



RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA E BIOCONSTRUTIVA

Edifício:

Escola Primária de Cova de Lua - Bragança

Autores:

Eng.ª Débora Ferreira

Eng.ª Eduarda Luso

Eng.ª Sílvia Fernandes

Arq.º Jorge Ferreira Vaz

Instituto Politécnico de Bragança

**RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO
ENERGÉTICA E BIOCONSTRUTIVA- ESCOLA PRIMÁRIA DE COVA DE LUA**

Trabalho realizado para:
Câmara Municipal de Bragança

IPB – ESTiG, Bragança, 05 de março de 2018

Débora Macanjo Ferreira *Debora Rodrigues de Sousa Macanjo Ferreira*

Eduarda Luso *Jolanda da Cruz Faria Paes Luso*

Sílvia Fernandes *Silvia Mac. Afonso Fernandes*

Jorge Vaz *Jorge Vaz*

Índice

INTRODUÇÃO	2
APONTAMENTO HISTÓRICO	2
DESCRIPÇÃO DO EDIFÍCIO E ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO	3
DESCRIPÇÃO GERAL	3
ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO.....	5
CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA DO EDIFÍCIO.....	7
DESCRIPÇÃO GERAL DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	7
INSPEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ANOMALIAS	7
INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO A NÍVEL CONSTRUTIVO	22
CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA.....	24
TIPO DE EDIFÍCIO	24
LOCALIZAÇÃO E DADOS CLIMÁTICOS	24
ORGANIZAÇÃO ESPACIAL E LEVANTAMENTO DIMENSIONAL	25
CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS OPACOS	25
CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS	28
VENTILAÇÃO	29
INÉRCIA TÉRMICA	30
SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS (AQS)	30
SISTEMA SOLAR OU OUTRO SISTEMA DE ENERGIA RENOVÁVEL	30
ILUMINAÇÃO.....	30
RECOMENDAÇÕES PARA A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA E BIOCONSTRUTIVA	31
NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO	31
REABILITAÇÃO ENERGÉTICA E BIOCONSTRUTIVA	32
REFERÊNCIAS	35

INTRODUÇÃO

No âmbito do Projeto de Investigação BIOURB NATUR pretendeu-se caracterizar o património dos espaços naturais da zona Norte de Portugal e Espanha, mais concretamente efetuar a caracterização construtiva e energética de edifícios selecionados, com identificação do estado de conservação, do perfil energético e das tipologias de uso atual e futuras. A presente caracterização diz respeito à Escola Primária de Cova de Lua.

A caracterização do edifício estabelece-se a três níveis: construtivo, energético e social. A nível construtivo pretendeu-se avaliar todos os aspetos arquitetónicos e as infraestruturas do edifício, bem como todas as anomalias que padece, tendo especial atenção os elementos construtivos que têm maior necessidade de reabilitação. A nível energético pretendeu-se caracterizar o edifício em função dos aspetos construtivos e bioclimáticos e a identificação dos recursos energéticos locais. A nível social pretendeu-se avaliar o tipo de uso atual, considerando as dinâmicas socioeconómicas da população local, de modo a definir as linhas de reabilitação do edifício em estudo.

O processo de levantamento de anomalias do edifício em causa refere-se ao registo das origens, sintomas e natureza dos problemas por ele apresentados no seu estado atual. As anomalias detetadas foram registadas fotograficamente de modo a evidenciar a sua importância e localização no edifício ou na estrutura. É ainda apresentado um relatório de inspeção, baseado numa análise no local e em laboratório, cujo objetivo principal é a avaliação do estado de degradação atual, tornando-se assim uma peça fundamental para a reabilitação, pois fornece informações detalhadas sobre o estado de conservação da estrutura. Assim, será a partir da análise dos dados fornecidos por este presente relatório que se poderá decidir qual o tipo de intervenção e quais as medidas adequadas à reabilitação do edifício aplicando os conceitos de diversidade bioconstrutiva e de construção bioclimática identificados e desenvolvidos no Projeto BIOURB [1].

APONTAMENTO HISTÓRICO

A origem de Cova de Lua transporta-nos a épocas muito recuadas, como o provam diversos achados arqueológicos que remontam à Idade do Ferro, Idade Média e à ocupação romana.

Invariavelmente, o nome de Cova de Lua está intimamente ligado aos antigos fornos de cal, desativados há cerca de 50 anos, que constituíam a maior fonte de rendimento local e empregavam muita gente em Cova de Lua. A laboração destes fornos era tributada e em 1854 a excessiva taxa imposta a cada carro de cal motivou sérios protestos contra a Câmara Municipal. Os fornos de cal, propriedade de privados, produziam a cal retirada de afloramentos calcários da região que, apesar de numerosos, eram limitados e, por conseguinte, restringiram a produção de cal. A cal era negociada com os mercados locais ou da zona das Beiras.

A transformação de calcários segundo moldes tradicionais foi completamente abandonada. Alguns fornos ainda se impõem na paisagem, mas a maioria não passa de meras ruínas.

Atualmente, os cerca de 35 habitantes de Cova de Lua dedicam-se à agricultura de subsistência, à apanha da castanha ou sobrevivem com pequenas reformas.

DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO E ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO

DESCRIÇÃO GERAL

Identificação: ESCOLA PRIMÁRIA DE COVA DE LUA

A aldeia de Cova de Lua localiza-se a 14 km de Bragança, em pleno Parque Natural de Montesinho, perto do Rio Baceiro. Esta aldeia raiana encontra-se a cerca de 7 km de Castela e Leão e do Parque Natural da Sanabria (Espanha).

O edifício em estudo, situa-se na freguesia de Cova de Lua, no concelho de Bragança, na Rua do Cemitério, como se pode observar na Figura 1.

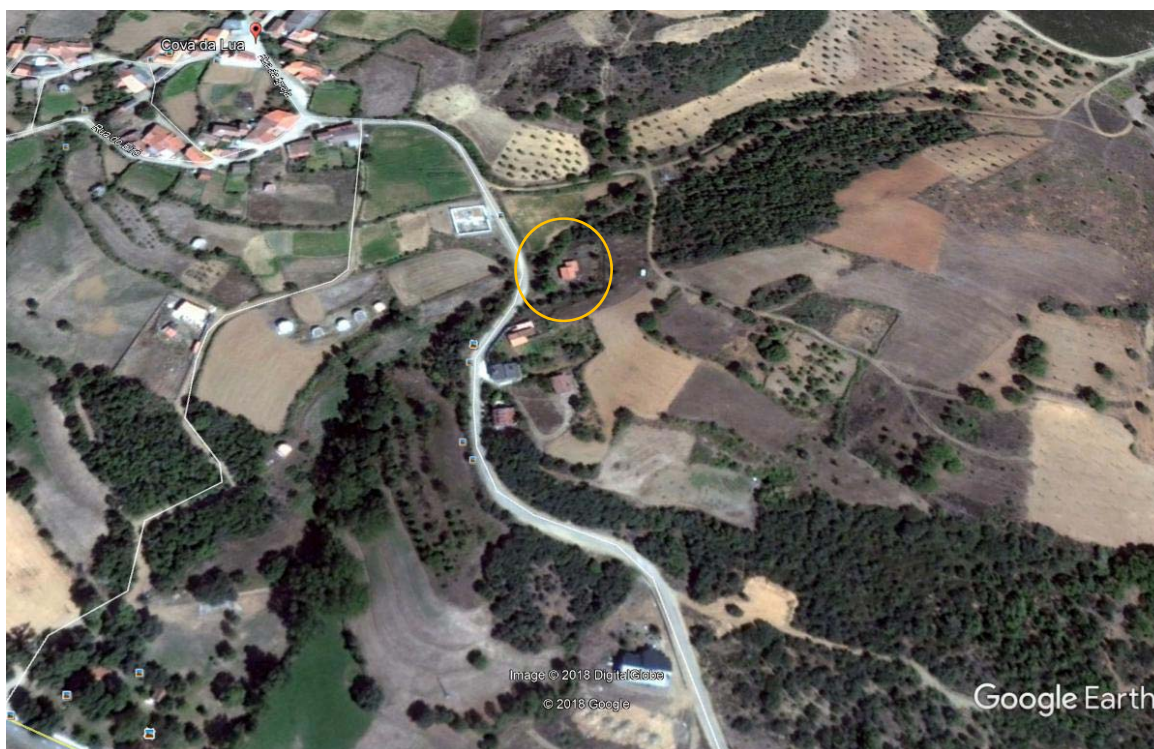


Figura 1 – Localização do edifício relativamente ao centro da aldeia

A fachada principal está orientada para oeste e dispõe-se paralela à via de acesso à aldeia. Na Figura 2 apresenta-se a vista geral do edifício.



Figura 2 – Aspeto da fachada principal do edifício - Oeste

A escola de Cova de Lua foi contruída no início da década de setenta. O projeto não fez parte do Plano dos Centenários e é da responsabilidade do Ministério das Obras Públicas (M.O.P), da Direção Geral das Construções Escolares (D.G.C.E.) e da Direção das Instalações para o Ensino Primário (D.I.E.P).

O edifício teve a função de escola primária desde então e até data desconhecida, a partir da qual foi abandonado, sendo atualmente propriedade do Município de Bragança.

