



\ CONFERÊNCIA CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO CLASSIFICADO

DATA \ 29 DE JUNHO

HORA \ 17H00

LOCAL \ SEDE OE REGIÃO SUL



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO OE
ENERGIA E
CLIMA



Intervenção em alvenarias.

Caso de estudo da reabilitação da Torre da Alfândega, Guimarães

Engº Jerónimo Botelho

Membro da Direção da APRUPP | Associação Portuguesa para a
Reabilitação Urbana e Proteção do Património |

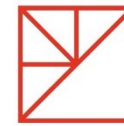
CERNE Projeto e Consultoria Lda



cerne
PROJETO E CONSULTORIA

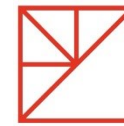


ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
PARA A REABILITAÇÃO URBANA
E PROTEÇÃO DO PATRIMÓNIO



Índice:

- Introdução. O contributo da APRUPP
- Critérios gerais de intervenção em construções existentes
- Intervenção pouco intrusiva em estruturas de alvenaria
- Caso de estudo: Reabilitação da Torre da Alfândega, Guimarães



A APRUP [Associação Portuguesa para a Reabilitação Urbana e Proteção do Património] foi fundada em 16 de Abril de 2012.

A APRUP é uma organização sem fins lucrativos, constituída exclusivamente por pessoas individuais.

A APRUP tem como finalidade:

- a) Promover e divulgar o conceito de reabilitação urbana como principal veículo para a salvaguarda da identidade e valorização do património construído, a redução das assimetrias sociais e a promoção da participação dos cidadãos
- b) Colaborar na preservação do edificado de interesse histórico e patrimonial
- c) Estudar, aperfeiçoar e divulgar as boas práticas da reabilitação urbana
- d) Apoiar a formação de técnicos
- e) Desenvolver o intercâmbio nacional e internacional de práticas, saberes e conhecimentos no campo da reabilitação e da proteção do património.

Conferência "Conservação do Património Classificado. Princípios e técnicas de intervenção. Casos de estudo". Ordem dos Engenheiros – Região Sul

29 de Junho de 2023



cerne
PROJETO E CONSULTORIA



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
PARA A REABILITAÇÃO URBANA
E PROTEÇÃO DO PATRIMÓNIO



Mudança de paradigma para um Património Cultural do Interior no pós COVID-19

Alícia Tavares | Investigadora da Universidade do Azeite, Presidente da APRUP

Si vis pacem, para bellum, proverbio muito antigo que em tradução corrente significa se quer paz, prepara-se para a guerra e que independentemente das associações bélicas que *the estajem* associadas apresenta uma forma afirmativa de viver que a estabilidade não se alcança sem preparação, resiliência, cidade e capacidade de atuar.

A pandemia COVID-19 (SARS COV2) evidenciou um trade-off entre a saúde da sociedade, um novo nível de guerra mundial, considerando a perda e a propensão ou repropensão da mesma para diminuir ou para aumentar a saúde e a prosperidade de um território, como se viu durante o período de confinamento do Património Cultural do Interior de Portugal entre os Patrimónios Culturais Oligarcas e um presente em que vivemos uma sociedade permeável de antiguidade, em que a DSI e o RUP podem fazer parte da mesma. Há desafios e estratégias a discutir e avaliar de forma crítica e objetiva.

No entanto, a preparação para uma eventualidade de sociedade, através de estratégias de "peace", deve ser feita e existem diferenças que devem ser tidas em conta. A análise histórica nos permite ao mesmo tempo avaliar a resiliência e a capacidade de adaptação da sociedade. Contudo, devido aos impactos económicos, sociais e ambientais, há que considerar a importância da preparação para a eventualidade de perturbação de longo prazo.

Como ultrapassar as dificuldades e tirar partido e valorizar esse Património Cultural em tempos difíceis? A chave encontra-se, de modo geral, na adaptação de modo de intervenção, com base num programa e num planeamento a longo prazo, que deve ter em consideração as responsabilidades definidas, para cumprir uma função em diferentes contextos, monitorizando que cidades, áreas, monumentos, locais ou patrimónios culturais tenham sido afetados de modo a serem capazes de lidar com as consequências da pandemia de forma crítica e objetiva, tendo em conta a importância do património cultural e a importância da preparação para a eventualidade de perturbação de longo prazo.

PROJETO | Lisboa | Outubro 2020 | 25

17 NOV 2020 | DOMINGO | Edição de Junho

Entrevista

"Turismo carece de monitorização urgente do seu impacto"

Preocupação A arquitecta e professora universitária Alice Tavares fala da relação entre cultura, património e turismo e de quais os riscos e ameaças que Azeite enfrentam actualmente

Por: Catarina

Estado do Azeite O turismo em Portugal tem vindo a crescer de forma exponencial nos últimos anos. No entanto, esta expansão tem vindo a trazer consigo um conjunto de desafios e ameaças que precisam de ser monitorizados e geridos de forma crítica e objetiva.



Alice Tavares em plena preparação para a conferência "Conservação do Património Classificado. Princípios e técnicas de intervenção. Casos de estudo".

de modo a evitar o colapso do mesmo. A sustentabilidade do turismo é um desafio que precisa de ser encarado de forma crítica e objetiva. A monitorização do impacto do turismo é uma ferramenta essencial para a tomada de decisões e para a implementação de estratégias de gestão de risco.

Para além disso, é importante considerar o papel do património cultural na promoção do turismo sustentável. O património cultural é um recurso valioso que pode ser utilizado de forma crítica e objetiva para promover o turismo sustentável e para a criação de empregos e para a melhoria da qualidade de vida da população local.

Em conclusão, a monitorização do impacto do turismo é uma ferramenta essencial para a tomada de decisões e para a implementação de estratégias de gestão de risco. É importante considerar o papel do património cultural na promoção do turismo sustentável e para a criação de empregos e para a melhoria da qualidade de vida da população local.

PRÉMIO APRUP 2020

Candidaturas abertas até 31 de outubro de 2020

O prémio destina-se a premiar a melhor tese de doutoramento e a melhor dissertação de mestrado, sobre Reabilitação e Património, defendidas entre 01/01/2015 e 31/12/2019.

Consulta do Regulamento do Prémio e submissão da candidatura em: www.aprupp.org

Contacto para esclarecimentos: geral@aprupp.org

12 · 21 OCT '21 PORTO 2021

European Heritage Training Course

within the framework of the World Heritage Volunteers

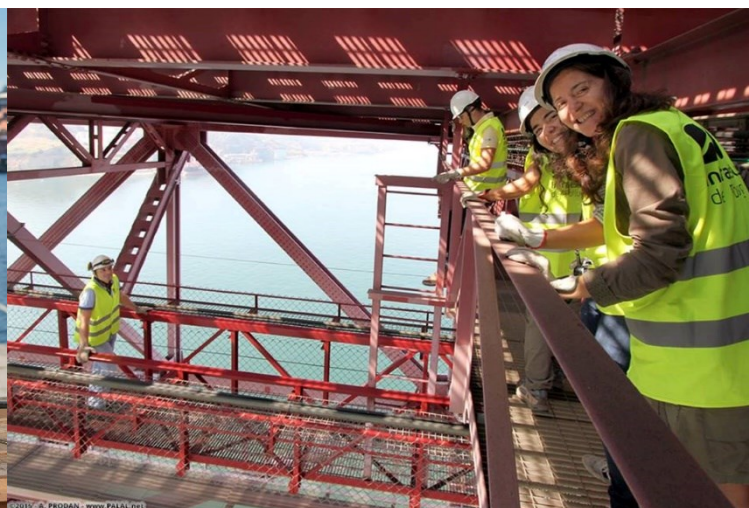
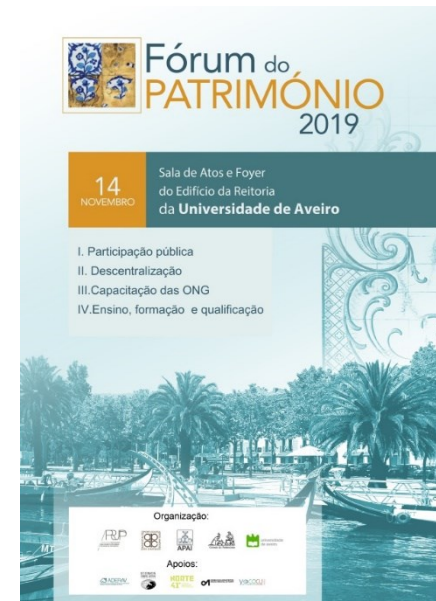
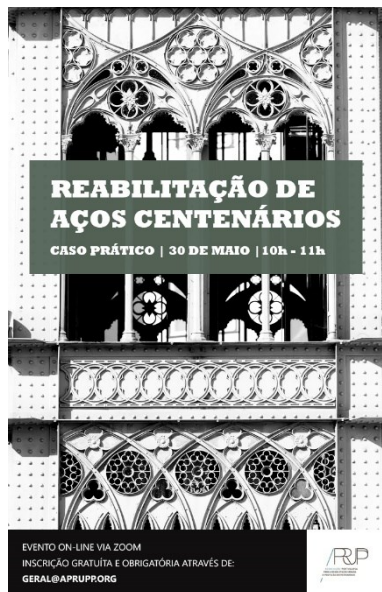
World Heritage Volunteers 2020-2021 Campaign

