferenciação de equipamentos na Escola secundária Alexandre Herculano. A necessidade de existir um cadastro da escola objetivo e capaz de agregar diferentes tipos de informação, motivou a implementação de um projeto capaz de apoiar a gestão e a manutenção do edifício escolar que se encontra sob gestão da Domus Social.

O objetivo principal deste projeto piloto foi incluir uma componente espacial à necessidade de cadastrar e gerir equipamentos nas diferentes especialidades na escola, estabelecendo uma ligação eficiente entre três componentes cruciais para a gestão de equipamentos: a informação de base (plantas arquitetónicas georreferenciadas), a componente espacial (equipamentos georreferenciados dentro do campus escolar) e a informação alfanumérica (base de dados estruturada para ser preenchida e atualizada diretamente no campo).

Numa fase inicial, e tendo como base as telas finais das plantas de arquitetura relativas à empreitada de reabilitação, procedeu-se à identificação e referenciação de todos os espaços da escola nas respetivas plantas. Posteriormente, cada espaço foi sinalizado fisicamente com a afixação de uma chapa contendo a sua numeração correspondente.

Relativamente à componente alfanumérica, e partindo da base de dados interna existente com informação cadastral, foram definidos os atributos a recolher para cada equipamento. Estes atributos incidem sobre diversas especialidades técnicas, nomeadamente: Eletricidade, Telecomunicações, Segurança Contra Incêndio, AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), Ascensores, Rede de Gás e Grupos de Bombagem.

Numa fase subsequente, recorreu-se ao SIG) para a realização do levantamento de campo, possibilitando a integração entre a informação geográfica (relativa à localização dos equipamentos) e a informação alfanumérica previamente definida. Para tal, foi utilizada a aplicação *Field Maps for ArcGIS*, a qual permitiu georreferenciar, de forma eficiente, os dados recolhidos no terreno, assegurando a sua associação direta ao espaço físico correspondente.

O desenvolvimento do projeto seguiu uma sequência metodológica estruturada, composta pelas seguintes etapas:

1. Georreferenciação das plantas de arquitetura da Escola Secundária Alexandre Herculano, assegurando a correspondência espacial rigorosa entre os desenhos técnicos e a realidade física do edifício.
2. Criação da base de dados geográfica, através da elaboração de duas *feature classes*:
 - Uma *feature class* do tipo polígono, representando os compartimentos da escola, contendo atributos relativos ao edifício, bloco e piso;
 - Uma *feature class* do tipo ponto, destinada ao registo dos equipamentos, com os seguintes campos informativos: Código Interno, Designação do Objeto, Piso, Fornecedor/Fabricante, Marca, Modelo, Número de Fabricante, Tipo de Família, Designação da Família e Tipo de Equipamento.
3. Importação das duas geodatabases para a BDGC (Base de Dados Geográfica Centralizada) da CMP e integração no PortalGeo;
4. Criação de um *Web Map Service*, integrando os dois *layers* mencionados, e posterior publicação na plataforma PortalGeo (ArcGIS Enterprise da Câmara Municipal do Porto).
5. Levantamento e georreferenciação dos equipamentos *in situ*, utilizando ferramentas SIG móveis, assegurando a associação entre os dados recolhidos e a sua localização espacial precisa no campus escolar.

No que diz respeito aos números do cadastro realizado, foram registados um total de 1.025 equipamentos pertencentes a diversas especialidades, bem como 189 compartimentos distribuídos pelos cinco pisos do edifício, incluindo as áreas técnicas.

As principais limitações no desenvolvimento deste projeto piloto encontram-se sobretudo ao nível da dependência operacional da CMP e da sua base de dados (BDGC) que compromete, em grande medida, a agilidade dos processos. A descentralização

parcial da atualização de dados, através da capacitação de utilizadores em diferentes áreas, em particular na Domus Social, permitiria uma distribuição mais eficiente das tarefas, reduzindo tempos de resposta e otimizando a manutenção da base de dados.

Revelou-se necessária uma maior autonomia na implementação de *Web Map Services* (WMS) e *Feature Layers* através do ArcGIS Pro, dado que esta abordagem permite uma integração mais eficiente dos dados na plataforma PortalGeo, facilitando assim o desenvolvimento de aplicações avançadas no ambiente ArcGIS Enterprise.

Desta forma, e com base na implementação deste projeto, os passos seguintes seriam replicar este modelo de levantamento a outros edifícios municipais sob a gestão da Domus Social de diferentes naturezas, mas também desenvolver bases para implementar no futuro um modelo 3D destes edifícios, permitindo acompanhar as formas de levantamento projetadas para a realidade portuguesa/europeia a ser implementada nos próximos anos.

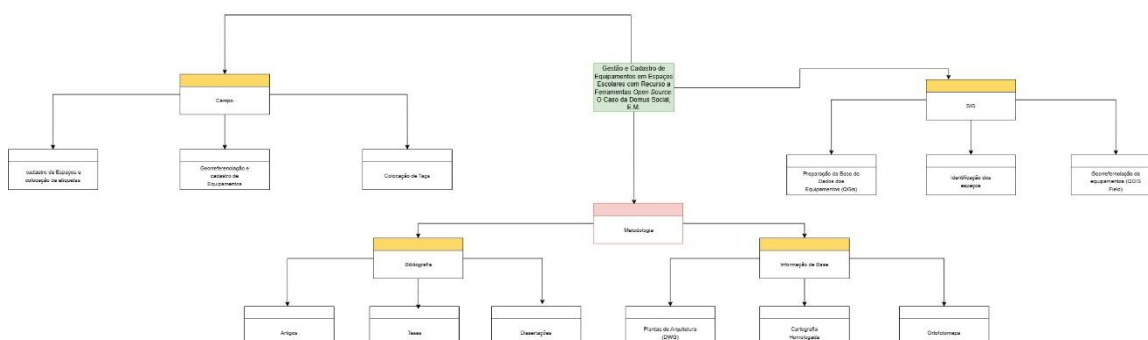


Figura 1 - Esquema Metodológico

Face às limitações identificadas no acesso à base de dados e na gestão da informação através dos portais do ArcGIS Enterprise, sob administração da CMP, optou-se pela adoção de uma solução open source, nomeadamente o QField associado ao QGIS. Esta decisão visou assegurar uma maior autonomia no processo de recolha e gestão de dados geográficos, permitindo à equipa técnica da Domus Social trabalhar de forma independente do sistema municipal, garantindo flexibilidade, eficiência e controlo direto sobre os fluxos de informação geoespacial.

Neste sentido, e numa primeira fase procedeu-se a uma pesquisa bibliográfica, na qual pretendia-se estabelecer o cruzamento de conhecimento com o pensamento de autores cujas investigações e reflexões se encontravam relacionadas com a temática, constituindo, assim, um importante ponto de partida para a elaboração do nosso quadro teórico. Deste modo, procedemos a uma análise documental de fontes bibliográficas, documentos legislativos e dados estatísticos disponíveis sobre a temática em pesquisa, nomeadamente dissertações de mestrado e cadernos técnicos sobre o tema, no sentido de explorar conhecimentos sobre o tema, extraindo o máximo de informação possível acerca de conceitos e de critérios técnicos e legislativos, visando, fundamentalmente, a estruturação do enquadramento teórico-conceitual do objeto de estudo.

Destacaram-se, numa fase inicial, as obras de Rui Júnior, Nuno Vasconcelos, Hugo Teixeira, Duarte Lima e Raquel Matos, disponíveis nos repositórios institucionais Repositório Aberto da Universidade do Porto, Repositório Aberto da Universidade de Lisboa e no Serviço das Bibliotecas da Universidade de Aveiro, respetivamente.

Posteriormente, a pesquisa bibliográfica concentrou-se essencialmente na recolha de literatura científica disponível em formato digital, com especial enfoque nas revistas académicas nacionais disponibilizadas pela Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, nomeadamente aquelas editadas pelo Departamento de Geografia.

No panorama internacional, destacam-se autores como Billen, Zlatanova, Kang, Hong e Biljecki, cujos contributos têm enriquecido de forma significativa o campo da aplicação dos SIG em ambientes interiores. As suas obras encontram-se amplamente disseminadas em plataformas científicas e institucionais de referência, representando fontes fundamentais para a construção do estado da arte nesta área. Em particular, os trabalhos desenvolvidos por estes autores podem ser consultados no repositório académico ORBi – Open Repository and Bibliography da Université de Liège, na plataforma SpringerLink — destacando-se a série *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography* e periódicos como *Computers, Environment and Urban Systems* —, na revista científica ISPRS International Journal of Geo-Information, publicada pela MDPI,

e ainda na plataforma académica ResearchGate, amplamente utilizada para a consulta e partilha de investigação atualizada.

No que diz respeito à recolha de informação cartográfica, foram utilizadas telas finais das plantas de arquitetura da empreitada de reabilitação e de levantamento arquitetónico existentes dos diferentes edifícios. Estas plantas serviram de base quer para a identificação dos espaços e dos equipamentos.

A georreferenciação das plantas de arquitetura foi realizada a partir de um levantamento topográfico e validado pelo levantamento arquitetónico. Esta georreferenciação permitiu efetuar uma correspondência das plantas de arquitetura com a base cartográfica dos edifícios disponibilizada pela CMP.

De forma a dar uma perspetiva de enquadramento dos edifícios em análise utilizou-se ortos, através webservice cedido pela DMIG à Domus Social, E.M.

Ao nível da informação alfanumérica, e com a base existente em informação de cadastro interna, foram também definidos os atributos a ser preenchidos para cada equipamento.

2. Enquadramento Teórico-Conceptual e Integração do Tema

2.1. Estado da Arte

Nos últimos anos, tem-se verificado um crescente interesse académico e técnico na aplicação de tecnologias com informação espacial avançada relativamente à gestão de equipamentos e edifícios. Em particular, a georreferenciação de ativos, a modelação tridimensional 3D e a integração com sistemas BIM têm sido objeto de estudo por diversos autores nacionais e internacionais, cujo contributo tem sido determinante para a consolidação conceptual e prática destas abordagens.

No panorama nacional, a georreferenciação de equipamentos tem sido abordada em diversos contextos, nomeadamente na gestão de infraestruturas urbanas, no setor da energia, nos transportes e em edifícios públicos. A atribuição de coordenadas espaciais precisas aos equipamentos, constitui um elemento fundamental para potenciar a monitorização sistemática, a gestão eficiente da manutenção e o planeamento estratégico de intervenções técnicas. Os estudos desenvolvidos por Rui Júnior (2022), na Universidade do Porto, e por Raquel Matos (2016), na Universidade de Aveiro, no contexto das respetivas investigações, destacam o papel central da georreferenciação na promoção da eficiência operacional dos sistemas urbanos e na otimização da gestão de ativos técnicos, evidenciando o seu contributo efetivo para a modernização e digitalização dos serviços públicos.

A utilização dos SIG como suporte à georreferenciação tem vindo a ser cada vez mais valorizada, destacando-se pela capacidade de integrar dados espaciais com atributos técnicos, oferecendo assim uma visão abrangente e dinâmica da localização e estado dos equipamentos.

No âmbito do trabalho desenvolvido por Nuno Vasconcelos (2020), da Universidade do Porto, é explorada a aplicação de tecnologias SIG na construção de um modelo tridimensional orientado para a gestão e organização funcional do edifício da Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP). O estudo evidencia o potencial da modelação

3D integrada em ambiente SIG como instrumento de apoio à gestão espacial e operacional de infraestruturas académicas, permitindo uma representação mais precisa e interativa dos espaços, bem como a otimização dos processos de análise, planeamento e tomada de decisão no contexto institucional.

No âmbito da sua investigação para a elaboração da Tese de Doutoramento, Hugo Teixeira (2022), recorreu às tecnologias SIG para a análise de padrões de infeções nosocomiais, mediante a conceção e implementação de um modelo espacial especificamente orientado para o contexto hospitalar. O estudo teve como caso de aplicação o Hospital Universitário de São João, sendo que a primeira fase do trabalho consistiu na validação rigorosa das plantas arquitetónicas da infraestrutura. Estas foram, posteriormente, integradas em ambiente SIG, o que permitiu a correção de incongruências topológicas e a vetorização sistemática de todos os compartimentos, resultando na criação de uma base espacial precisa e estruturada. A abordagem desenvolvida possibilitou uma análise espacial detalhada dos casos de infeção, permitindo a identificação de padrões de ocorrência e a deteção de potenciais clusters espaço-temporais, contribuindo, deste modo, para reforçar a eficácia da vigilância epidemiológica em ambientes interiores de elevada complexidade. No domínio do seu projeto de investigação, Pedro Adler (2022), da Universidade de Lisboa, desenvolveu um estudo centrado nos indicadores e dimensões das Smart Cities, aplicando-os aos municípios de Cascais e Sintra. A investigação evidencia o papel fulcral das tecnologias de informação e comunicação (TIC) na promoção da transformação digital do território, sublinhando a importância destas enquanto catalisadoras de inovação, eficiência e sustentabilidade no contexto urbano. De forma complementar, Marlene Pinto (2017), da Universidade do Porto, desenvolveu um projeto de investigação que aborda a relevância dos SIG no processo de desenvolvimento das cidades inteligentes em Portugal, sublinhando a sua aplicabilidade enquanto instrumento de apoio à gestão urbana e ao planeamento estratégico.

No domínio específico da modelação 3D urbana, Maria Matilde Santos (2024), também da Universidade de Lisboa, desenvolveu um trabalho inovador recorrendo à plataforma ArcGIS CityEngine para a construção de modelos digitais da vila piscatória da Afurada,

integrando dados espaciais em três dimensões com base em fontes cartográficas e levantamento fotogramétrico. Ainda no campo da modelação digital, Gustavo Moura Rocha (2024), no âmbito do seu doutoramento, explorou estratégias de automatização do processo *Scan-to-BIM*, a partir de nuvens de pontos obtidas por varrimento a laser, realçando o potencial destas tecnologias para a reconstrução digital precisa de edifícios existentes.

No que diz respeito à integração entre SIG e BIM, Tiago Fino Martins e Carla Rebelo (2024), no Congresso ptBIM (Congresso Português de *Building Information Modelling*), destacaram a importância da interoperabilidade entre estas duas plataformas, reforçando a relevância da componente semântica da informação na conversão de dados espaciais para modelos digitais de edifícios.

Num contexto internacional, promoveu-se a análise de autores de referência provenientes de diferentes áreas disciplinares, revelando-se esta abordagem fundamental para uma compreensão aprofundada das metodologias contemporâneas associadas à aplicação dos SIG em ambientes interiores. Neste enquadramento, destacam-se os contributos de Billen, Zlatanova, Kang, Hong e Biljecki, cujas publicações abrangem um conjunto diversificado de temáticas centrais para esta área emergente, nomeadamente a modelação espacial tridimensional, a análise topológica, a segmentação e representação de espaços interiores, a navegação indoor, a interoperabilidade entre SIG e BIM, bem como a representação semântica de ambientes construídos.

As plataformas que disponibilizam os trabalhos destes autores constituem recursos indispensáveis para o aprofundamento teórico e metodológico da presente investigação. Destacam-se, neste contexto, os estudos de Billen e Zlatanova (2003), nomeadamente “*3D Spatial Relationship Model: A Useful Concept for 3D Cadastre?*”, que explora a aplicação de conceitos topológicos e a modelação tridimensional de edifícios. Este trabalho encontra-se acessível através do repositório institucional ORBi (Open Repository and Bibliography), da Université de Liège.

Ainda anteriormente, em 2002, os mesmos autores publicaram o capítulo *“The Dimensional Model: A Framework to Distinguish Spatial Relationships”*, incluído na obra *Advances in Spatial Data Handling*, editada pela Springer e igualmente disponível em ORBi, representando um contributo relevante para a conceptualização das relações espaciais em SIG tridimensionais.

As contribuições de Zlatanova prosseguem com os trabalhos *“Multi-dimensional Indoor Location Information Model”* e *“Problems in Indoor Mapping and Modelling”*, ambos publicados em 2013, na revista científica *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-4/W4, no âmbito do evento ISPRS Acquisition and Modelling of Indoor and Enclosed Environments, realizado em Cape Town. Estes estudos abordam, respetivamente, a definição de um modelo de informação para localização em ambientes interiores e os principais desafios relacionados com o mapeamento e modelação de espaços construídos.

Estas obras, acessíveis em plataformas e em repositórios institucionais consolidam o papel central destes autores no desenvolvimento da base conceptual que sustenta a aplicação de SIG em ambientes interiores.

Entre os contributos relevantes na interseção entre os SIG e os modelos de gestão de infraestruturas, destaca-se o trabalho de Kang e Hong (2015), intitulado *“A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration”*, publicado na revista *Automation in Construction*. Este estudo aborda uma arquitetura de software orientada para a integração eficaz de dados provenientes de Modelos de Informação da Construção (BIM) e SIG, com especial enfoque na gestão de instalações (Facility Management).

O investigador Filip Biljecki, afiliado à National University of Singapore, tem vindo a contribuir de forma significativa para o debate em torno dos níveis de detalhe (Level of Detail – LOD) em modelos urbanos 3D, bem como para o desenvolvimento de metodologias de integração entre SIG e BIM. O autor em 2015 publicou o trabalho *“Applications of 3D City Models: State of the Art Review”* na revista *ISPRS International Journal of Geo-Information*, editada pela MDPI, disponível em SpringerLink e também

no ResearchGate. Os seus trabalhos incluem revisões sistemáticas amplamente citadas na literatura científica, com especial destaque para aquelas que incidem sobre aplicações práticas de modelos 3D de cidades, cujos elementos são fundamentais para a consolidação do estado da arte da presente investigação.

A articulação entre os temas abordados por estes autores e os propósitos desta dissertação é inequívoca: todos eles contribuem, de forma direta ou indireta, para o avanço das metodologias de modelação, análise e gestão espacial de ambientes interiores com base em SIG. A diversidade temática abrange desde a semântica espacial até ao planeamento de rotas e à integração tecnológica, evidenciando o carácter multidisciplinar e transversal deste domínio, reforçando a importância de uma abordagem científica sustentada numa revisão crítica da literatura internacional.

Por fim, destaca-se ainda a contribuição de Pedro Rito et al. (2022) no âmbito do *Aveiro Tech City Living Lab*, uma plataforma de cidade inteligente que integra sensores IoT (*Internet of Things*), redes 5G e sistemas de georreferenciação em tempo real, permitindo uma gestão integrada e sustentável da infraestrutura urbana. O estudo evidencia o papel das tecnologias emergentes na transformação digital das cidades e na implementação prática do conceito de Smart City.

A presente revisão da literatura evidencia o dinamismo e a diversidade metodológica das abordagens desenvolvidas nos domínios da georreferenciação de equipamentos, da modelação tridimensional (3D) e da integração com sistemas BIM, demonstrando o seu impacto significativo na gestão eficiente de edifícios, na monitorização de ativos técnicos e na tomada de decisões estratégicas orientadas para a sustentabilidade e inovação tecnológica. Estes contributos constituem uma base teórica e metodológica robusta, indispensável para o aprofundamento da investigação e para a implementação de soluções digitais integradas, fundamentais no processo de transformação dos edifícios em ambientes construídos mais inteligentes, adaptáveis e resilientes.

2.2. Do Global ao Local: Lições de Smart Cities e o Caso do Porto

Nos últimos anos, têm vindo a ser desenvolvidos diversos projetos associados ao conceito de Smart Cities, refletindo um interesse crescente na digitalização e modernização das cidades.

O conceito de Smart City, encarado como uma etapa essencial na evolução urbana, permite o desenvolvimento de condições que conduzam a cidades mais sustentáveis (Abreu, 2022).

Trata-se, no entanto, de uma área multidisciplinar e complexa, uma vez que envolve uma ampla variedade de domínios, desde a infraestrutura urbana, a mobilidade, a energia e o ambiente, até à ação governativa e à participação cívica.

A implementação de soluções inteligentes requer, por isso, uma abordagem integrada e colaborativa, envolvendo diferentes entidades, tecnologias e competências, com o objetivo de melhorar a eficiência urbana e a qualidade de vida dos cidadãos (Vasconcelos, 2020).

