



Central Termoelétrica de Porto de Mós

Avaliação Estrutural das Paredes de
Alvenaria



Relatório Técnico

Ficha Técnica





Avaliação Estrutural das Paredes de Alvenaria da Central Termoelétrica de Porto de Mós

Edifício	Central Termoelétrica de Porto de Mós
Título	Avaliação Estrutural das Paredes de Alvenaria
Tipologia	Relatório Técnico
Versão	02
Dono de obra	Câmara Municipal de Porto de Mós
Relatores	<p>Paulo Alexandre Lopes Fernandes PhD, Professor Coordenador DEC, Engenheiro Civil CP OE nº24508 (+351) 244 820 300 paulo.fernandes@ipleiria.pt www.ipleiria.pt</p> <p>João Paulo Veludo Vieira Pereira PhD, Professor Adjunto DEC, Engenheiro Civil CP OE nº23633 (+351) 244 820 300 joao.veludo@ipleiria.pt www.ipleiria.pt</p> <p>Romain Ribeiro de Sousa PhD, Investigador Auxiliar DEC, Engenheiro Civil CP OE nº69393 (+351) 244 820 300 romain.r.sousa@ipleiria.pt www.ipleiria.pt</p>
Colaboração	<p>Douaa Adil Osman Elbashir MSc in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions, Bolsista de Investigação no IPLeiria (+351) 244 820 300 douaa.elbashir@ipleiria.pt www.ipleiria.pt</p>
Representante DO	<p>Marina Vala Engenheira Civil, Gabinete de Obras Públicas</p>

Leiria, setembro 2020

Índice





Avaliação Estrutural das Paredes de Alvenaria da Central Termoelétrica de Porto de Mós

Resumo	2
Enquadramento	4
Contextualização	5
Objetivos e metodologia	5
Identificação e localização do equipamento	6
Descrição do edifício e intervenção	6
Inspeção e Diagnóstico.....	8
Inspeção visual e recolha de informação	9
Diagnóstico e avaliação de soluções	13
Capacidade estrutural das paredes de alvenaria	13
Ligação entre parede nova e parede existente	14
Reabilitação da parede danificada	16
Conclusões e Recomendações.....	20

Resumo



Avaliação Estrutural das Paredes de Alvenaria da Central Termoelétrica de Porto de Mós

A presente trabalho refere-se ao estudo de Avaliação Estrutural das Paredes de Alvenaria da Central Termoelétrica de Porto de Mós no âmbito do projeto de requalificação em curso, realizado por solicitação da Câmara Municipal de Porto de Mós (CM Porto de Mós), com o objetivo de responder às dúvidas surgidas durante a obra em curso e permitindo à Câmara Municipal ter um instrumento que assegurasse a boa execução da obra e a preservação das paredes de fachada em alvenaria originais e com valor patrimonial (e histórico).

Este documento surgiu face à necessidade da CM Porto de Mós envolver neste processo uma entidade do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (STCN), com recursos humanos qualificados e possuidores de conhecimento técnico e científico avançado na área da Caracterização e Avaliação de Estruturas e que pudessem, de forma independente, realizar um relatório que apoiasse a decisão da CM Porto de Mós e servir de orientação a todos os envolvidos na execução da obra em curso (projetistas, direção de obra, fiscalização e dono de obra).

Ocorreu um incidente durante a betonagem de uma parte da estrutura junto à parede nascente em alvenaria de pedra que levantou dúvidas relativamente à capacidade destas paredes, da ligação entre as paredes de alvenaria e a nova estrutura e da estratégia mais adequada para a continuação dos trabalhos.

O presente trabalho a partir de uma inspeção ao local e recolha de informação procura esclarecer estas dúvidas deixando um conjunto de recomendações para apoiar a CM Porto de Mós a tomar as decisões que melhor defendam o interesse público e a execução dos trabalhos.