De acordo com o projeto original apresentado na Figura 3 a Escola de Cova de Lua apresenta uma estrutura com um piso constituído por uma zona de sala de aula (zona 1), uma zona de trabalhos manuais (zona 3), um recreio coberto (zona 5), duas instalações sanitárias com apenas uma sanita e autoclismo cada (zona 4) e ainda um pequeno espaço de suplemento alimentar, com pia lava-loiça (zona 6). A zona 2 correspondente à localização de uma salamandra, não está presente na situação atual.

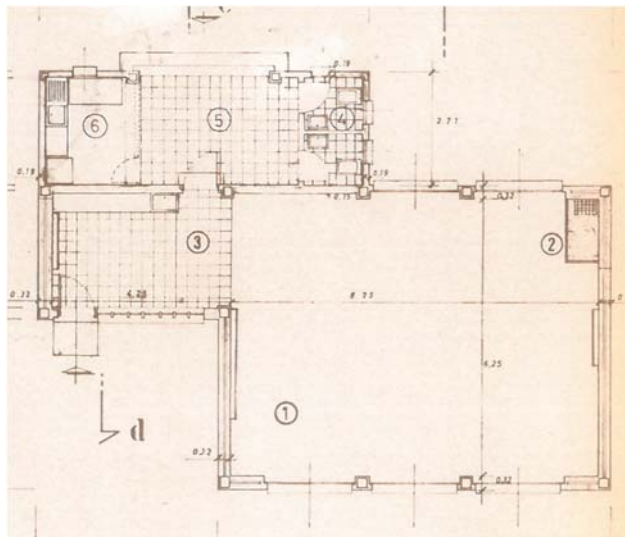
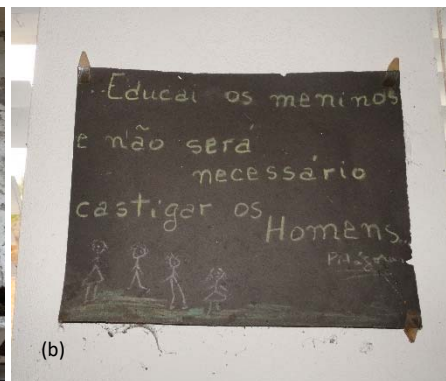


Figura 3 - Planta Original da Escola de Cova de Lua

A fachada frontal, orientada a Oeste, apresenta três vãos de janela na zona 1 e um vão de janela e um vão de porta na zona 3. Todas as aberturas na fachada são delimitadas inferiormente (parapeito) por elementos finos de pedra natural de mármore. Sobre a fachada encontra-se uma placa com o nome do edifício, como mostra a Figura 4a) e no interior existem ainda alguns vestígios da atividade de lecionação, ver Figura 4b).



(a)



(b)

Figura 4 – (a) Placa que figura na fachada principal do edifício; (b) Pormenor da sala de aula

ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO

Em relação ao enquadramento no Plano Diretor Municipal de Bragança - PDM, podemos verificar que o solo onde se encontra edificada a escola de Cova de Lua se encontra classificado como Espaços Urbanizados do Tipo VI (ver Figura 5).

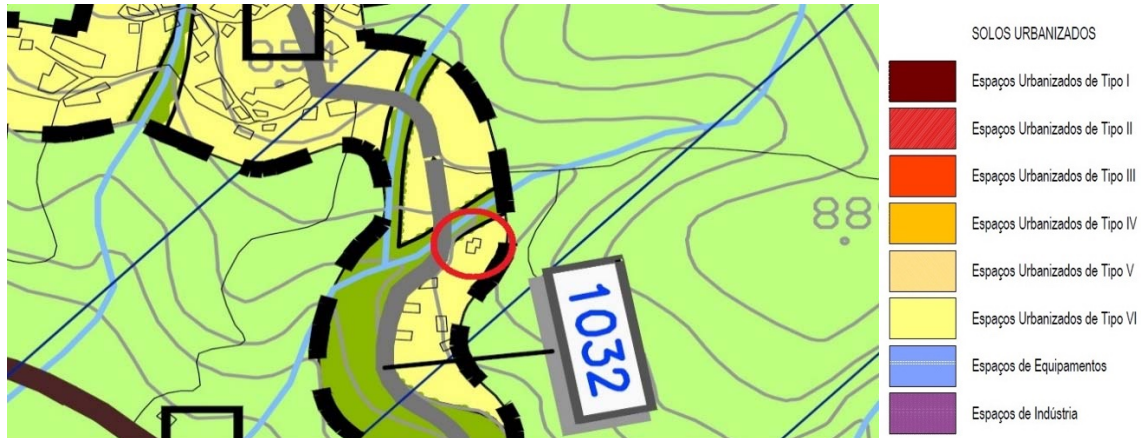


Figura 5 – Extrato do PDM de Bragança – Aldeia de Cova de Lua

De acordo com o regime de edificabilidade apresentado no artigo 44º do Regulamento do PDM de Bragança (Quadro 1), pode-se verificar que os Espaços Urbanizados do Tipo VI possuem as seguintes condicionantes que deverá dar cumprimento:

- Índice máximo de ocupação – 30%;
- Índice máximo de utilização – 0,40;
- Número máximo de pisos – 2 (ou 3).

Quadro 1 - Regime de edificabilidade

Espaços Urbanizados de Tipo IV	Babe, Baçal, Coelhooso, França, Gimonde, Grijó de Parada, Nogueira/Couto, Outeiro, Parada, Paredes (Parada), Pinela, Quintanilha, Rabal, Rebordãos, Salsas, Santa Comba de Rossas, São Pedro de Sarracenos e Serapicos.	40	0,60	2 ⁽³⁾
Espaços Urbanizados de Tipo V	Alfaião, Avelada, Calvelhe, Carragosa, Carrazedo, Castrelos, Castro de Avelãs, Deilão, Donai, Espinhosela, Failde, Formil (Gostei), Freixedelo (Grijó de Parada), Gondesende, Gostei, Macedo do Mato, Meixedo, Milhão, Mós, Oleiros (Gondesende), Paçó (Mós), Paradinha (Outeiro), Paradinha Nova, Parâmio, Pombares, Quinta das Carvas (Bragança – Santa Maria), Quintela Lampaças, Rebordainhos, Rio de Onor, Rio Frio, Sacoias (Baçal), Sanceriz (Macedo do Mato), São Julião, Sarzeda (Rebordãos), Sendas, Sortes, Vale de Nogueira (Salsas), Varge (Avelada) e Zoio.	30	0,50	2 ⁽³⁾
Espaços Urbanizados de Tipo VI	Restantes Aglomerados	30	0,40	2 ⁽³⁾

⁽¹⁾ O regime de edificabilidade definido para esta subcategoria aplica-se caso não esteja em vigor o Plano de Urbanização da cidade de Bragança.

⁽²⁾ Excepto em habitação unifamiliar cujo número máximo de pisos é 2. Em caso de ampliação, alteração, reconstrução ou construção nova, a altura da edificação não pode exceder a cêrcea da pré-existência ou a cêrcea dominante na fachada urbana ou conjunto em que se insere, preconizando sempre uma articulação harmoniosa com os edifícios contíguos.

⁽³⁾ Com exceção para estabelecimentos hoteleiros e equipamentos de utilização colectiva cujo número máximo de pisos é 3, ou cêrcea equivalente, e partes dos edifícios com estes usos, mas cuja natureza funcional e técnica exija cêrceas superiores.

De acordo com o nr. 2 do quadro 5 do artigo 44.º Regime de Edificabilidade do PDM de Bragança, “constitui exceção ao número anterior os casos de reconstrução, alteração e ampliação de edifícios existentes, como como de novas edificações em espaços que se encontrem maioritariamente edificados, ficando sujeitos às seguintes disposições:

- a) Têm que se integrar harmoniosamente no tecido urbano construído, mantendo as características de alinhamento, cêrcea, volumetria e ocupação do lote ou prédio, tradicionais dos espaços em que se inserem.
- b) O alinhamento definido pelas edificações imediatamente contíguas tem que ser respeitado, exceto em casos em que a Câmara Municipal entenda ser conveniente fixar novo alinhamento fundamentado na melhoria da rede viária ou da imagem urbana;
- c) Quando haja manifesto interesse em promover a transformação de uma determinada zona ou defender aspetos estéticos funcionais do espaço urbanizado ou, com vista à sua qualificação, a Câmara Municipal pode permitir operações de reestruturação das áreas urbanizadas.

CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA DO EDIFÍCIO

DESCRIÇÃO GERAL DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Através da inspeção ao edifício foi possível descrever a estrutura e os materiais estruturais que o compõem. Foram efetuadas três visitas ao edifício, as quais decorreram durante os meses de janeiro e fevereiro de 2018. Esta inspeção englobou a análise de paredes, pavimentos e cobertura e foi complementada com toda a documentação fornecida pela Câmara Municipal de Bragança, nomeadamente com peças desenhadas como plantas (cobertura, do piso), cortes e alçados, datados de fevereiro de 1971 e peças escritas como orçamentos e descrição dos trabalhos, datados de novembro de 1972.

Trata-se de um edifício do início dos anos 70, já com construção em betão armado em sapatas, pilares de fundação, vigas, pilares e cornijas. Apresenta lajes aligeiradas constituídas por vigotas de betão armado pré-fabricado e pré-esforçado e cobertura também em betão armado, com revestimento a telha cerâmica.

O edifício é constituído no seu perímetro e em zonas de enchimento entre pilares por paredes duplas de alvenaria de tijolo com caixa-de-ar e por paredes interiores igualmente de alvenaria de tijolo, sendo neste caso simples. Nas zonas sobre os vãos envidraçados as paredes exteriores são constituídas por betão simples.