Fostering Youth Commitment towards World Heritage

Conferência "Conservação do Património Classificado. Princípios e técnicas de intervenção. Casos de estudo". Ordem dos Engenheiros – Região Sul
29 de Junho de 2023

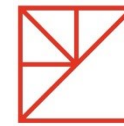


cerne
PROJETO E CONSULTORIA





Critérios gerais de intervenção em construções existentes



Objetivos gerais de uma intervenção de reabilitação:

1. Identificar fenómenos de degradação e a origem das anomalias
2. Avaliar comportamento da estrutura a reabilitar
3. Estimar capacidade resistente da estrutura a reabilitar

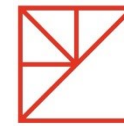
**Inspeção e
Diagnóstico**

4. Definir medidas de intervenção (conservação / reforço)

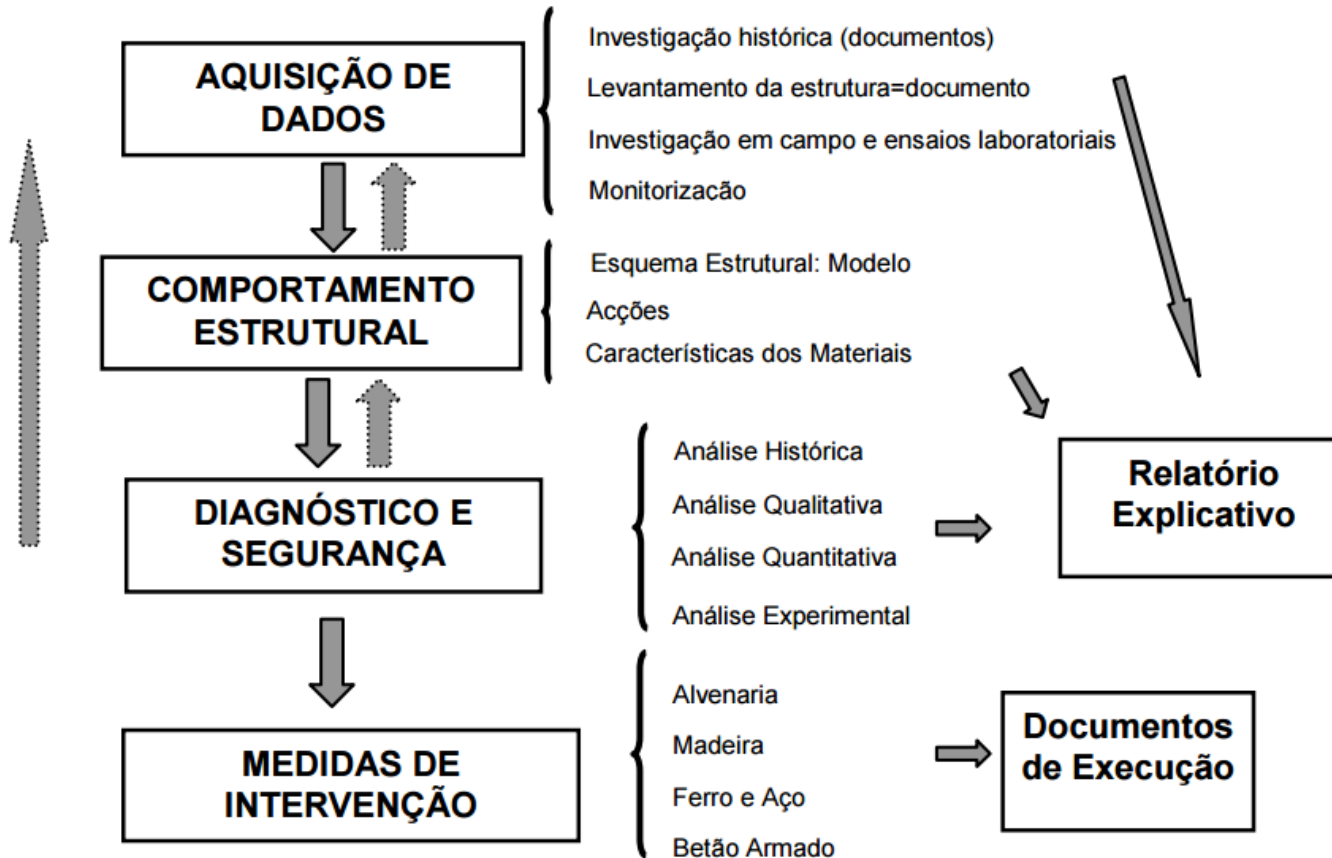
**Projeto de
Reabilitação**

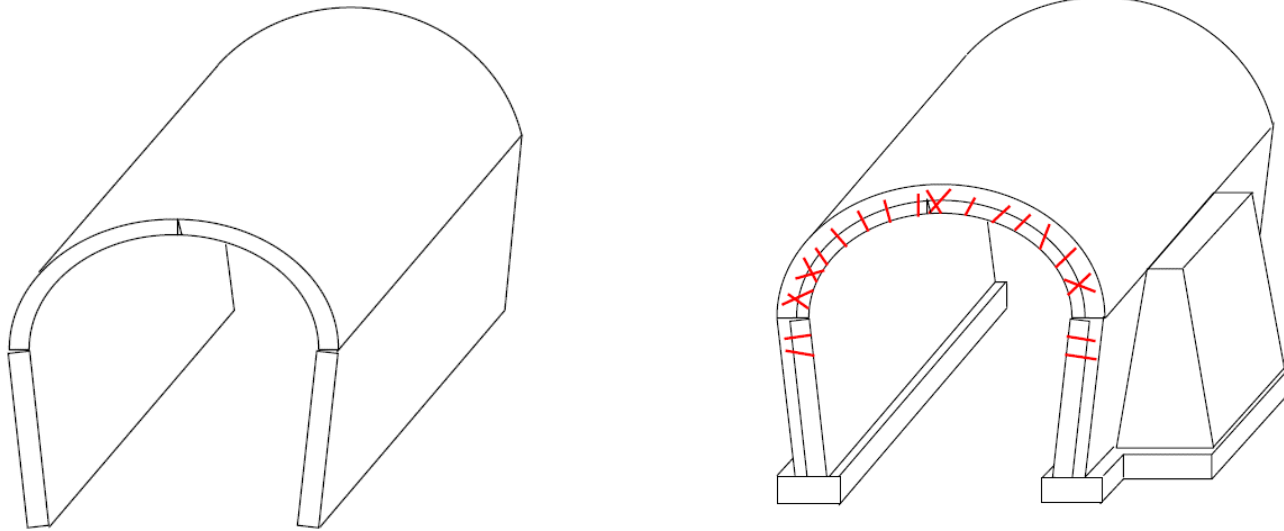
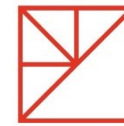
5. Definir medidas preventivas e de manutenção

**Plano de
Manutenção**



Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitetónico

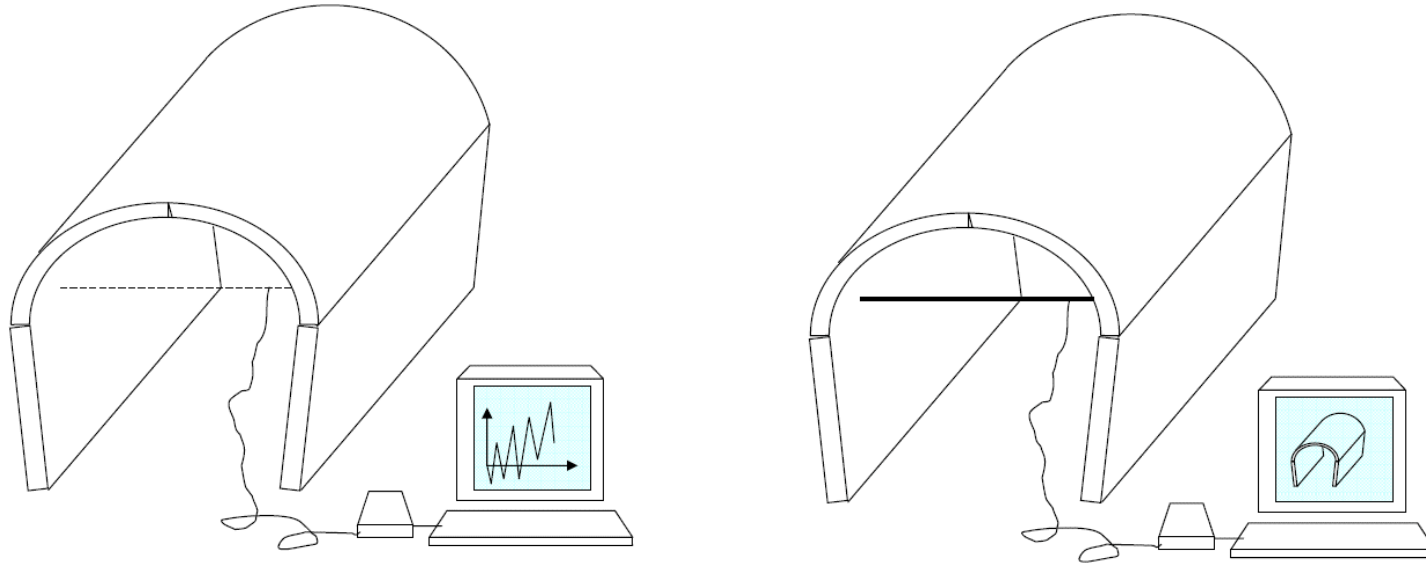
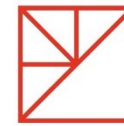