Enquadramento



Contextualização

O presente estudo enquadra-se no âmbito de uma solicitação apresentada pela Câmara Municipal de Porto de Mós (CM Porto de Mós) ao Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG) do Politécnico de Leiria tendo como objetivo responder às dúvidas surgidas durante a obra de reabilitação e requalificação da Central Termoelétrica de Porto de Mós, de modo a dotar a Câmara Municipal de um instrumento que assegure a boa execução da obra projetada e a preservação das paredes de fachada em alvenaria originais e com valor patrimonial (e histórico).

O envolvimento do DEC do Politécnico de Leiria surge face à necessidade da CM Porto de Mós envolver neste processo uma entidade do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (STCN), com recursos humanos qualificados e possuidores de conhecimento técnico e científico avançado na área da Caracterização e Avaliação de Estruturas e que pudessem, de forma independente, realizar um relatório que apoie a decisão da CM Porto de Mós e servir de orientação a todos os envolvidos na execução da obra em curso (projetistas, direção de obra, fiscalização e dono de obra).

Objetivos e metodologia

O presente trabalho procura responder e esclarecer os seguintes aspetos:

- a capacidade estrutural das paredes de alvenaria originais no contexto da obra de reabilitação em curso;
- adequação da solução de ligação destas paredes à estrutura nova em betão armado projetada;
- identificar as condicionantes de execução dos trabalhos que permitam a preservação das paredes em causa.

A metodologia de diagnóstico utilizada no presente trabalho corresponde à recomendada para o tipo de estudo compreendendo fundamentalmente as seguintes fases: recolha de elementos e documentação; inspeção visual e recolha de evidências *in situ*; avaliação contextualizada das soluções projetadas; elaboração do relatório final.

Identificação e localização do equipamento

Central Termoelétrica de Porto de Mós, Rua da Caçada, 2480 Porto de Mós.

Coordenadas GPS: 39°35'57.7"N 8°49'33.3"W

Descrição do edifício e intervenção

O edifício objeto desta intervenção corresponde à antiga Central Termoelétrica de Porto de Mós, cujo projeto de requalificação visa a sua utilização como equipamento de polivalência de funções na área da cultura, ciência e atividades criativas.

A obra de requalificação contempla o aproveitamento da fachada do edifício existente (Antiga Central Termoelétrica) que ainda subsiste da estrutura original (Figura 1) de modo a preservar a identidade do local e os elementos do edifício que resistiram ao tempo. O projeto elaborado prevê a construção de uma estrutura nova em betão armado com a função de suportar as paredes existentes e assegurar a sua integração no edifício novo a construir.



Figura 1 – Vista aérea da zona de intervenção com as paredes de fachada do edifício original (fonte Google Maps)

As paredes de alvenaria (Figura 2 e Figura 3) originais são genericamente em alvenaria de pedra com padieiras de vãos e alguns elementos decorativos em tijolo maciço. A espessura destas paredes é de aproximadamente 90 cm ao nível do piso térreo, observando-se uma diminuição da espessura a partir do 2º piso.





Figura 2 – Vista da fachada nascente do edifício original.



Figura 3 – Vista da fachada sul do edifício original.

O projeto desenvolvido para o novo edifício definiu uma estrutura porticada de betão armado com pilares e núcleos de escadas, que dão apoio a lajes maciças vigadas. A solução estrutural para o edifício contempla um reforço das paredes existentes com um pórtico em betão armado com 25 cm de espessura na face interior destas paredes.

Inspeção e Diagnóstico



Inspeção visual e recolha de informação

Durante a inspeção visual foi possível constatar que de uma forma geral as paredes de alvenaria do edifício original não apresentam patologias graves e se encontram em bom estado de conservação. A única exceção observou-se no cunhal entre a parede nascente e a parede norte entretanto demolida nos trabalhos preparatórios da empreitada (Figura 4), ocorrida em empreitada anterior aquela em curso.



Figura 4 – Imagens do cunhal entre a parede nascente e norte antes e depois dos trabalhos preparatórios da obra¹

Desta imagem destacam-se os danos ocorridos na zona do cunhal aquando da demolição da parede norte da construção existente, apesar da existência de uma estrutura de contenção da parede nascente.

