

Interoperabilidade BIM-FM: Desenvolvimento de interface customizada para visualização IFC integrada a plataforma de gestão

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.14>

**Andressa Oliveira¹, José Granja²,
Pedro Machado³, Ali Motamedi⁴,
Torcato Almeida⁵, Miguel Azenha⁶**

¹ Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil,
Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-2541-0212

² Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil,
Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-0858-4990

³ Câmara Municipal de Matosinhos, Matosinhos, Portugal

⁴ École de Technologie Supérieure, Montreal, Canadá, ORCID 0000-0002-7012-440X

⁵ Instituto CCG/ZGDV, Guimarães, Portugal, ORCID 0009-0001-3083-6496

⁶ Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil,
Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0003-1374-9427

Resumo

A adoção do Building Information Modelling (BIM) na fase operacional de edifícios ainda é restrita. Um dos fatores que dificultam a adoção da metodologia é a falta da implementação de capacidades BIM às plataformas de Facility Management (FM), tais como a visualização tridimensional dos edifícios a gerir. O presente artigo apresenta uma solução concebida em colaboração com a Câmara Municipal de Matosinhos, em Portugal, para viabilizar a gestão dos seus ativos através da metodologia BIM. O propósito da solução é integrar a atual plataforma de gestão utilizada pela câmara (Infraspeak) a recursos de visualização tridimensional, e permitir a consulta e manipulação de dados de operação de forma direta e integrada a esta visualização. Para a visualização dos ativos foi considerada a utilização de modelos de informação (modelos BIM) que sigam o esquema IFC (Industry Foundation Classes). Neste contexto, uma plataforma web integrada e personalizada foi desenvolvida com recurso à biblioteca IFCjs para manipular, investigar e visualizar ficheiros IFC. Além disso, a plataforma permite a conexão direta à base de dados do Infraspeak através da sua

Application Programming Interface (API). No presente artigo o processo de desenvolvimento da plataforma de integração é detalhado, junto aos seus componentes-chave e a sua interoperabilidade com a Infraspak. A solução desenvolvida é uma abordagem inovadora às limitações atuais na gestão de operação e dá suporte à adoção mais ampla do BIM para a área do FM.

1. Introdução

A fase operacional de um ativo construído representa a maior parte de seu ciclo de vida, e totaliza aproximadamente 60% dos gastos associados ao mesmo [1]. O *Facility Management* (FM) é a disciplina responsável pela funcionalidade conforto e segurança das instalações do ambiente construído [2], sendo um dos setores com mais rápido crescimento da indústria da construção [3]. Com a industrialização deste sector [4], gestores de ativos têm aumentado seu interesse na implementação da metodologia BIM como suporte a gestão de operações [3]. Esta metodologia de gestão integrada da informação pode trazer inúmeras vantagens a um setor que precisa lidar com uma grande quantidade e variedade de dados oriundos de diversas fontes [5]. Devido a variedade e complexidade dos ativos que os edifícios públicos e/ou edifícios de grandes dimensões podem apresentar [3], a implementação da metodologia BIM pode trazer grandes benefícios no suporte aos gestores de operação que procuram melhorar a eficiência dos processos de FM destes tipos de edifícios. Apesar das diversas vantagens encontradas na literatura, ainda existe uma resistência à adoção do BIM para operação de ativos [6], e os gestores estão diante de um património construído que já está em fase operacional mas ainda não é gerido, na sua maioria, com o suporte da metodologia BIM. O cenário atual mostra que a utilização de plataformas de gestão que auxiliam na operação do património construído, tais como *Computerized Maintenance Management System* (CMMS), *Computer Aided Facility Management* (CAFM) e *Intelligent Maintenance Management Platform* (IMMP), já está difundida [4], [5]. Entretanto, os modelos de gestão atuais não estão preparados para uma adoção rápida do BIM por se basearem fortemente em métodos tradicionais, tais como a utilização de documentos físicos, mesmo quando utilizadas plataformas computadorizadas [5].