O soalho na zona da sala de aula é de madeira assente sobre ripas de madeira e nas restantes zonas o pavimento é de mosaico hidráulico.

A caixilharia é em alumínio sem rutura térmica, com vidro simples e contemplam cerca de 28% de área de fachada relativamente à zona opaca no alçado oeste.

Desconhece-se se o edifício foi alvo de intervenções de manutenção ou reparação anteriores bem como se foi sujeito a qualquer acidente que tivesse provocado os danos que apresenta, como atos de vandalismo, incêndios, inundações, entre outros.

INSPEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ANOMALIAS

1. Metodologia

A metodologia de trabalho apresentada no presente estudo tem como principal objetivo simplificar e objetivar as atividades de inspeção e diagnóstico na generalidade dos componentes construtivos presentes, de modo a compreender as possíveis causas associadas às manifestações patológicas identificadas. Para tal, utilizaram-se meios de identificação e de classificação de anomalias, técnicas de diagnóstico e de possíveis causas, bem como o estabelecimento de uma correlação entre anomalias e as causas. A metodologia segue os itens esquematizados na Figura 6, não sendo necessariamente apresentados neste trabalho pela ordem que nela aparecem. A informação relativa ao diagnóstico das anomalias evidenciadas é apresentada de forma descritiva ao longo do texto.

De uma forma generalizada, descrevem-se as situações anómalas (caracterização sumária do local, do elemento construtivo em que a anomalia se encontra, data de construção e referência a eventuais intervenções posteriores no edifício em análise), associando-se posteriormente tais ocorrências a determinados conjuntos de causas. Nesta última fase, o objetivo é proceder à eliminação de diagnósticos para os quais é possível evidenciar argumentos, de modo que restem apenas aqueles para os quais não foi possível obter argumentos objetivos de exclusão, pelo que as medições e ensaios efetuados são de extrema importância para o diagnóstico.



Figura 6 - Esquema representativa da metodologia usada no presente relatório

Todos os trabalhos descritos foram realizados por técnicos qualificados, utilizando equipamentos calibrados, sendo a coordenação assegurada pela equipa responsável por este relatório, com experiência na reabilitação de edifícios, em particular na área do diagnóstico.

2. Sintomas e Descrição das Patologias Encontradas

Aquando das visitas ao edifício, foram detetadas as seguintes anomalias:

- i. Fissuração localizada com orientação preferencial
- ii. Fissuração generalizada sem orientação preferencial
- iii. Deterioração do pavimento em madeira
- iv. Manchas de humidade
- v. Presença de bolores ou fungos
- vi. Desagregação ou destacamento dos materiais de revestimento (pinturas e rebocos)
- vii. Destacamento do betão
- viii. Eflorescências ou criptoflorescências

3. Lista de diagnósticos

Para cada anomalia identificada no item 2., apresenta-se no Quadro 2 a lista de diagnósticos correspondente.

Quadro 2 – Lista de diagnósticos para cada anomalia identificada

Anomalia	Lista de possíveis diagnósticos
i. Fissuração definida e orientada em paredes de alvenaria interiores	Deformabilidade excessiva da estrutura de suporte; Elevadas tensões de corte/compressão/tração; Concentrações excessivas no suporte; Variações térmicas; Assentamento diferencial de fundações.
ii. Fissuração generalizada sem orientação preferencial	Humidade elevada do suporte; Humidade provinda de causas fortuitas; Retração excessiva do revestimento ou do suporte aplicado; Movimentações higroscópicas; Excesso de água / humidade na construção (argamassa e/ou suporte), Variações térmicas; Variações de humidade; Ausência de manutenção/conservação.
iii. Deterioração do pavimento em madeira	Opções de projeto e construção desadequadas; Acidentes, causas fortuitas; Envelhecimento natural e desgaste normal pelo uso; Existência de humidade; Obsolescência.
iv. Manchas de humidade	Humidade de construção; Humidade de condensação; Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade; Humidade de precipitação; Humidade do terreno; Humidade devido a causas fortuitas.
v. Presença de bolores ou fungos	Existência de humidade.
vi. Desagregação ou destacamento dos materiais de revestimento (pinturas e rebocos)	Opções de projeto e construção desadequadas; Acidentes, causas fortuitas; Envelhecimento natural e desgaste normal pelo uso; Existência de humidade; Obsolescência.
vii. Destacamento da película de pintura em paredes de alvenaria interiores	Humidade elevada do suporte; Humidade provinda de causas fortuitas; Má qualidade dos materiais/degradação dos materiais; Ausência de manutenção/conservação.
viii. Destacamento do betão	Ciclos gelo-degelo; Abrasão; Cavitação; Carbonatação; Ataque de cloretos; Alcalis-sílica.
ix. Eflorescências ou criptoflorescências	Humidade de construção; Humidade de condensação; Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade; Humidade do terreno;

4. Equipamentos

Listam-se diferentes tipos de equipamentos, seleccionados para o levantamento:

- Fita métrica, medidor laser digital
- Comparador de fissuras
- Esclerómetro de Schmidt
- Termo higrómetro
- Fenolftaleína
- Martelo de geólogo
- Detetor de armaduras
- Câmara fotográfica e câmara termográfica
- Caroteadora
- Equipamento de laboratório: Prensa de compressão, retificadora

5. Ensaios “in-situ” e Avaliação das Anomalias

É hoje possível recorrer a toda uma gama alargada de técnicas e instrumentos da mais variada natureza que facilitam as observações feitas “in-situ” e multiplicam o seu valor e rigor. Os ensaios *in situ* constituem um precioso meio auxiliar da inspeção visual e permitem uma melhor caracterização dos mecanismos de degradação. A opção por ensaios não destrutivos (END) ou NDT’s (na terminologia anglo-saxónica) para determinar a integridade do material ou medir quantitativamente uma dada característica de modo a inspecionar ou medir sem danos torna-se prioritária, em particular no betão. Neste trabalho foram efetuadas medições no local com equipamentos maioritariamente não destrutivos, à exceção da extração de carotes de betão para posterior ensaio em laboratório, considerada uma técnica semi-destrutiva de inspeção.

5.1. Análise e medição de fissuração e fendilhação

O edifício em estudo apresenta uma série de fissuras e fendas (quer exterior quer interiormente) em paredes divisórias e em paredes de fachada. Estas fissuras e fendas apresentam distintas aberturas, orientações e extensões. Para medição foi utilizada uma fita métrica, um comparador de fissuras e registadas todas as anomalias com câmara fotográfica digital. O comparador de fissuras consiste num pequeno cartão de plástico transparente ou não, com diferentes traços de espessuras conhecidas e que por comparação visual permite determinar a abertura das fissuras em milímetros. Na presente inspeção de fendas e fissuras aos elementos estruturais e não estruturais adotou-se a escala de classificação do nível de severidade de fissuras apresentada no Quadro 3. Nesta classificação são utilizados quatro patamares de severidade (níveis de degradação), em consonância com as metodologias de classificação de anomalias mais correntes [2, 3].

Quadro 3 – Níveis de severidade de fissuração

Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
≤ 0.1mm	0.1 a 0.25mm	0.25mm a 1.0mm	1.0 a 2.0mm	≥ 2.0mm
Fio de cabelo	Limiar da visibilidade	Visível. Localizada.	Bem definida. Tenuamente visível a 3m da fachada. Pode estar acompanhada de mais anomalias.	Efeitos estruturais. Facilmente visível em fotografia.
Micro-fissuras	Fissuras		Fendas	

Com recurso a esta escala descreve-se, em cada figura apresentada, a fissuração ou fendilhação encontrada indicando a nomenclatura dada f_1 , f_2 , etc., o nível de severidade, abertura (a), a extensão média (l) e a respetiva designação técnica conforme o estipulado no Quadro 3.

f_1 - Nível 4	Fenda orientada entre 45 a 90°, com início na extremidade inferior da parede de alvenaria exterior, com cerca de 3.0mm de abertura diminuindo para 2.0mm na extremidade.
$a \approx 3.0\text{mm}$	$l \approx 1.3\text{m}$
Notas: A fenda f_1 aparenta ser uma fenda comum aos dois lados da parede pois apresenta a mesma abertura, no exterior e no interior e a mesma configuração em termos de orientação, pelo que se pressupõe que seja uma fenda da parede de alvenaria e não apenas do reboco, ver Figuras 7 e 8.	



Figura 7 – Aspeto da fenda f_1 na parede interior



Figura 8 – Aspeto da fenda f_1 na parede exterior

f_2 - Nível 2	Fissura orientada entre 45 a 90°, com início na extremidade final da fenda f_1 , localizada na parte interior da parede de alvenaria exterior do alçado sul, com cerca de 0.9mm de abertura em praticamente toda a extensão.
$a \approx 0.9\text{mm}$	$l \approx 1.0\text{m}$
f_3 - Nível 2	Fissura orientada entre 45 a 90°, com início na extremidade final da fenda f_1 , localizada na parte interior da parede de alvenaria exterior do alçado sul, com cerca de 0.45mm de abertura diminuindo ao longo da extensão.
$a \approx 0.45\text{mm}$	$l \approx 1.3\text{m}$
f_4 - Nível 2	Fissuras visíveis em partes interiores e exteriores com orientação vertical localizadas junto aos pilares com abertura variável, ver Figura 9(a).
$a \approx 0.7\text{mm}$ a 2.5mm	l variável
f_5 - Nível 4	Fenda situada na parte inferior da Viga V_1 , com uma abertura máxima de 5.0mm e profundidade de 10mm, ver Figura 9(b).
$a \approx 2.0\text{mm}$ a 5.0mm	$l \approx 2.5\text{m}$



Figura 9 – (a) Medição da fissura f_4 e, (b) aspeto da fenda f_5

O edifício em análise apresenta fissuração extensa generalizada, quer no interior quer no exterior, pelo que se optou por apresentar as fissuras e fendas com maior extensão e abertura.