FONTE: LOURENÇO, P.B. – SAHC 2007-2008 – SA01 Lectures

Abordagem errada:

- Decisões não apoiadas na inspeção, diagnóstico e análise estrutural do existente
- Desconsideração da capacidade da estrutura remanescente
- Uso de técnicas intrusivas e materiais pouco compatíveis



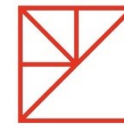
FONTE: LOURENÇO, P.B. – SAHC 2007-2008 – SA01 Lectures

Abordagem correta:

- Decisões apoiadas em inspeção, diagnóstico e análise estrutural do existente
- Monitorização da estrutura
- Uso de técnicas ligeiras, reversíveis e considerando o contributo da estrutura



Intervenção pouco intrusiva em estruturas de alvenaria



Principais tipologias de alvenarias estruturais em Portugal

- Parede de alvenaria de pedra (cantaria, junta seca ou aparelhada)
- Parede de adobe / taipa
- Parede de alvenaria de tijolo (maciço ou vazado)
- Paredes mistas (alvenaria-cantaria, pedra-tijolo, alvenaria-madeira, etc)



- Tipo de pedra
- Secção
- Assentamento
- Argamassa

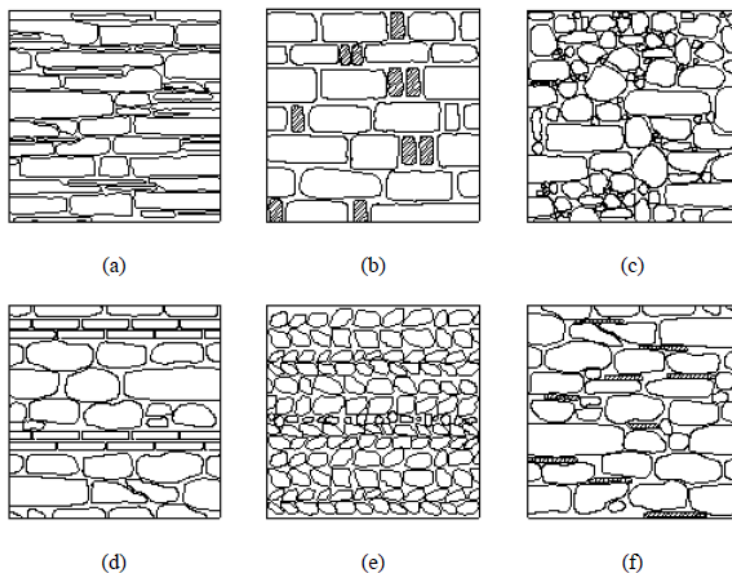


Figura 2.6 - Classificação das alvenarias de pedra quanto ao tipo assentamento [GNDT, s.d.]: (a) horizontal; (b) horizontal / vertical; (c) aleatório; (d) escalonado com fiadas de regularização; (e) em “espinha de peixe”; (f) com calços ou cunhas.

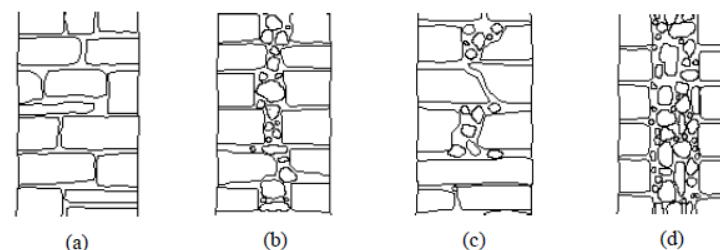


Figura 2.7 - Classificação da secção das paredes em alvenaria de pedra segundo o número de paramentos [GNDT, s.d.]: (a) paramento simples; (b) dois paramentos sem ligação; (c) dois paramentos com ligação; (d) três paramentos com núcleo de fraca qualidade.

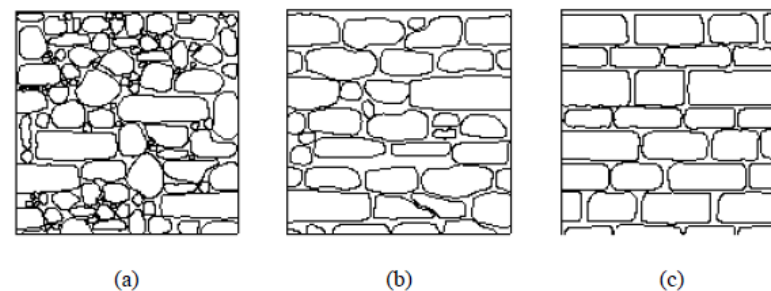


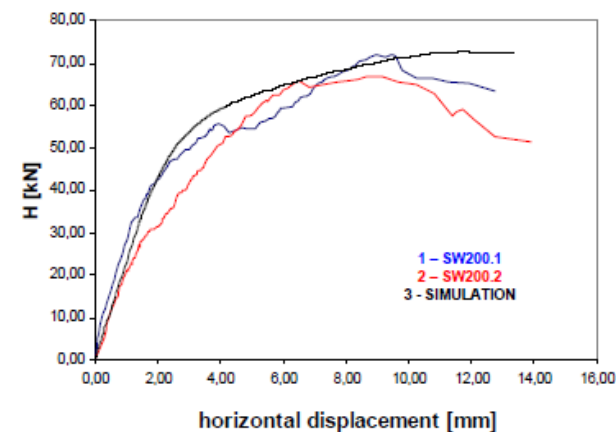
Figura 2.5 - Classificação das alvenarias de pedra quanto ao tipo de aparelho [GNDT, s.d.]: (a) juntas desalinhas; (b) juntas irregulares alinhadas; (c) juntas regulares alinhadas.



Principais características mecânicas:

- Resistência à compressão média/elevada
- Resistência praticamente nula a esforços de tração
- Resistência baixa a impulsos para fora do próprio plano
- Grande heterogeneidade de características mecânicas
- Comportamento estrutural essencialmente **não-linear** com redistribuição de esforços

| Tipo de alvenaria | f_c (MPa) | f_t (MPa) | f_{v0} (MPa) | E (MPa) | G (MPa) | w (kN/m ³) |
|--|----------------|----------------|-------------------|--------------|--------------|-----------------------------|
| Alvenaria de pedra irregular, com seixos e pedras irregulares distribuídas de forma errática | 1,1 a 1,9 | 0,03 a 0,05 | – | 900 | 300 | 19 |
| Alvenaria de pedra não aparelhada com folhas externas de espessura limitada e núcleo de enchimento (três folhas) | 2,0 a 3,0 | 0,05 a 0,08 | – | 1200 | 400 | 20 |
| Alvenaria de pedra aparelhada com boa aderência | 2,6 a 3,8 | 0,08 a 0,11 | – | 1700 | 600 | 21 |
| Alvenaria regular de pedra macia (blocos de tufo ou arenito) | 1,4 a 2,2 | 0,05 a 0,06 | – | 1100 | 400 | 13 a 16 |
| Alvenaria de pedra aparelhada rija (aparelho regular) | 2,0 a 3,2 | – | 0,10 a 0,19 | 1400 | 500 | 13 a 16 |
| Cantaria construída com pedras de boa qualidade | 6,0 a 8,0 | – | 0,19 a 0,25 | 2800 | 900 | 22 |
| Alvenaria de tijolo maciço com argamassa à base de cal | 2,5 a 3,4 | 0,09 a 0,14 | 0,13 a 0,19 | 1500 | 500 | 18 |
| Alvenaria de tijolo perfurado (índice de furação vertical < 40%) com argamassa à base de cimento e cal | 4,9 a 8,1 | – | 0,24 a 0,32 | 4600 | 1100 | 15 |



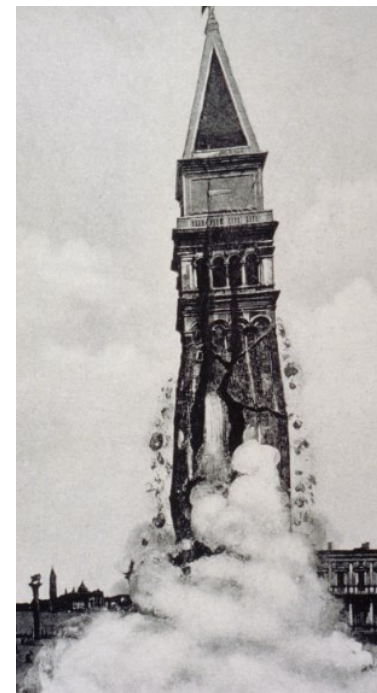
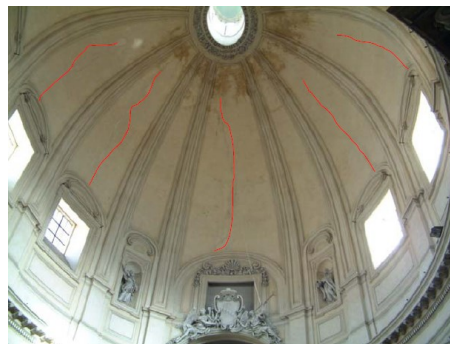
Nota: f_c é a resistência à compressão, f_t é a resistência à tração, f_{v0} é a resistência inicial ao corte para esforço axial nulo (coesão do modelo Mohr-Coulomb), E é o módulo de elasticidade, G é o módulo de distorção, e w é o peso volumétrico.