Desta forma, é fundamental promover novas abordagens ao planeamento e à gestão do território, de forma a tornar os espaços urbanos mais resilientes face a novas formas de adversidade.

Apesar de não existir um consenso quanto à definição de Smart City, vários modelos têm sido desenvolvidos com abordagens semelhantes, especialmente no que respeita aos aspetos sociais, ambientais, culturais, políticos e económicos. Entre os mais relevantes destacam-se o modelo de Giffinger, o modelo da IBM e o modelo de Cohen, os quais têm contribuído para uma melhor compreensão do conceito e dos principais fatores que orientam o seu desenvolvimento (Abreu, 2022).

No contexto internacional, destacam-se alguns casos de sucesso na consolidação do modelo de Smart City, sendo Singapura um desses exemplos. Neste caso, o foco tem incidido na eficiência energética, na segurança e na integração tecnológica em diversas áreas urbanas. Entre os principais avanços, destaca-se o desenvolvimento de plataformas baseadas em inteligência artificial, aplicadas ao apoio à segurança e à

gestão do tráfego. Além disso, foram implementados edifícios inteligentes, com especial atenção à eficiência energética e à gestão ambiental (Júnior, 2022).

Já a cidade de Barcelona definiu como principais objetivos a promoção da sustentabilidade, da mobilidade e da participação cívica. Neste âmbito, foram implementadas diversas iniciativas, como um sistema de iluminação pública inteligente com sensores de movimento, um sistema de deteção de lugares de estacionamento disponíveis através de sensores, e uma rede Wi-Fi gratuita disponível em vários pontos da cidade, incluindo nos transportes públicos (Júnior, 2022).

No contexto nacional, destacam-se alguns projetos que merecem especial atenção, nomeadamente na cidade do Porto.

Com efeito, o Porto tem vindo a consolidar a sua posição como referência nacional e europeia no desenvolvimento de políticas urbanas inteligentes, sustentáveis e centradas nos cidadãos. Através de uma estratégia integrada, assente na inovação, digitalização e compromisso ambiental, o município tem apresentado progressos significativos em diversos domínios, os quais podem ser avaliados por meio de indicadores concretos, tais como mobilidade, sustentabilidade, inovação, eficiência energética, integração tecnológica e participação cívica.

No que diz respeito à mobilidade, verifica-se uma aposta significativa na eletrificação da frota municipal, acompanhada pela instalação de diversos postos de carregamento em pontos estratégicos da cidade. A rede de transportes públicos tem sido modernizada com recurso à integração digital, disponibilizando dados em tempo real sobre tráfego, estacionamento e transportes através de plataformas digitais abertas. Paralelamente, o município tem vindo a expandir progressivamente a sua rede de ciclovias e de estacionamentos para bicicletas (bicicletários), promovendo a adoção de modos de transporte suaves e sustentáveis. Esta informação é mantida em formato digital e disponibilizada publicamente através de dados abertos, em conformidade com os princípios de transparência e acessibilidade à informação geográfica. Esta estratégia constitui uma abordagem mais eficiente e ambientalmente sustentável, com benefícios

diretos para o município, as suas infraestruturas urbanas e a qualidade de vida dos seus munícipes (Câmara Municipal do Porto, 2025).

Relativamente aos indicadores de sustentabilidade e eficiência energética, o Porto comprometeu-se, através do Pacto do Porto para o Clima, a alcançar a neutralidade carbónica até 2030. Este projeto visa atingir um balanço zero de emissões, reduzindo os níveis de CO₂ em cerca de 85%. Atualmente, 100% da eletricidade consumida nos edifícios municipais provém de fontes renováveis. A implementação do Plano Municipal de Iluminação Urbana, que inclui a tecnologia LED, permitiu uma redução significativa no consumo energético da iluminação pública, tornando-a mais eficiente. Adicionalmente, o município tem reforçado a produção de energia solar fotovoltaica em vários edifícios municipais, através de projetos como a Comunidade de Energia Renovável (CER) e o Porto Solar.

A implementação de medidas de eficiência energética nos edifícios públicos, incluindo escolas, equipamentos desportivos e centros cívicos têm contribuído para estes resultados. A monitorização inteligente dos consumos permite otimizar o desempenho energético, reduzir custos e melhorar o conforto térmico.

No caso da Domus Social, E.M., têm sido adotadas várias políticas de eficiência energética no parque de habitação pública, com vista à melhoria do desempenho térmico dos edifícios, à redução do consumo energético e ao aumento do conforto dos residentes. Entre as principais intervenções implementadas, destacam-se:

- A aplicação de isolamento térmico contínuo no exterior das fachadas;
- A aplicação de isolamento térmico na cobertura inclinada, na laje superior de cobertura, nas zonas em betão exposto e nas caixas de estores;
- A substituição dos vãos envidraçados existentes, incluindo a alteração do tipo de caixilharia, do sistema de abertura, do tipo de vidro e da instalação de proteção solar exterior;
- A implementação de painéis solares fotovoltaicos para abastecimento energético das zonas comuns dos edifícios;

- A instalação de painéis solares térmicos destinados ao aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS).

Estas medidas contribuem, igualmente, para a criação de um benefício económico direto para as famílias. A estes ganhos acresce a redução da pegada ecológica, alcançada através da introdução de tecnologias mais sustentáveis e alinhadas com os princípios de responsabilidade social e ambiental.

Também no restante parque sob gestão da Domus Social, E.M. que inclui o parque escolar público municipal e outros edifícios municipais, tem-se verificado a adoção de equipamentos, instalações e sistemas de maior eficiência energética, complementada por medidas de manutenção preventiva. Estas ações promovem uma utilização mais racional dos recursos energéticos, conduzindo a uma redução substancial dos consumos e contribuindo, assim, para uma política ambiental mais responsável e sustentável (Domus Social, 2025).

Ainda nesta área, foram já contratados os acordos-quadro para garantir a certificação energética nos cerca de 13 mil fogos, da habitação clássica (bairros), sob gestão da Domus Social, E.M. O principal objetivo desta iniciativa é a realização de um diagnóstico aprofundado do parque habitacional municipal ao nível do desempenho energético, permitindo identificar oportunidades de melhoria e definir estratégias concretas para o aumento da sua eficiência.

Para além das intervenções anteriormente referidas, encontra-se também a decorrer um concurso de ideias para a reabilitação do Bairro do Duque de Saldanha, com enfoque na sustentabilidade urbana. Esta iniciativa tem como objetivo principal a promoção de medidas de eficiência energética nos edifícios, bem como a criação de uma área envolvente qualificada, com espaços verdes e integrada numa perspetiva de mobilidade sustentável.

No contexto da promoção da sustentabilidade dos edifícios, o Município do Porto, através da Domus Social, E.M., tem vindo a implementar coberturas verdes em vários imóveis sob a sua gestão. Exemplos significativos incluem a Escola Básica/Jardim de Infância do Falcão, bem como os edifícios residenciais localizados na Rua Zeca Afonso e

na Rua da Vitória. A integração destas infraestruturas verdes tem demonstrado impactos relevantes ao nível do isolamento térmico dos edifícios, da retenção das águas pluviais e da mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas. Esta estratégia insere-se numa abordagem integrada de desenvolvimento urbano sustentável, onde a conjugação destas soluções baseadas na natureza com a promoção de modos de mobilidade ativa, contribuindo para a construção de um modelo urbano mais resiliente, eficiente e orientado para o bem-estar dos munícipes.

No domínio da inovação, o município do Porto tem vindo a desenvolver uma estratégia sólida de transformação digital, promovida em grande parte pela Associação Porto Digital, designada por Porto Digital. Esta entidade, em articulação com universidades, centros de investigação e empresas tecnológicas, tem desempenhado um papel central na construção de uma cidade mais inteligente e conectada.

No seguimento das competências atribuídas pela CMP, a Porto Digital tem assumido a responsabilidade pela manutenção e expansão da infraestrutura de telecomunicações e da IoT na cidade. A infraestrutura tecnológica criada permite a recolha e integração de dados em áreas-chave como a mobilidade, ambiente, energia e proteção civil, contribuindo para o desenho e implementação de estratégias e políticas públicas mais eficazes no contexto das cidades inteligentes e sustentáveis (Associação Porto Digital, 2025).

Relativamente à integração da Domus Social com a expansão tecnológica nos espaços habitacionais do município, destaca-se a existência de infraestruturas de telecomunicações, nomeadamente uma rede Wi-Fi de acesso gratuito disponível em vários bairros municipais. Atualmente, encontra-se em desenvolvimento um projeto que visa expandir o acesso gratuito à internet, disponibilizando Wi-Fi nas entradas das zonas comuns dos edifícios habitacionais, reforçando assim a inclusão digital e o acesso equitativo às tecnologias de informação (Domus Social, 2025).

A cidade do Porto tem também investido na criação de uma infraestrutura digital urbana robusta, através da instalação de sensores urbanos que permitem a recolha de dados em tempo real. Esta infraestrutura tecnológica tem sido fundamental para o

desenvolvimento de aplicações móveis orientadas para áreas como a mobilidade, o ambiente e os serviços municipais, projetando uma cidade cada vez mais inteligente, eficiente e conectada.

O Porto tem vindo a reforçar os mecanismos de participação pública, através de plataformas digitais que permitem aos cidadãos submeter propostas, votar em orçamentos participativos e acompanhar projetos em curso. A cidade promove ainda eventos regulares, através do Porto Innovation Hub, que envolve cidadãos, empresas e instituições na cocriação de soluções urbanas, fortalecendo o diálogo entre a autarquia e a população (Porto Innovation Hub, 2025).

Os indicadores analisados demonstram que o Porto pretende destacar-se no panorama nacional e internacional como uma cidade de inovação e criatividade, projetando-se como uma cidade mais inteligente, sustentável, eficiente e participativa. A integração entre tecnologia, planeamento urbano e cidadania tem sido a base para a construção de um modelo de desenvolvimento urbano resiliente e adaptado aos desafios contemporâneos.

2.3 Smart Buildings no Contexto Municipal: Tendências Futuras

Os smart buildings, ou edifícios inteligentes, assumem-se como construções equipadas com tecnologias avançadas de automação, sensores e sistemas integrados que permitem otimizar o seu funcionamento, promovendo a eficiência energética, o conforto dos seus utilizadores e a sustentabilidade ambiental (Júnior, 2022).

Os smart buildings representam uma abordagem inovadora, permitindo elevada flexibilidade de utilização e adaptação contínua às necessidades das organizações, fornecendo, a cada momento, o suporte mais adequado à sua atividade. Paralelamente, estes edifícios integram sistemas de automação, computação e comunicações, possibilitando, de forma integrada, uma gestão eficiente dos recursos disponíveis. Esta gestão inteligente promove aumentos de produtividade, poupanças energéticas e assegura elevados níveis de conforto e segurança aos utilizadores (Eastman et al., 2011).

A crescente utilização das novas tecnologias tem permitindo a proliferação destes edifícios, quer no âmbito habitacional, quer no âmbito empresarial. O desenvolvimento de tecnologias como sensores, que permitem a monitorização e gestão em tempo real da temperatura, humidade, qualidade do ar, consumo energético, iluminação e ocupação dos espaços, permitem uma maior interação entre os utilizadores e os edifícios (Vasconcelos, 2020).

Outro desígnio tecnológico presente nos smart buildings é a integração frequente de soluções 100% verdes, utilizando energia proveniente de fontes renováveis. Estes edifícios contam com sistemas de gestão da água associados a estas fontes de energia sustentável, bem como plataformas digitais que permitem a gestores e utilizadores monitorizar e controlar remotamente o edifício. Esta abordagem contribui para a promoção da sustentabilidade ambiental e para a redução dos custos operacionais.

O conceito de smart buildings está inequivocamente interligado ao de smart cities, na medida em que os edifícios inteligentes constituem uma componente fundamental das cidades sustentáveis. A utilização racional dos seus recursos, a redução das emissões de carbono e a melhoria da qualidade de vida dos seus utilizadores refletem diretamente os objetivos mais amplos das cidades inteligentes e sustentáveis.

A conceção e implementação de edifícios inteligentes permitem identificar um conjunto de vantagens que se refletem em diversas dimensões da sustentabilidade, eficiência e qualidade de vida urbana (Eastman et al., 2011). Entre estas destacam-se:

- Eficiência Energética: otimização do consumo de energia através de sistemas inteligentes de gestão e controlo;
- Sustentabilidade Ambiental: redução da pegada ecológica, promovendo práticas construtivas e operacionais ambientalmente responsáveis;
- Conforto e Qualidade de Vida: criação de ambientes interiores adaptados às necessidades dos utilizadores;
- Segurança e Proteção: integração de tecnologias que garantem resposta eficaz a situações de risco e maior segurança de pessoas e bens;

- Gestão Inteligente e Flexibilidade Operacional: capacidade de gerir, em tempo real, os recursos e sistemas do edifício de forma eficiente;
- Redução de Custos Operacionais: diminuição das despesas relacionadas com energia, manutenção e operação;
- Inovação e Valorização dos Edifícios: adoção de soluções tecnológicas que aumentam o valor funcional, económico e simbólico dos edifícios.

No município do Porto, o conceito de smart buildings tem vindo, à semelhança do que acontece com as smart cities, a ganhar destaque nos domínios da sustentabilidade, eficiência energética e inovação tecnológica. A autarquia, através das suas empresas municipais, como é exemplo a Domus Social, a GO Porto e as Águas e Energia do Porto, tem vindo a implementar diversas políticas orientadas para modernização de edifícios municipais, como habitação, escolas e outros edifícios. Estas iniciativas visam promover a incorporação de tecnologias inteligentes, contribuindo para a redução do consumo energético e para a melhoria do conforto e bem-estar dos seus utilizadores.

A tendência para os próximos anos, em alinhamento com os objetivos definidos no Pacto para o Clima e com o compromisso assumido rumo à neutralidade carbónica até 2030, prevê uma aposta contínua e estratégica por parte do Município do Porto e das suas Empresas Municipais nas seguintes áreas prioritárias:

- Certificação Energética: avaliação sistemática do desempenho energético dos edifícios, como instrumento fundamental para a identificação de oportunidades de melhoria e redução de consumos;
- Investimento em Edifícios Inteligentes de Âmbito Municipal: promoção de soluções tecnológicas que potenciem a eficiência energética, a gestão integrada de recursos e a melhoria da qualidade dos serviços públicos;
- Construção e Reabilitação Sustentável: adoção de práticas construtivas que privilegiam a eficiência energética, a utilização de materiais sustentáveis e a redução do impacto ambiental no ciclo de vida dos edifícios;

- Aposta Contínua em Iniciativas Tecnológicas: desenvolvimento e implementação de sistemas inovadores de automação, monitorização e gestão urbana, essenciais para a transição digital e ecológica das cidades.

No contexto da Domus Social, E.M., enquanto empresa municipal de habitação e manutenção do Município do Porto, assume um papel central na transição energética e digital da cidade. O processo de cadastro técnico dos equipamentos existentes constitui não apenas uma ferramenta de diagnóstico, mas também um instrumento estratégico de planeamento, permitindo identificar ineficiências, oportunidades de reabilitação e potencial de integração tecnológica.

Neste sentido, a necessidade de cadastro dos equipamentos, nomeadamente dos sistemas de iluminação, segurança e climatização, representa um passo fundamental para a obtenção de um conhecimento aprofundado sobre as infraestruturas existentes. Este levantamento técnico detalhado constituirá a base para, numa fase posterior, a implementação eficaz do conceito de edifício inteligente, permitindo uma gestão mais eficiente, integrada e sustentável dos recursos disponíveis.

Com base neste levantamento detalhado, torna-se possível delinear intervenções orientadas para a modernização e digitalização dos edifícios, nomeadamente através da instalação de sistemas de automação, sensores ambientais, gestão remota de energia e soluções de monitorização em tempo real. Esta abordagem integrada permitirá transformar, sobretudo o parque habitacional em infraestruturas inteligentes, alinhadas com os objetivos de eficiência energética, conforto habitacional, sustentabilidade ambiental e resiliência urbana.

A atuação da Domus Social neste domínio reforça, assim, o compromisso do município do Porto com uma administração sustentável, em que o conhecimento técnico do território se traduz em políticas públicas mais eficazes e inovadoras, alinhadas com os objetivos propostos pelo município a médio/longo prazo.

2.4 Modelação 3D e BIM: Perspetivas e Estratégias para a Domus Social

O modelo tridimensional tem como finalidade constituir uma representação virtual realista e funcional do edifício. Para que este modelo seja efetivamente útil, é fundamental que possibilite a consulta e a utilização de informação técnica detalhada relativa aos diversos sistemas e componentes que integram o edifício, nomeadamente na arquitetura, na estrutura e nas instalações técnicas.

A modelação tridimensional no âmbito da metodologia BIM abrange diversas especialidades técnicas que, em conjunto, asseguram uma representação digital integrada do edifício. Entre as principais especialidades modeladas destacam-se:

- Arquitetura: paredes, vãos (janelas e portas), coberturas, revestimentos e outros componentes de acabamentos;
- Estruturas: pilares, lajes, vigas, fundações e restantes componentes estruturais;
- Instalações técnicas: sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), redes elétricas, redes hidráulicas (abastecimento e drenagem), rede de gás, rede de combate a incêndio.

A articulação entre estas especialidades no modelo digital permite uma análise mais eficiente de compatibilidades, a prevenção de ocorrências, bem como a base para uma gestão mais informada e colaborativa ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos.

Cada elemento integrante do modelo tridimensional pode incorporar um conjunto alargado de dados, que lhe confere não apenas representação gráfica, mas também valor informativo e funcional. Entre os principais tipos de dados associados destacam-se:

- Dados geométricos: forma, dimensão, orientação e localização espacial do elemento do modelo;
- Dados técnicos: material, propriedades físicas, carga admissível, resistência mecânica e/ou térmica;
- Dados funcionais: caudal, consumo energético, entre outros;

- Dados operacionais: planos de manutenção, ciclo de vida, substituições programadas;
- Integração com *digital twins*: ligação a modelos digitais do fabricante, sensores IoT e plataformas de gestão de ativos (Facility Management), possibilitando o acompanhamento em tempo real do desempenho e do estado do componente.

Esta riqueza informativa transforma o modelo 3D num repositório dinâmico de dados, potenciando a sua utilização ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, permitindo obtenção de dados desde o projeto e construção até à fase de operação e manutenção.

Esta utilidade só é plenamente alcançada quando a representação virtual reflete com rigor a realidade física, objetivo esse que é materializado através do conceito de “*digital twins*”. Este pressupõe a disponibilização não apenas de informação geométrica, mas também de dados não geométricos, tais como características técnicas, histórico de manutenção, desempenho energético, entre outros, possibilitando desta forma uma gestão integrada e inteligente do ativo construído.

As aplicações desenvolvidas permitirão que seja gerado um modelo tridimensional individualizado para cada elemento construtivo ou componente técnico, o qual será automaticamente posicionado na sua localização exata dentro do modelo digital do edifício. Estes modelos 3D poderão ser visualizados em contexto, integrando-se no modelo global do edifício.

Este modelo, ao reunir os contributos de todas as especialidades e intervenientes, assume-se como uma representação digital integrada e colaborativa do ativo construído. Neste contexto, a inclusão dos “*digital twins*” fornecidos pelos fabricantes, apresentam-se como modelos que incorporam não apenas a geometria, mas também dados técnicos, funcionais e operacionais dos equipamentos, permitindo, desta forma elevar significativamente o grau de precisão e realismo do modelo.

Existem ainda diversos equipamentos que desempenham um papel fundamental na aquisição de dados para a modelação tridimensional, destacando-se, entre outros, o drone e o laser scanner.

O levantamento por drone, através de técnicas de fotogrametria aérea, permite obter um mapeamento preciso da área de estudo, com elevada resolução espacial e atualidade dos dados. Esta metodologia facilita significativamente a modelação 3D, permitindo uma análise rigorosa das condições reais do terreno ou da infraestrutura, e contribuindo para uma tomada de decisão mais informada.

Ao fornecer às partes interessadas informações atualizadas, detalhadas e georreferenciadas, os drones tornam-se uma ferramenta estratégica para a gestão eficiente de projetos, nomeadamente em fases de diagnóstico, planeamento e monitorização.