5.2. Ensaios com Esclerómetro de Schmidt e detetor de armaduras

Recorrendo aos desenhos de projeto de arquitetura e utilizando o detetor de armaduras (ensaio descrito no item 5.3) foi possível determinar as zonas em betão armado que constituem a estrutura resistente do edifício. Foram detetados 13 pilares em betão armado designados de P1, P2, ..., P13 e dois pilaretes, PI1 e PI2, de acordo com a Figura 10.

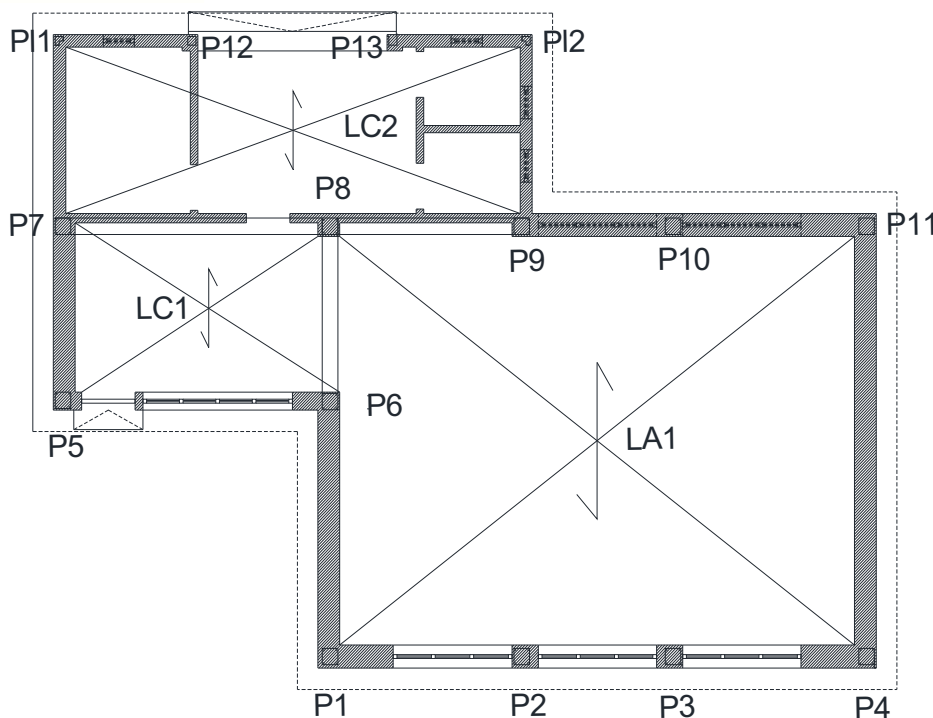


Figura 10 – Planta do edifício com identificação da zona de pilares

Verificou-se também, quer com o detetor de armaduras quer com uma inspeção do interior de um dos pilares P9, a existência de uma camada de reboco entre 2 a 3 cm, ver Figura 11.

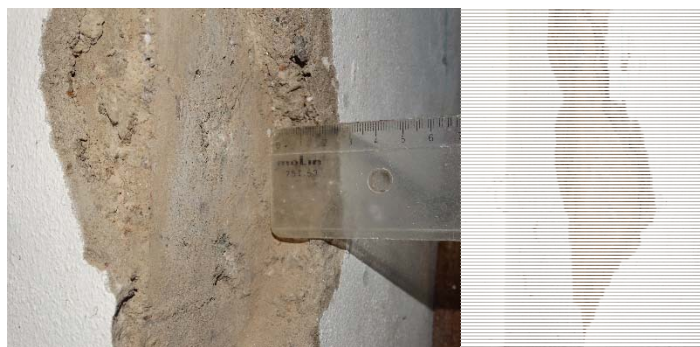


Figura 11 – Remoção de parte do reboco até pilar P9 e medição da espessura

Será importante referir que também foi utilizado um esclerómetro *Schmidt* do tipo N nos trabalhos de inspeção e diagnóstico em elementos de betão armado do edifício em estudo.

O esclerómetro é um aparelho que permite obter *in situ*, de uma forma simples e não destrutiva, a resistência à compressão de elementos de betão. O esclerómetro mede a dureza superficial de um dado material, baseando-se no método do ressalto que consiste no lançamento de uma massa contra a superfície em estudo e a medição do seu retorno. Por se tratar de um ensaio de resistência superficial, os valores obtidos são apenas representativos de uma camada até 5 cm de profundidade. No entanto, o ensaio é útil para avaliar a homogeneidade do betão, verificar se existe um determinado nível mínimo de resistência e decidir sobre a necessidade de fazer ensaios mais completos.

Segundo a norma NP EN 12504-2: 2012. *Ensaio de betão nas estruturas. Parte 2: Ensaio não destrutivo – Determinação do índice esclerométrico*, o princípio do funcionamento do aparelho esclerómetro divide-se em quatro etapas principais: a) preparação da superfície; b) seleção da área para ensaio; c) Compressão do veio do esclerómetro contra a superfície do betão; d) Descompressão da mola do esclerómetro.

O “índice esclerométrico” lido é depois relacionado com o ábaco pertencente ao modelo de esclerómetro usado e a tensão de rotura à compressão, referente a provetes cúbicos ou cilíndricos, é estimada com base na sua correlação com o índice esclerométrico. No Quadro 4 resumem-se as medições efetuadas, apresentando-se a média dos valores do ressalto (R) correspondente a uma medição de entre 5 a 10 leituras. No caso do pilar P9 o ensaio foi efetuado diretamente no elemento estrutural pois, tal como referido, foi removido o reboco.

Quadro 4 – Resultados do ensaio com esclerómetro de Schmidt

Pilar	Ressalto esclerómetro (média de 6 valores)	Valor da tensão de rotura em cubos (MPa)
P ₁	41	35.2
P ₂	40	33.4
P ₃	38	30.1
P ₄	39	31.8
P ₅	43	38.7
P ₆	50	51.7
P ₇	39	31.8
P ₈	41	35.2
P ₉	45	42.4
P ₁₀	40	33.4
P ₁₁	41	35.2
P ₁₂	40	33.4
P ₁₃	38	30.1
Média	41.2	35.6
Desvio padrão	3.3	5.9
Coefficiente de Variação (%)	8.0	16.6

5.3. Verificação do posicionamento de armaduras

Foi detetada a presença de armadura entre os pilares P7, P8 e P9, elemento estrutural tipo viga e entre os pilares P5 e P6, e P6 e P8, em vergas de portas, janelas e vãos. Esta tarefa foi realizada com o apoio de um detetor de armaduras do tipo MicroCovermeter. Os detetores de armaduras também designados por pacómetros, permitem a medição de recobrimento e detetar a posição e a direção das armaduras e as suas dimensões em estruturas de betão armado de forma não destrutiva, ver Figura 12.



Figura 12 – Inspeção com detetor de armaduras

Para uma fácil perceção da disposição das armaduras nos elementos de betão armado, nomeadamente nos pilares P1, P2, P3, P4 e P5, a superfície do elemento a sondar foi sendo marcada, à medida que se foram detetando as armaduras, com caneta preta permanente. Desta forma foi possível saber o espaçamento entre as armaduras, para posterior retirada de carotes, descrita no item 5.4., ver Figura 13.

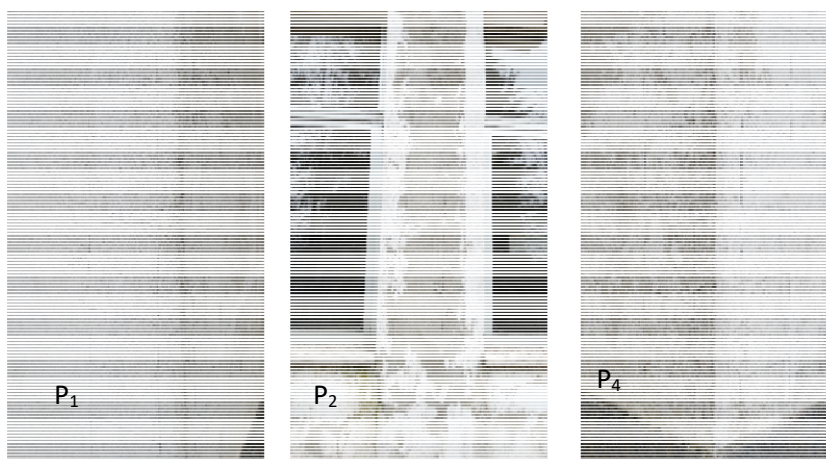


Figura 13 – Aspeto da configuração das armaduras nos pilares 1, 2 e 4

Verificou tratar-se de pilares 20cmx20cm com armadura longitudinal de 4Ø8 ou 4Ø10, com estribos Ø6 espaçados entre 20cm a 25cm. O recobrimento do pilar medido teve um valor médio de 5cm, tendo sido identificado um reboco de base cimentícia entre 2 a 2,5cm.