Principais danos em alvenarias estruturais

O dano estrutural é influenciado por 3 fatores principais:

- forma e ligações da estrutura
- características dos materiais e estado de conservação
- ações atuantes na estrutura



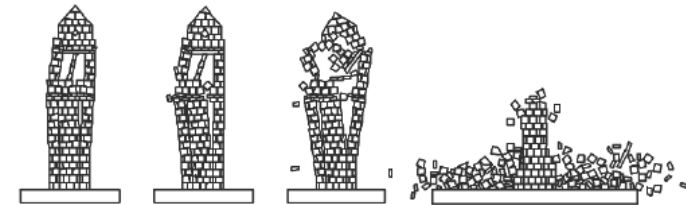
Análise estrutural de paredes em alvenaria de pedra

Estratégias de modelação para estruturas de alvenaria

- Método dos elementos discretos
 - Método dos elementos finitos (micro-modelação)
 - Método dos elementos finitos (macro-modelação)
 - Macro-blocos
- } (investigação)
- } (investigação/projeto)
- } (projeto)



complexidade
cescente

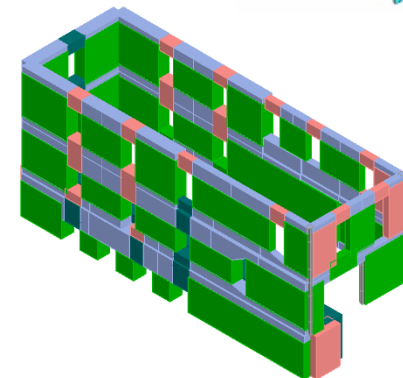
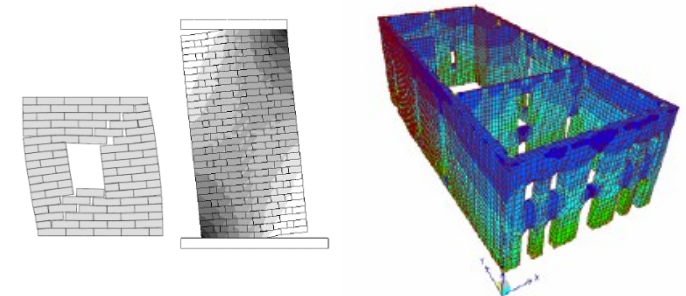


Métodos de análise sísmica para estruturas de alvenaria

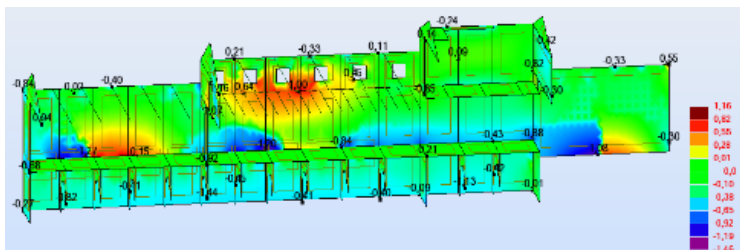
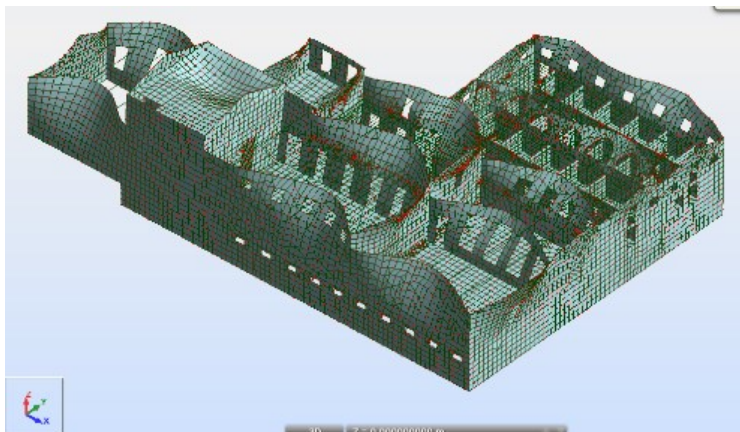
- Análise linear estática (forças laterais)
 - Análise modal (espectro de resposta)
 - Análise limite
 - Análise estática não linear (pushover)
 - Análise dinâmica temporal não linear
- } (métodos lineares)
- } (métodos não lineares)



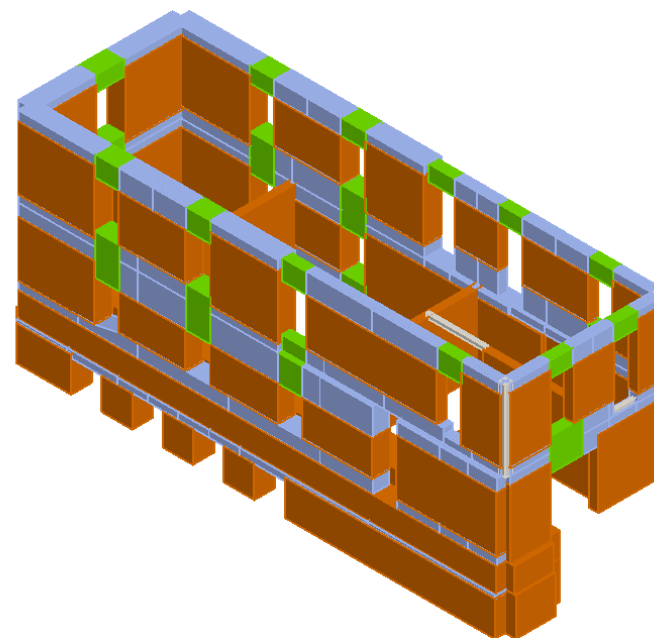
complexidade
cescente



Podemos elaborar modelos extremamente complexos...



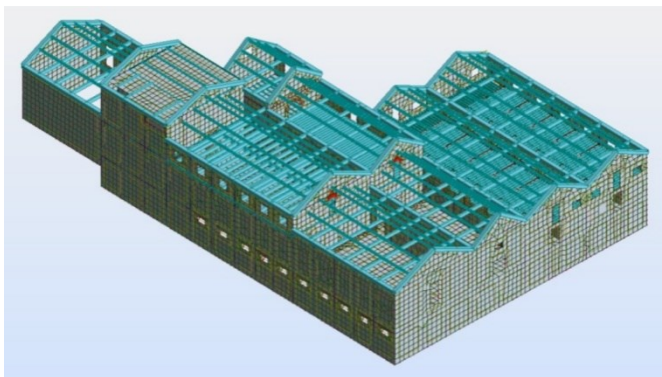
Análise linear e modal com recurso a elementos finitos



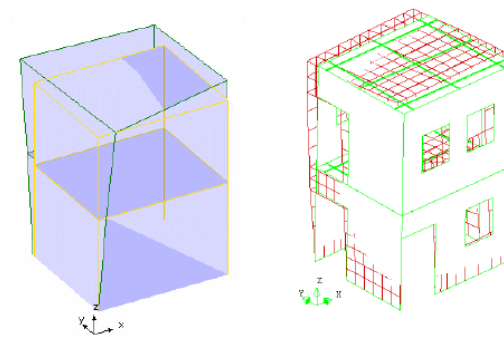
Análise sísmica não-linear com recurso a macroblocos



...será que os nossos modelos de cálculo são reais e calibrados com a realidade?



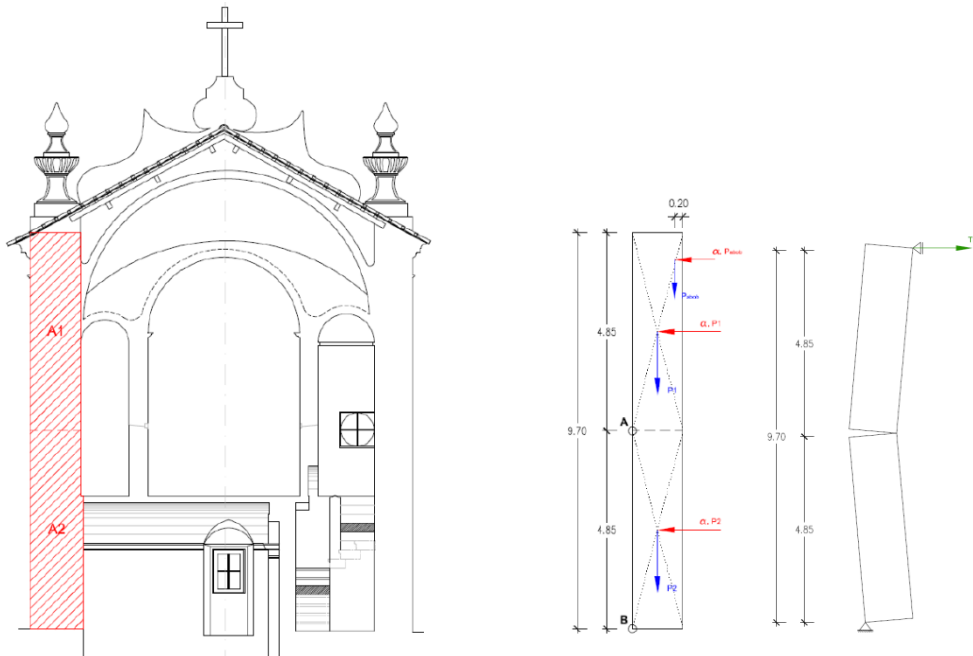
Análise estrutural com recurso a elementos finitos