Relativamente à utilização desta tecnologia no contexto da Domus Social, E.M., a sua aplicação atual centra-se, sobretudo, em duas áreas principais: manutenção e produção.

Na área da manutenção, o recurso a drones tem sido direcionado para intervenções de manutenção preventiva e corretiva, permitindo a inspeção visual de elementos construtivos com acesso condicionado, como as coberturas.

Na área da produção, nomeadamente na fase de pós-construção, os drones são utilizados como ferramenta de apoio à realização de vistorias às coberturas dos edifícios que se encontram abrangidos por garantias, decorrentes de obras de reabilitação ou de nova construção.



Figura 2 - Drone (Domus Social, 2025)

Esta abordagem permite otimizar os processos de diagnóstico e tomada de decisão, reduzindo riscos operacionais e aumentando a eficiência na monitorização do estado dos ativos.

Para além deste enquadramento, o drone é também utilizado em situações em que o acesso físico à cobertura é inviável, quer pela impossibilidade de utilização de equipamentos de elevação (como o carro-cesta), quer pela inexistência de acessos internos através do desvão da cobertura.

Nestes cenários, a utilização de drones permite efetuar inspeções visuais de elevada precisão e segurança, sem comprometer a integridade do edifício ou a segurança dos técnicos, garantindo simultaneamente a recolha de dados atualizados e detalhados para apoio à decisão técnica.

Atualmente, e apesar do seu potencial, o drone ainda não é utilizado pela Domus Social durante a fase de execução das obras de reabilitação ou de construção. No entanto, importa referir que as empresas responsáveis pela execução dos trabalhos, bem como as entidades encarregues da fiscalização das obras, poderão recorrer a este tipo de

equipamento no âmbito das suas inspeções regulares, como ferramenta complementar para controlo de qualidade, verificação de conformidade e acompanhamento do progresso da obra.

No que diz respeito à utilização do laser scanner, esta tecnologia permite a realização de medições tridimensionais com elevado grau de precisão e qualidade, recorrendo à emissão de feixes laser que captam a geometria envolvente a 360 graus.

O equipamento gera uma nuvem de pontos composta por milhões de coordenadas com referência espacial definida (X, Y, Z), o que permite a georreferenciação rigorosa dos elementos captados.

Esta combinação de dados espaciais constitui a base fundamental para a modelação tridimensional precisa de edifícios ou estruturas existentes, sendo particularmente útil em contextos de reabilitação, restauro patrimonial, monitorização estrutural ou integração em processos BIM (Pona, 2017).

Existem diversas áreas de aplicação do laser scanner 3D, que beneficiam das suas capacidades de medição precisa, registo geométrico e georreferenciação. Entre as principais destacam-se:

- Arquitetura e Engenharia: realização de levantamentos de edifícios existentes com elevada precisão geométrica, essenciais para projetos de reabilitação, ampliação ou regularização;
- Reabilitação e Restauro: documentação rigorosa de património edificado, permitindo a preservação digital e o apoio a intervenções compatíveis com os valores históricos e construtivos;
- Topografia: mapeamento detalhado de terrenos, estruturas e infraestruturas, com aplicação em estudos geotécnicos, hidrológicos e projetos de urbanismo;
- Construção: controlo dimensional, deteção de deformações e verificação da conformidade entre o projeto e o executado (controlo de qualidade em obra);
- Indústria: inspeção técnica de componentes, equipamentos e instalações, incluindo análise de desgaste, calibração e manutenção preditiva;

- BIM: apoio à criação de modelos 3D *as built*, representando com fidelidade o que foi efetivamente construído, para posterior integração em sistemas BIM.

Relativamente à aplicação desta tecnologia no contexto da Domus Social, E.M., a sua aplicação ainda é bastante limitada, estando atualmente a ser utilizada em levantamentos arquitetónicos pontuais de fogos que carecem de análise técnica mais detalhada para poder ser partilhada com outras áreas da empresa.

Para além disso, foi também utilizada em algumas intervenções em fase final de obra, com o objetivo de recolher informação adicional para apoio à verificação técnica ou à documentação final do ativo.



Figura 3 - Laser scanner (Domus Social, 2025)

Em termos de perspetiva futura, está prevista a aplicação sistemática desta tecnologia de levantamento tridimensional antes da entrega das habitações para nova ocupação.

O objetivo é proceder à recolha precisa de dados geométricos e espaciais, como áreas úteis, tipologias e compartimentação, que poderão ser integrados em sistemas de apoio à gestão do parque habitacional, nomeadamente no cálculo das rendas e na atualização dos registos prediais.

Outro objetivo que poderá ser prosseguido com a aplicação desta metodologia de levantamento tridimensional incide na retenção e arquivo (criação de um histórico) da nuvem de pontos relativa às habitações entregues pelo Parque Habitacional.

Esta informação, obtida através do registo fotográfico e geométrico de alta precisão, pode revelar-se fundamental em futuras análises relacionadas com a garantia da obra realizada, permitindo verificar, com elevado grau de detalhe, o estado de conservação em que a habitação foi entregue.

As imagens panorâmicas em formato HDR (High Dynamic Range), captadas em 3D pelo equipamento de varrimento laser, associadas às nuvens de pontos recolhidas, incluem metadados técnicos normalizados que documentam com rigor as condições existentes à data da aquisição. Estes dados constituem um registo digital de elevada fiabilidade, com potencial para ser utilizado como referência ao longo de todo o ciclo de vida dos projetos.

A integração de tecnologias de levantamento tridimensional, como é o caso do laser scanner, com ferramentas de modelação digital 3D, tem assumido um papel determinante na transformação digital do setor da construção e da reabilitação urbana. Os dados obtidos através de nuvens de pontos de elevada densidade, geradas por varrimento laser, constituem a base para a construção de modelos tridimensionais com elevado grau de precisão, permitindo representar com rigor as condições geométricas e espaciais de edifícios e estruturas existentes. Estes modelos não servem apenas como instrumentos de documentação e visualização, mas também como suporte técnico essencial para processos colaborativos integrados em ambientes BIM, promovendo uma gestão mais eficaz e sustentada ao longo do ciclo de vida dos ativos construídos.

A integração funcional entre os modelos 3D e o BIM permite o desenvolvimento de novas abordagens na criação, gestão e partilha de informação detalhada e precisa, tanto

na fase de projeto como durante a execução e manutenção de obras (Eastman et al., 2011). Em Portugal, e mais concretamente no contexto da Domus Social, E.M., a adoção do BIM tem vindo a intensificar-se, impulsionada por diretrizes europeias e por políticas públicas nacionais, como o Plano de Digitalização da Construção 2030, promovido pela Agência para a Energia (ADENE) e pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), com o objetivo de modernizar e tornar mais eficiente o setor da construção (LNEC & ADENE, 2021).

Neste contexto, torna-se evidente a necessidade de desenvolver metodologias e estratégias específicas para a implementação do BIM na Domus Social, assegurando a coerência, reprodutibilidade e escalabilidade dos processos. Esta abordagem será, assim, um dos objetivos estratégicos do presente trabalho, contribuindo para a promoção de práticas mais integradas, digitais e sustentáveis na gestão do património edificado.

2.5 Integração de SIG e Modelação 3D: Enquadramento e Aplicações

Um SIG é uma ferramenta utilizada para capturar, armazenar, manipular, analisar, gerir e apresentar dados georreferenciados permitindo que os dados associados tenham uma referência a localizações específicas na superfície terrestre. Esta ferramenta possibilita a visualização, análise e interpretação de dados espaciais, com o objetivo de explorar as relações espaciais, padrões e tendências que, de outro modo, seriam difíceis de identificar e compreender (Lima, 2016).

As funcionalidades disponibilizadas por esta ferramenta possibilitam a integração e análise conjunta de dois domínios de dados fundamentais num SIG: os dados espaciais, que representam a componente geográfica das entidades, e os dados alfanuméricos, que descrevem as suas características não-espaciais.

Estes dados podem ser estruturados numa base de dados, a qual é fundamental para suportar um SIG, permitindo a sua análise e integrando dados espaciais com dados alfanuméricos.

O armazenamento e a gestão eficaz de dados espaciais são elementos centrais no funcionamento de um SIG. Entre as diversas abordagens tecnológicas disponíveis, destacam-se três possibilidades amplamente utilizadas: Geodatabase, GeoPackage e PostgreSQL/PostGIS. Estas tecnologias apresentam características distintas em termos de estrutura, compatibilidade, desempenho e adequação aos diferentes contextos de utilização.

A Geodatabase é uma solução desenvolvida pela Esri, concebida para uso preferencial no ambiente ArcGIS. Trata-se de uma base de dados espacial que permite a organização estruturada de dados vetoriais e, parcialmente, dados raster, integrando funcionalidades como topologia, subtipos, domínios e regras de integridade (Breunig & Zlatanova, 2011). Existem três tipos principais de Geodatabases: Personal Geodatabase (baseada em Microsoft Access, com limitações de capacidade), File Geodatabase (mais eficiente, com suporte até 1 TB por feature class) e Enterprise Geodatabase (baseada em sistemas de gestão de bases de dados relacionais, como PostgreSQL, Oracle ou SQL Server, permitindo ambientes multiutilizador). Apesar da sua robustez, a Geodatabase é um formato proprietário, o que limita a sua cooperação com outros sistemas, nomeadamente com soluções open-source (Wu et al., 2009).

Por outro lado, o GeoPackage¹ (com extensão. gpkg), uma solução que tem vindo a ganhar crescente adoção recentemente, consiste num formato aberto definido pelo Open Geospatial Consortium (OGC). Baseado em SQLite, permite o armazenamento de dados vetoriais, raster e mosaicos (tiles) num único. É amplamente suportado por ferramentas como QGIS, ArcGIS Pro, GDAL, entre outras, destacando-se pela sua eficiência de armazenamento e de flexibilidade de uso, sendo particularmente útil em contextos de mobilidade e trabalho offline. No entanto, apresenta limitações no que respeita ao suporte multiutilizador e a funcionalidades avançadas como a modelação topológica.

¹ https://www.ogc.org/standards/geopackage/?utm_source

Em contraste, o PostgreSQL, quando combinado com a extensão PostGIS, constitui uma solução open-source com grande capacidade de expansão para o armazenamento e análise de dados espaciais. Esta plataforma permite a gestão eficiente de grandes volumes de informação, suportando múltiplos utilizadores em simultâneo, e oferece uma vasta gama de funções espaciais SQL (consultas por proximidade, interseções, buffers, análises de redes, etc.) (Obe et al., 2015). Adicionalmente, possibilita a indexação espacial, suportando consultas otimizadas em tempo real. O PostgreSQL/PostGIS é amplamente utilizado em ambientes empresariais e institucionais devido à sua fiabilidade, flexibilidade e forte integração com outras plataformas SIG.

Em termos comparativos, a escolha da tecnologia mais adequada depende fortemente do contexto de aplicação. A Geodatabase é recomendada para utilizadores integrados no sistema ArcGIS, enquanto o GeoPackage é ideal para projetos de multiusos em ambiente open-source. Já o PostgreSQL/PostGIS apresenta-se como a opção mais robusta e extensível para sistemas SIG corporativos, ou projetos que exijam elevada performance e complexidade analítica.

No que diz respeito à estrutura da base de dados SIG da Domus Social, E.M. encontra-se atualmente integrada na Câmara Municipal do Porto, assente numa base de dados geoespacial (BDGC), que armazena e gere informação sobre parque habitacional, infraestruturas, acessibilidades, equipamentos e outros ativos municipais. A base de dados centralizada integra o PostGIS (extensão do PostgreSQL) para armazenamento e manipulação de dados espaciais e também Geodatabases para definição de bases de dados específicas para SIG.

Com os avanços verificados na ciência da computação, no desenvolvimento de algoritmos e nas tecnologias da Web, as técnicas de visualização espacial registaram progressos significativos, permitindo representações cada vez mais realistas, interativas e integradas em ambiente SIG (Vasconcelos, 2020).

Os modelos 3D representam uma evolução significativa na forma como os dados espaciais são visualizados, analisados e interpretados nos SIG. Ao integrar a componente “Z”, estes modelos permitem uma representação mais realista do espaço geográfico,

sendo fundamentais em aplicações que exigem uma compreensão volumétrica e espacial precisa, como a modelação urbana, gestão de infraestruturas subterrâneas, análise de visibilidade, avaliação de riscos naturais e planeamento territorial. Em ambiente SIG, os modelos 3D podem ser utilizados para representar edifícios, terrenos, vegetação, redes de transportes, entre outros elementos.

À medida que se intensifica a necessidade de uma gestão espacial rigorosa no interior de edifícios e infraestruturas, torna-se evidente a importância de alargar o âmbito dos SIG à dimensão interior dos espaços construídos. Neste contexto, emerge o conceito de SIG indoor, uma vertente especializada dos SIG 3D, orientada para a modelação, análise e visualização de ambientes internos, permitindo uma representação espacial mais detalhada e funcional ao nível de compartimentos, acessos, elementos construtivos e fluxos de circulação. Esta transição do espaço urbano exterior para os espaços interiores constitui um avanço metodológico significativo, com aplicações relevantes em domínios como a segurança, acessibilidade, gestão técnica de ativos, planeamento de evacuações e navegação assistida (Lima, 2016).

Os SIG de interiores (SIG indoor) surgem como uma vertente especializada dos SIG tradicionais, focada na representação, análise e gestão espacial de ambientes interiores de edifícios e infraestruturas complexas. Estas abordagens exigem modelos tridimensionais com elevado detalhe geométrico e semântico, capazes de representar com precisão elementos como compartimentos, corredores, portas, escadas, mobiliário ou sistemas técnicos, constituindo a base para a análise espacial e a navegação em ambientes fechados (Liu & Zlatanova, 2011).

Neste contexto, o *Esri CityEngine*² destaca-se como uma ferramenta avançada que utiliza uma abordagem parametrizada, baseada em regras, que pode ser adaptada à criação de modelos paramétricos de edifícios, incluindo os seus espaços interiores. Originalmente concebido para o planeamento urbano e geração de malhas urbanas tridimensionais a partir de dados geográficos, o *CityEngine* utiliza a sua linguagem de

² ESRI. *CityEngine 2021.0 Release Notes*. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2021.

regras CGA (*Computer Generated Architecture*) para gerar automaticamente estruturas com base em parâmetros espaciais e tipológicos definidos pelo utilizador (Biljecki et al., 2018).

As principais potencialidades do CityEngine³ em ambiente indoor incluem:

- A integração com dados SIG e CAD, permitindo a importação e reutilização de plantas arquitetónicas;
- A criação automatizada de espaços interiores com base em modelos ou padrões predefinidos;
- A visualização tridimensional imersiva e interativa, orientada para análise espacial, simulação ou comunicação de projetos;
- A exportação para formatos interoperáveis, como OBJ, FBX, CityGML ou 3D Web Scenes, facilitando a integração com software BIM, motores gráficos e plataformas de realidade virtual ou aumentada.

Embora o CityEngine não seja, por definição, uma plataforma BIM, a sua flexibilidade automatizada, torna-o especialmente eficaz em contextos que exigem representações espaciais tridimensionais realistas e escaláveis, particularmente em tarefas como planeamento de ocupação, simulação de fluxos, análise de acessibilidade ou navegação em espaços interiores (Biljecki et al., 2018).

2.6 Georrefenciação de Espaços Interiores e Equipamentos: Conceitos, Metodologia e Aplicações

Tradicionalmente, o levantamento e registo de compartimentos e de equipamentos especializados era efetuado com base nas Telas Finais das plantas de arquitetura, resultantes de processos de construção nova ou de reabilitação. Estas plantas,

³ ESRI. CityEngine 2021.0 Release Notes. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2021.

geralmente são elaboradas em formato CAD, contêm a representação gráfica dos espaços interiores, bem como a localização e identificação dos sistemas técnicos por especialidade (AVAC, hidráulica, elétrica, segurança, entre outros), servindo de base documental para operações de manutenção, fiscalização ou requalificação futura. Embora atualmente se assista a uma crescente digitalização dos levantamentos de compartimentos e equipamentos, impulsionada pelo desenvolvimento e adoção de tecnologias avançadas como os SIG, é ainda comum que diversas entidades públicas e privadas continuem a realizar estes levantamentos recorrendo aos métodos tradicionais baseados em plantas estáticas. Esta dualidade reflete tanto a inércia associada a processos consolidados, como a necessidade de adaptação a novas ferramentas que implicam alterações significativas nos fluxos de trabalho e capacitação técnica dos profissionais envolvidos.

Com o avanço das tecnologias, os SIG, afirmam-se como ferramentas capazes de integrar informações originalmente em formato CAD, convertendo-as para os seus formatos nativos de utilização. Esta conversão possibilita uma gestão mais dinâmica, precisa e integrada dos espaços interiores e dos equipamentos, permitindo a realização de análises espaciais que otimizam a tomada de decisão e o planeamento operativo em contextos de construção, manutenção e reabilitação.

A metodologia adotada em diversos estudos que visam a integração entre plantas CAD e os SIG para a gestão de compartimentos e equipamentos em edifícios segue, habitualmente, uma sequência estruturada de diversas fases. Numa primeira etapa, procede-se à análise e limpeza dos ficheiros CAD, geralmente nos formatos DWG ou DXF, com especial atenção à organização dos elementos por camadas (*layers*) e à coerência geométrica das *polylines* que delimitam os compartimentos (Payero et al., 2024). Esta fase é crucial para assegurar uma transição eficaz dos dados para o ambiente SIG, minimizando erros e garantindo a integridade espacial necessária para as etapas subsequentes de vetorização e georreferenciação.

Os passos seguintes consistem na limpeza e preparação dos ficheiros CAD, procedendo-se à vetorização dos elementos relevantes, convertendo as representações gráficas em

entidades espaciais reconhecíveis pelo SIG, como polígonos para os compartimentos e pontos ou linhas para equipamentos e infraestruturas.

Durante este processo, é fundamental a realização de visitas técnicas aos edifícios, tanto para validar a correspondência entre as plantas CAD de arquitetura e a configuração real do edifício, como para identificar todos os compartimentos existentes. Nessas visitas, procede-se também à recolha de dados complementares, como registos fotográficos, medições, e a localização e caracterização de equipamentos especializados (ex. sistema de segurança e de combate a incêndio, quadros interativos, equipamentos de AVAC, equipamentos de instalações elétricas).

Nesta fase, atribuem-se atributos alfanuméricos relevantes, extraídos dos dados contidos nas plantas, tais como identificadores, tipologias, especialidades técnicas e estados de conservação.

A estabilização da informação recolhida através das plantas CAD de arquitetura permite, numa fase posterior, a criação de bases de dados estruturadas, tanto para os equipamentos como para os compartimentos. Assim, torna-se necessário organizar os atributos de forma a possibilitar uma caracterização mais abrangente e detalhada dos elementos a cadastrar *in situ*, bem como, numa fase subsequente, estabelecer relações espaciais entre todos os elementos registados.

Por fim, os dados integrados são importados para plataformas SIG, como ArcGIS ou QGIS, onde podem ser visualizados, analisados e manipulados em conjunto com outras camadas informativas, promovendo uma gestão integrada e suportada em análises espaciais precisas (Teixeira, 2022). Esta metodologia tem sido validada em múltiplos estudos como uma abordagem eficiente para a digitalização e gestão geoespacial de ambientes interiores complexos (Kang & Hong, 2015).

A importação de dados para as plataformas SIG, requer a conceção e implementação de uma base de dados devidamente estruturada, organizada e otimizada, de forma a assegurar um acesso rápido, eficaz e fiável à informação geográfica.

Para a concretização deste processo, devem ser seguidas etapas metodológicas estruturadas, que incluem a identificação das entidades relevantes ao contexto de

análise (como compartimentos, equipamentos e sistemas técnicos), a especificação dos seus atributos descritivos e a definição das relações espaciais, topológicas e lógicas entre essas entidades. Este procedimento garante a coerência da base de dados e a integridade referencial, assegurando que a informação geoespacial possa ser utilizada de forma eficaz em análises e na gestão de ambientes interiores complexos (Kang & Hong, 2015).