5.4. Extração de carotes de betão para determinação das características de resistência

Apesar da execução de ensaios não destrutivos a elementos estruturais nomeadamente em pilares com esclerómetro de Schimdt e dos resultados não apresentarem grande dispersão (Cov = 8.0% e 16,6%, baixa dispersão, resultados homogéneos) achou-se conveniente a recolha de amostras para proceder a ensaios de rotura à compressão. A forma habitual de recolha destas amostras é a extração de carotes através de um processo de carotagem. Executada com os devidos cuidados e utilizando equipamento apropriado, esta técnica reúne condições para não alterar significativamente a estrutura em estudo, ver Figura 14 e Figura 15.

A recolha das carotes deve ser feita de forma a não danificar as armaduras existentes no interior dos elementos a estudar. Para tal, a extração ocorreu após a inspeção das armaduras com detetor de armaduras descrito no item 5.3., selecionando assim o local de extração no espaço entre os varões, ver Figura 14 e Figura 15. Todo o procedimento de extração seguiu o estipulado na norma NP EN 12504-1: 2009. *Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1: Carotes, Extração, exame e ensaio à compressão.*



Figura 14 - Extração de uma carote no pilar P₁



Figura 15 – Processo de extração de uma carote no pilar P₄

De modo a não ser demasiado intrusivo, foram apenas retiradas três carotes em cada um dos pilares P₁, P₄ e P₅, com um diâmetro de 7,5 cm, dos quais resultaram posteriormente, em laboratório quatro carotes adequadas para ensaio. As amostras recolhidas foram devidamente identificadas, executado “*in-situ*” o ensaio com fenolftaleína e seguiram bem acondicionadas para laboratório para posterior ensaio (item 5.7.).

O ensaio com fenolftaleína tem como propósito a medição da frente de carbonatação pois constitui um dos mecanismos que mais afeta as armaduras impregnadas em elementos de betão armado proporcionando a alteração significativa do seu desempenho funcional e estrutural. Tratando-se de uma estrutura com mais de 45 anos de existência seria provável que apresentasse uma taxa de carbonatação considerável. Assim sendo, a verificação e caracterização do estado de conservação de betões, no que diz respeito ao processo de carbonatação, poderá ser realizada através da aplicação do indicador químico de fenolftaleína (fenolftaleína + álcool etílico + água destilada) em furos, ou sondagens previamente executados na superfície, verificando a profundidade de carbonatação do material em análise. Como tal, foram aplicadas umas gotas de fenolftaleína em toda a superfície de cada uma das carotes extraídas, iniciando pela face da carote que estava

exposta exteriormente na direção do interior até se perceber nitidamente a mudança de cor que proporciona o ensaio, ver Figura 16.



Figura 16 – Aspeto das carotes “in-situ” após pincelagem da superfície com fenolftaleína

Esta mudança de coloração, após aspersão, permite o reconhecimento da eventual carbonatação tendo em conta os valores de pH do betão em estudo. Assim:

- ✓ Em situações de valores entre 8 a 10 de pH (betão carbonatado) não ocorre mudança de coloração na superfície de betão em inspeção;
- ✓ Em situações de valores de pH entre 12 a 13 (betão não carbonatado), surge uma coloração carmim na superfície em análise.

No Quadro 5 estão em resumo os resultados obtidos.

Quadro 5 – Resumo dos resultados de medição com indicador de fenolftaleína

Pilar	Fronte de carbonatação (cm)	Observações
P ₁	≈ 6,5	-
P ₄	≈ 5,5	Embora na foto só seja visível um valor de 3cm de carbonatação, há que acrescentar o valor do recobrimento (≈2,5cm) que se desprende da carote
P ₅	≈ 5,5	-

Relativamente aos elementos laje e cobertura, não foi possível determinar através de ensaios a constituição dos elementos estruturais. Apenas pela inspeção visual e com o apoio dos documentos fornecidos pela Câmara Municipal de Bragança, prevê-se a existência de uma laje aligeirada constituída por vigotas de betão armado pré-esforçadas no teto da sala de aula (zona 1 e 2, de acordo com Figura 4) completada com armação com asnas e ripas de betão para suporte das telhas. Nas restantes zonas (zonas 3, 4, 5 e 6) existe uma laje aligeirada constituída por vigotas de betão armado pré-esforçadas, inclinada e com ripas de betão para suporte das telhas cerâmicas de barro vermelho, ver Figura 17.



Figura 17 – (a) Aspeto da laje de teto inclinada onde são perceptíveis as vigotas pré-esforçadas, (b) Aspeto da cobertura em telha cerâmica

5.5. Termografia

A termografia é uma técnica inteiramente não destrutiva, muito versátil, que permite detetar heterogeneidades não visíveis a olho nu existentes em elementos construtivos (como paredes). O seu princípio de funcionamento consiste na determinação e representação da temperatura superficial de um corpo, por medição da radiação infravermelha emitida pela sua superfície [3], convertendo-a em sinal elétrico.

Durante a inspeção termográfica realizada ao edifício em estudo utilizou-se uma câmara termográfica da marca FlirC3. Pelas imagens verifica-se a existência de temperaturas negativas nas superfícies dos elementos construtivos, ver Figura 18.

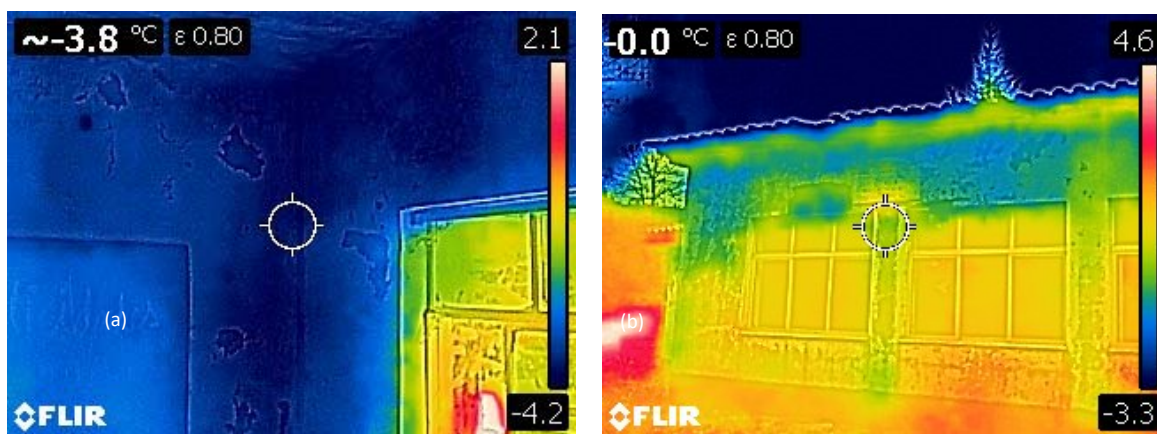


Figura 18 – Imagens obtidas com câmara termográfica: (a) No interior em parede de fachada junto ao pilar P4, e (b) No exterior em parede de fachada.

5.6. Medição do teor de humidade

A presença de humidade é extremamente evidente neste edifício, existindo manchas de humidade e colonização biológica profunda em zonas mais frias, ver Figura 19 (a) e presença de condensações superficiais em revestimentos, ver Figura 19 (b).



Figura 19 – (a) Presença de colonização biológica, (b) Condensações superficiais em revestimento

Apesar ser possível detetar a presença de humidade em teores elevados apenas recorrendo a inspeção visual, foram efetuadas avaliações “in-situ” para um diagnóstico qualitativo da humidade

superficial de uma parede. Neste sentido, utilizou-se um instrumento portátil (humidímetro), ver Figura 20 (a). A existência de humidade nestas proporções conduziu, direta ou indiretamente, à deterioração estrutural, com destacamento de betão e oxidação de armaduras nas zonas de cornijas, à alteração das propriedades térmicas, ao descolamento das superfícies dos revestimentos, quer rebocos quer pinturas e ao desenvolvimento de microrganismos, ver Figura 20(b).



Figura 20 – (a) Medição qualitativa de humidade com humidímetro, (b) Destacamento de rebocos e betão



Figura 21 – (a) Medição com humidímetro, numa parede, (b) Aspeto da zona de apoio

Relativamente às cornijas, estas apresentam um estado deterioração muito avançado, mostrando as armaduras à vista de Ø8, com estribos Ø6 espaçados entre 20 a 25cm, e muita colonização biológica, como fungos e musgos, ver 2.



Figura 22 – Aspeto das cornijas do edifício, com destacamento do betão e armaduras à vista

5.7. Ensaios em Laboratório

Os ensaios aos provetes cilíndricos extraídos por carotagem no dia 1 de fevereiro de 2018, bem como toda a sua preparação, foram executados no Laboratório de Materiais da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança. O laboratório recebeu três carotes identificadas com P₁, P₄ e P₅. Após uma inspeção visual verificou-se a não existência de armaduras,

o que facilitou a análise dos resultados finais. Os topos das carotes foram cortados com serra diamantada e retificados com retificadora, de tal forma que foram obtidos quatro provetes com a altura entre uma a duas vezes o diâmetro, P₁, P_{4A}, P_{4B} e P₅. Os ensaios de rotura à compressão simples dos provetes foram realizados, de acordo com a Norma NP EN 12390-3: 2011. *Ensaio do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão de provetes*. No Quadro 6 resumem-se os principais resultados obtidos.