No dia da inspeção foi possível observar que os danos documentados na foto datada de 19-09-2019 na Figura 4 se haviam agravado (Figura 5) em consequência de um incidente ocorrido durante a execução da parede estrutural adjacente à parede de

¹ Retirado do email com a referência 219/EG/MF da empresa Carldora, S.A. para o empreiteiro com conhecimento da CPM

alvenaria a nascente (Figura 6).



Figura 5 – Imagens do cunhal entre a parede nascente e norte à data atual



Figura 6 – Execução da parede de BA adjacente à parede de alvenaria nascente

O agravamento do quadro de patologias estruturais já exibido em 18-09-2019 (Figura 4) ocorreu no instante da betonagem da parede de betão armado ilustrada na Figura 6 com uma altura total de betonagem da ordem dos 4 metros, devido ao impulso hidrostático exercido pelo betão sobre a parede de alvenaria a nascente.



O dano estende-se a zonas contíguas daquela indicada na Figura 5, nomeadamente através de deformações para fora do plano da parede de alvenaria (Figura 7), que perdeu verticalidade por consequência das ações horizontais já referidas, ainda que conformadas aos locais adjacentes aos trabalhos de betonagem identificados.

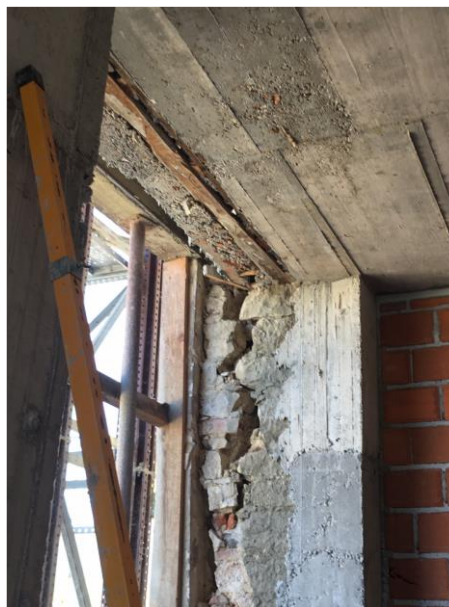


Figura 7 – Rotura localizada na parede de alvenaria existente

No que se refere às outras paredes a inspeção não detetou danos dignos de registo como pode se observado nas figuras seguintes (Figura 8 e Figura 9). A estrutura projetada já se encontrava executada até à laje entre o piso 0 e 1 em todo o contorno e no cunhal sudoeste entre as cotas do piso 1 e 2 (Figura 10).



Figura 8 – Fachada poente



Figura 9 – Fachada sul



Figura 10 – Vista interior fachada sul

Num dos vãos da fachada poente (Figura 11) identificou-se uma fissura, que se assume consequência da descompressão associada à retirada das carpintarias dos vãos, mas que fica resolvida com a conclusão dos trabalhos de execução da estrutura projetada.



Figura 11 – Fissura em vão da fachada poente



Diagnóstico e avaliação de soluções

Capacidade estrutural das paredes de alvenaria

Da inspeção e recolha de informação realizada é possível concluir do bom estado exibido pelas paredes de alvenaria e da suficiente capacidade estrutural das mesmas no contexto da obra de reabilitação em curso e com as soluções preconizadas para a sua função no futuro edifício. De facto, os danos observados foram todos originados pelos trabalhos de preparação da empreitada (demolições) ou pela execução de trabalhos sem acautelar as suficientes condições de estabilidade dos elementos a betonar.

Vamos primeiro debruçarmo-nos sobre os danos ocorridos nos trabalhos preparatórios da empreitada. Estes trabalhos previam a demolição da parede existente na fachada norte pelo cunhal entre esta e a parede a nascente. Apesar do escoramento efetuado para apoiar a parede nascente quando esta deixasse de ter o travamento conferido pela parede norte, não foi suficientemente acautelado o impacto do processo de demolição da parede norte no cunhal o que provocou os danos que foram documentados em obra pelos intervenientes (Figura 4). Estes danos, apesar de terem impacto na capacidade estrutural da parede, não se considera que obrigasse a modificar o projeto estrutural, justificando apenas um cuidado acrescido aquando da realização da obra, de modo a garantir que as ações sobre esta zona da parede não agravassem os danos até aí introduzidos. No entanto não foi possível encontrar qualquer evidência (nem visual no local, nem na consulta da documentação a que se teve acesso) de que o escoramento desta zona da parede tenha sido reforçado de modo a “ajudar” a parede a suportar as ações decorrentes dos trabalhos a executar nas fases posteriores da empreitada.