A definição do modelo de dados a adotar numa base de dados geoespacial deve considerar a natureza e o tipo de entidades a representar, de forma a assegurar uma estrutura coerente e otimizada para operações de consulta, análise e atualização (Longley et al., 2015). Neste contexto, a criação de geodatabases distintas, estruturadas segundo o tipo de geometria, seja ponto, linha ou polígono, constitui uma prática consolidada na modelação SIG (Zeiler, 1999).

No caso específico da representação de espaços interiores ou compartimentos, a utilização de geometrias poligonais revela-se a abordagem mais adequada, na medida em que permite definir, de forma precisa das áreas e dos limites físicos, garantindo a correspondência com a configuração real do edifício (Kang & Li, 2017). Em situações específicas, como a representação de eixos ou de delimitações lineares internas, poderá justificar-se a utilização de uma geometria de linhas.

A georreferenciação de equipamentos em ambientes interiores beneficia significativamente da utilização de representações em formato de pontos, uma vez que estas permitem determinar a localização precisa de cada elemento e estabelecer a sua associação direta a atributos alfanuméricos relevantes. Esta metodologia não só otimiza a gestão do inventário de ativos, como também potencia a realização de análises espaciais direcionadas para a gestão, bem como para a manutenção preventiva e corretiva dos elementos.

A seleção criteriosa dos modelos geométricos, devidamente integrados em geodatabases, constitui um fator determinante para a implementação de um sistema de informação geográfica robusto, flexível e escalável, capaz de satisfazer as exigências operacionais e analíticas inerentes à gestão integrada de espaços interiores e respetivos

equipamentos (Longley et al., 2015; Kang & Li, 2017). Este processo deve envolver, de forma articulada, as diferentes áreas técnicas responsáveis pela gestão desses ativos, nomeadamente AVAC, segurança, hidráulica, eletricidade, entre outras, assegurando a consistência e a interligação da informação entre as diversas especialidades.

Após a definição da estrutura da base de dados e a especificação dos respetivos atributos, previamente definidos em consenso entre os técnicos responsáveis pela implementação dos SIG e as áreas técnicas associadas às diferentes especialidades de equipamentos, torna-se possível proceder à integração desta informação em plataformas SIG, possibilitando a georreferenciação dos elementos de forma precisa, objetiva e estruturada (Farid, Khan & Javed, 2018).

Relativamente aos softwares utilizados para a georreferenciação de elementos em espaços interiores e exteriores, destacam-se as soluções desenvolvidas pela ESRI, nomeadamente o Field Maps e o Survey123. O Survey123 apresenta-se particularmente vocacionado para a criação de formulários de campo com perguntas fechadas, facilitando a recolha estruturada e normalizada de dados no terreno. Por sua vez, o Field Maps permite a integração de múltiplos tipos de dados, incluindo formulários previamente criados no Survey123, assegurando a associação da componente geográfica aos elementos cadastrados e viabilizando o trabalho em modo offline, uma funcionalidade essencial em contextos com conectividade limitada (ESRI, 2023).

Entre as soluções Open Source, o QField constitui uma alternativa amplamente adotada, oferecendo elevada flexibilidade para a recolha e edição de dados georreferenciados em campo, bem como integração direta com a plataforma QGIS⁴, o que possibilita a posterior análise e gestão detalhada da informação recolhida.

A informação integrada em softwares SIG não apenas confere uma componente geográfica a cada elemento cadastrado, como, através do preenchimento da respetiva tabela de atributos, possibilita a recolha e o armazenamento de características técnicas relevantes. Adicionalmente, é possível associar registos fotográficos aos elementos

⁴ OPENGIS.ch. *QField — A simplified touch-optimized interface for QGIS*. Disponível em: <https://qfield.org>.

levantados, permitindo a criação de uma documentação visual que complementa a informação alfanumérica e espacial. Esta metodologia reforça a qualidade e a exaustividade da base de dados, potenciando a gestão, a análise e a manutenção dos equipamentos com base em informação espacialmente referenciada e enriquecida com evidência visual (Kang & Hong, 2015).

3 Casos de Estudo: Domus Social, Edifícios Municipais e Gestão de Edifícios Escolares

A CMPH – Domus Social, Empresa de Habitação e Manutenção do Município do Porto, E.M., criada em 2000, constitui-se como uma entidade local de natureza municipal, responsável pela promoção da cidade do Porto na área da habitação e pela gestão do parque de habitação pública municipal. A sua atuação abrange ainda a manutenção e conservação do património imobiliário, equipamentos e infraestruturas municipais, bem como a conceção, desenvolvimento e implementação de projetos de carácter social (Domus Social, 2025).

No exercício da sua missão institucional, a Domus Social assegura a gestão integral do parque de habitação pública municipal, englobando processos de aquisição, atribuição e transferência de habitações, a correta e legítima ocupação dos fogos, bem como a gestão administrativa relacionada com a fixação, atualização e cobrança de rendas. Paralelamente, supervisiona e executa obras de manutenção e conservação de edifícios e habitações (Domus Social, 2025).

A Domus Social é ainda responsável pela manutenção e conservação de todos os edifícios, equipamentos, instalações e infraestruturas integrados nos domínios público e privado sob a gestão do Município do Porto, garantindo a sua operacionalidade e funcionalidade no âmbito municipal (Domus Social, 2025).

No que se refere aos edifícios geridos e mantidos pela Domus Social, salientam-se, no âmbito da habitação pública municipal, os designados “bairros”, correspondentes à tipologia de habitação clássica. Estes compreendem um total de 50 agrupamentos habitacionais, distribuídos por cerca de 663 edifícios, englobando aproximadamente 12.400 fogos. No mesmo contexto, destacam-se ainda os edifícios dispersos, inseridos na habitação não clássica, que totalizam 224 edifícios, agregando cerca de 414 fogos sob gestão da Domus Social.

No que diz respeito ao parque não habitacional, a Domus Social assegura a gestão e manutenção de diversos edifícios públicos municipais, abrangendo contextos institucionais, de solidariedade social, culturais (como bibliotecas e museus), ambientais e de apoio à manutenção. Esta área de intervenção compreende um total de 66 edifícios sob gestão da empresa.

Ainda inserido no tema do parque não habitacional, a Domus Social garante a gestão e a manutenção de 18 edifícios que dizem respeito às Unidades de Saúde Familiar, decorrentes do processo de transferência de competências do domínio da saúde para as Autarquias Locais (AL), desencadeado pela Lei nº50/2018, de 16 de agosto.

A transferência de competências para a Domus Social ocorreu a 1 de janeiro de 2024, passando esta empresa municipal a assumir a responsabilidade pela gestão e manutenção dos edifícios e respetivos equipamentos, abrangendo diversas especialidades e tipologias de intervenção.

No que se refere ao Parque Público Escolar sob gestão da Domus Social, este compreende um total de 66 edifícios, dos quais 48 correspondem a escolas básicas do 1.º ciclo. Os restantes 18 edifícios resultam do processo de descentralização de competências do Ministério da Educação para as autarquias locais, promovido pelo Decreto-Lei n.º 21/2019. Estes últimos distribuem-se por 15 escolas básicas de 2.º e 3.º ciclos e 3 escolas secundárias.

3.1 Quadro Legislativo

O processo de descentralização de competências para os municípios encontra-se enquadrado pela Lei n.º 50/2018, de 16 de agosto, que estabelece o quadro geral de transferência de competências da Administração Central para as autarquias locais e entidades intermunicipais, abrangendo, entre outras, as áreas da saúde e da educação (Lei n.º 50/2018, 2018).

No domínio da saúde, a concretização desta descentralização foi operacionalizada pelo Decreto-Lei n.º 23/2019, de 30 de janeiro, que definiu os termos e o âmbito da

transferência de competências para os municípios e entidades intermunicipais, nomeadamente na gestão e manutenção das unidades de cuidados de saúde primários, bem como na administração de recursos humanos e logísticos (Decreto-Lei n.º 23/2019, 2019). Este diploma foi posteriormente objeto de alterações através dos Decretos-Lei n.º 84/2019, de 28 de junho, n.º 56/2020, de 12 de agosto, e n.º 84-E/2022, de 14 de dezembro, que ajustaram e clarificaram aspetos operacionais, designadamente no que respeita ao património transferido, ao financiamento e à afetação de pessoal (Decreto-Lei n.º 84/2019, 2019; Decreto-Lei n.º 56/2020, 2020; Decreto-Lei n.º 84-E/2022, 2022).

Este diploma foi posteriormente objeto de alterações através dos Decretos-Lei n.º 84/2019, de 28 de junho, n.º 56/2020, de 12 de agosto, e n.º 84-E/2022, de 14 de dezembro, que ajustaram e clarificaram aspetos operacionais, designadamente no que respeita ao património transferido, ao financiamento e à afetação de pessoal.

Neste sentido, e de acordo com (Decreto-Lei nº50, 2018) as competências transferidas para os municípios incluem:

- Gestão de trabalhadores inseridos na carreira de assistente operacional;
- Participação em programas de promoção da saúde e prevenção da doença;
- Planeamento, gestão e realização de investimentos relativos a novas unidades de prestação de cuidados de saúde primários, incluindo construção, equipamento e manutenção.

Este processo de descentralização teve como objetivo reforçar a eficiência e a qualidade dos cuidados de saúde disponibilizados à população, aproximando a gestão dos serviços de saúde das necessidades e especificidades locais. Simultaneamente, promove uma maior autonomia dos municípios na administração dos recursos e na coordenação dos serviços de saúde, potenciando uma gestão mais eficaz, integrada e orientada para os contextos territoriais. (Decreto-Lei nº50/18).

A transferência de competências para a Domus Social ocorreu a 1 de janeiro de 2024, passando esta empresa municipal a assumir a responsabilidade pela gestão e manutenção dos edifícios e respetivos equipamentos, abrangendo diversas especialidades e tipologias de intervenção.

No domínio da educação, o Decreto-Lei n.º 21/2019, de 30 de janeiro, estabeleceu a transferência de competências para os municípios, abrangendo o planeamento, investimento e gestão do parque escolar, incluindo a manutenção das instalações, o fornecimento de refeições, a gestão de transportes escolares e a coordenação de recursos humanos não docentes (Decreto-Lei n.º 21/2019, 2019). Este enquadramento normativo foi posteriormente atualizado pelo Decreto-Lei n.º 16/2023, que introduziu ajustamentos resultantes da avaliação da execução do processo de descentralização e da necessidade de clarificar responsabilidades entre a Administração Central e os municípios (Decreto-Lei n.º 16/2023, 2023).

No âmbito desta descentralização, os órgãos municipais assumem responsabilidades específicas no planeamento, gestão e execução de investimentos em estabelecimentos de ensino da rede pública, nomeadamente nos 2.º e 3.º ciclos do ensino básico e no ensino secundário, incluindo o ensino profissional, com especial enfoque na construção, equipamento e manutenção das instalações (Decreto-Lei n.º 21/2019, 2019).

Adicionalmente, os municípios desempenham funções de gestão e apoio em toda a rede de educação pré-escolar e do ensino básico e secundário, incluindo o ensino profissional, destacando-se:

- a provisão de refeições escolares e a gestão dos refeitórios;
- o apoio a crianças e alunos no âmbito da ação social escolar;
- a gestão de recursos educativos;
- a aquisição de bens e serviços relacionados com o funcionamento dos estabelecimentos e atividades educativas, de ensino e desportivas;
- o recrutamento, seleção e gestão do pessoal não docente, nomeadamente assistentes operacionais e técnicos.

Complementarmente, os municípios são responsáveis por:

- garantir alojamento a alunos como alternativa ao transporte escolar;

- assegurar atividades de enriquecimento curricular em articulação com os agrupamentos de escolas;
- promover o cumprimento da escolaridade obrigatória;
- participar na organização da segurança escolar (Decreto-Lei n.º 21/2019, 2019).

O exercício destas competências deve ser realizado em articulação com os órgãos de gestão dos agrupamentos de escolas e escolas não agrupadas, garantindo a cooperação entre a administração municipal e a gestão pedagógica das instituições escolares.

O processo de transferência de competências na área da educação para o município do Porto implicou a integração de 15 escolas básicas de 2.º e 3.º ciclos e 3 escolas secundárias, conforme referido anteriormente, passando estas a ser discriminadas da seguinte forma:

Escolas básicas de 2.º e 3.º ciclos:

- Escola Básica 2/3 Manoel de Oliveira;
- Escola Básica 2/3 Viso;
- Escola Básica 2/3 Pêro Vaz de Caminha;
- Escola Básica 2/3 Maria Lamas.;
- Escola Básica 2/3S Leonardo Coimbra Filho;
- Escola Básica 2/3 Francisco Torrinha;
- Escola Básica 2/3 Gomes Teixeira;
- Escola Básica 2/3 Areosa;
- Escola Básica 2/3 Irene Lisboa;
- Escola Básica 2/3 Augusto Gil;
- Escola Básica 2/3 Miragaia;
- Escola Básica 2/3 Ramalho Ortigão;

Escolas secundárias:

- Escola Secundária Infante D. Henrique.
- Escola Secundária António Nobre;
- Escola Secundária Alexandre Herculano.

A transferência de competências para a Domus Social ocorreu a 22 de abril de 2022, passando esta empresa municipal a assumir a responsabilidade pela gestão e manutenção dos edifícios e respetivos equipamentos, abrangendo diversas especialidades e tipologias de intervenção.

4 Metodologia e Resultados

4.1 Descrição dos Casos de Estudo

Decorrente da transferência de competências na área da Educação da Administração Central para a Administração Local, e atendendo à necessidade de efetuar um levantamento cadastral dos espaços e equipamentos escolares, foi desenvolvido um projeto nas escolas EB 2/3 Gomes Teixeira e Escola EB 2/3S Leonardo Coimbra Filho, com o objetivo de identificar e cadastrar os espaços interiores, bem como georreferenciar os equipamentos das diversas especialidades existentes.

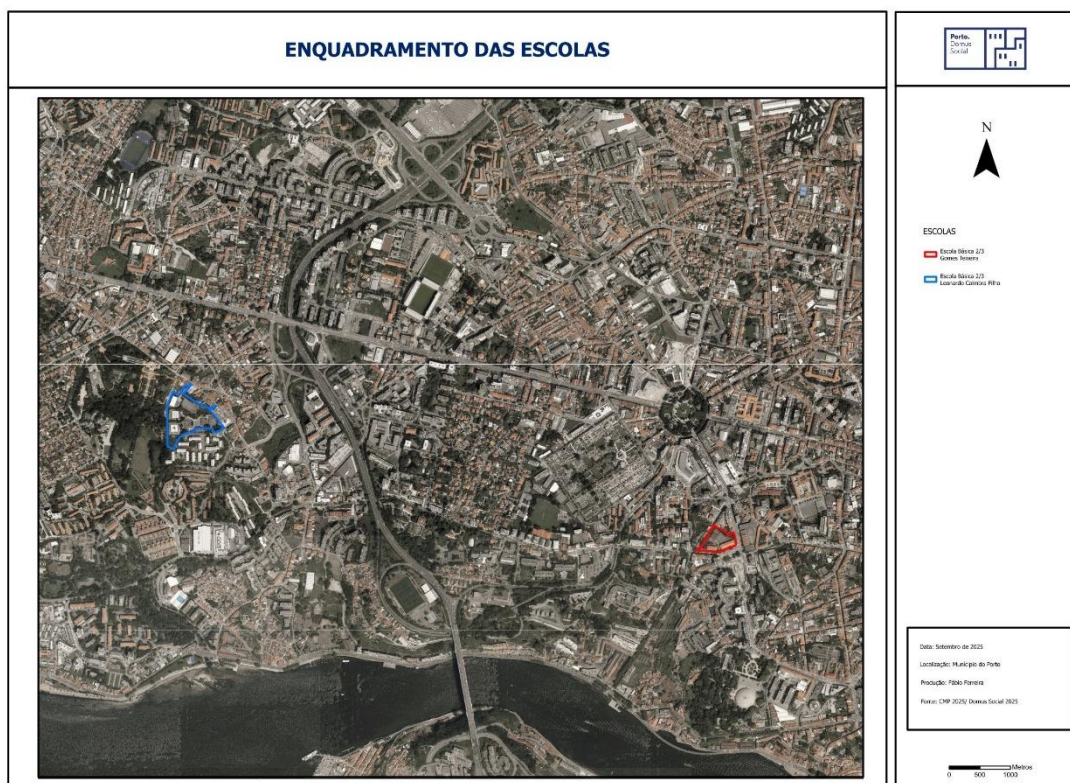


Figura 4 - Enquadramento das Escolas em estudo (Domus Social, 2025)

No que concerne ao enquadramento da Escola EB 2/3 Gomes Teixeira, esta localiza-se na União das Freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos, na zona ocidental da cidade do Porto. Foi oficialmente inaugurada a 19 de outubro de 1952, tendo sido edificada nos terrenos do antigo parque desportivo do Infante, com o propósito de responder à crescente procura de vagas para alunos após a conclusão da instrução primária.



Figura 5 - Escola EB 2/3 Gomes Teixeira (Domus Social, 2025)

O projeto arquitetónico da escola remonta ao período de 1947–1950, tendo sido desenvolvido a partir de um anteprojecto-tipo destinado a escolas técnicas elementares (Infante, 2025).

A designação da instituição homenageia Francisco Gomes Teixeira (1851–1933), eminente matemático português dos séculos XIX e XX, amplamente reconhecido pelo seu contributo para o desenvolvimento da ciência matemática em Portugal, bem como por ter sido o primeiro reitor da Universidade do Porto. Inicialmente, a instituição denominava-se Escola Técnica e Elementar Gomes Teixeira, e já em 1952 dispunha de ginásio, cantina e oficinas, constituindo uma infraestrutura de referência e modernidade para a época. O painel do espaço da cantina/refeitório foi executado pelo Mestre Júlio Resende, conceituado artista plástico e professor de Desenho (Infante, 2025).

No domínio da formação e do funcionamento, a escola integra o Agrupamento de Escolas Infante D. Henrique (AEIDH), que oferece ensino desde o pré-escolar até ao 12.º ano, incluindo cursos profissionais. No seu caso específico, a Escola EB 2/3 Gomes Teixeira ministra o 2.º ciclo do ensino básico (5.º e 6.º anos) e o 3.º ciclo do ensino básico (7.º, 8.º e 9.º anos) (Infante, 2025).

No que concerne à Escola EB 2/3S Dr. Leonardo Coimbra Filho, esta encontra-se situada na União das Freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos, no concelho do Porto, tendo sido oficialmente inaugurada em 1982. A escola integra o Agrupamento de Escolas Dr. Leonardo Coimbra Filho, que congrega diversas unidades de ensino, incluindo escolas de 1.º ciclo e jardins-de-infância, permitindo uma trajetória educativa contínua desde o pré-escolar até ao ensino básico intermédio. Este agrupamento é constituído escola EB 2/3 Leonardo Coimbra Filho e pelas escolas do 1º ciclo do Ensino EB/JI da Pasteleira, EB/JI Lordelo e EB das Condominhas (Domus Social, 2025; Agrupamento Leonardo Coimbra – Filho, 2025).



Figura 6 - Escola EB 2/3S Leonardo Coimbra Filho (Domus Social, 2025)

No domínio histórico, a Escola EB 2/3S Dr. Leonardo Coimbra Filho recebeu a sua designação em homenagem a Leonardo Augusto Coimbra (1914–1970), médico, político e filantropo português, amplamente reconhecido pelo papel que desempenhou na criação de instituições de apoio a crianças em situação de vulnerabilidade, bem como pelo seu contributo relevante para a causa social em Portugal (Universidade do Porto, 2025).

No que diz respeito à formação, o agrupamento dispõe de ofertas de cursos profissionais de nível secundário de Técnico/a Restaurante/Bar, Técnico/a de Cozinha/Pastelaria, Técnico/a de Desporto e Técnico/a de Animação em Turismo, viabilizando desta forma,

o interesse pelo prosseguimento nos estudos ou a inserção no mercado de trabalho (Agrupamento Leonardo Coimbra – Filho, 2025).