Para uma adoção mais ampla e eficiente do BIM no setor operacional é necessário difundir o conhecimento quanto aos processos de gestão da informação da metodologia, seguindo as diretrizes da ISO 19650-3 [7], e adaptando assim os modelos de gestão para que estes possam lidar com as tecnologias emergentes [6]. Esta atualização do modelo de gestão inclui, para além de processos, a utilização de plataformas capazes de integrar bases de dados diversas, inclusive modelos de informação [1]. Os modelos de informação são, na metodologia BIM, a principal fonte de informação relativa a um ativo e podem incluir, entre outros, blocos de informação contendo a representação geométrica tridimensional do ativo [8]. Neste âmbito, os modelos de informação devem ser preparados de forma a serem capazes de integrar-se às plataformas de gestão utilizadas pelos gestores de operação. Deste contexto emerge a necessidade de dar suporte à implementação da metodologia BIM em processos de gestão de operação, com foco em integração entre diferentes fontes de dados. Estudos nesta área podem impactar a adoção do BIM na fase operacional de ativos, principalmente no setor público.

Deste cenário emergiu uma parceria entre a Câmara Municipal da cidade de Matosinhos (CMMatosinhos), em Portugal, e a Universidade do Minho (UMinho). A finalidade desta parceria é o suporte à gestão e operação de ativos municipais a partir da

integração da metodologia BIM à plataforma de gestão já utilizada pela CMMatosinhos, a Infraspak. Esta plataforma é uma IMMP e permite que os utilizadores interajam com uma interface web para aceder suas funcionalidades, mas não permite a visualização dos edifícios e ativos geridos. A IMMP também permite acesso às suas funcionalidades através de uma *Application Programming Interface* (API). Portanto, o objetivo final deste trabalho é o desenvolvimento de uma plataforma web capaz de integrar a base de dados da IMMP com a visualização tridimensional dos ativos a serem geridos, permitindo a consulta, edição e inserção de informação associada a estes ativos. A partir dos desenvolvimentos desta parceria, a área de gestão e operação da CMMatosinhos poderá adicionar a informação geométrica ao processo de tomada de decisão (e.g, com a distribuição visual de espaços/equipamentos com necessidade de ações de manutenção dentro de um edifício, será possível definir rotas de ação mais eficientes). A plataforma de integração a ser desenvolvida precisa permitir a comunicação entre duas bases de dados distintas: a base de dados da IMMP, que contém informação necessária para operação dos ativos; e o bloco de informação que contém a geometria dos edifícios e ativos a gerir. Com o objetivo de simplificação, o bloco de informação com visualização tridimensional será chamado de modelo em todo o texto deste artigo.

A primeira etapa do desenvolvimento deste estudo (secção 2) incluiu a definição dos objetivos da CMMatosinhos e as funcionalidades da plataforma de integração a ser desenvolvida. Após a definição dos requisitos funcionais, foi possível estabelecer os processos de interação entre as diferentes bases de dados (secção 3.1) e definir os requisitos de troca de informação (EIR) para guiar o desenvolvimento dos modelos que serão acedidos a partir da plataforma desenvolvida (secção 3.2). O EIR foi desenvolvido de maneira simplificada e recorreu-se à metodologia do nível de informação necessário [9] para definição dos requisitos. Posteriormente, a plataforma de integração foi implementada, com realização de testes e a utilização de um modelo exemplo (protótipo) desenvolvido a partir dos requisitos definidos anteriormente (secção 3.3). Por fim, as conclusões e discussões relevantes à pesquisa desenvolvida foram destrinchadas na secção 4.