Quadro 6 – Resultados obtidos em ensaios efetuados no LMC

Carote	Proвете cilíndrico	Peso (kg)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa volúmica (kg/m ³)	Força de Rotura (kN)	Tensão de rotura f_c (MPa)
P ₁	P ₁	1,436	73	145	2366,20	53,2	12,71
P ₄	P _{4A}	1,2632	73	130	2321,63	59,08	14,12
P ₄	P _{4B}	1,3214	73	135	2338,65	66,59	15,91
P ₅	P ₅	1,2711	73	132	2300,75	71,5	17,08
Média		1,3229	73	135,50	2331,81	62,59	14,96
Desvio padrão		0,0797	0	6,66	27,67	8,08	1,93
Coeficiente de Variação (%)		6,0221	0	4,91	1,19	12,91	12,91

As normas referenciadas pela *Concrete Society* relativas à conversão dos valores das tensões de rotura em carotes tendo em vista a obtenção da resistência real em obras de betão são a EN 13791: 2007 e BS 6089: 2010. Os cálculos têm em consideração: a) a direção da carotagem (horizontal ou vertical); b) a relação altura/diâmetro do provete; c) a presença de armaduras. O tratamento dos resultados obtidos nas carotes de modo a estimar o valor característico do betão da estrutura atualmente, estão apresentados no Quadro 7 e Quadro 9.

Quadro 7 – Tratamento de resultados segundo a BS 6089:2010

Carote	h (mm)	pr	Tensão de rotura f_{carote} (MPa)	λ	α_1	α_2	α_3	Tensão de rotura f_{cubo} (MPa)
P ₁	145	0	12,71	1,98630137	1,24784854	1	1,45	10,94
P _{4A}	130	0	14,12	1,78082192	1,21268657	1	1,45	11,81
P _{4B}	135	0	15,91	1,84931507	1,22504537	1	1,45	13,44
P ₅	132	0	17,08	1,80821918	1,21771218	1	1,45	14,35
Média (MPa)								12,63
Desvio Padrão (MPa)								1,5433
Coeficiente de Variação (%)								12,2163

h - altura da carote a ensaio
pr - Profundidade de armaduras
 λ - Relação altura/diâmetro
 α_1, α_2 e α_3 - parâmetros de cálculo tendo em consideração a forma de extração, a idade do betão e a existência de armaduras nas carotes

A determinação do valor característico no caso da BS 6089 não é especificado, pelo que se poderá estimar pela norma NP EN 13670 ou admitindo que a distribuição de valores segue uma distribuição normal. Assim sendo, o Quadro 8 apresenta os valores característicos, para as duas situações.

Quadro 8 – Estimativa do valor característico

Base de cálculo:	fck (MPa)
NP EN 13670	8,63
Distribuição normal	12,31

Quadro 9 - Tratamento de resultados segundo o estipulado pela "Concrete Society"

Carote	h (mm)	Tensão de rotura f_{carote} (MPa)	Tensão de rotura f_{cil} (MPa)
P ₁	145	12,71	15,86
P _{4A}	130	14,12	17,12
P _{4B}	135	15,91	19,49
P ₅	132	17,08	20,80
		Média (MPa)	18,32
		Desvio padrão (MPa)	2,24
		Coefficiente de variação (%)	12,22
		fcm, cubos (MPa)	18,29
		fcm, standard (MPa)	22,87
		fck (MPa)	18,28

5.8. Análise dos resultados e conclusões da inspeção

Com base nas etapas precedentes e relatadas nos itens anteriores foi possível a eliminação de alguns diagnósticos para cada uma das anomalias verificadas. No Quadro 10 apresentam-se para cada uma das anomalias descritas Quadro 2, o diagnóstico obtido, ou seja, a descrição do mecanismo de causa-efeito que justifica a manifestação observada. No entanto, deve-se referir que foi difícil proceder a uma explicação objetiva da situação, pelo que é plausível que se estabeleça o diagnóstico com base em mais do que uma causa e mesmo sem qualquer explicação do mecanismo que gera a patologia.

Como resumo dos trabalhos e inspeções efetuadas, conclui-se que se trata de um edifício em estado avançado de degradação, pelo que muitas das anomalias que apresenta devem-se à falta de manutenção e conservação do imóvel. Apresenta níveis elevados de humidade, quer por fenómenos de condensação, quer por fenómenos de higroscopicidade, não se descartando a hipótese de humidade ascensional, pelo que constitui a principal causa das patologias que o edifício apresenta, nomeadamente: degradação do pavimento em madeira, colonização biológica grave em tetos e paredes, destacamento dos revestimentos (rebocos, pinturas), destacamento do betão e eflorescências. O betão apresenta valores característicos de resistência à compressão mais baixos relativamente à classe referida nos documentos de obra fornecidos pela CMB (B180), um valor relativamente elevado de carbonatação e presença de humidade. No entanto, é de referir que o imóvel tem 45 anos de idade e não são conhecidas quaisquer intervenções de manutenção e conservação. As elevadas amplitudes térmicas diárias e anuais que se verificam na região, nomeadamente os ciclos gelo/degelo afetaram e agravaram o estado de conservação de todos os materiais do edifício, quer estruturais quer não estruturais. A cobertura em telha cerâmica é um dos elementos afetado por ciclos gelo/degelo e por falta de manutenção (substituição de telhas partidas, remoção de colonização biológica e vegetação, etc.).

Quadro 10 - Diagnóstico

Anomalia	Diagnóstico
i. Fissuração definida e orientada em paredes de alvenaria interiores e exteriores	Deformabilidade excessiva da estrutura de suporte (f_1, f_2, f_3); Assentamento diferencial de fundações (f_1, f_2, f_3); Variações térmicas (diferença de materiais) f_4 .
ii. Fissuração generalizada sem orientação preferencial (f_5 e fissuras não identificadas no presente relatório)	Humidade elevada do suporte; Retração excessiva do revestimento ou do suporte aplicado; Movimentações higroscópicas; Excesso de água / humidade na construção (argamassa e/ou suporte), Variações térmicas; Variações de humidade; Ausência de manutenção/conservação.
iii. Deterioração do pavimento em madeira	Envelhecimento natural e desgaste normal pelo uso; Existência de humidade; Obsolescência.
iv. Manchas de humidade	Humidade de condensação; Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade; Humidade de precipitação.
v. Presença de bolores ou fungos	Existência de humidade.
vi. Desagregação ou destacamento dos materiais de revestimento (pinturas e rebocos)	Envelhecimento natural e desgaste normal pelo uso; Existência de humidade; Obsolescência.
vii. Destacamento da película de pintura em paredes de alvenaria interiores	Humidade elevada do suporte; Má qualidade dos materiais/degradação dos materiais; Ausência de manutenção/conservação;
viii. Destacamento do betão	Ciclos gelo-degelo; Carbonatação;
ix. Eflorescências ou criptoflorescências	Humidade de condensação; Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade; Humidade do terreno (ascensional).

INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO A NÍVEL CONSTRUTIVO

Com base no presente relatório tecem-se as seguintes recomendações relativamente à reabilitação a nível construtivo do edifício:

- A. Remoção da laje de cobertura na sua totalidade, implicando também a remoção das telhas cerâmicas e respetivas cornijas. Ou seja, remoção da laje inclinada das zonas 3, 4, 5 e 6, e da armação completa do telhado da zona principal (zona 1). Em caso de deteção de elevado grau de deterioração da laje aligeirada, deve proceder-se também à remoção da mesma na zona principal, após inspeção do seu estado de conservação. Substituição por cobertura nova mais leve ou com peso específico semelhante à existente;
- B. Reforço dos pilares existentes e dos pilaretes, aproveitando a área circundante disponível entre envidraçados nos pilares P₂, P₃, P₉ e P₁₀, bem como nos restantes com um encamisamento em betão armado de modo a aumentar a área de secção do pilar ou outra técnica de reforço adequada. É de salientar, que numa fase de projeto, após o

dimensionamento do reforço a efetuar, seja necessário proceder igualmente ao reforço das fundações.

- C. Reforço dos lintéis dos vãos de portas, janelas e vãos ou sua substituição integral;
- D. Remoção do reboco na sua totalidade para substituição, tendo em consideração que trabalhos executados neste sentido, devem ser só realizados após a remoção da humidade das paredes, ou seja, o teor de humidade nestes elementos deverá ser consideravelmente baixo, antes de qualquer intervenção;
- E. Remoção e substituição de todos os envidraçados;
- F. Remoção e substituição do pavimento em madeira na sala principal.

Estas recomendações de base, deverão ser complementadas com as propostas de reabilitação energética expostas no capítulo seguinte.

CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA

TIPO DE EDIFÍCIO

O edifício é integrado na categoria de *Pequeno edifício existente, de serviços, sem climatização - PESSC*, encontrando-se desocupado.

LOCALIZAÇÃO E DADOS CLIMÁTICOS

O edifício encontra-se situado numa zona rural, a 844m de altitude e a uma distância à costa de 170 km. Não existe infraestrutura para o abastecimento de gás natural. Tem de coordenadas geográficas: $41^{\circ}53'12.86''N$; $6^{\circ}49'12.90''W$. O alçado principal está orientado a Oeste. Não existem edifícios adjacentes, mas existem árvores de grande porte que provocam sombreamentos significativos nos alçados Oeste e Sul, ver Figura 6.