4.2 Desenho de Estudo

O desenvolvimento do presente projeto de investigação foi conduzido de forma autónoma, tanto em relação à ligação à BDGC da CMP, como à plataforma de cadastro existente na Domus Social (eSigma). Por um lado, optou-se por explorar as potencialidades das soluções open source, evitando as limitações associadas ao acesso e à gestão de dados da CMP. Por outro lado, devido a constrangimentos burocráticos e técnicos, a ligação ao eSigma ainda não é, neste momento, possível.

No âmbito do desenvolvimento do projeto, adotou-se uma abordagem faseada, organizada em quatro etapas fundamentais, com o objetivo de assegurar a recolha rigorosa de dados, a adequada estruturação da informação espacial e a sua posterior integração em sistemas digitais para fins de gestão e análise.

1ª fase - Levantamento

Nesta fase procedeu-se à recolha dos elementos base necessários para suportar as fases subsequentes, nomeadamente:

- Levantamento topográfico das instalações escolares, com recurso a equipamentos de medição georreferenciada, com vista à obtenção da representação planimétrica e altimétrica dos terrenos e edifícios;
- Levantamento arquitetónico dos edifícios escolares, incluindo a produção ou atualização de plantas, cortes e alçados, com base no levantamento topográfico e/ou elementos existentes.

2.ª Fase – Cadastro In Situ

Após a preparação da base cartográfica e documental, procedeu-se ao cadastro direto in situ, compreendendo:

- Preparação da base de dados, estruturada para albergar a informação relativa a compartimentos e equipamentos, assegurando a normalização e integridade dos dados;

- Cadastro de compartimentos, com atribuição de códigos únicos, definição da localização geográfica e identificação funcional (designação e uso);
- Cadastro de equipamentos, incluindo o registo de informação técnica (tipo, modelo, marca, estado de conservação, entre outros), bem como a respetiva georreferenciação e associação ao compartimento correspondente.

3.ª Fase – Identificação dos objetos de estudo

Concluído os levantamentos, procedeu-se à identificação/cadastro dos elementos registados, através da aplicação de:

- Chapas identificativas nos compartimentos, contendo códigos únicos de referência, compatíveis com a base de dados implementada;
- Etiquetas NFC nos equipamentos, permitindo a leitura e consulta de informação técnica através de dispositivos móveis, com ligação à base de dados central.

4.ª Fase – Integração dos dados em ambiente SIG

Numa última fase, os dados recolhidos e estruturados foram integrados em ambientes digitais de suporte à gestão e análise:

- Integração da informação em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), nomeadamente através das plataformas QGIS e/ou ArcGIS, permitindo a visualização geoespacial dos compartimentos e equipamentos, bem como a realização de análises espaciais.

Desta forma, e numa fase inicial, foi realizado o levantamento arquitetónico das instalações escolares, com recurso a tecnologia de varrimento laser 3D, visando a obtenção de uma representação espacial precisa e detalhada dos edifícios em planta. Os dados adquiridos foram posteriormente processados e modelados em software especializado (AutoCAD), permitindo a geração de desenhos técnicos exatos e atualizados. Este processo possibilitou a identificação, delimitação e codificação de todos os compartimentos, de acordo com a estrutura de referência da plataforma interna de gestão patrimonial e de cadastro da Domus Social, eSigma.

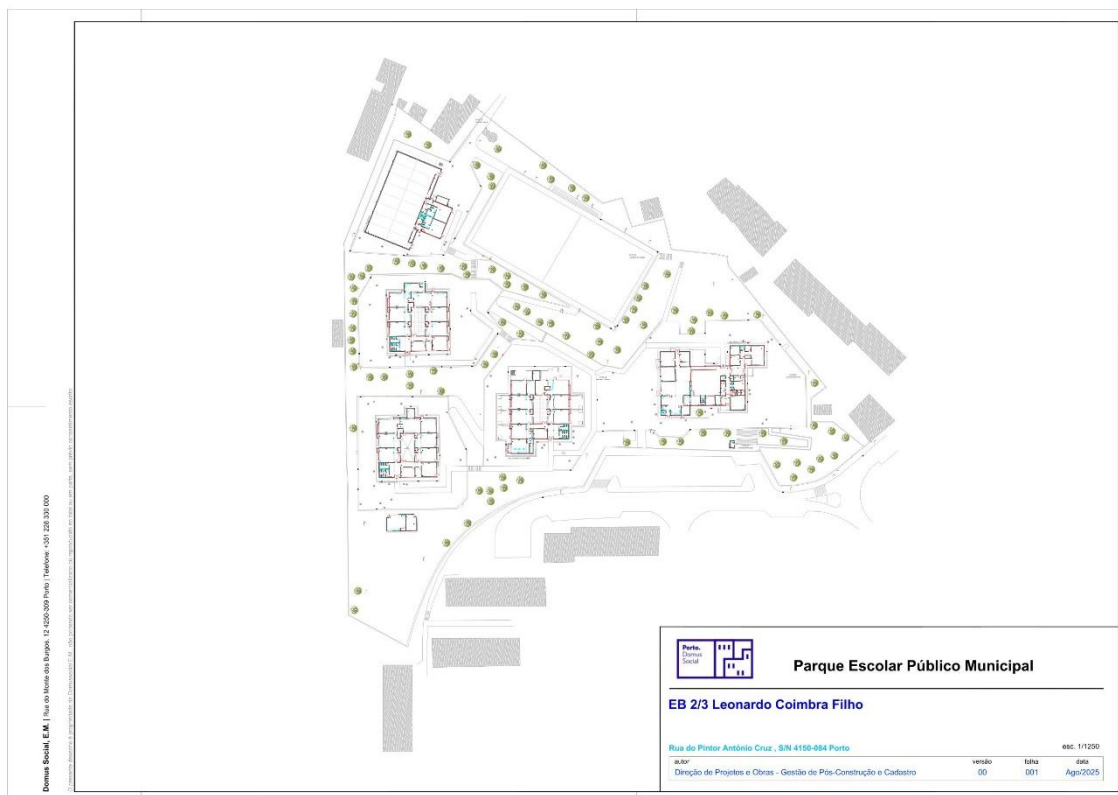


Figura 7 - Planta de Implantação da Escola EB 2/3S Leonardo Coimbra Filho (Domus Social, 2025)

A gestão do cadastro da Domus Social E.M., com base na plataforma eSigma, compreende a identificação e classificação de todos os edifícios e espaços sob a sua responsabilidade, designados como Objetos Fonte de Manutenção (OFM). Estes são estruturados em duas categorias hierárquicas:

OFM de 1.º grau:

- ✓ Corresponde aos edifícios e espaços sujeitos a manutenção direta pela Domus Social, abrangendo tipologias diversificadas, incluindo habitação, estabelecimentos escolares e outras infraestruturas funcionais.

2. OFM de 2.º grau:

- ✓ Refere-se às subdivisões internas dos OFM de 1.º grau, como compartimentos, áreas funcionais ou unidades espaciais específicas. Estas subdivisões adquirem o estatuto de OFM para efeitos de manutenção e gestão operacional.

A codificação dos OFM de 2.º grau segue uma regra estruturada, garantindo uma identificação sistemática e padronizada:

“Tipologia de Uso do OFM” → “Número de Piso” → “Número de Cadastro (Ordem)” → “Designação Interna do OFM”

- Tipologia de Uso: Identifica a função do espaço, por exemplo, salas (SL), áreas exteriores (EE), auditórios (AU), cozinhas (CR), entre outros.
- Número de Piso: Corresponde ao piso em que o OFM se encontra.
- Número de Cadastro (Ordem): Atribuído de forma sequencial, seguindo, sempre que possível, a orientação do sentido dos ponteiros do relógio a partir da entrada principal.
- Designação Interna: Reflete a identificação do espaço segundo a nomenclatura interna utilizada pelos utilizadores ou técnicos responsáveis.

No que concerne aos equipamentos instalados nos OFM, a codificação inclui a identificação do tipo de OFM, do edifício e do equipamento, permitindo gerir de forma consistente múltiplos dispositivos de um mesmo tipo. Por exemplo, um equipamento de climatização numa escola básica pode ser codificado como: EB23S_GOMESTEIXEIRA_AC_01, indicando o tipo de edifício (EB23S), a localização (Gomes Teixeira) e a numeração sequencial do equipamento (01).

Esta metodologia assegura uma gestão integrada, estruturada e rastreável dos edifícios e equipamentos, constituindo uma base sólida para a manutenção preventiva e corretiva, planeamento de intervenções e monitorização operacional (Domus Social, 2025).

Derivado desta metodologia existente na plataforma de cadastro da Domus Social, E.M. aplicou-se a mesma para o registo e identificação dos equipamentos das diferentes especialidades nas plantas de arquitetura, igualmente derivadas do referido levantamento arquitetónico.

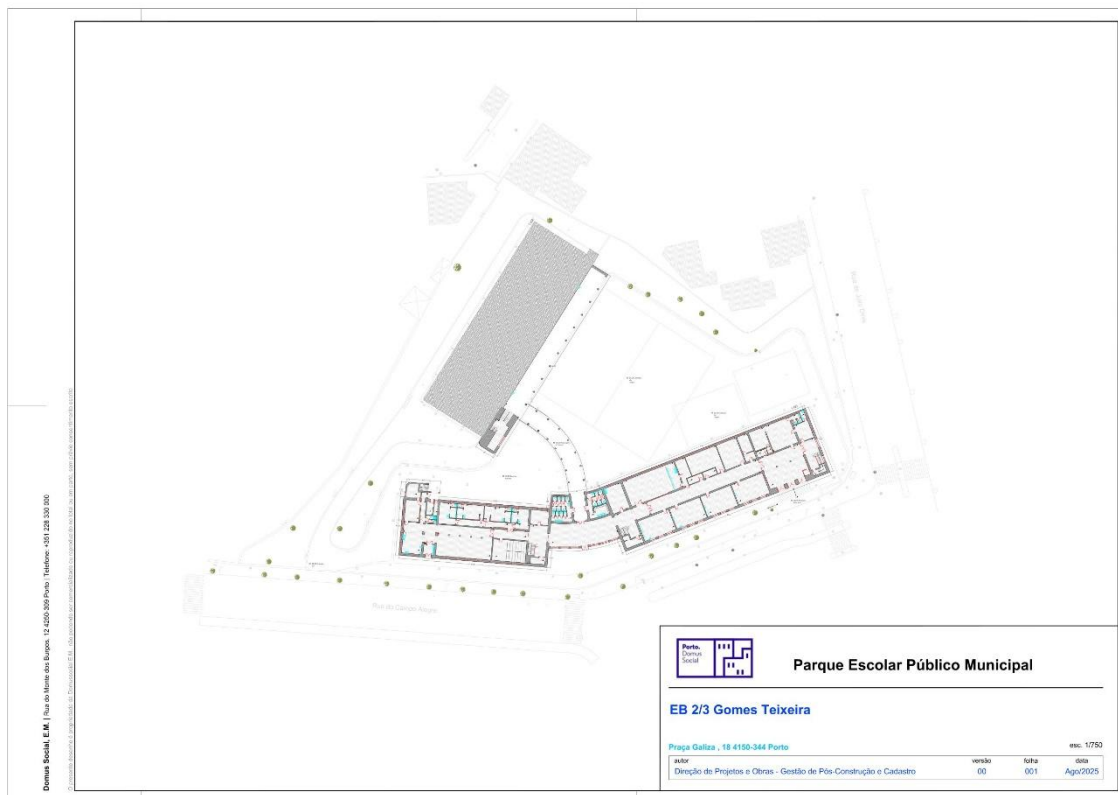


Figura 8 - Planta de Implantação da Escola EB 2/3 Gomes Teixeira (Domus Social, 2025)

Após esta fase, realizou-se a preparação da base de dados, de forma estruturada para acolher a informação relativa a compartimentos (nomeadamente códigos, designações, localização e tipologia de uso) e a equipamentos (incluindo tipo, modelo, marca, estado de conservação, e respetiva localização georreferenciada).

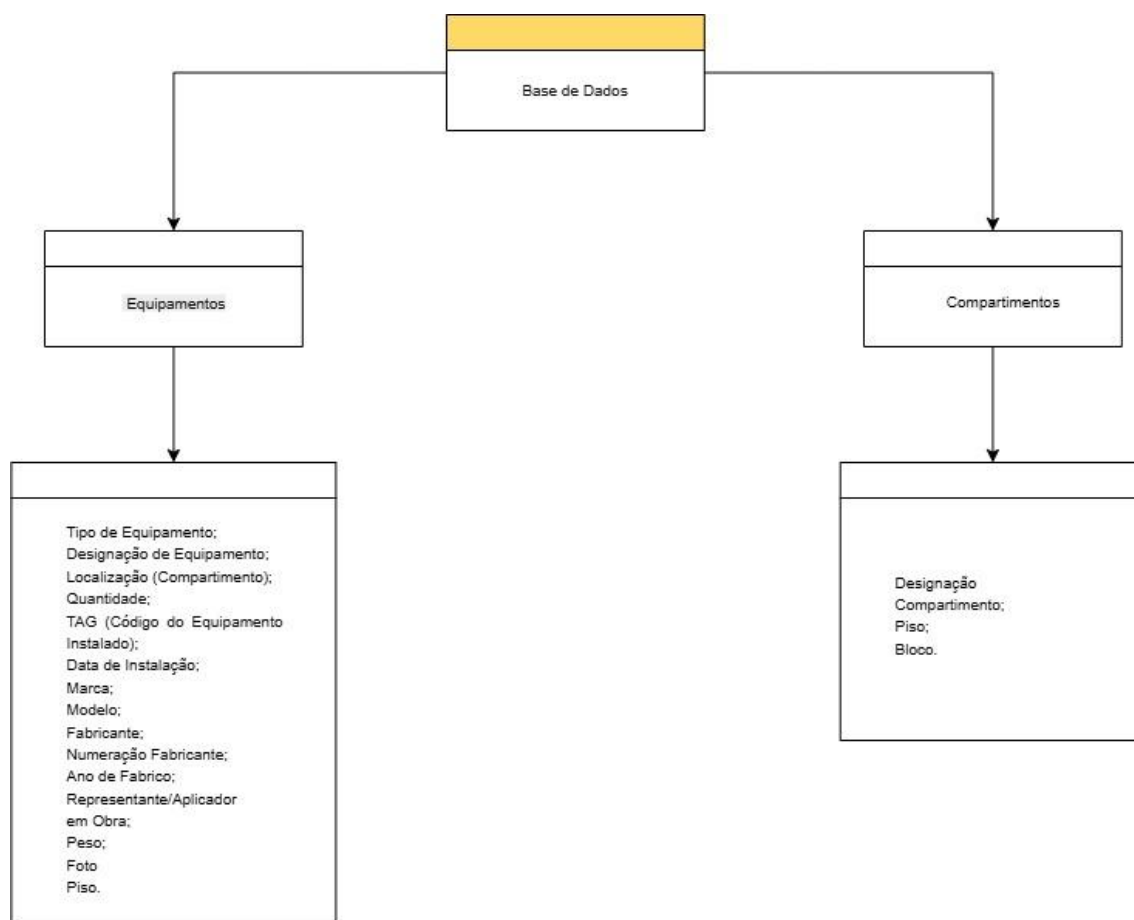
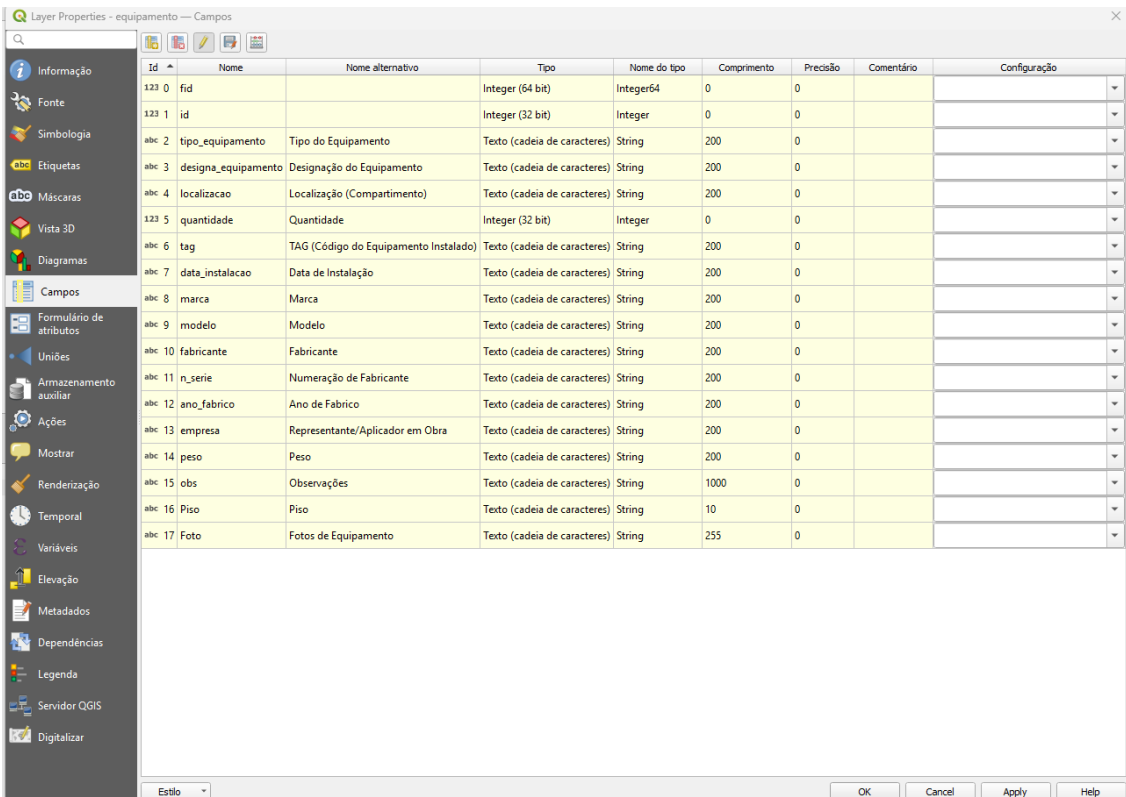


Figura 9 - Estrutura dos dados (Domus Social, 2025)

No âmbito da informação alfanumérica, foram estabelecidos os atributos a considerar, tomando como referência a base de dados utilizada no projeto piloto anteriormente referido na Escola Secundária Alexandre Herculano, contando ainda com o apoio e colaboração das áreas de manutenção da Domus Social.

Com efeito, os atributos definidos para a estruturação da base de dados incidiram sobre diversas especialidades técnicas, nomeadamente: Eletricidade, Telecomunicações, Segurança Contra Incêndio, AVAC, Ascensores, Rede de Gás e Sistemas de Bombagem. A seleção destes atributos teve como objetivo garantir a uniformização da informação disponível, assegurando a sua adequação às necessidades de gestão e manutenção preventiva, bem como a sua articulação entre diferentes áreas funcionais. Deste modo, a base de dados constitui-se como um instrumento de suporte à tomada de decisão,

promovendo uma maior eficiência operacional e facilitando a monitorização sistemática do desempenho dos equipamentos e infraestruturas.



	Id	Nome	Nome alternativo	Tipo	Nome do tipo	Comprimento	Precisão	Comentário	Configuração
123	0	fid		Integer (64 bit)	Integer64	0	0		
123	1	id		Integer (32 bit)	Integer	0	0		
abc	2	tipo_equipamento	Tipo do Equipamento	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	3	designa_equipamento	Designação do Equipamento	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	4	localizacao	Localização (Compartimento)	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
123	5	quantidade	Quantidade	Integer (32 bit)	Integer	0	0		
abc	6	tag	TAG (Código do Equipamento Instalado)	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	7	data_instalacao	Data de Instalação	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	8	marca	Marca	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	9	modelo	Modelo	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	10	fabricante	Fabricante	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	11	nserie	Numeração de Fabricante	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	12	ano_fabrico	Ano de Fabrico	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	13	empresa	Representante/Aplicador em Obra	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	14	peso	Peso	Texto (cadeia de caracteres)	String	200	0		
abc	15	obs	Observações	Texto (cadeia de caracteres)	String	1000	0		
abc	16	piso	Piso	Texto (cadeia de caracteres)	String	10	0		
abc	17	Foto	Fotos de Equipamento	Texto (cadeia de caracteres)	String	255	0		

Figura 10 - Estrutura de dados dos Equipamentos

Assim, para a *shapefile* dos equipamentos foram definidos os seguintes atributos: Tipo de Equipamento, Designação do Equipamento, Localização (Compartimento), Quantidade, TAG (código do equipamento instalado), Data de Instalação, Marca, Modelo, Fabricante, Numeração de Fabricante, Ano de Fabrico, Representante/Aplicador em Obra, Peso, Observações, Piso e Fotografia do Equipamento.