2. Requisitos funcionais e metodologia

A parceria estabelecida requer o desenvolvimento de uma plataforma capaz de integrar a IMMP utilizada pela CMMatosinhos com a capacidade de visualização e manipulação dos modelos tridimensionais de edifícios a gerir. Pretende-se a definição de requisitos de informação (EIR) que guiem o desenvolvimento de modelos a serem utilizados dentro desta plataforma, considerando os edifícios já em fase operacional (R.1 Figura 1), bem como aqueles ainda a construir (R.2 Figura 1). A plataforma deve abranger dois diferentes perfis de utilizadores (gestor e comum). O utilizador do tipo gestor deve ser capaz de cadastrar edifícios na plataforma (G.1 Figura 1) e aceder a informação de edifícios já cadastrados (G.2 Figura 1). O utilizador comum, por sua vez, pode ter acesso a edifícios já cadastrados (C.1 Figura 1). Visto o artigo ter sido desenvolvido antes da finalização da parceria, estão aqui abrangidos apenas os

desenvolvimentos referentes a interação com edifícios já cadastrados a partir do perfil gestor (G.2 Figura 1) e os requisitos de informação relativos a edifícios existentes (R.1 Figura 1), representados em cinza na Figura 1.

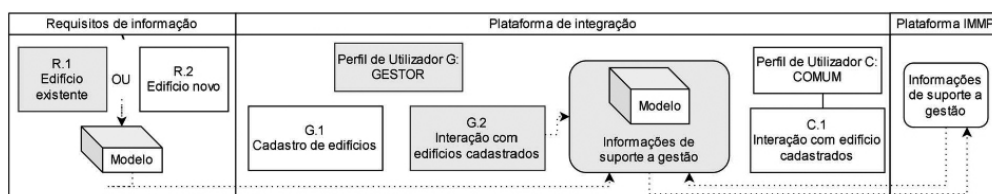


Figura 1
Propósitos gerais do projeto.

Considerando o acesso a edifícios existentes e já cadastrados, a partir do perfil de utilizador gestor, os objetivos do utilizador final foram listados a partir de uma série de reuniões com o chefe de divisão de edifícios municipais da Câmara Municipal de Matosinhos (utilizador final). A partir destas reuniões foram definidos seis objetivos principais, posteriormente reescritos como funcionalidades a serem implementadas na plataforma a desenvolver (Tabela 1). Com a definição clara das funcionalidades da plataforma, foi definido que esta será composta por duas diferentes páginas web: seleção de edifício e área de gestão. A ISO19650-3 [7], para operação de ativos, prevê que o desenvolvimento do EIR seja derivado de requisitos organizacionais (OIR) e de operação (AIR). OIR e AIR não foram desenvolvidos para este trabalho, e os objetivos definidos na Tabela 1 serviram como premissas ao desenvolvimento do EIR simplificado.

Tabela 1: Objetivos do utilizador e funcionalidades da plataforma

Objetivos do utilizador	Funcionalidades da plataforma
Interação com a plataforma a partir de um edifício específico	Listagem de edifícios para seleção
Visualização tridimensional dos edifícios e capacidade de manipulação desta visualização	Visualização do edifício completo, ou por piso, ou apenas elementos com pedidos em aberto. Capacidade de seleção de ativos a partir do modelo tridimensional
Acesso a informação do edifício	Visualização de informações de identificação do edifício completo Visualização de número total de pedidos em aberto daquele edifício
Acesso a informação dos ativos	Visualização de informações de identificação do ativo mediante seleção Visualização de número total de pedidos em aberto associados ao ativo Redirecionamento à página do ativo dentro da plataforma <i>Infraspeak</i>
Edição de informação dos ativos	Criar pedido associado a um determinado elemento

O desenvolvimento da plataforma web pode ser dividido em dois componentes, *frontend* e *backend*. Para o *frontend*, foram utilizadas as linguagens HTML, CSS e JavaScript. Dentre as funcionalidades da plataforma, aquelas relacionadas a visualização e leitura do modelo foram desenvolvidas com o suporte da biblioteca de código aberto IFCjs. A utilização desta biblioteca permite a criação de visualizadores

customizados e interativos, que incluem a visualização do edifício completo ou de subconjuntos do mesmo, bem como a seleção de elementos específicos dentro do modelo. Além disso, a biblioteca permite aceder propriedades de elementos e extrair informações a partir delas. Por sua vez, o *backend* foi desenvolvido em linguagem Python, com o *web framework* Flask. O modelo do edifício protótipo foi desenvolvido na plataforma Autodesk Revit 2023 e seguiu os requisitos de informação definidos previamente. Este modelo foi posteriormente exportado seguindo o esquema IFC (IFC4 ADD2 TC1) [10].