Ensaios de identificação dinâmica

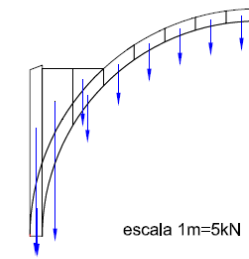
...mas, por vezes, abordagens de cálculo mais simples podem ser suficientes

Análise limite

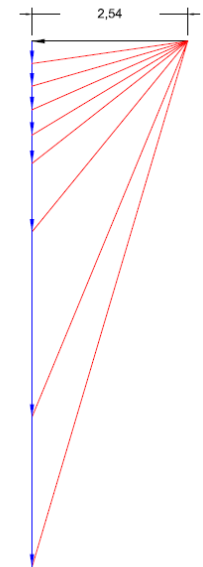
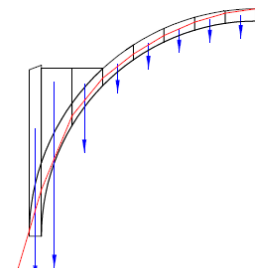


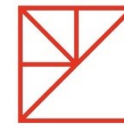
Estática gráfica

Cargas gravíticas:



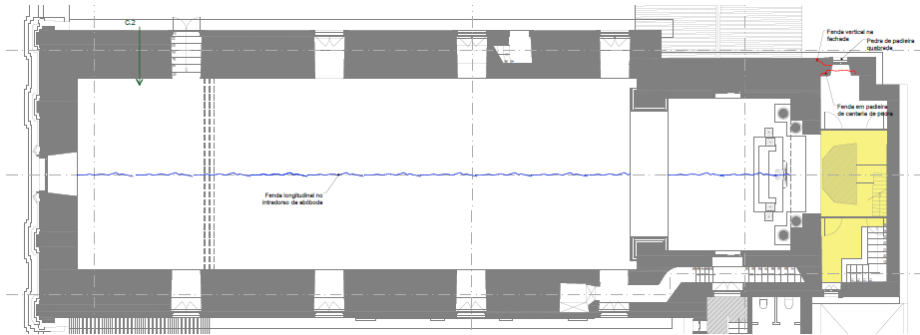
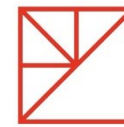
Linha de pressão no arco:





Inspeção e diagnóstico estrutural em alvenarias de pedra

- Inspeção visual
- Levantamento geométrico e estrutural
- Mapeamento de danos (peças desenhadas ou visitas virtuais)
- Levantamentos tridimensionais (laserscanning, fotogrametria)
- Fissurómetros (avaliação de estabilização de movimentos estruturais)
- Câmara boroscópica (avaliação de estado de conservação interior das alvenarias)
- Ensaios de macacos planos (avaliação de tensão compressão e/ou módulo de elasticidade)
- Ensaios de ultrassons (avaliação de vazios)



Mapeamento de Danos



Modelo tridimensional laserscanning
(Simpleworks Lda)



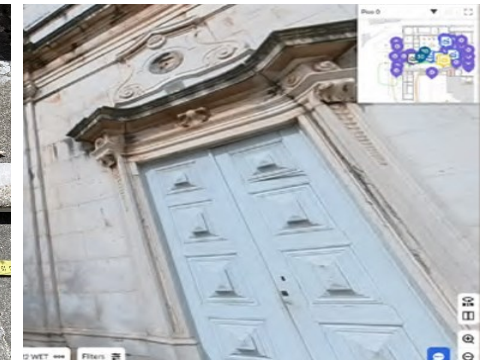
Extração de carotes



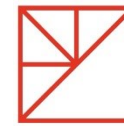
Câmara boroscópica



Constituição do interior das
paredes



Visita virtual ao edifício



Intervenção estrutural

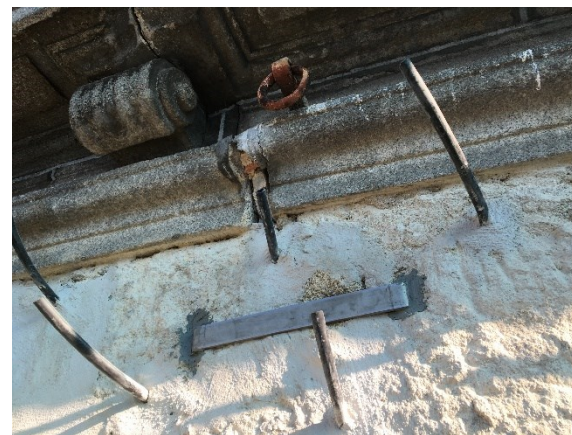
- As medidas estruturais devem ser dirigidas às causas dos danos e não aos sintomas
- Intervir apenas quando necessário e com base em informação de Inspeção e Diagnóstico
- Respeito pela autenticidade e materiais e técnicas originais
- Promover a compatibilidade entre materiais
- Promover a adequada ligação entre os elementos estruturais
- Promover soluções ligeiras, não-invasivas e reversíveis
- Garantir possibilidade de manutenção futura



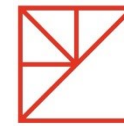
Arquipélago Açores – Reforço sísmico: reboco armado com argamassas à base de cal e malhas poliméricas. Pregagens de ligação entre panos de alvenaria.



Rua das Taipas – Consolidação de paredes mistas (taipa rodízio)



Rua das Flores – Consolidação de paredes com injeção de argamassas à base de cal



Caso de estudo

Reabilitação da Torre da Alfândega, Guimarães

AQUI
NASCEU
PORTUGAL





Dono-de-obra:



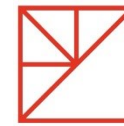
**MUNICÍPIO DE
GUIMARÃES**

Projeto de Estruturas e coordenação geral:

 **PROJEGUI**

Consultoria estruturas de alvenaria:





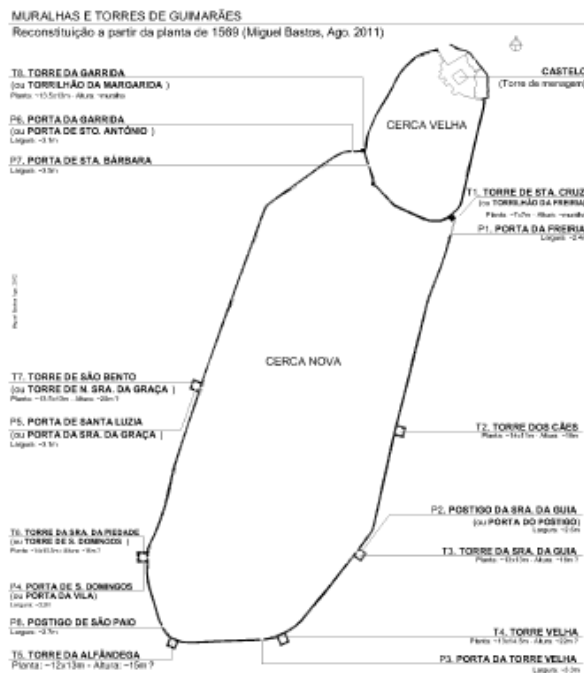
Enquadramento histórico:

- A Torre da Alfandega e a célebre inscrição “Aqui Nasceu Portugal” são um elemento icónico de Guimarães e parte integrante das Muralhas começadas a construir cerca de 1265, no reinado de D. Afonso III e finalizadas em 1316 já no reinado de D. Dinis.
- A destruição das muralhas desde finais do século XVIII levou a perda de quase todas as torres e portas, sendo as pedras reutilizadas na construção de vários edifícios.
- Das prováveis 9 torres e 8 portas que integravam a Muralha, a Torre da Alfândega é a única torre que permanece integrada um dos dois troços de muralha mais extensos ainda conservados na cidade.
- Embora grande parte da Muralha de Guimarães tenha desaparecido, em vista aérea é possível testemunhar o perímetro da muralha impresso na malha urbana da cidade

Enquadramento histórico:



Planta de Guimarães (c.1569)
Note-se a inserção da muralha e das suas torres

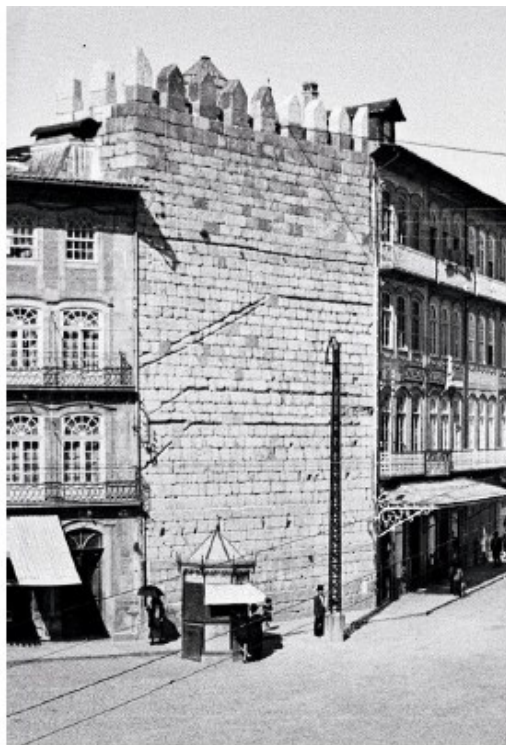


1. Estátua de D. Afonso Henriques (Torrejão da Garrida e porta de Sta. Bárbara)
2. Paço dos Duques - Alçado nascente (Torrejão de Sta. Cruz e porta da freixo)
3. Av. Alberto Sampaio (Torre dos Cars)
4. Sra. da Guia (Torre da Sra. da Orla e porta do postigo)
5. Alameda de S. Dâmaso / Rua Nova (Trço de muralha entre as casas)
6. Escadinhas (Torre Velha e porta da torre Velha)
7. Largo Condessa do Juncal (Trço de muralha inserido na edificação)
8. Rua do Anjo (Torre da Alfândega - Interior)
9. Toural (Postigo de S. Paio e Torre da Alfândega - exterior)
10. Toural (Torre da Sra. da Pradeira - porta S. Domingos ou da vila)
11. Rua de Sto. António (Torre de S. Bento ou da Sra. da Graça - porta de Sta. Luzia)