Quanto aos danos ocorridos durante a execução da betonagem da estrutura de suporte da parede atribuem-se os mesmos ao efeito do impulso hidrostático exercido pelo betão fresco sobre a parede de alvenaria utilizada como painel de cofragem na operação. De facto, o elevado impulso que o betão exerce sobre os moldes que o confinam na fase de betonagem ($I = 26 \times h \text{ kN/m}^2$) foi superior à capacidade da parede com o nível de contraventamento que a suportava. Atente-se na diferença entre o escoramento e estrutura de suporte do painel de cofragem no lado poente da parede a betonar (Figura 6) e o escoramento da parede de alvenaria a nascente (Figura 2) fragilizada pelos danos ocorridos na fase dos trabalhos preparatórios (Figura 4). Esta situação foi agravada pelo facto de nem os conectores previstos para efetuar a ligação entre a parede de alvenaria existente e a parede de

betão armado nova terem sido executados na zona afetada. A conjugação destes fatores provocou um acidente idêntico ao que ocorreria na betonagem de uma parede em betão armado com a cofragem adequadamente ancorada numa das faces mas deficientemente ancorada na outra e sem conectores entre os dois painéis: o deslocamento horizontal da face não ancorada com o consequente derrame do betão. Ora estando essa função a ser assegurada pela parede de alvenaria o que se verificou foi o deslocamento para fora do plano da mesma, o aumento nos danos que já tinha e o descolamento da mesma relativamente à estrutura anteriormente feita entre o piso 0 e 1 (Figura 7).

Face ao exposto não se pode concluir que os danos ocorridos na parede nascente sejam decorrentes de falta de capacidade das paredes de alvenaria em si ou de inadequada solução estrutural projetada para a obra, mas consequência dos trabalhos desenvolvidos durante as obras e da forma como foram conduzidos.

Ligação entre parede nova e parede existente

A solução estrutural adotada, estrutura porticada em betão armado pelo interior das paredes de alvenaria existentes, “desresponsabiliza” as paredes de alvenaria de outra função estrutural que não seja suportar o seu próprio peso. Como já se referiu considera-se que estas têm capacidade adequada para essa função. Porém, ao “eliminar” a ligação destas paredes aos pisos e paredes interiores por interposição de uma estrutura em betão armado, há que assegurar a adequada ligação das paredes de alvenaria a essa estrutura para salvaguardar a sua capacidade a ações para fora do plano sob ações horizontais, nomeadamente em situação de ocorrência de um evento sísmico, que podem ser de valor significativo pela extensão das fachadas, altura do edifício e elevada massa que exibem.

A solução preconizada em projeto prevê a utilização de conectores metálicos (varões $\phi 12$ em A500) entre as paredes de alvenaria existente e as paredes de betão armado a construir distribuídos numa malha ortogonal de aproximadamente 1.5 m. Esta solução, sob o ponto de vista conceptual e teórico de acordo com a bibliografia, afigura-se como adequada ainda que mereça um conjunto de observações decorrentes das condições observadas *in situ*:

1. É importante garantir que a aplicação dos conectores seja considerada em todas as paredes, o que não foi observado aquando da visita técnica, por exemplo na parede de nascente. Nestes casos, nas zonas em que já foi realizada a betonagem da parede interior acima da cota do piso 1 e não tenham sido colocados conectores nas condições indicadas, deverão ser colocados conectores



à *posteriori*, ancorando-os adequadamente na parede de betão armado através de elementos químicos (e.g., bucha química) ou mecânicos (e.g. amarração do varão idêntica à realizada pelo exterior), garantindo uma aderência compatível com a capacidade do conector.