3. Implementação

Para o desenvolvimento deste trabalho consideram-se duas fontes de dados principais que precisam se integrar a através da plataforma: a base de dados da plataforma IMMP e o modelo. Os modelos IFC já cadastrados, por sua vez, estariam hospedados em uma segunda base de dados chamada aqui de “base de dados CMMatosinhos”. Dentro das bases de dados, e considerando as funcionalidades a implementar (Tabela 1), três tipos de elementos são essenciais aos objetivos da plataforma: locais, equipamentos e pedidos. O primeiro tipo de elemento representa ativos espaciais, sendo os locais (ou espaços) que compõem os edifícios geridos pela CMMatosinhos, essenciais a localização espacial dos equipamentos. Os equipamentos, por sua vez, representam todo e qualquer ativo físico que faça parte do inventário da CMMatosinhos (veículos, cadeiras, escadas, etc). Por fim, os pedidos representam a requisição de uma ação de operação a ser realizada, e estão associados aos outros tipos de elementos (equipamento e local). A Figura 2 permite visualizar o fluxo de informações que transitam entre as diferentes bases de dados, seus elementos, e os componentes da plataforma (*frontend* e *backend*). Os componentes principais do fluxo de informação da Figura 2 são os identificadores IMMP e identificadores CMMatosinhos. Os identificadores são chaves únicas de identificação dos elementos dentro da base de dados IMMP e do inventário da CMMatosinhos, respetivamente. Estes identificadores funcionam como a chave de interação capaz de associar o mesmo ativo a partir das diferentes fontes (IMMP e inventário CMMatosinhos). O processo de implementação da plataforma web está descrito a seguir, incluindo a definição dos identificadores referentes a base de dados IMMP, identificadores de ativos dentro do inventário da CMMatosinhos, desenvolvimento dos requisitos de informação para modelos de edifícios existentes e outros aspetos do desenvolvimento da plataforma.

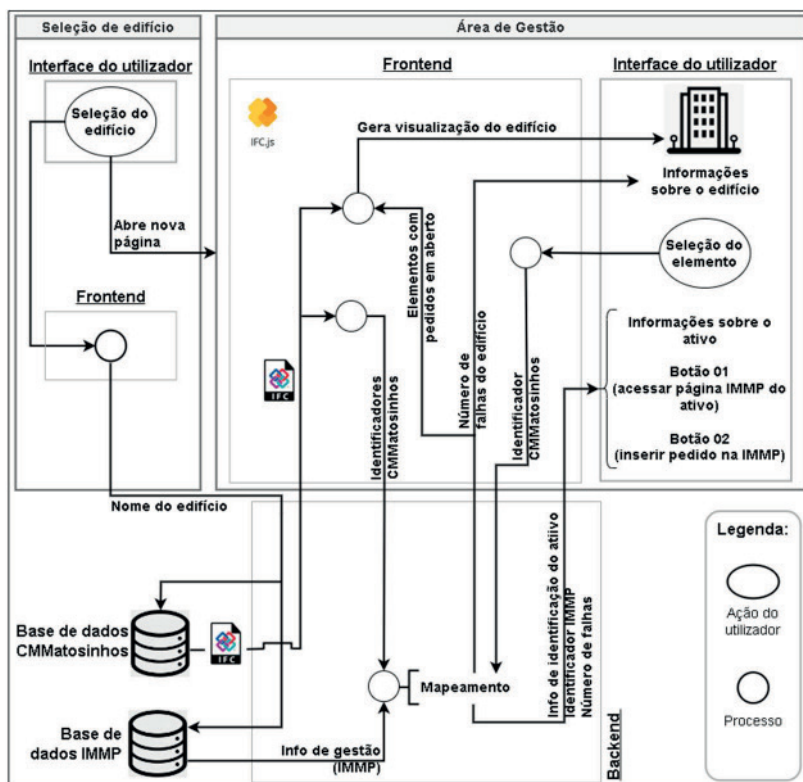


Figura 2
Fluxo de informação na plataforma web (perfil gestor para edifício cadastrado).