Enquadramento histórico:



Torre da Alfândega (foto c. 1915/1925)
Note-se o último troço em falta



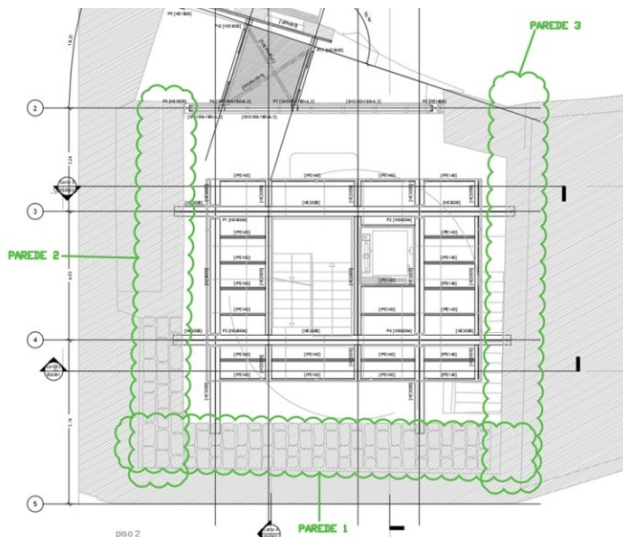
Torre da Alfândega (foto c. 1930)
Note-se a reconstrução do último
troço com merlões novos



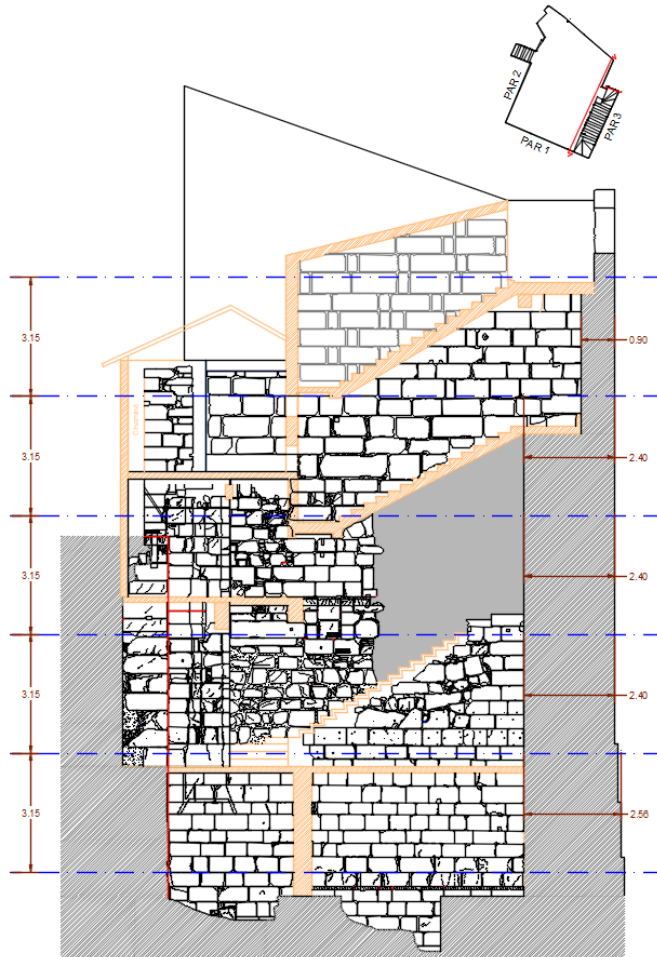
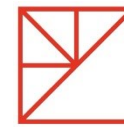
Alvenarias de granito – descrição geral

Foram identificados vários tipos de alvenarias, com idades distintas e com 3 tipos de pedra :

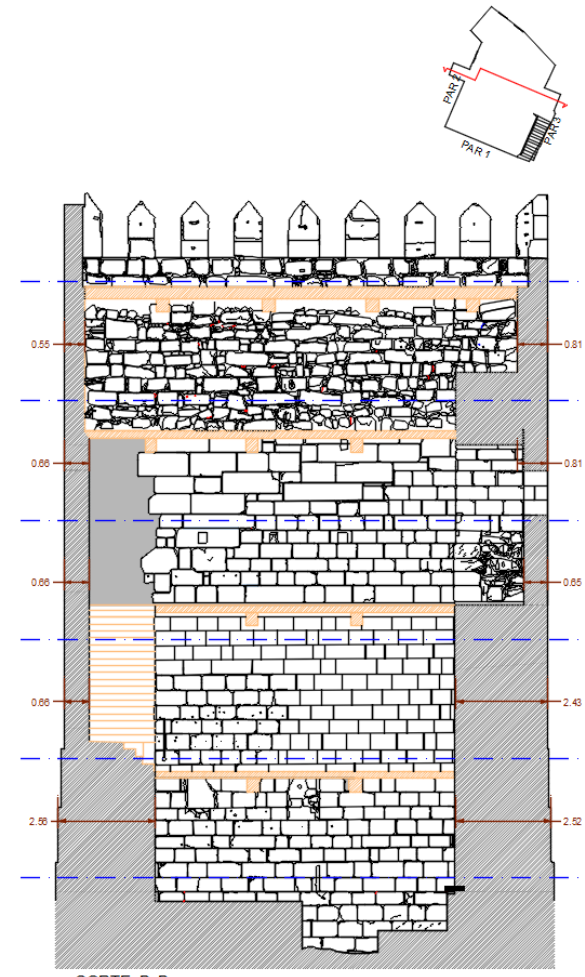
- granito de cor cinzenta de grão fino, homogéneo e de elevado grau de dureza
- granito de cor amarelada de grão mais heterogéneo e grau de dureza médio
- granito de cor amarela de grão heterogéneo e grau de dureza baixo, cuja superfície fragmenta com muita facilidade