Para a integração de fotografias no processo de levantamento, foi criado um campo específico do tipo texto, destinado a armazenar o respetivo identificador ou caminho de ficheiro. Posteriormente, no formulário de atributos, procederam-se às configurações necessárias para converter a informação textual em hiperligações para imagens. Definiu-se, ainda, o diretório para o armazenamento das fotografias, assegurando a correspondência entre os ficheiros visuais e os registos obtidos no software de recolha de dados.

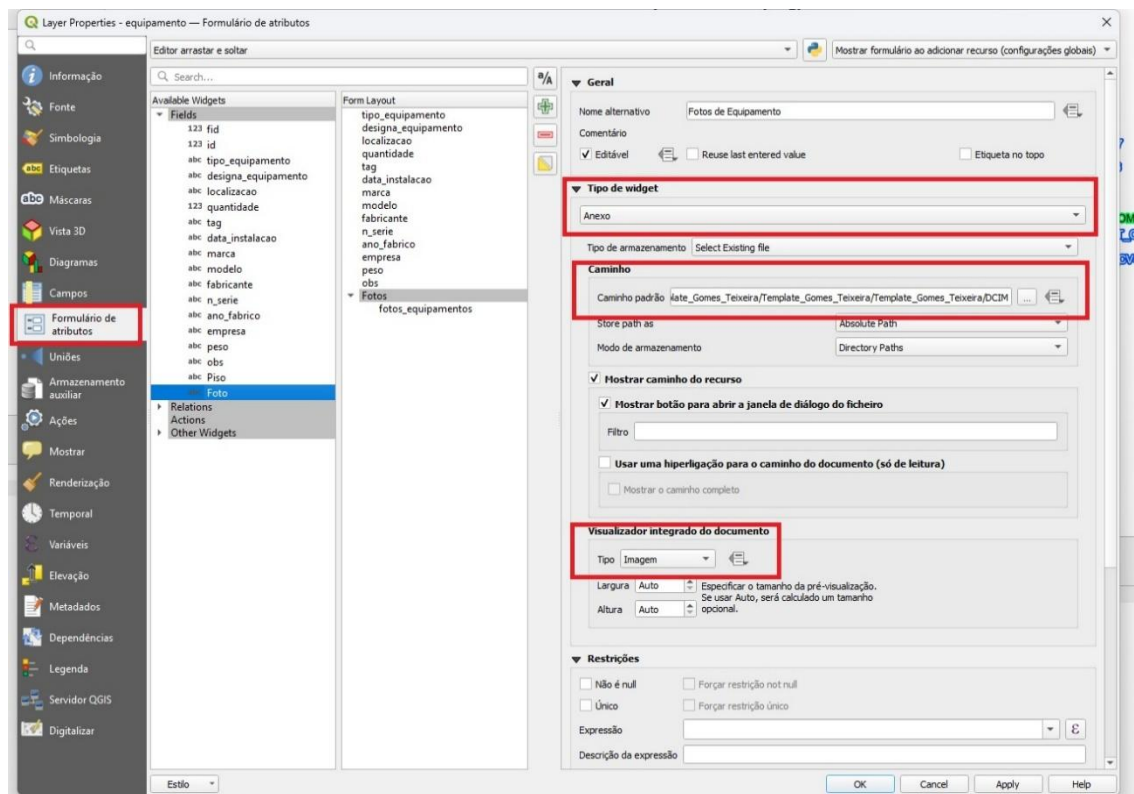


Figura 11 - Criação de atributo de Fotografias

No que diz respeito à informação dos compartimentos, foi criada uma *shapefile* de polígonos com os compartimentos, com base nos códigos criados para o eSigma e refletidos nas plantas de arquitetura. Esta *shapefile* contém informação do edifício e do piso dos compartimentos da escola.

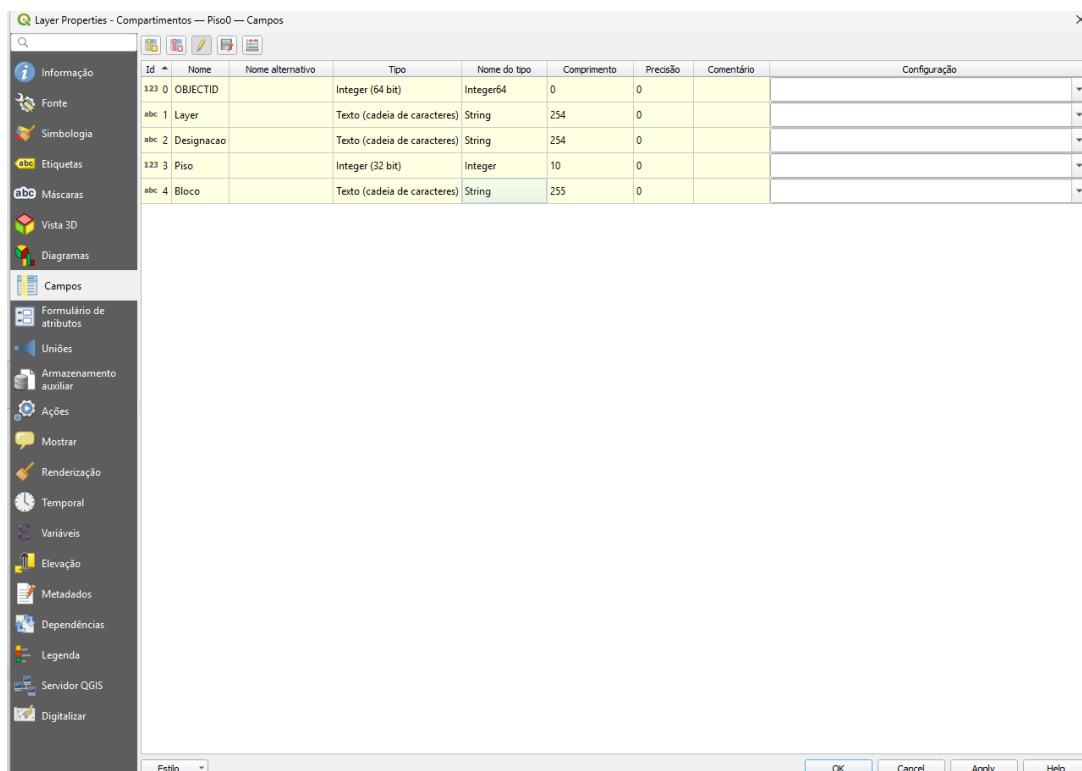


Figura 12 - Estrutura de dados dos Compartimentos

Após a criação das duas shapefiles, estas foram convertidas para o formato GeoPackage, de modo a dar início à preparação do levantamento cadastral das infraestruturas escolares. Procedeu-se, então, à criação do projeto no software QGIS, versão 3.38 (Grenoble). No âmbito deste projeto, os diferentes compartimentos foram devidamente identificados com base no levantamento arquitetónico previamente realizado e representados nas respetivas plantas de arquitetura. Paralelamente, foi integrada a base de dados relativa aos equipamentos existentes, com vista à sua posterior incorporação e utilização na aplicação QField, permitindo uma recolha de dados em campo de forma estruturada e georreferenciada. Importa salientar que o processo de levantamento através do QField apenas é funcional se a base de dados estiver no formato. gpkg.



Concluída esta etapa, iniciou-se a fase de cadastro *in situ*, etapa fundamental para a caracterização funcional e técnica dos espaços.



A realização do cadastro permitiu a validação cruzada entre a informação gráfica obtida no levantamento e a realidade física observada no local, assegurando, desta forma, a

confiabilidade e a precisão dos dados registados. Esta abordagem garantiu que a base de dados refletisse fielmente as condições existentes, constituindo um suporte robusto para a gestão futura dos espaços e dos equipamentos.



Figura 15 - Levantamento in situ de equipamentos no QField

Durante o processo de levantamento cadastral, foi realizada a identificação e o registo dos compartimentos e respetivos equipamentos através da aplicação QField, conforme ilustrado na Figura 13. As designações atribuídas seguiram a ordem sequencial definida na plataforma interna de cadastro, garantindo a uniformidade e rastreabilidade da informação. Um dos equipamentos identificados no local corresponde a um extintor de dióxido de carbono, com a designação EB23_GOMESTEIXEIRA_AC_01, localizado no compartimento SL-00.08, tendo sido registado com o respetivo suporte fotográfico, tanto do equipamento como do espaço envolvente.

Adicionalmente, procedeu-se à colocação de uma etiqueta identificadora (tag) em cada equipamento das diferentes especialidades (Figura 14), com o intuito de permitir, numa fase posterior, a integração dessa informação numa base de dados centralizada. Esta base de dados visa a consolidação de toda a documentação técnica associada ao equipamento, nomeadamente o histórico de manutenções, manuais de operação,

planos de manutenção e outros documentos relevantes, com vista à implementação de um sistema eficaz de gestão de manutenção preventiva e corretiva.



Figura 16 - Extintor da Escola Básica 2/3 Gomes Teixeira



Figura 17 - Compartimento da Escola Básica 2/3 Gomes Teixeira

A sincronização e georreferenciação dos dados permite uma identificação rápida e precisa da localização dos equipamentos no espaço físico da escola. A integração com registos fotográficos possibilita a validação visual do estado de conservação dos

equipamentos, bem como a verificação da correspondência entre os elementos registrados, as tags atribuídas e a chapa identificativa de cada compartimento.

4.3 Materiais e Fontes de Dados

Os dados de base foram obtidos a partir do levantamento arquitetónico das escolas e, posteriormente, convertidos em desenhos digitais assistidos por computador (CAD), organizados por piso. Estes constituíram a base para a geração de mapas vetoriais segmentados por camadas, integrados no SIG. A estruturação dos elementos geográficos e das respetivas relações espaciais, operacionalizada através de um conjunto de tabelas relacionais armazenadas numa shapefile e posteriormente convertida em geopackage, possibilitou a realização de análises espaciais avançadas. Considerando que a georreferenciação representa, frequentemente, a etapa inicial do processo de análise espacial, procedeu-se ao ajustamento das plantas arquitetónicas das escolas ao levantamento topográfico realizado em simultâneo, recorrendo ao sistema de coordenadas projetadas específico (ETRS89 / Portugal TM06).

A base de dados referente aos equipamentos e compartimentos foi desenvolvida a partir da estrutura de informação já existente na Domus Social, tomando como referência a lógica de organização da plataforma interna, o eSigma. No domínio dos equipamentos, a informação contemplou as especialidades técnicas que integram o âmbito de atuação da área de manutenção da Domus Social, nomeadamente: Eletricidade, Telecomunicações, Segurança Contra Incêndios, AVAC, Ascensores, Rede de Gás e Sistemas de Bombagem. A definição e normalização dos atributos resultaram de um processo colaborativo entre a área de manutenção e a área de cadastro, o que possibilitou a estruturação coerente e sistematizada da informação associada a cada equipamento.

Para a criação dos geopackage dos equipamentos e compartimentos, bem como para a integração das plantas de arquitetura em ambiente SIG, recorreu-se a dois softwares de referência no domínio dos Sistemas de Informação Geográfica: o ArcGIS Pro 3.2.2 (ESRI) e o QGIS 3.38 Grenoble.

No que concerne ao processo de cadastro e georreferenciação dos equipamentos e à sua associação aos respetivos compartimentos, com base na criação e importação de

mapas, recorreu-se a aplicações de referência para levantamento em ambiente SIG, nomeadamente ao QField for QGIS.

A adoção da aplicação QField revelou-se uma opção estratégica fundamentada na necessidade de maior autonomia relativamente à BDGC gerida pela CMP. Esta escolha permitiu uma abordagem mais flexível na criação de geopackages e na sua integração em projetos de recolha de dados baseados em software open source, favorecendo uma maior adaptabilidade às especificidades do levantamento de campo. Para além de facilitar significativamente o processo de recolha in situ, esta solução contribuiu para uma gestão e análise mais eficiente e autónoma dos dados geoespaciais recolhidos.

Após o trabalho de campo realizado nas escolas, recorreu-se novamente a softwares SIG, com o objetivo de obter a representação geométrica da estrutura interna dos edifícios escolares e de desenvolver um modelo integrado que abrange a totalidade dos espaços interiores. Este modelo contempla não apenas a componente geométrica, mas também a informação alfanumérica associada, garantindo a correspondência espacial com os equipamentos existentes.

4.4 Análise dos Resultados

No âmbito do presente trabalho foi efetuado um levantamento exaustivo dos equipamentos e dos compartimentos/espços existentes em duas escolas, com o propósito de desenvolver um sistema estruturado de gestão e monitorização dos ativos técnicos do edifício.

Atendendo à complexidade da infraestrutura, à diversidade das especialidades técnicas envolvidas e à necessidade de assegurar um registo normalizado, o processo revelou-se particularmente detalhado e exigente. A execução deste projeto implicou a articulação de diversas áreas da empresa, permitindo o cadastro de equipamentos pertencentes às seguintes especialidades:

- **Eletricidade:** bateria de condensadores; fontes de alimentação ininterrupta (UPS); grupos geradores; instalações fotovoltaicas; posto de transformação (PT); quadros elétricos (QE); sistema de correção de fator de potência.

- **Informática:** bastidores.

- **Segurança:** compartimentação corta-fogo; sistema de desenfumagem; extintores; rede de incêndio armada (RIA); sistemas automáticos de deteção e extinção de incêndios (SADEI); sistemas automáticos de deteção de incêndios (SADI); sistemas automáticos de deteção de intrusão (SADIR); sistemas automáticos de deteção de gás (SADG); sistemas automáticos de deteção de monóxido de carbono (SADCO); iluminação de emergência.

- **AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado):** unidades de ar condicionado (splits); bombas de calor; caldeiras; circuladores; depósitos acumuladores; chillers; gestão técnica centralizada (GTC); humificadores; instalação solar térmica; permutadores de calor; quadros elétricos associados ao AVAC; radiadores; sistemas de tratamento de águas e enchimento; sistemas de climatização de precisão; unidades de

tratamento de ar (UTA); vasos de expansão; ventilação mecânica; ventiloconvectores (fan-coils).

- **Ascensores:** elevadores, monta-cargas e plataformas elevatórias.
- **Rede de Gás:** contadores, válvulas de corte, tubagens e queimadores;
- **Hidráulica:** cisternas e reservatórios; grupos de bombagem (incêndio e abastecimento); grupos de drenagem; grupos de pressurização (abastecimento); sistema de águas quentes sanitárias (AQS);
- **Audiovisuais:** quadros interativos; vídeo-projetores.

Escola EB 2/3 Gomes Teixeira

Foram registados um total de 59 equipamentos, distribuídos pelos três pisos do edifício e por uma área exterior. No que respeita aos compartimentos, foram identificados e cadastrados 152 espaços, cuja distribuição se apresenta da seguinte forma:

No Piso 0, foram registados 30 equipamentos, distribuídos pelas seguintes especialidades:

- 2 equipamentos de informática, correspondentes a bastidores;
- 9 equipamentos de AVAC, incluindo sistemas de ventilação, bombas circuladoras, vasos de expansão, caldeiras e termoacumuladores;
- 8 equipamentos de eletricidade, nomeadamente quadros elétricos, grupo gerador, UPS e posto de transformação (PT);
- 9 equipamentos de segurança contra incêndio, entre os quais extintores, registos corta-fogo e bocas de incêndio armadas (RIA);
- 1 equipamento da rede de gás, composto por válvulas e tubagens;
- 1 equipamento de elevação, correspondente a uma plataforma elevatória.

No que diz respeito aos espaços físicos, foram identificados e georreferenciados 57 compartimentos, entre os quais se incluem: corredores, escadas, salas de aula, áreas de

apoio administrativo, instalações sanitárias, biblioteca, zonas técnicas, átrios e a cozinha/refeitório.

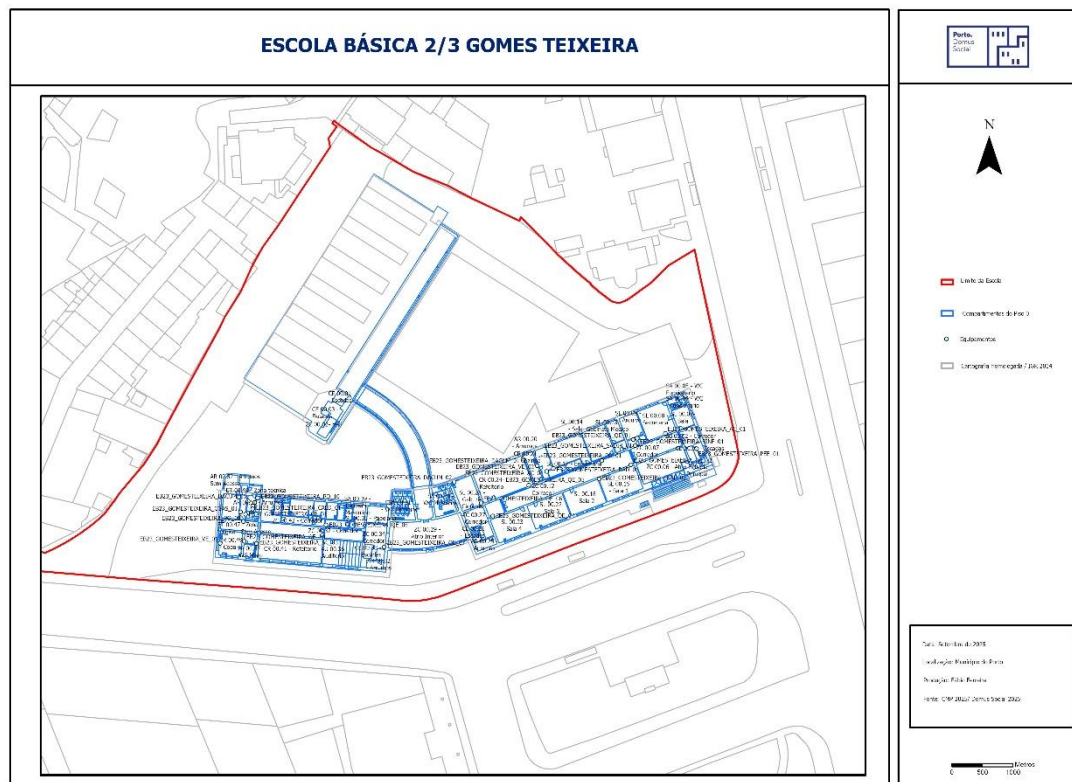


Figura 18 - Planta do cadastro do Piso 0 da Escola Básica 2/3 Gomes Teixeira

No Piso 1, foram registados 23 equipamentos, com a seguinte distribuição por especialidade:

- 3 equipamentos de informática, correspondentes a bastidores;
- 10 equipamentos de eletricidade, todos referentes a quadros elétricos;
- 6 equipamentos de segurança contra incêndio, nomeadamente extintores;
- 4 equipamentos de AVAC, incluindo depósitos acumuladores e radiadores.

Relativamente aos compartimentos, foram identificados 61 espaços, abrangendo salas de aula, ginásio, instalações sanitárias, corredores, áreas de cozinha/refeitório e gabinetes administrativos.