3.1. Definição de identificadores únicos

A definição dos identificadores únicos se deu a partir da análise da base de dados IMMP. Primeiramente, foram definidos os identificadores IMMP, contendo chave capazes de identificar unicamente um elemento dentro desta base de dados. Para os identificadores CMMatosinhos a análise foi feita a partir da base de dados IMMP, mas agora para encontrar atributos contendo informações relativas a identificação dos ativos a partir da organização do gestor. A Figura 3 apresenta a estrutura dos ativos dentro da base de dados IMMP, incluindo os endpoints para acesso a informação mostrada, attributes relevantes ao desenvolvimento da plataforma, relação entre attributes de diferentes elementos e identificadores únicos.

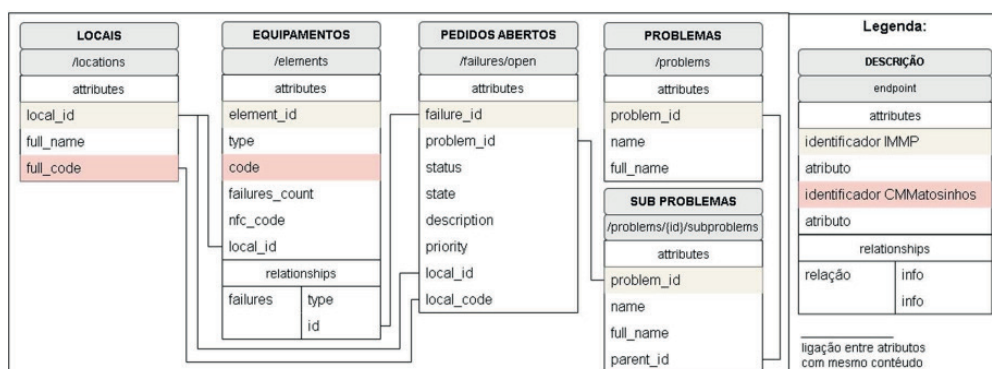


Figura 3
Elementos, relações e endpoints na base de dados da IMMP.

- Identificador IMMP

Dentro da base de dados da IMMP, os locais se organizam de forma hierárquica e apresentam o atributo *“local_id”* como identificador único. Em contrapartida, os ativos cadastrados (ELEMENT), estão classificados em duas categorias, EQUIPMENT e LOCAL. Neste caso, os locais compreendidos como elementos são aqueles do mais baixo nível da hierarquia cadastrada e equivalem a espaços individuais (sala, balneário, ...). Todos os elementos são identificados unicamente a partir do atributo *“element_id”*. A numeração contida nestes atributos (*“local_id”* e *“element_id”*) é gerada automaticamente pela IMMP, e não corresponde ao inventário da CMMatosinhos. Portanto, os atributos *“local_id”* e *“element_id”* são considerados os identificadores IMMP para locais e equipamento, respetivamente. Por fim, ao analisarmos os elementos de tipo pedido, nomeados como *failure* dentro da base de dados IMMP, focou-se naqueles considerados “em aberto”, e.g. que ainda requerem qualquer tipo de ação. Por não se tratar de um ativo físico, para além dos atributos do próprio elemento, foi também analisada sua relação com equipamentos e locais. Os pedidos estão identificados de forma única a partir do atributo *“failure_id”* (identificador IMMP), e contém o atributo *“local_id”* capaz de identificar o local ao qual o pedido está associado. Em contrapartida, a informação quanto a sua associação com um equipamento só consegue ser acedida a partir das *relationships* dos elementos de tipo equipamento, onde as numerações *“failure_id”* podem ser visualizadas.