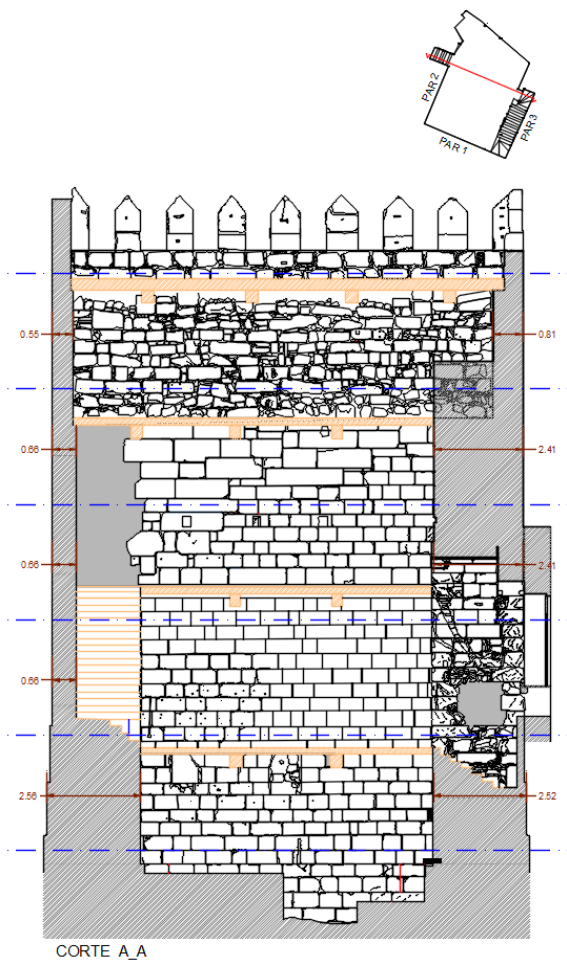
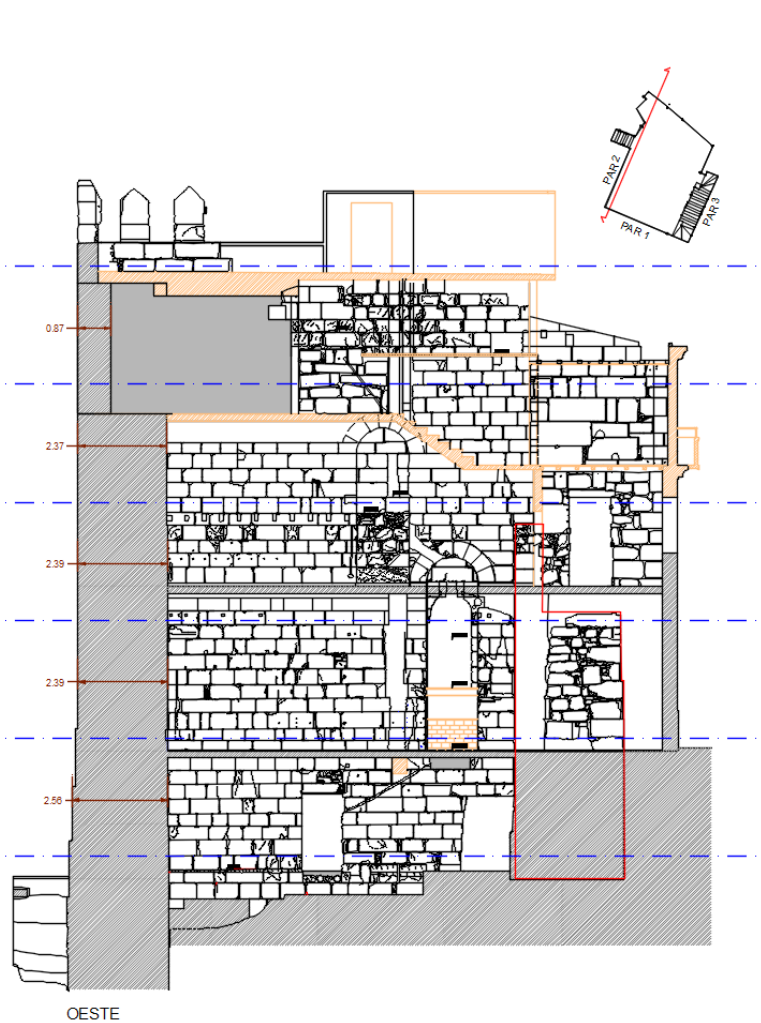
| | PAR 1 | | | | PAR 2 | | | | PAR 3 | | | |
|---------|----------------|----------------|---------|-------|----------------|----------------|---------|-------|----------------|----------------|---------|-------|
| | h_{piso} [m] | h_{topo} [m] | esp [m] | l [m] | h_{piso} [m] | h_{topo} [m] | esp [m] | l [m] | h_{piso} [m] | h_{topo} [m] | esp [m] | l [m] |
| Piso -1 | 3,15 | 0,00 | - | | 3,15 | 0,00 | - | | 3,15 | 0,00 | - | |
| Piso 0 | 3,15 | 3,15 | 2,50 | | 3,15 | 3,15 | 2,50 | | 3,15 | 3,15 | 2,50 | |
| Piso 1 | 3,15 | 6,30 | 2,40 | | 3,15 | 6,30 | 0,65 | | 3,15 | 6,30 | 2,40 | |
| Piso 2 | 3,15 | 9,45 | 2,40 | 11.36 | 3,15 | 9,45 | 0,65 | 11.45 | 3,15 | 9,45 | 2,40 | 11.50 |
| Piso 3 | 3,15 | 12,60 | 2,40 | | 3,15 | 12,60 | 0,65 | | 3,15 | 12,60 | 2,40 | |
| Piso 4 | 3,15 | 15,75 | 0,90 | | 3,15 | 15,75 | 0,55 | | 3,15 | 15,75 | 0,80 | |



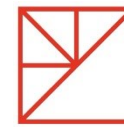
ESTE



CORTE B_B

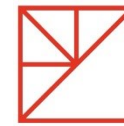


Conferência "Conservação do Património Classificado. Princípios e técnicas de intervenção. Casos de estudo". Ordem dos Engenheiros – Região Sul
29 de Junho de 2023



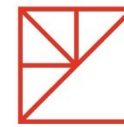
cerne
PROJETO E CONSULTORIA

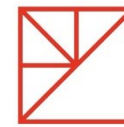


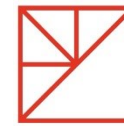


Alvenarias de granito – estado de conservação

- Colonização biológica (fungos liquenizados , plantas e acumulação de sujidade)
- Degradação / ausência de argamassas de juntas, potenciando a infiltração de águas pluviais e a lavagem de finos no interior da parede
- Construção de estrutura de betão armado interior, com apoio na alvenaria de pedra
- Demolição parcial de parede Nascente da Torre para materializar escada de betão armado
- Diversas demolições parciais para passagem de infraestruturas, criação de aberturas, nichos, com desagregação e fissuração da alvenaria existente

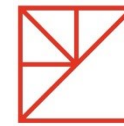






Análise estrutural:

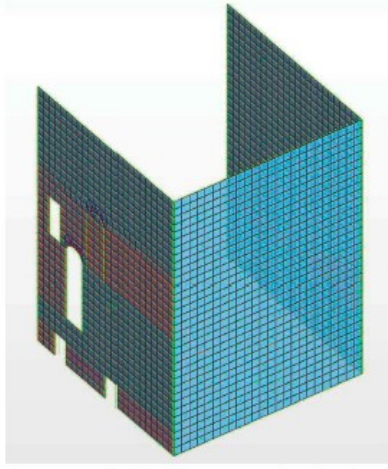
- Edifício classificado como Monumento Nacional e inserido no Centro Histórico de Guimarães Património Mundial UNESCO.
- Dada a classificação patrimonial e a especificidade construtiva desta construção histórica, solicitou-se a isenção do cumprimento dos regulamentos atuais aplicáveis à reabilitação de edifícios.
- Na ausência de regulamentação específica para a análise estrutural de construções históricas, foram seguidas as orientações dos principais organismos internacionais de proteção do património (ICOMOS) e as publicações de referência da especialidade.



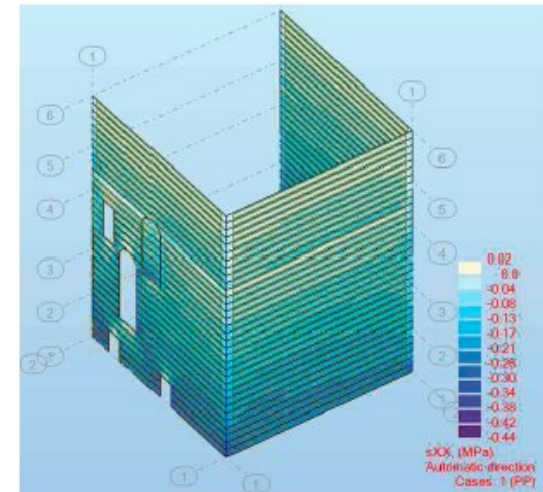
Análise estrutural:

- A análise do estado de tensão atuante nas paredes de alvenaria de pedra, face a cargas gravíticas, foi realizado com recurso a **análise estática linear**, com base em modelação por elementos finitos.
- A verificação do comportamento a mecanismos fora do plano e requisitos para o comportamento integral da estrutura, foi realizada com base na *Normativa Italiana NTC(2018) - Norme tecniche per le costruzioni. Com Circolare de 21 de janeiro, nº 7 (2019)*.
- As verificações de danos e colapso com referência aos mecanismos locais foram realizadas por meio da **análise limite**, com base numa abordagem cinemática que depende da seleção do mecanismo de colapso através de **macro-blocos**. Os macro-blocos são partes das estruturas com comportamento homogéneo, associados a um mecanismo de colapso.

Análise estática linear – análise de tensões



Modelo tridimensional – malha elementos finitos

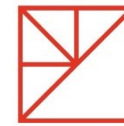


Modelo tridimensional – tensões verticais (carga axial) – peso próprio

| Tipo de alvenaria | f_c (MPa) | f_t (MPa) | f_{cm} (MPa) | E (MPa) | G (MPa) | w (kN/m ³) |
|--|-------------|-------------|----------------|-----------|-----------|--------------------------|
| Alvenaria de pedra irregular, com seixos e pedras irregulares distribuídas de forma errática | 1,1 a 1,9 | 0,03 a 0,05 | – | 900 | 300 | 19 |
| Alvenaria de pedra não aparelhada com folhas externas de espessura limitada e núcleo de enchimento (três folhas) | 2,0 a 3,0 | 0,05 a 0,08 | – | 1200 | 400 | 20 |
| Alvenaria de pedra aparelhada com boa aderência | 2,6 a 3,8 | 0,08 a 0,11 | – | 1700 | 600 | 21 |
| Alvenaria regular de pedra macia (blocos de tufo ou arenito) | 1,4 a 2,2 | 0,05 a 0,06 | – | 1100 | 400 | 13 a 16 |
| Alvenaria de pedra aparelhada rija (aparelho regular) | 2,0 a 3,2 | – | 0,10 a 0,19 | 1400 | 500 | 13 a 16 |
| Cantaria construída com pedras de boa qualidade | 6,0 a 8,0 | – | 0,19 a 0,25 | 2800 | 900 | 22 |
| Alvenaria de tijolo maciço com argamassa à base de cal | 2,5 a 3,4 | 0,09 a 0,14 | 0,13 a 0,19 | 1500 | 500 | 18 |
| Alvenaria de tijolo perfurado (índice de furação vertical < 40%) com argamassa à base de cimento e cal | 4,9 a 8,1 | – | 0,24 a 0,32 | 4600 | 1100 | 15 |