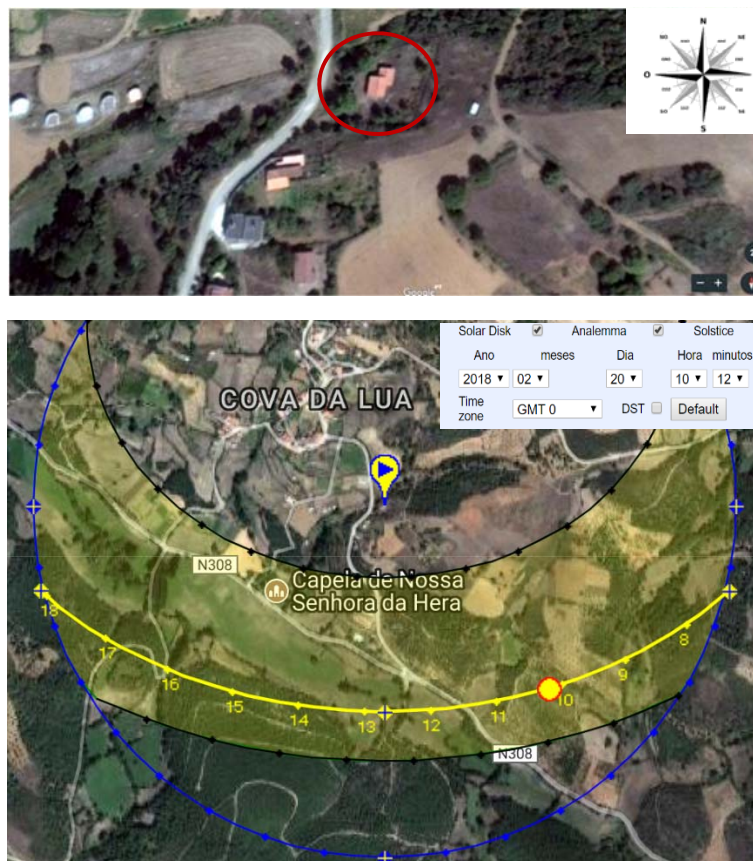


Figura 6 – Orientação do Edifício

Os principais dados climáticos são os seguintes:

Graus-dia	2 245		
Zona Climática de Inverno	I3	Zona Climática de Verão	V2
Temperatura Média Exterior Inverno (°C)	4,8	Temperatura Média Exterior Verão (°C)	20,4
Duração da estação de aquecimento (meses)	7,3	Duração da estação de arrefecimento (meses)	4,0

ORGANIZAÇÃO ESPACIAL E LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

Durante a vistoria foi efetuado o levantamento dimensional do imóvel pela medição direta das principais dimensões do interior e exterior, apresentado em anexo (ANEXO 1).

Área útil de pavimento: 63m²

Pé Direito médio ponderado: 2.96m

CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS OPACOS

Através dos documentos fornecidos, da inspeção visual e do levantamento dimensional, foi determinada a composição das soluções construtivas que se apresentam em seguida. Para determinação do valor do coeficiente de transmissão térmica das diferentes soluções (U), apenas na ausência de informação específica, se recorreu aos valores tabelados de fontes de informação de referência, nomeadamente o ITE 50 e o ITE 54 [5, 6].

Parede Tipo 1

Parede exterior dupla com caixa de ar, de 34 a 35cm, localizada nos alçados oeste, este, norte e sul (na ligação da sala com o exterior), de cor clara, composta por 2 panos de tijolo cerâmico (15cm+7cm), e revestida interior e exteriormente com 2 a 3cm de reboco pintado com tinta de cor branca, ver Figura 7.

$$U = 1.1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$



Figura 7 – Parede Tipo 1

Parede Tipo 2

Parede exterior dupla com caixa de ar, de 27cm, localizada no alçado oeste (na ligação da sala de aula com o exterior) de cor clara, composta por 2 panos de tijolo cerâmico (11cm+7cm), e revestida interior e exteriormente com 2 a 3cm de reboco pintado com tinta de cor branca, ver Figura 8.

$$U = 1.3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$



Figura 8 – Parede Tipo 2

Parede Tipo 3

Parede exterior simples, de 19cm, localizada no alçado oeste, sul e norte (ligação da cozinha e sanitários com o exterior) de cor clara, composta por 1 pano de tijolo cerâmico de 15cm, e revestida interior e exteriormente com 2 a 3cm de reboco pintado com tinta de cor branca, ver Figura 9.

$$U = 1.7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$



Figura 9 - Parede Tipo 3

Parede Tipo 4

Parede exterior simples, de 15cm, localizada na ligação da sala com o hall exterior, de cor clara, composta por 1 pano de tijolo cerâmico de 11cm, e revestida interior e exteriormente com 2 a 3cm de reboco pintado com tinta de cor branca, ver Figura 10.

$$U = 2.1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$



Figura 10 - Parede Exterior Tipo 4

Parede Tipo 5

Parede exterior simples, de 11cm, localizada na ligação da cozinha e sanitários com o hall exterior, de cor clara, composta por 1 pano de tijolo cerâmico de 7cm, e revestida interior e exteriormente com 2 a 3cm de reboco pintado com tinta de cor branca, ver Figura 11.

$$U = 2.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$



Figura 11 – Parede Exterior Tipo 5

Pontes térmicas planas (lintéis, pilares e talões de vigas)

Os dados disponíveis não são suficientes para determinar com exatidão a constituição de todas as pontes térmicas planas, especialmente no que diz respeito às espessuras dos pilares e talões de vigas. Neste caso, é apontado o valor do coeficiente de transmissão térmica do elemento mais desfavorável.

$$U = 3.4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Os lintéis são constituídos por uma camada de betão pobre. Não foi possível apurar a constituição da totalidade dos lintéis, mas em algumas zonas, nomeadamente na fachada principal, verificou-se a sua continuidade até ao teto. Neste caso, é apontado o valor do coeficiente de transmissão térmica do elemento mais desfavorável.

$$U = 4.0 \text{ W/ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Cobertura

A cobertura é constituída por uma laje aligeirada simples inclinada em algumas zonas e por uma laje aligeirada horizontal sob desvão noutras zonas. É apontado por isso o valor por defeito, do coeficientes de transmissão térmica, da laje mais desfavorável.

$$U = 3.4 \text{ W/ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento térreo

A laje de pavimento térreo é composta por uma camada de brita de 15 cm de espessura, uma camada de massame de 10cm e é revestida com mosaico ou pavimento em madeira.

$U_{bf} = 0.9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (tendo em conta a resistência térmica do pavimento com exclusão das resistências térmicas superficiais interior R_{si} e exterior R_{se})

Portas exteriores

Porta exterior em alumínio, sem rotura térmica, $U = 6.5 \text{ W/ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Porta exterior em madeira, $U = 2.5 \text{ W/ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

Relativamente aos vãos envidraçados, apresentam-se as principais características e parâmetros determinados:

- Tipo de vão envidraçado: simples
- Quadrícula: não existe
- Material: alumínio sem corte térmico, cor clara
- Sistema de abertura: fixa, correr e giratória
- Tipo de vidro: simples, com 3mm, fosco nas casas de banho e cozinha e incolor nos restantes vãos

- Dispositivos de oclusão noturna: alguns vãos apresentam lâminas em alumínio, mas bastante danificados
- Orientações: Oeste, este, sul
- Área total dos vãos: 13.5m²

U= 6 a 6.5 W/ m².°C (sem contabilizar qualquer proteção)



Figura 12 – Vãos envidraçados

VENTILAÇÃO

A renovação do ar interior no imóvel processa-se com base em ventilação natural, sendo de salientar os seguintes aspetos:

- Distância à costa: superior a 5 km
- Zona de implantação: rural
- Classificação quanto à permeabilidade ao ar: não existe
- Caixas de estores: não existem
- Vedação de portas: portas mal vedadas
- Aberturas auto-reguláveis: não existem
- Conduatas de extração e insuflação de ar: não existem

INÉRCIA TÉRMICA

O edifício apresenta uma inércia térmica forte, pelo facto de apresentar cumulativamente:

- Paredes de alvenaria
- Pilares em betão
- Cobertura com vigotas de betão
- Revestimentos a reboco pintado, madeira e azulejo cerâmico
- Inexistência de tetos falsos
- Inexistência de isolamento térmico.

SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS (AQS)

De acordo com a planta inicial, estava prevista uma salamandra, mas a mesma não existe nem há qualquer evidência de que tenha existido durante a ocupação do imóvel.

- Sistema para preparação de AQS: não existe
- Sistema para aquecimento: não existe
- Sistema para arrefecimento: não existe

SISTEMA SOLAR OU OUTRO SISTEMA DE ENERGIA RENOVÁVEL

Não existe qualquer sistema solar ou outro sistema de aproveitamento de energia renovável.

ILUMINAÇÃO

O edifício não dispõe de sistema funcional de iluminação.

RECOMENDACÕES PARA A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA E BIOCONSTRUTIVA

No âmbito do projeto BIOURB NATUR pretende-se que a reabilitação arquitetónica e energética do edifício seja efetuada de acordo com os princípios de arquitetura bioclimática definidos no MANUAL BIOURB [1]. Deste modo, as recomendações apresentadas em seguida têm como base a utilização de estratégias energéticas passivas em detrimento de estratégias ativas, minimizando a utilização de fontes energéticas não renováveis e maximizando as estratégias construtivas bioclimáticas no desempenho energético do edifício.

Trata-se de um edifício em estado de *semi-abandono* com valor histórico, patrimonial e cultural pelo que a intervenção de reabilitação integral terá como base a adequação a um novo uso de carácter também público: *Centro Comunitário e Salão de Festas de Cova de Lua*.