- Identificador CMMatosinhos

Os pedidos não têm identificador CMMatosinhos visto não representarem ativos físicos. Quanto aos locais, o valor do atributo *“full_code”* representa a nomenclatura utilizada pela CMMatosinhos para identificar os espaços hierarquicamente, e representa um código único a cada local. Considerando os equipamentos, o valor do atributo *“nfc_code”* foi selecionado como potencial identificador único. Entretanto, nem todos os equipamentos contém códigos NFC associados, o que implica que ele não poderia ser utilizado como a chave de identificação para este tipo de ativo. Em uma segunda análise, optou-se por utilizar o atributo *“code”* para este fim. Dentro da organização de inventário da CMMatosinhos, o valor deste atributo é preenchido a partir de codificação específica ao tipo de equipamento (cadeira, veículo, etc.). Entretanto, foi esclarecido pelo utilizador final que esta codificação poderia não ser única para alguns tipos específicos de equipamentos. Por fim, concluiu-se que caso equipamentos apresentassem o mesmo *“code”*, estes nunca estariam dentro do mesmo espaço. Portanto, a combinação dos atributos *“code”* do ativo equipamento e *“full_code”* do local em que ele está associado dentro do modelo, foi definida como identificador CMMatosinhos dos equipamentos. Por fim, utilizando a metodologia do nível de informação necessário (secção 3.2), estes identificadores foram organizados como propriedades que devem ser associadas aos elementos do modelo. Na Tabela 2 o termo “Código” foi utilizado para representar estes identificadores.

3.2. Nível de informação necessário

Para definição do nível de informação necessário, foi considerado que o modelo deveria permitir a visualização do edifício e ativos a gerir, e conter apenas a informação alfanumérica referente a informação geral do ativo e aquela necessária para integração com a base de dados da IMMP (identificadores CMMatosinhos). Quanto aos elementos a serem modelados (Tabela 2), definiu-se três principais grupos de objetos: arquitetura, equipamentos e locais.

Tabela 2: Nível de informação necessário para arquitetura, equipamentos e locais

Objetos:	Arquitetura	Equipamentos	Locais
Classe IFC:	Variável*	Variável*	IfcSpace
Informação Geométrica			
Detalhe	Elemento deve ser representado com o contorno real de seus limites externos. O objeto deve ser um elemento único, sem camadas ou componentes.	Elemento deve ser representado com o contorno simplificado, e com volumes e dimensões reais. O objeto deve ser um elemento único, sem camadas ou componentes.	Elemento deve ser representado com seu volume real.
Dimensionalidade	3D		
Localização	Relativa aos elementos a volta		
Aparência	Cor semelhante a real, sem texturas.	Cor semelhante a real, sem texturas.	Não visível.
Informação Alfanumérica			
Atributos			
	Nome do atributo	Conteúdo	
	LongName	X	X Nome
Propriedades			
Grupo	Nome da propriedade	Conteúdo	
CMMatosinhos_ Identification	Codigo_CMMatosinhos	X	Código X
	Local_CMMatosinhos	X	X Código
	Categoria_CMMatosinhos	X	Categoria X
	Tipo_CMMatosinhos	X	Descrição Categoria X
Legenda	Variável* As classes IFC variam a depender do elemento arquitetónico ou equipamento em questão.		
	X Objetos deste tipo não devem conter esta propriedade ou atributo.		

Neste caso, a arquitetura serviria ao propósito de visualização e apenas os aspetos de informação geométrica do nível de informação necessário foram requeridos para este grupo. Dos três tipos de elementos analisados na subsecção anterior, excluiu-se os pedidos visto sua visualização não ser requerida. Para locais e equipamentos, requisitos de informação geométrica e alfanumérica foram definidos. Quanto ao edifício como um todo (Tabela 3), visto sua geometria já estar contemplada pelos objetos anteriores, apenas requisitos de informação alfanumérica foram definidos. Os aspetos não aplicáveis não são apresentados nas tabelas.