2. Em projeto estava definida uma solução de ancoragem na parede de alvenaria através de placas com as características das ilustradas na Figura 12. Foi possível constatar em obra que a solução havia sido abandonada por ter sido entendido que a chapa exibia uma relação dimensão/espessura inadequada, o que também se corrobora.

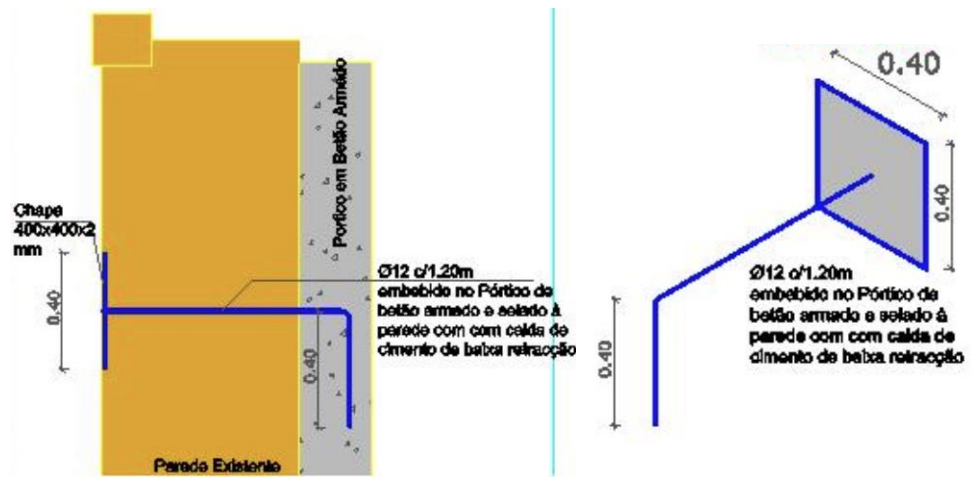


Figura 12 – Detalhe dos conectores projetados

No entanto a solução entretanto definida em obra (Figura 13), eliminou a chapa e prevê a simples dobragem do varão para a face da parede e recobrimento com a solução de revestimento projetada (reboco).



Figura 13 – Detalhe dos conectores executados

No nosso entendimento esta solução não se afigura suficiente para, por um lado mobilizar a capacidade do conector e pelo outro distribuir as tensões nele concentradas na parede de alvenaria.

Nestas circunstâncias recomenda-se a adoção de uma solução que recupere a utilização de uma chapa para distribuir as tensões na alvenaria de pedra e capaz de mobilizar grande parte da capacidade do conector.

A solução que se nos afigura mais viável de executar passa pela adoção de uma chapa de aço de dimensões $250 \times 250 \times 4 \text{ mm}^3$ dotada de uma porca para enroscar em varão $\phi 12$, soldada no lado interior da chapa, de modo a que fique embutida na parede de alvenaria (Figura 14).

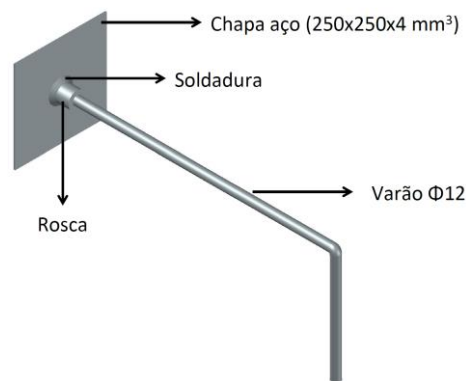


Figura 14 – Detalhe dos conectores propostos

Na aplicação da chapa pode-se utilizar entre esta e a parede uma argamassa ou *grout* de retração reduzida. Como está prevista a aplicação de uma armadura de reboco pelo exterior nas paredes de alvenaria a mesma deve ser colocada entre a chapa e a parede de alvenaria de modo a poder contribuir para a distribuição das tensões dos conectores nas paredes.