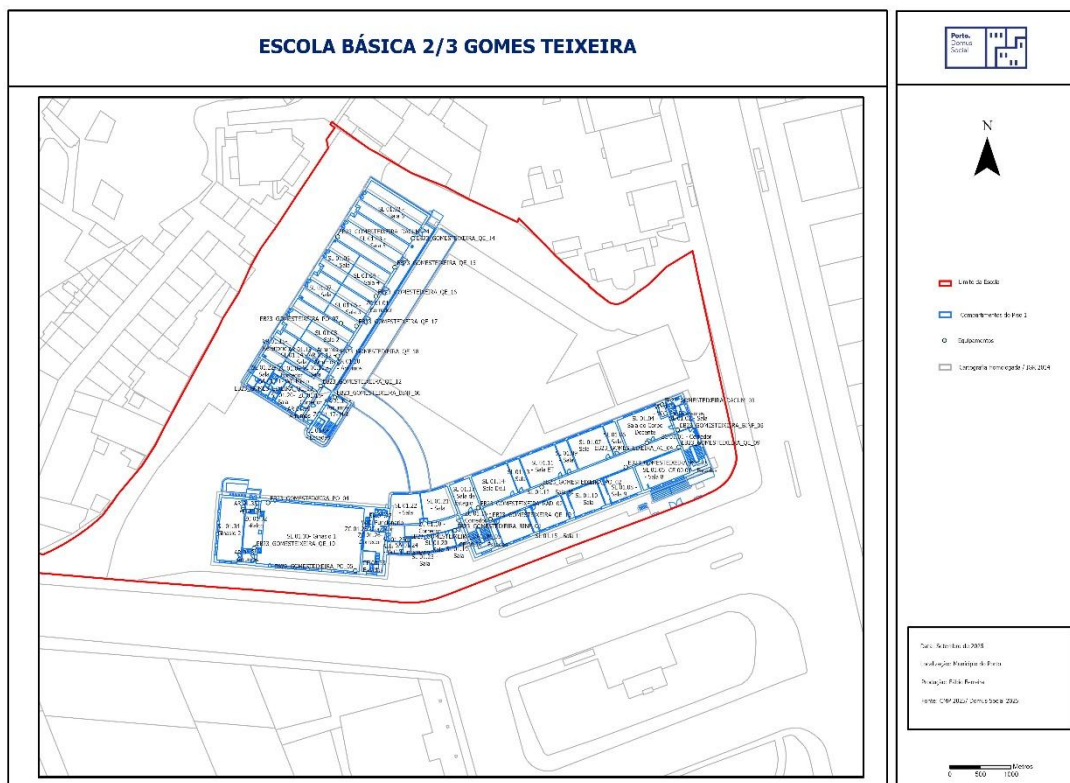


Figura 19 - Planta do cadastro do Piso 1 da Escola Básica 2/3 Gomes Teixeira

No Piso 2, foram registados 5 equipamentos, distribuídos pelas seguintes especialidades:

- 2 equipamentos de eletricidade, correspondentes a quadros elétricos;
- 2 equipamentos de segurança contra incêndio, nomeadamente extintores;
- 1 equipamento de informática, correspondente a um bastidor.

Foram ainda identificados 23 compartimentos, incluindo salas de aula, espaços de arrumos, instalações sanitárias, corredores e salas de apoio.

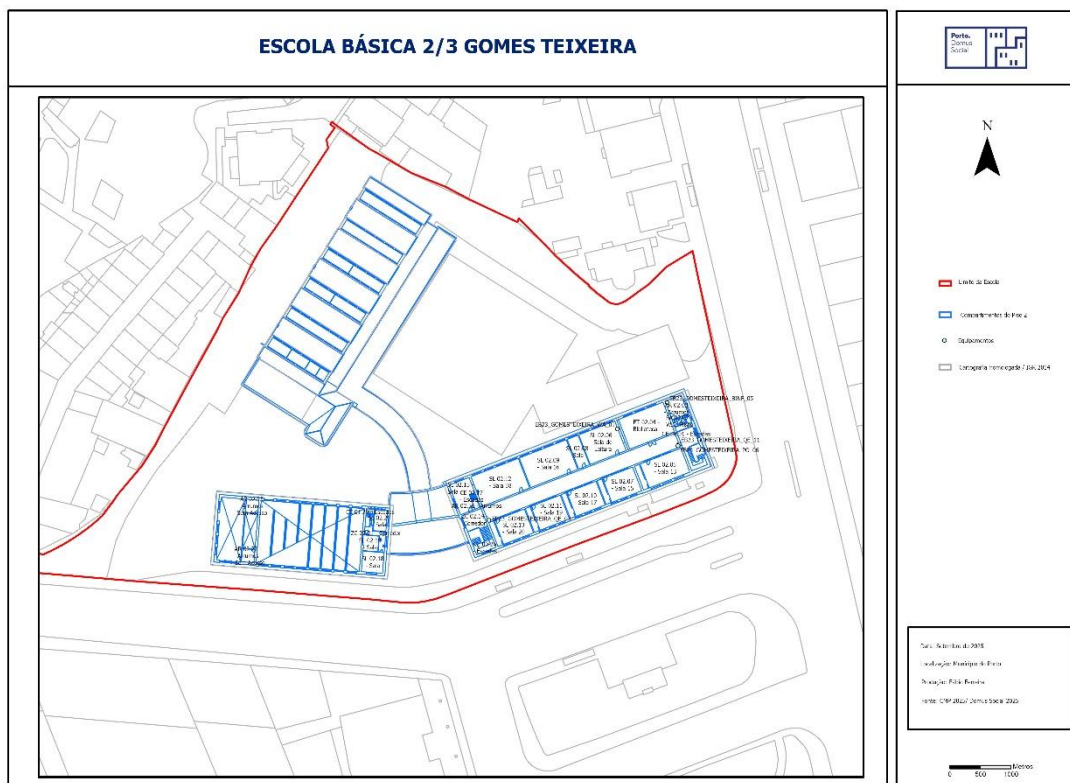


Figura 20 - Planta do cadastro do Piso 2 da Escola Básica 2/3 Gomes Teixeira

No espaço exterior ao edifício, bem como no Piso -1, que se encontram representados na mesma planta, foi registado um único equipamento pertencente à rede de gás, constituído por válvula e tubagem.

Já, relativamente ao Piso -1, foram identificados quatro compartimentos, correspondentes a arrumos e à caixa de escadas.

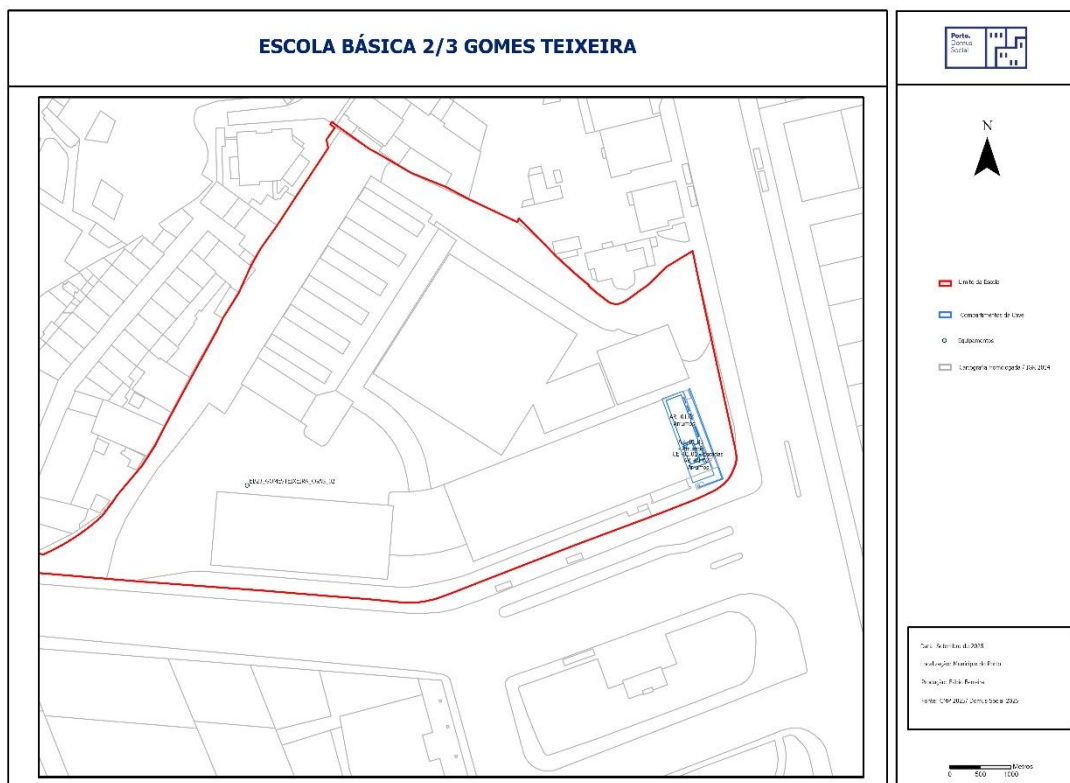


Figura 21 - Planta do cadastro do Piso -1 da Escola Básica 2/3 Gomes Teixeira

Escola EB 2/3S Leonardo Coimbra

Foram registados, no total, 81 equipamentos, distribuídos por dois pisos do edifício e por uma área exterior. No que respeita aos compartimentos, foram identificados e cadastrados 162 espaços, cuja distribuição é apresentada de seguida.

No Piso 0, contabilizaram-se 73 equipamentos, com a seguinte distribuição por especialidade:

- 15 equipamentos de AVAC, incluindo sistemas de ar condicionado, depósitos acumuladores e unidades de ventilação mecânica;
- 6 equipamentos de informática, correspondentes a bastidores;
- 1 equipamento da rede de gás, composto por válvula e tubagem;
- 10 equipamentos de eletricidade, referentes a quadros elétricos;

- 40 equipamentos de segurança, nomeadamente extintores, sistemas automáticos de deteção de incêndios (SADI), sistemas automáticos de deteção e intrusão (SADIR) e bocas de incêndio armadas (RIA).

Quanto à organização espacial, foram georreferenciados 152 compartimentos no Piso 0, distribuídos por quatro blocos, um anexo e um ginásio, englobando corredores, átrios, salas de aula, áreas de arrumos, instalações sanitárias e zonas de cozinha/refeitório.

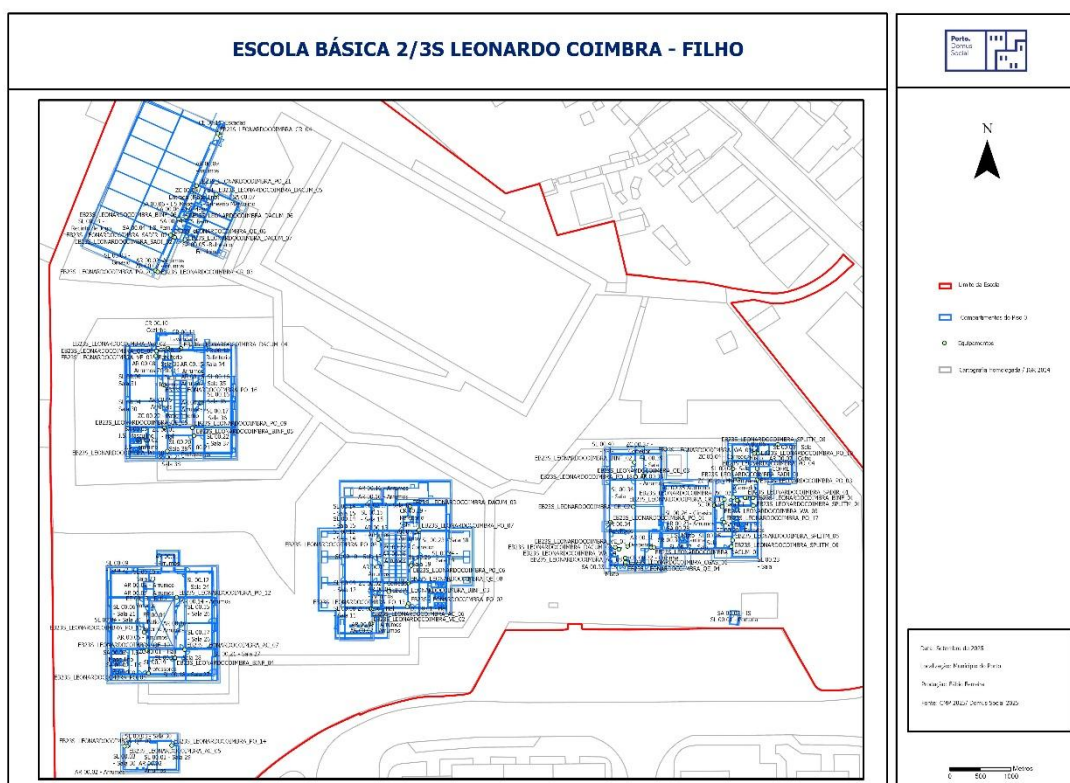


Figura 22 - Planta do cadastro do Piso 0 da Escola Básica 2/3S Leonardo Coimbra – Filho

No Piso 1, foram registados 6 equipamentos, dos quais 3 pertencem à especialidade de segurança, correspondentes a extintores, e 3 à especialidade de AVAC, nomeadamente unidades de ar condicionado.

Relativamente à compartimentação deste piso, foram identificados 4 espaços, incluindo salas, instalações sanitárias e uma varanda.

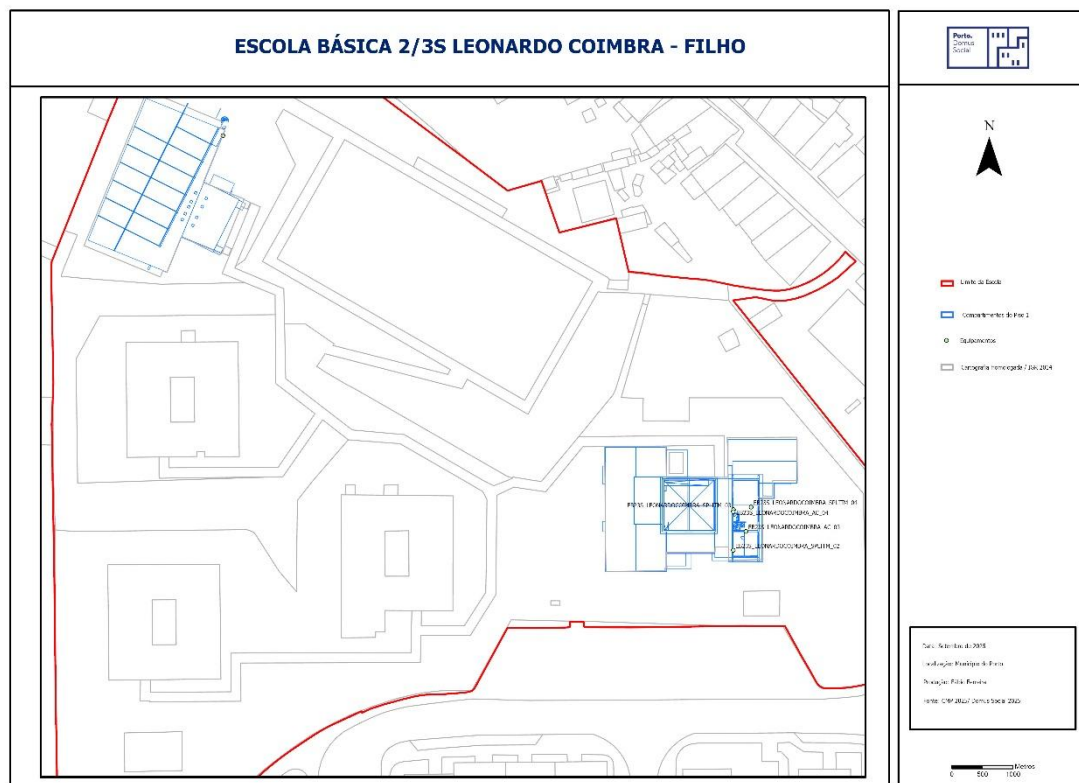


Figura 23 - Planta do cadastro do Piso 1 da Escola Básica 2/3S Leonardo Coimbra - Filho

Na área exterior, foram registados 2 equipamentos de segurança, ambos extintores.

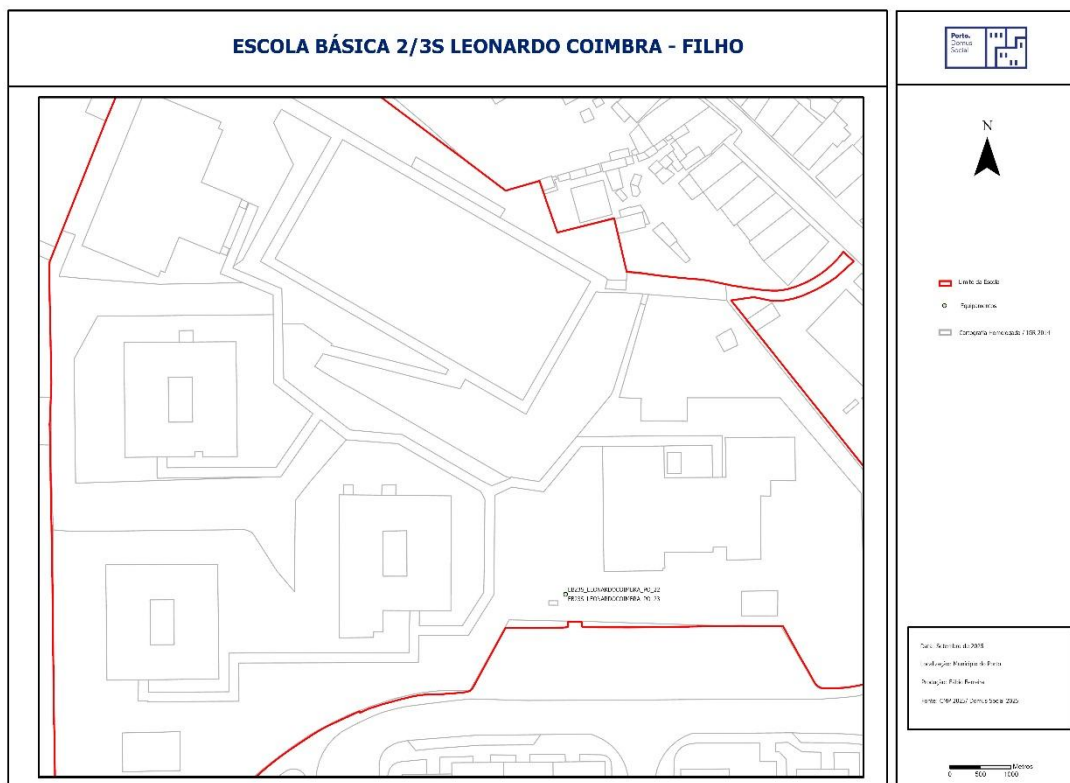


Figura 24 - Planta do cadastro do espaço exterior da Escola Básica 2/3S Leonardo Coimbra - Filho

O levantamento e cadastro técnico realizado possibilitou a estruturação de uma base de dados detalhada e fiável, constituindo um instrumento essencial para a implementação de um sistema de gestão eficiente dos ativos escolares. A informação recolhida facilitará a manutenção preventiva e corretiva, contribuindo para a otimização do funcionamento dos sistemas técnicos, reforçando simultaneamente a segurança e a eficiência energética das infraestruturas.

A integração de tecnologias SIG neste processo revelou-se particularmente vantajosa, permitindo uma gestão mais eficiente e estruturada dos dados espaciais. Estas ferramentas proporcionam uma compreensão aprofundada da relação entre os equipamentos, a sua localização georreferenciada, o registo fotográfico associado e a atribuição de identificadores únicos (tags), potenciando a organização e a análise da informação.

A utilização de SIG possibilita a integração de múltiplas camadas de dados e favorece análises espaciais avançadas, suportando uma tomada de decisão mais informada. Com

a georreferenciação, é possível monitorizar em tempo real a distribuição dos equipamentos, identificar padrões de funcionamento e antecipar necessidades de manutenção ou de intervenção, promovendo uma gestão de elevado rendimento.

Paralelamente, a associação de registos fotográficos aos elementos georreferenciados constitui uma ferramenta de documentação visual essencial para processos de inspeção, certificação e manutenção.

Em síntese, a adoção de soluções SIG na Domus Social representa um avanço significativo no domínio da digitalização e modernização da gestão de infraestruturas, permitindo uma abordagem estratégica e sustentável na administração dos espaços e equipamentos.