Tabela 3: Nível de informação necessário para o edifício

Objeto:		Edifício
Classe IFC:		IfcBuilding
Informação Alfanumérica		
Atributos		
	Nome do atributo	Conteúdo
	LongName	Nome
Propriedades		
Grupo	Nome da propriedade	Conteúdo
CMMatosinhos_Identification	Local_CMMatosinhos	Código

3.3. Desenvolvimento da plataforma

O desenvolvimento da plataforma, os testes realizados e as reuniões com o utilizador final aconteceram de forma iterativa e as capacidades da plataforma foram expandidas gradativamente. Durante o desenvolvimento foi possível identificar as limitações da API do IMMP e aprimorar os processos de troca de informação. Uma das otimizações implementadas foi o mapeamento entre todos os objetos do modelo (equipamentos ou locais) e seus respetivos pedidos em aberto (*failures* em aberto) (visível na Figura 2 em *backend*). Este mapeamento foi programado para ocorrer de forma automatizada logo quando da seleção do edifício, e gera a associação direta entre os identificadores únicos dos elementos (*element_id* e *local_id*) com os *failures_id* associados. Este mapeamento também inclui informações como grau de prioridades e *status* do pedido (*failure*). A decisão deu-se por considerar que estas informações precisam ser rapidamente visualizadas pelo utilizador e atualizadas quando este transita entre elementos selecionados, o que acaba por aperfeiçoar a experiência do utilizador final.

A Figura 3 mostra o visual da plataforma de integração acessível pelo utilizador final. O *screenshot* é relativo a área de gestão, com a habilitação da visualização por piso e após a seleção de um elemento. A área de gestão inclui uma secção superior (Figura 4 a) com dados relativos a identificação do edifício e a possibilidade de edição do modo de visualização: se por piso ou edifício completo, se todos os elementos ou apenas aqueles apresentando pedidos em aberto. A secção ao lado (Figura 4 b) apresenta um aviso relativo a presença e quantidade de pedidos em aberto associados ao edifício. O menu lateral (Figura 4 c), relaciona-se às informações dos ativos e é inserido à interface do utilizador quando há a seleção de um equipamento ou local. Neste menu é possível visualizar informações de identificação do ativo selecionado, o número de pedidos em aberto associados ao ativo, aceder aos botões de redirecionamento à página do ativo dentro da IMMP e de criação de pedidos associados diretamente ao ativo e que ficam, automaticamente, registados dentro da plataforma IMMP.

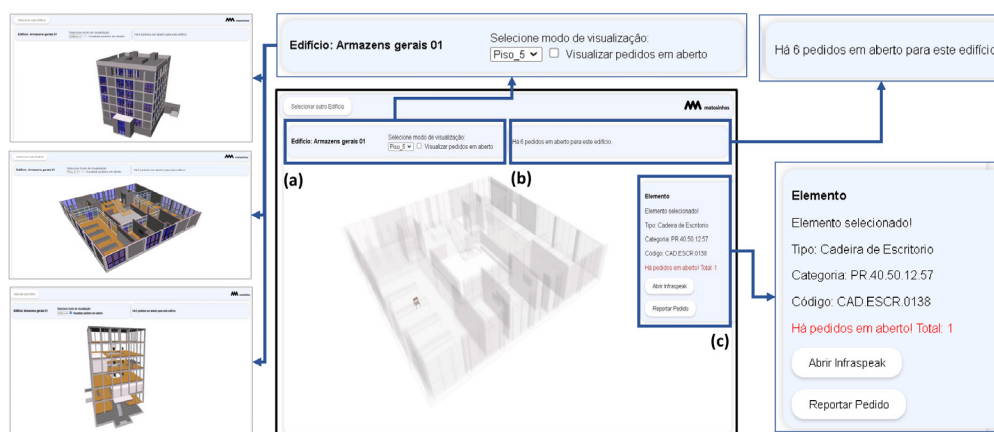


Figura 4
Plataforma de integração – modo de visualização (a), pedidos em aberto do edifício (b) e informação sobre elemento selecionado (c).