Reabilitação da parede danificada

O incidente verificado durante a fase de betonagem da estrutura junto à parede nascente teve três consequências:

por um lado agravou as patologias que a parede nascente já exibia após os trabalhos de demolição;

por outro impôs-lhe um deslocamento para fora do plano que lhe alterou a planura e verticalidade;

por último separou a parede de alvenaria da estrutura já executada naquela zona e danificou ambos os elementos construtivos e estruturais pelo derramamento e posterior endurecimento do betão da parede em



execução.

Neste contexto foi solicitado no âmbito deste relatório a apresentação de uma proposta que, por um lado permitisse a execução do projeto e por outro minimizasse a demolição na parede de alvenaria do edifício original.

Tendo em conta o dano exibido pela parede de alvenaria (Figura 5 e Figura 7) e pela parede da estrutura nova (Figura 15) numa fase inicial consideram-se dois cenários possíveis para a reconstrução da zona afetada:



Figura 15 – Parede a demolir

1. Reposicionamento da parede de alvenaria

Nesta opção procurava-se minimizar a demolição da parede de alvenaria original e os custos de mão de obra associada à reconstrução de uma parede de alvenaria com as características da existente.

Assim, numa primeira fase era necessário proceder à demolição controlada dos elementos em betão armado junto às zonas da parede de alvenaria afetadas, de modo a remover todo o betão endurecido junto à parede de alvenaria, minimizando danos adicionais na parede de alvenaria.

De seguida era necessário a montagem de uma estrutura auxiliar contraventada no exterior da parede que permitisse suportar os impulsos horizontais necessários para reposicionar a parede na vertical e posição original.

A parede, devidamente confinada, seria então reposicionada através de impulsos horizontais controlados por atuadores hidráulicos ou sistema equivalente que permitisse um controlo de deslocamento rigoroso, distribuindo a força sobre a parede em elementos metálicos indeformáveis para o nível de forças envolvido.

Uma vez reposicionada, os vazios no interior da parede deviam ser devidamente preenchidos através da injeção de caldas sob pressão para assegurar a coerência

entre os diferentes elementos, antes da betonagem da estrutura interior, considerando uma maior densidade de conectores, por forma a assegurar a estabilidade da zona fragilizada.

2. Desmontagem e reconstrução da parede

Nesta opção simplificavam-se os trabalhos de demolição da estrutura de betão armado mas aumentava-se a intensidade de mão de obra associada à desmontagem e reconstrução da parede de alvenaria de pedra com as características da existente.

Entre a inspeção realizada (3 de agosto de 2020) e uma visita realizada no dia 2 de setembro de 2020 por solicitação da CM de Porto de Mós, os trabalhos de demolição da estrutura de betão armado ilustrada na Figura 15 foram sendo concretizados acima da laje do piso 1. Apesar dos cuidados na demolição, a inexistência de qualquer reforço no escoramento da parede de alvenaria de pedra danificada e a perturbação provocada pelos trabalhos de demolição da estrutura em betão armado, agravou os danos na parede de alvenaria principalmente em torno do primeiro vão (Figura 16), levando mesmo à queda das pedras de cantaria definidoras do vão.



Figura 16 – Desmoronamentos recentes na parede afetada

Neste novo contexto e face à maior fragilidade da parede nesta zona a solução de reposicionamento da parede não parece ser uma alternativa possível, pelo que se



recomenda apenas a solução de desmonte controlado da parede e reconstrução com os materiais da própria parede. Esta solução deve ser confinada à menor extensão possível de parede afetada pelo que a nossa recomendação é que apenas seja desmontada a parede de alvenaria efetivamente afetada pelo acidente, com o limite máximo indicado na Figura 17.



Figura 17 – Zona da parede afetada a desmontar e reconstruir com os mesmos materiais

Face ao tipo de revestimento previsto para as paredes de alvenaria (reboco mineral para renovação de paredes antigas do tipo "Weber.cal classic", ou equivalente), recomenda-se que a reconstrução da parede de alvenaria seja feita com os próprios materiais recuperados do desmonte da parede afetada, pois a idade e natureza dos materiais afeta o comportamento destas paredes face aos ciclos climáticos que a esperam ao longo da vida da obra.