6. Discussão dos Resultados

O levantamento técnico realizado nas escolas EB 2/3 Gomes Teixeira e EB 2/3S Leonardo Coimbra permitiu registar 140 equipamentos e 314 compartimentos, distribuídos por especialidades como AVAC, eletricidade, segurança, hidráulica, informática e audiovisual. A análise detalhada por piso e por especialidade técnica, associada à georreferenciação, registos fotográficos e atribuição de identificadores únicos, possibilitou a criação de uma base de dados estruturada e normalizada, apta a suportar a manutenção preventiva, a monitorização da eficiência energética e a gestão integrada de infraestruturas escolares.

Estes resultados evidenciam uma forte convergência com a literatura académica no domínio da gestão de ativos e da utilização de SIG em edifícios inteligentes. Por exemplo, Vasconcelos (2020) demonstrou que a aplicação de SIG indoor em contextos universitários permite monitorizar e gerir ativos de forma interativa, criando ambientes de Smart Campus. De forma similar, Júnior (2022) aplicou o SIG indoor e conceitos de Smart Building à habitação social, revelando a eficácia da georreferenciação na otimização da gestão de edifícios públicos. Por outro lado, Lima (2016), evidenciou a importância da modelação tridimensional de edifícios e da interatividade para a visualização de infraestruturas e a gestão de espaços em contexto universitário. O presente estudo adapta estas abordagens a um contexto escolar, demonstrando que metodologias baseadas em SIG podem ser eficazmente aplicadas em edifícios educativos, garantindo manutenção e segurança operacional.

Além disso, a estruturação de uma base de dados georreferenciada com registos fotográficos e tags identificativas alinha-se com as recomendações de Carrasco Payero et al. (2024), Farid et al. (2018) e Martins & Rebelo (2024), que destacam a importância da interoperabilidade entre SIG e BIM e da normalização de informação para a gestão eficiente de edifícios. A organização espacial e a análise por especialidade técnica reforçam os contributos de Breunig & Zlatanova (2009, 2011), Longley et al. (2015) e

Volk et al. (2014), evidenciando a relevância da modelação 3D e da análise espacial na gestão de infraestruturas complexas.

Finalmente, a possibilidade de monitorização contínua e futura análise temporal de equipamentos e compartimentos aproxima o presente estudo das metodologias descritas por Biljecki et al. (2018) e Teixeira (2022), que defendem a integração de dimensões temporais em SIG para análise de fenómenos dinâmicos, como a propagação de infeções em hospitais ou a gestão de recursos urbanos. Por outro lado, Abreu (2022) e Pinto (2017) salientam o papel estratégico dos SIG na modernização da gestão territorial e urbana, sublinhando a relevância da abordagem adotada no presente estudo para a eficiência operacional e a sustentabilidade em contextos educativos.

Em suma, o levantamento realizado na Domus Social confirma a eficácia e versatilidade dos SIG como ferramenta de gestão de infraestruturas, demonstrando que a aplicação de metodologias digitais estruturadas, baseadas em georreferenciação, registos fotográficos e análise espacial, permite a implementação de soluções robustas e sustentáveis, alinhadas com as tendências internacionais de edifícios inteligentes e Smart Campus.

7. Considerações Finais

A adoção dos SIG no processo de cadastro de equipamentos e compartimentos dos edifícios municipais sob gestão da Domus Social, nomeadamente os edifícios escolares integrados no processo de descentralização de competências, constitui um passo estratégico na modernização da gestão de ativos. Para além de potenciar uma maior compreensão da componente arquitetónica e técnica dos edifícios, esta abordagem permite dar respostas mais céleres e informadas no âmbito da manutenção e operação. A integração de dados cadastrais, georreferenciação e registos fotográficos numa plataforma única não só centraliza a informação relevante, como também promove novas dinâmicas de análise e visualização espacial, fundamentais para uma gestão mais eficiente, sustentável e baseada em evidência.

Os números de cadastro obtidos na Escola Básica 2/3 Gomes Teixeira e na Escola Básica e Secundária Leonardo Coimbra-Filho não atingem a mesma dimensão dos registados na Escola Secundária Alexandre Herculano, o que se justifica, em grande medida, pelo processo recente de reabilitação desta última e pela consequente incorporação de novas áreas de atuação, numa escala distinta das restantes. Ainda assim, a aplicação desta metodologia de cadastro permitiu aumentar significativamente o grau de conhecimento técnico e funcional sobre ambas as escolas, quer ao nível da organização espacial e das respetivas funcionalidades, quer no que se refere à identificação e caracterização dos equipamentos das diversas especialidades. Este mapeamento revelou-se essencial tanto para a gestão da manutenção corretiva, como para o planeamento de ações de manutenção preventiva.

A base de dados foi desenvolvida com base no projeto piloto da Escola Secundária Alexandre Herculano; contudo, atualmente, funciona apenas de forma independente para os fins deste projeto de investigação, permitindo, a curto ou médio prazo, a aplicação da metodologia a outros edifícios sob gestão da Domus Social. Para a integração desta base de dados no eSigma, será necessário o envolvimento dos responsáveis pelos Sistemas de Informação da Domus, de modo a viabilizar a ligação do SIG à plataforma existente.

O desenvolvimento do presente projeto de investigação demonstrou que é viável implementar um processo de levantamento cadastral independente da BDGC, recorrendo a aplicações open source distintas das habitualmente utilizadas no âmbito da CMP.

O próximo passo consistirá no alargamento progressivo desta metodologia às restantes escolas integradas no processo de descentralização de competências, assegurando a uniformização dos procedimentos de cadastro e gestão de ativos. Para além das unidades escolares, está igualmente prevista a extensão desta abordagem aos edifícios dos centros de saúde de propriedade municipal, também abrangidos pelo mesmo processo de descentralização, promovido pelos ministérios da Educação e da Saúde, respetivamente. Esta expansão visa consolidar uma ferramenta transversal de apoio à gestão técnica e patrimonial dos edifícios municipais.

Atualmente é uma aposta forte a implementação de um sistema de identificação digital de equipamentos, através da utilização de etiquetas NFC (Near Field Communication). Estas tags já foram colocadas e neste momento está em desenvolvimento uma plataforma que permite a integração de toda a documentação relacionada com os equipamentos.

A implementação desta plataforma, apesar de apresentar a limitação de ter sido concebida por uma entidade distinta da área responsável pela sua operacionalização, representa um avanço significativo ao possibilitar a integração de múltiplas fontes de informação essenciais à gestão e manutenção dos equipamentos. Entre estas fontes incluem-se:

- Planos de manutenção preventiva e corretiva, garantindo o cumprimento dos ciclos de inspeção e intervenção técnica;
- Fichas técnicas e manuais dos equipamentos, com acesso direto a especificações do fabricante e instruções de operação;
- Histórico de manutenções e intervenções técnicas, permitindo a rastreabilidade completa das operações realizadas;

- Registo e monitorização de avarias, possibilitando a análise preditiva para otimização de recursos e redução do tempo de inatividade;
- Associação georreferenciada dos equipamentos, através da integração do sistema NFC com plataformas SIG (QField for QGis; ArcGIS Field Maps; QGis; ArcGIS Pro);
- Acesso a documentação digital (desenhos técnicos, relatórios e certificações), assegurando uma consulta rápida e eficiente.

A Domus Social, à semelhança de outras entidades municipais, definiu como objetivo estratégico a modernização dos processos de gestão do edificado sob sua responsabilidade, através da adoção de tecnologias digitais avançadas e da digitalização sistemática dos seus ativos. A curto e médio prazo, estão previstas diversas iniciativas que visam potenciar a integração dos SIG, Modelação da Informação da Construção (BIM) e outras tecnologias emergentes, com vista a uma gestão mais eficiente, interoperável e sustentável do património municipal.

Neste enquadramento, o presente trabalho faculta à Domus Social a possibilidade de, num futuro próximo, explorar a dimensão tridimensional através da aplicação CityEngine ou de softwares similares. Tal recurso visa o desenvolvimento de modelos 3D orientados para uma gestão mais eficiente dos espaços e equipamentos sob a sua responsabilidade.

Esta perspetiva ultrapassa a mera representação tridimensional de edifícios e compartimentos, ao integrar igualmente dados de gestão de equipamentos em contexto espacial. Deste modo, potencia-se uma análise mais aprofundada da inter-relação entre os espaços físicos e os sistemas técnicos que os servem, nomeadamente no domínio da manutenção preventiva e corretiva.

A aposta futura no BIM insere-se num movimento mais amplo de transformação digital no setor da construção, que tem vindo a mobilizar um número crescente de entidades públicas e privadas. Este impulso é fortemente sustentado por diretivas europeias e iniciativas governamentais nacionais, como o Plano de Digitalização da Construção

2030, que visa acelerar a modernização do setor, aumentando a sua eficiência operacional, resiliência ambiental e capacidade de resposta aos desafios contemporâneos.

Apesar das vantagens reconhecidas da metodologia BIM na gestão integrada de ativos, a sua implementação em contextos municipais enfrenta ainda algumas limitações significativas. Uma das fragilidades mais recorrentes prende-se com a elevada exigência de armazenamento e processamento de dados, uma vez que os modelos BIM são, por natureza, complexos e de grande dimensão, tanto em termos gráficos como informacionais. Esta realidade pode constituir um entrave à sua adoção plena por parte de entidades públicas com infraestruturas informáticas limitadas, dificultando a interoperabilidade com outros sistemas existentes e comprometendo a fluidez na gestão de informação técnica e espacial. Atualmente, as infraestruturas informáticas disponíveis nas entidades municipais não se encontram dimensionadas para suportar o volume e a complexidade dos dados associados aos modelos BIM. Esta limitação torna evidente a necessidade de um redimensionamento das capacidades tecnológicas e dos recursos de armazenamento e processamento de dados, de forma a garantir a receção, gestão e integração eficaz deste tipo de informação digital no contexto da administração pública.

8. Referências Bibliográficas

- Abreu, P. A. F. (2022). *As dimensões e atributos da smart city e o desenvolvimento do território: Os casos de estudo de Cascais e Sintra* (Tese de doutoramento). Universidade de Lisboa.
- Adler, P. A. (2022). *As dimensões e indicadores das Smart Cities: Aplicação aos municípios de Cascais e Sintra* (Dissertação de mestrado). Universidade de Lisboa.
- Afyouni, I., Ray, C., & Claramunt, C. (2012). Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey. *Journal of Spatial Information Science*, 2012(4), 85–123. <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2012.4.73>
- Biljecki, F., Lim, J., & Stouffs, R. (2018). Four-dimensional cities: The use of 3D + time in urban GIS. *Journal of Urban Technology*, 25(2), 77–102. <https://doi.org/10.1080/10630732.2017.1340031>
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842–2889. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
- Billen, R., & Zlatanova, S. (2002). The dimensional model: A framework to distinguish spatial relationships. In D. Richardson & P. van Oosterom (Eds.), *Advances in Spatial Data Handling* (pp. 120–135). Springer.
- Billen, R., & Zlatanova, S. (2003). 3D spatial relationship model: A useful concept for 3D cadastre? In *Proceedings of the International Workshop on 3D Cadastres* (pp. 1–10). Delft University of Technology.
- Blaschke, T., & Merschdorf, H. (2014). Geographic information science as a multidisciplinary and multiparadigmatic field. *Cartography and Geographic Information Science*, 41(3), 196–213. <https://doi.org/10.1080/15230406.2014.905755>

Breunig, M., & Zlatanova, S. (2009). *Review: 3D Geo-Information Sciences*. Springer.

Breunig, M., & Zlatanova, S. (2011). 3D geo-database research: Retrospective and future directions. *Computers & Geosciences*, 37(7), 791–803.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.09.006>

Carrasco Payero, C. A., Lombillo Vozmediano, I., Sánchez Espeso, J. M., & Balbás García, F. J. (2024). A new approach to 3D facilities management in buildings using GIS and BIM integration: A case study application. *Applied Sciences*.

Duckham, M., Goodchild, M. F., & Worboys, M. F. (2003). *Foundations of geographic information science*. Taylor & Francis.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Farid, Z., Khan, A., & Javed, M. (2018). Integration of BIM and GIS for indoor spatial analysis and facility management. *Automation in Construction*, 91, 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.007>

Júnior, Rui (2022). *SIG Indoor e Smart Building: Contributos para a Gestão da Habitação Social da Cidade do Porto* (Dissertação de mestrado). Universidade do Porto.
<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/146128>

Goetz, M. (2012). Using crowdsourced indoor geodata for the creation of a three-dimensional indoor routing web application. *Future Internet*, 4(2), 575–591.
<https://doi.org/10.3390/fi4020575>

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*.

- Kang, H.-K., & Li, K.-J. (2017). A standard indoor spatial data model—OGC IndoorGML and implementation approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(4), 116. <https://doi.org/10.3390/ijgi6040116>
- Kang, S., & Hong, C. (2015). A BIM–GIS based indoor localization algorithm for emergency responders. *Automation in Construction*, 58, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.006>
- Kang, T. W., & Hong, C. H. (2015). A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration. *Automation in Construction*, 58, 31–46. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.007>
- Karimi, H. A., & Akinci, B. (2009). *CAD and GIS integration*. Taylor & Francis.
- Kumar, V., & Shekhar, S. (2016). *Spatial databases: A tour* (2nd ed.). Pearson.
- Li, K. J. (2008). Indoor spatial awareness. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(5), 389–400. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.05.002>
- Lima, D. M. A. (2016). *Campus Virtual da FCUL: Modelação de um Edifício Inteligente* (Trabalho de projeto de mestrado). Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências. <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10451/25989>
- Liu, L., & Zlatanova, S. (2011). Towards a 3D network model for indoor navigation. *Proceedings of the 6th 3D GeoInfo Conference, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*, 1–3. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-4-C26-1-2011>
- Llobera, M. (2003). Extending GIS-based visual analysis: The concept of visualsapes. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(1), 25–48. <https://doi.org/10.1080/713811741>
- LNEC, & ADENE. (2021). *Plano de digitalização da construção 2030*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil & Agência para a Energia.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information systems and science* (4th ed.). Wiley.

Maliene, V., Grigonis, V., Palevičius, V., & Griffiths, S. (2011). Geographic information system: Old principles with new capabilities. *Urban Design International*, 16, 1–6. <https://doi.org/10.1057/udi.2010.25>

Martins, T. F., & Rebelo, C. (2024). A interoperabilidade entre BIM e SIG: a importância do “I” na conversão de informação. In *Congresso ptBIM*.

Matos, R (2016). *Georreferenciação de ativos urbanos: contributos para a gestão técnica municipal* (Dissertação de mestrado). Universidade de Aveiro.

Mennis, J., & Yoo, E. H. (2018). Geographic information science and the analysis of place and health. *Transactions in GIS*, 22(3), 842–854. <https://doi.org/10.1111/tgis.12324>

Misra, S., Gooze, A., Watkins, K., Asadabadi, A., & Hodge, D. (2020). Place-based transit planning using big data: Analyzing ridership patterns in urban transit systems. *Journal of Transport Geography*, 82, 102601. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102601>

Moura Rocha, G. (2024). *Scan to BIM: Estratégias de automatização da modelação geométrica a partir de nuvem de pontos* (Tese de doutoramento). Universidade de Lisboa.

Obaidat, M. S., & Al-Kheder, S. (2006). Integrating GIS and spatial data mining for urban planning: A case study. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(5), 577–600. <https://doi.org/10.1080/13658810600661435>

Obe, R. O., & Hsu, L. S. (2015). *PostGIS in action* (2nd ed.). Manning Publications.

Pinto, M. C. C. (2017). *Smart cities: Cidades inteligentes em Portugal e o contributo dos SIG para o seu desenvolvimento* (Dissertação de mestrado). Universidade do Porto.

Rito, P., Almeida, A., Figueiredo, A., et al. (2022). *Aveiro Tech City Living Lab: Plataforma urbana com sensores IoT e conectividade 5G/LoRa* [Estudo].

Santos, M. (1996). *A natureza do espaço: Técnica e tempo, razão e emoção*. Hucitec.

Santos, M. M. (2024). *Modelação 3D urbana da vila da Afurada com recurso à plataforma ArcGIS CityEngine* (Dissertação de mestrado). Universidade de Lisboa.

Shaon, J., et al. (2023). Urban GeoBIM construction by integrating semantic LiDAR point clouds with as-designed BIM models. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2301.00000>

Teixeira, H. M. R. (2022). *Spatial-temporal analysis of nosocomial infections using geographical information systems* (Tese de doutoramento). Faculdade de Medicina, Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/141062>

Teixeira, J. C., & Pina, J. M. (2018). Spatial analysis in GIS for planning and managing urban systems. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 47, 27–40.

Torres, M. A. V., Braun, A., & Borrmann, A. (2024). BIM SLAM: Integrating BIM models in multi-session SLAM for lifelong mapping using 3D LiDAR. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2401.00000>

Vasconcelos, N. M. L. (2020). *SIG indoor e edifícios inteligentes: contributo para a criação do Smart Campus da FLUP* (Dissertação de mestrado). Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/132760>

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building information modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>

Waters, N. (2018). GIS: History, definitions, and components. In B. Huang (Ed.), *Comprehensive geographic information systems* (pp. 3–20). Elsevier.

Wieczorek, J., & Delmerico, A. M. (2009). Geographic information systems in biodiversity research. In *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0022545>

Wing, M. G., & Bettinger, P. (2003). *Geographic Information Systems: Applications in natural resource management*. CABI Publishing.

Worboys, M. (2011). Modeling indoor space. In *Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness* (pp. 1–6). ACM.
<https://doi.org/10.1145/2068984.2068985>

Zeiler, M. (1999). *Modeling our world: The ESRI guide to geodatabase design*. Environmental Systems Research Institute

Zhang, J., Beetz, J., & Weise, M. (2009). BIM-GIS integration for urban management. In *Proceedings of the 2009 CIB W78 Conference on Managing IT in Construction*.

Zlatanova, S., et al. (2013). Problems in indoor mapping and modelling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4/W4.

Zlatanova, S., Liu, L., Sithole, G., & Zhao, J. (2014). Towards the next generation of 3D indoor models. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-4, 259–266. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-4-259-2014>

Zlatanova, S., Liu, L., Sithole, G., & Zhao, J. (2020). Space subdivision for indoor applications. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V-4-2020, 373–380. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2020-373-2020>

Decreto-Lei nº23/2019, de 30 de janeiro
<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/23-2019-118748850> - Concretiza o

quadro de transferência de competências para os órgãos municipais e para as entidades intermunicipais no domínio da saúde.

Decreto-Lei n.º 16/2023, de 24 de março. Diário da República n.º 59/2023, Série I de 2023-03-24.

Decreto-Lei n.º 21/2019, de 30 de janeiro. Diário da República n.º 21/2019, Série I de 2019-01-30.

Decreto-Lei n.º 23/2019, de 30 de janeiro. Diário da República n.º 21/2019, Série I de 2019-01-30.

Decreto-Lei n.º 56/2020, de 12 de agosto. Diário da República n.º 156/2020, Série I de 2020-08-12.

Decreto-Lei n.º 84/2019, de 28 de junho. Diário da República n.º 123/2019, Série I de 2019-06-28.

Decreto-Lei n.º 84-E/2022, de 14 de dezembro. Diário da República n.º 239/2022, 1.º Suplemento, Série I de 2022-12-14.

Lei n.º 50/2018, de 16 de agosto. Diário da República n.º 157/2018, Série I de 2018-08-16.

9. Webgrafia

ArcGIS. (2025). *ArcGIS* [Software]. <https://www.arcgis.com/index.html>

Associação Porto Digital. (2025). *Porto Digital*. <https://www.portodigital.pt/en/homepage/>

Domus Social. (2025). *Website institucional*. <https://www.domussocial.pt>

Esri. (2021). *Esri CityEngine 2021 user manual*. Esri. <https://doc.arcgis.com/en/cityengine/latest/get-started/what-is-cityengine.htm>

Município do Porto. (2025). *Porto Innovation Hub*.
<https://portoinnovationhub.pt/en/home-page/>

Anexos