Com base no presente relatório estabelecem-se no capítulo anterior recomendações relativamente à reabilitação estrutural e não estrutural do edifício. A reabilitação deverá ser aproveitada para a implementação de medidas de melhoria de conforto térmico dotando-o de elevada eficiência energética e reduzindo a pegada ecológica do edifício no seu ciclo de vida.

Deve referir-se que reabilitar não é apenas devolver as capacidades estruturais adequadas ao edifício para que este funcione em boas condições estruturais e de segurança, reabilitar é também procurar preservar as características do edifício e todos os elementos que se encontrem em bom estado, intervindo sempre de forma cuidada na substituição dos elementos danificados. Este tipo de substituição e reparação deverá ser decidido caso a caso, optando por técnicas tradicionais ou inovadoras, mas sempre compatíveis com as existentes

NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO

De acordo com o exposto anteriormente, o funcionamento geral atual do edifício não é satisfatório para qualquer tipo de uso ou utilização sendo necessária uma profunda intervenção de reabilitação, dotando-o de boas condições de habitabilidade e conferindo-lhe um uso que maximize a sua utilização por parte dos habitantes de Cova de Lua. Assim, deverá proceder-se à ampliação da área construída, concretamente na zona da sala comum, de modo a poder efetuar atividades abertas à população e que reúnam toda a comunidade no mesmo espaço ao mesmo tempo, tornando-se num centro agregador das gentes de Cova de Lua.

Na sua situação atual a utilização do edifício incorpora os seguintes riscos/problemas:

- a) falta de segurança da estrutura, nomeadamente ao nível do beiral, com fissuras e iminente risco de queda de argamassa/betão;
- b) risco de quebra de vãos envidraçados e suas proteções, que se encontram danificados.
- c) risco de queda das pessoas, em consequência do estado de podridão do pavimento de madeira.
- d) problemas de humidades e condensações em todo o edifício.
- e) deficiente conforto térmico.

- f) mobiliário e equipamento de cozinha e sanitários danificados, não adequados ao uso.

REABILITAÇÃO ENERGÉTICA E BIOCONSTRUTIVA

Recomenda-se, com base no estudo elaborado, as seguintes soluções construtivas bioclimáticas:

▪ **Aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores pelo exterior (sistema ETICS)**

A resistência térmica das paredes exteriores é muito baixa, não contribuindo para o conforto térmico interior, e levando a problemas de condensações superficiais. Propõe-se o aumento da sua resistência térmica através da incorporação de isolamento térmico. Como existe um alçado a poente com vãos envidraçados de dimensões generosas, aconselha-se a colocação do isolamento pelo exterior, para se evitarem sobreaquecimentos no verão, fazendo uso da inércia térmica das paredes de alvenaria existentes.

Para valores de coeficientes de condutibilidade térmica inferiores $0.04 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, aconselha-se que a espessura do isolante a colocar seja superior a 8cm.

▪ **Aplicação de Isolamento térmico na cobertura sobre teto falso**

A resistência térmica da cobertura é muito baixa, não contribuindo para o conforto térmico interior, e levando a problemas de condensações superficiais. Propõe-se o aumento da sua resistência térmica através da incorporação de isolamento térmico. Aconselha-se que este seja colocado pelo interior, sobre um teto falso, devendo providenciar-se que a cobertura disponha de aberturas para ventilação, preferencialmente controláveis (para se abrirem no verão, evitando sobreaquecimentos e fecharem no inverno, diminuindo as perdas de calor). Aconselha-se também a escolha de cores claras e revestimentos com baixa emissividade pois ajudam a diminuir as necessidades energéticas (de arrefecimento) na estação quente.

Para valores de coeficientes de condutibilidade térmica inferiores a $0.04 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, aconselha-se que a espessura do isolante a colocar seja superior a 10 cm.

▪ **Substituição da caixilharia e dispositivos de sombreamento**

A caixilharia e proteções existentes encontram-se danificadas e apresentam uma resistência térmica baixa. Propõe-se a substituição da caixilharia pela solução de caixilharia em alumínio com rotura térmica, vidro duplo incolor, com caixa de ar de 16mm e com classe de permeabilidade ao ar elevada. Deverão ser colocadas proteções de cor clara/média nos vãos exteriores (a proteção pelo exterior diminui os riscos de sobreaquecimento e possibilita também uma proteção contra intrusões), de modo a permitir controlar a quantidade de radiação incide nos vãos envidraçados no Verão. A caixilharia deverá ainda ser dotada de grelhas auto-reguláveis, contribuindo para uma ventilação natural mais eficiente.

O valor do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados deverá ser inferior a $3.3 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

▪ **Aplicação de Isolamento térmico no pavimento térreo**

O revestimento do pavimento existente está muito degradado, pelo que terá que ser substituído. Neste sentido, não deve ser desperdiçada a oportunidade de colocar isolamento no pavimento, sob o revestimento novo.

▪ **Colocação de um recuperador de calor a lenha para climatização**

Apesar dos cuidados com o isolamento térmico, para garantir as condições de conforto no inverno, há a necessidade de um apoio energético para o aquecimento. Propõe-se que seja adotado um recuperador de calor a lenha para o aquecimento do edifício, na estação de inverno. A lenha, considerada energia renovável, é um recurso abundante na região, permitindo economizar nos gastos energéticos. Para além disso, o recuperador de calor é um sistema semelhante às lareiras tradicionais, muito apreciado pelas pessoas da região. Propõe-se ainda, que este sistema faça o aquecimento de um circuito de água para alimentar pelo menos um radiador a instalar na cozinha, com possibilidade também de fazer aquecimento de água a utilizar neste compartimento. O número de radiadores dependerá da área útil a ampliar. A eficiência do recuperador deverá ser superior a 75%.

▪ **Execução de uma Parede Trombe**

Propõe-se a execução de uma Parede Trombe no alçado sul do edifício, ventilada e com proteções solares exteriores de cor clara.

Devido às severas condições climáticas de inverno na região onde se implanta a Escola de Cova de Lua existem elevadas necessidades energéticas (de aquecimento) nesta estação. Estando o alçado sul desaproveitado, pois não tem nenhum envidraçado, a Parede Trombe, solução bioclimática semelhante à Estufa Anexa, será uma solução eficiente para a absorção da energia solar a sul. As proteções solares serão utilizadas na estação de arrefecimento.

▪ **Execução de um Espaço de Transição Orientado, com Parede Verde e Cobertura verde, permitindo o Arrefecimento Evaporativo**

Propõe-se a criação de um espaço de transição orientado no alçado oeste do edifício, com uma cobertura e paredes laterais em vegetação de folha caduca. Para além das vantagens que incorporam relativamente à minimização da radiação incidente na estação quente, estas soluções bioclimáticas proporcionam ainda o arrefecimento evaporativo.

Apesar do inverno ser a estação que leva a maiores gastos energéticos, as preocupações a nível de conforto térmico na estação quente tendem a aumentar em consequência do incremento da temperatura média registada nos últimos anos. A fachada orientada a oeste pode originar ganhos solares excessivos no verão, uma vez que o edifício acumula calor durante todo o dia, saturando a sua capacidade de absorção e acumulação da massa térmica. Neste sentido é importante que este alçado seja devidamente sombreado no verão. A cobertura e parede verde deste espaço de transição, com folha caduca proporcionarão esse sombreamento. A este nível, uma boa solução é a videira, permitindo o cultivo de plantas com fruto comestível.

Por outro lado, o novo uso do edifício permite uma reformulação ao nível da circulação e da hierarquia de espaços interiores, pelo que este espaço coberto interior/exterior incorpora ao mesmo tempo:

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA E BIOCONSTRUTIVA

- a) soluções bioclimáticas que beneficiam o desempenho térmico do conjunto edificado;
- b) a alteração da zona de entrada, trazendo-a do alçado posterior para o alçado principal;
- c) o prolongamento da zona de estar comum interior para o exterior, podendo inclusive projetar-se uma solução que permita encerrar este espaço de transição orientado na estação fria, transformando-o numa estufa anexa, solução bioclimática com grande benefício térmico (no aquecimento de espaços contíguos e servindo como caixa de ar entre a estufa anexa e a sala comum, reduzindo o processo de equalização térmica entre os dois espaços e, conseqüentemente, fomentando a manutenção de uma temperatura interior de conforto.

Nota: As dimensões mínimas das espessuras de isolamentos recomendadas deverão ser reavaliadas de acordo com a legislação aplicável à data do licenciamento do projeto da especialidade de térmica.

REFERÊNCIAS

- [1] Vaz, António Jorge Ferreira; Ferreira, Débora; Luso, Eduarda; Fernandes, Sílvia (2013) - Manual BIOURB - Manual para a conservação e reabilitação da diversidade bioconstrutiva. Bragança : Câmara Municipal. ISBN 978-989-8344-22-9
- [2] Amaral, S. Inspeção e diagnóstico de edifícios recentes. Estudo de um caso real. Tese de Mestrado, 2013, ISEL
- [3] Gaspar, P. & Brito, J. Tipos de vida útil das construções. *Actas do 3º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*, PATORREB, 2009: 307
- [4] ICOMOS. *Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico*. International Council on Monuments and Sites. (2004). Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry
- [5] Santos, Carlos A. Pina dos; Matias, Luis - ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, LNEC, 2010.
- [6] Santos, Carlos A. Pina dos; Rodrigues, Rodrigo - ITE 54 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios, LNEC, 2010.

ANEXO 1