Na zona não afetada recomenda-se a aplicação de conetores entre a parede de alvenaria e a estrutura interior em betão armado de acordo com a descrição constante na secção anterior.

Na reconstrução da parede que venha a ser demolida recomenda-se vivamente a colocação de conetores entre a parede reconstruída e a estrutura interior que venha a ser executada, como existem no restante edifício em condições similares e se encontravam planeados no projeto.

Conclusões e Recomendações



O presente trabalho procurou responder e esclarecer os seguintes aspetos:

- a capacidade estrutural das paredes de alvenaria originais no contexto da obra de reabilitação em curso;
- adequação da solução de ligação destas paredes à estrutura nova em betão armado projetada;
- identificar as condicionantes de execução dos trabalhos que permitam a preservação das paredes em causa;

em consequência do incidente relacionado com a betonagem da parede nascente da obra de requalificação da Central Termoelétrica de Porto de Mós a equipamento de polivalência de funções na área da cultura, ciência e atividades criativas.

Relativamente ao primeiro aspeto, da inspeção e recolha de informação realizada foi possível concluir do bom estado geral exibido pelas paredes de alvenaria e da suficiente capacidade estrutural das mesmas, no contexto da obra de reabilitação em causa e com as soluções estruturais projetadas. Os danos observados foram todos originados pelos trabalhos de preparação da empreitada (demolições) ou pela execução de trabalhos sem acautelar as suficientes condições de estabilidade dos elementos a betonar, como descrito e identificado na seção anterior. Reafirma-se que a cedência da parede e os danos que ocorreram se deveram ao impulso hidrostático do betão fresco sobre a parede sem ter assegurado que esta se encontrava adequadamente contraventada para as forças envolvidas, situação que ocorreria com qualquer elemento de cofragem suportado nas mesmas condições. No que respeita a este aspeto concluiu-se que não foram adotadas, por parte do empreiteiro, as medidas que a boa arte recomenda, para a estabilidade e resistência dos moldes de elementos em betão armado com as características dos que se encontravam em execução, e que não se podiam exigir ou presumir que a parede de alvenaria asseguraria.

No que respeita ao segundo aspeto em apreciação conclui-se que a dimensão e o número de conectores previstos em projeto entre as paredes de alvenaria existentes e a estrutura de betão armado que lhe dá apoio são adequados. Contudo, as decisões tomadas durante o decorrer dos trabalhos de substituí-los por varões sem qualquer ancoragem na face exterior das paredes de alvenaria não se afigura suficiente para garantir a mobilização dos conectores e a distribuição das tensões por eles provocadas na parede de alvenaria. Tal como explicitado no corpo deste documento recomenda-se a adoção de uma chapa com as dimensões especificadas e soldada a uma porca com rosca para varão de 12 mm no seu interior. Caso esta solução não seja possível a chapa terá de ser soldada ao varão *in situ*, o que

Relatório Técnico

representará um trabalho adicional em obra. Reafirmam-se aqui todas as recomendações para a execução deste trabalho, nomeadamente a utilização de uma argamassa ou *grout* de retração reduzida entre a chapa e a parede e, estando prevista a aplicação de uma armadura de reboco pelo exterior nas paredes de alvenaria, a sua colocação entre a chapa e a parede de alvenaria de modo a poder contribuir para a distribuição das tensões dos conetores nas paredes.

Por fim, relativamente aos trabalhos de reabilitação da parede afetada pelo acidente durante a betonagem a nossa recomendação passa pela desmontagem controlada da zona afetada e reconstrução com os materiais retirados da própria parede.

Leiria, 3 de setembro de 2020.

Os relatores,

Paulo Fernandes



PhD, Professor Coordenador DEC ESTG
Eng. Civil, CP OE nº24508

João Veludo



PhD, Professor Adjunto DEC ESTG
Eng. Civil, CP OE nº23633

Romain Sousa



PhD, Investigador Auxiliar DEC ESTG
Eng. Civil, CP OE nº69393