4. Discussão e conclusão

O presente trabalho dá suporte a implementação da metodologia BIM no contexto da gestão de operações, especificamente no âmbito da integração da metodologia a plataformas de gestão existentes. Durante o desenvolvimento foram encontrados desafios ainda não previstos. Nomeadamente quanto a definição de identificadores únicos dentro do inventário da CMMatosinhos, a codificação utilizada para a organização de seu inventário não era funcional para a integração com outros bancos de dados. Isto porque a codificação existente não identificava exclusivamente um único ativo, o que ocasionou na necessidade de identificar elementos a partir da combinação de dois códigos (*element_id* e *local_id*). O processo iterativo utilizado, com reuniões periódicas com a CMMatosinhos, permitiu que estas e outras limitações fossem contornadas. Ao longo do processo algumas otimizações foram necessárias para melhorar a experiência do utilizador ao interagir com a plataforma. Por exemplo, o mapeamento automatizado entre elementos e pedidos impactou o produto final ao diminuir o tempo de espera do utilizador para atualização de informações. É necessário destacar que a biblioteca IFCjs e sua grande capacidade de customização são de grande suporte ao desenvolvimento de plataformas web no contexto do uso da metodologia BIM. Através da biblioteca, a plataforma desenvolvida pode ser customizada aos objetivos do utilizador final. No contexto deste trabalho as mudanças de visualizações (edifício, piso e elementos com pedidos abertos) puderam ser implementadas, bem como foi possível investigar o modelo para extrair informações necessárias ao funcionamento da plataforma de integração. Por fim, o trabalho desenvolvido avança o conhecimento da implementação do BIM para a operação de edifícios ao mostrar um caso real em que a metodologia pode ser aplicada a um sistema de gestão existente através da integração do modelo de informação a uma plataforma de gestão já utilizada pelo gestor de operações. O processo de tomada de decisão apresentado pode servir a implementação de outros processos de integração a serem desenvolvidos no setor da operação de edifícios.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da unidade de P&D do Instituto para Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), com referência UIDB/04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e no âmbito do Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020. Este trabalho foi também financiado pela bolsa de doutoramento (PRT/BD/154416/2023) atribuída ao primeiro autor pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), no âmbito do Programa MIT Portugal.

Referências

- [1] M. Al-Kasasbeh, O. Abudayyeh, and H. Liu, "An integrated decision support system for building asset management based on BIM and Work Breakdown Structure," *J. Build. Eng.*, vol. 34, no. November 2020, p. 101959, 2021, doi: 10.1016/j.job.2020.101959.
- [2] International Facility Management Association, "What is Facility Management," 2023. <https://www.ifma.org/about/what-is-fm/> (accessed Dec. 19, 2023).
- [3] L. Pinti, R. Codinhoto, and S. Bonelli, "A Review of Building Information Modelling (BIM) for Facility Management (FM): Implementation in Public Organisations," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 3. 2022, doi: 10.3390/app12031540.
- [4] M. Marocco and I. Garofolo, "Integrating disruptive technologies with facilities management: A literature review and future research directions," *Autom. Constr.*, vol. 131, p. 103917, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.AUTCON.2021.103917.
- [5] S. Siccardi and V. Villa, "Trends in Adopting BIM, IoT and DT for Facility Management: A Scientometric Analysis and Keyword Co-Occurrence Network Review," *Buildings*, vol. 13, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/buildings13010015.
- [6] S. Durdyev, M. Ashour, S. Connelly, and A. Mahdiyar, "Barriers to the implementation of Building Information Modelling (BIM) for facility management," *J. Build. Eng.*, vol. 46, p. 103736, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.103736.
- [7] International Organization for Standardization [ISO], "ISO 19650-3. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 3: Operational phase of the assets." 2020.
- [8] International Organization for Standardization [ISO], "ISO 19650-1. 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." 2018.
- [9] European Committee for Standardization, "EN 17412-1. Building Information Modelling. Level of Information Need. Concepts and principles." 2020.
- [10] buildingSMART, "IFC Specifications Database," 2023. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/> (accessed Dec. 15, 2023).