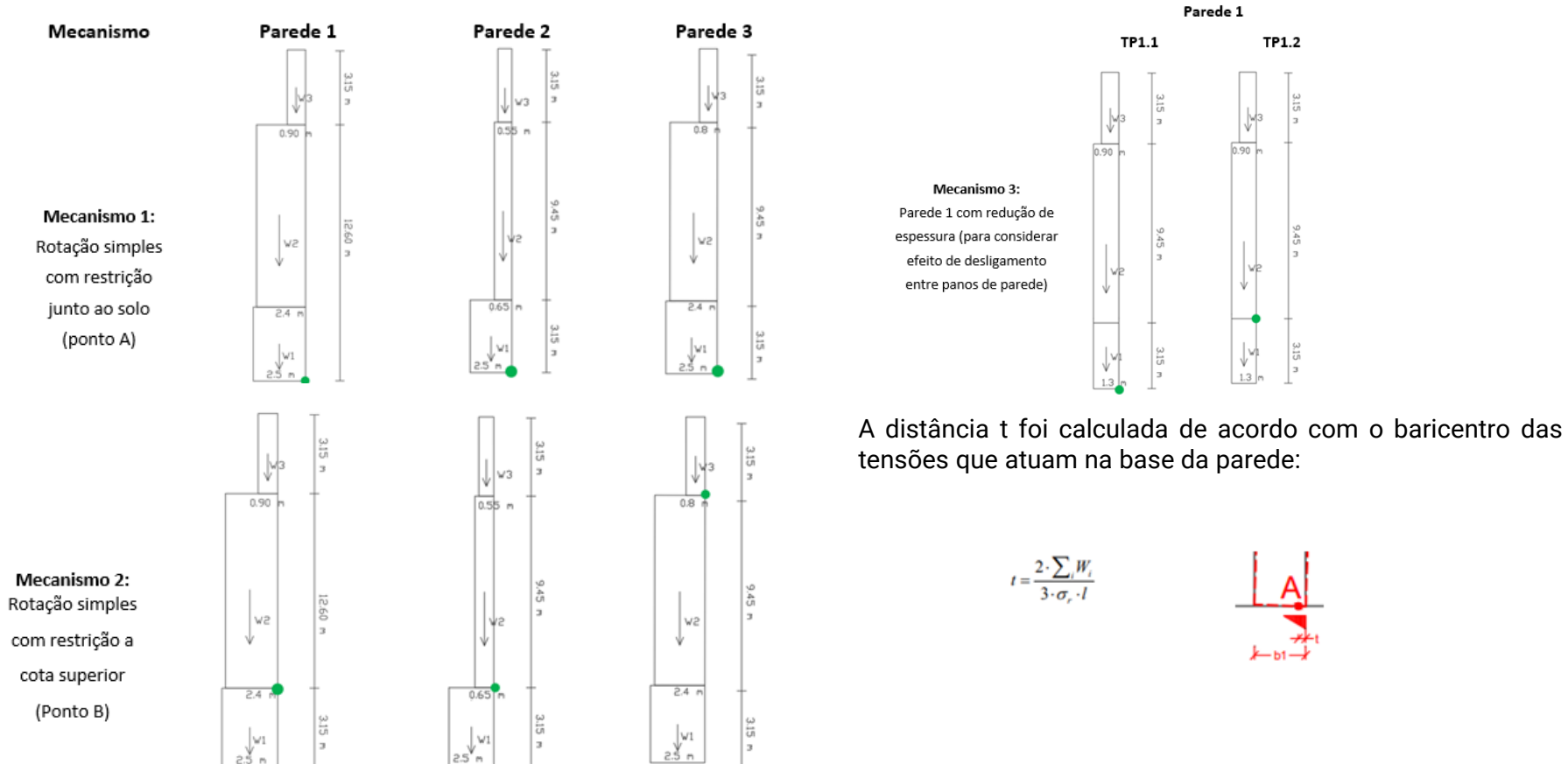
Nota: f_c é a resistência a compressão, f_t é a resistência à tração, f_{cm} é a resistência inicial ao corte para esforço axial nulo (coesão do modelo Mohr-Coulomb), E é o módulo de elasticidade, G é o módulo de distorção, e w é o peso volumico.

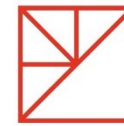
A estrutura apresenta um factor de segurança elevado para cargas verticais (peso próprio)



Análise limite cinemática – mecanismos para fora do próprio plano

- Definição de planos de rotura em mecanismo cinemático de corpos rígidos, nomeadamente pontos frágeis/transição onde a alvenaria pode rodar ou deslizar





2. Estimativa do multiplicador de carga horizontal α_0 que provoca a ativação

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi} \quad \text{Princípio dos trabalhos virtuais (C8A.4.1)}$$

3. Evolução de α em função do deslocamento d_k e do ponto de controlo do mecanismo, até a perda total da capacidade de força sísmica horizontal
4. Transformação do diagrama em curva de capacidade, nomeadamente em acelerações espectrais a^* e deslocamentos espectrais d^* , com a estimativa do deslocamento último para o mecanismo de colapso (estado limite último).
5. Verificações de segurança por meio da compatibilidade dos deslocamentos e/ou das forças com as exigências da ação sobre a estrutura.

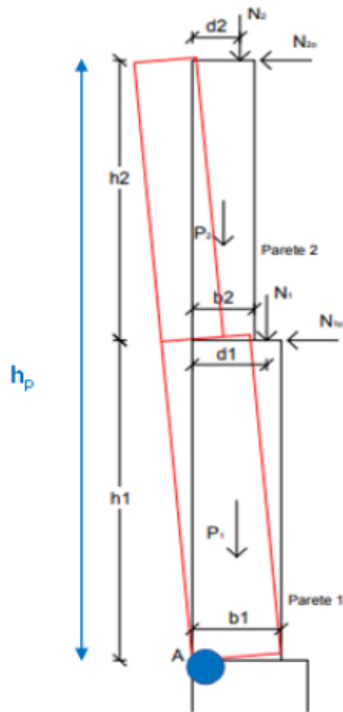
Análise não linear:

Deslocamento espectral equivalente:

$$d^* = d_k \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}}$$

d_k - deslocamento no ponto de controlo
(baricentro das forças verticais) (C8A.4.5)

Resultados



| Material | Alvenaria de cantaria | |
|-----------------|-----------------------|-------------------|
| W | 22 | KN/m ³ |
| f _m | 6 | N/mm ² |
| f _{vo} | 0,18 | N/mm ² |
| τ _o | 0,09 | N/mm ² |
| E | 2400 | N/mm ² |
| G | 800 | N/mm ² |

PAREDE 1 - RÓTULA Z=0m

Estado de limitação de danos

| | |
|---------------|----------|
| Mstab | 7741,82 |
| Mrot/a | 57780,07 |
| ao | 0,13 |
| M* | 682,33 |
| e* | 0,80 |
| ao* | 1,21 |
| S | 1,00 |
| Se(T) | 0,88 |
| ag*S | 0,35 |
| Se(T1)*ψ(Z)*γ | 0 |
| Max | 0,35 |

VERIFIED 346,8066534 %

Estado limite último

| | |
|-----------------|-------|
| q | 2 |
| S | 1 |
| Se(T) | 0,88 |
| ag*S/q | 0,175 |
| Se(T1)*ψ(Z)*γ/q | 0 |
| Max | 0,175 |

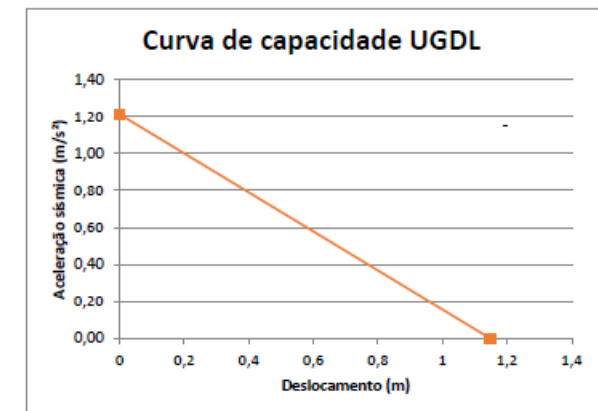
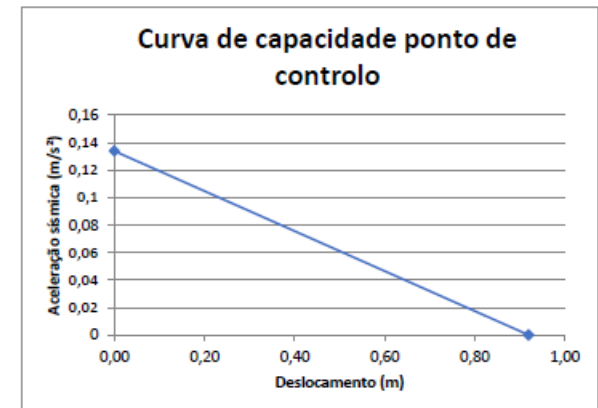
Verificação linear

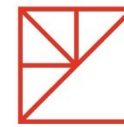
VERIFIED 693,6133067 %

| | |
|---|-------------|
| θ | 7,63 |
| d _{ko} | 0,92 |
| d ₀ * | 1,15 |
| d _u * | 0,458539782 |
| d _s * | 0,183415913 |
| a _s * | 1,019611561 |
| T _s | 2,664900502 |
| S _{de} (T1) | 0,003463452 |
| S _{de} (T _s) | 0,026596811 |
| S _{de} (T1)*ψ(Z)*γ*(T _s /I) | 0 |
| Max | 0,026596811 |

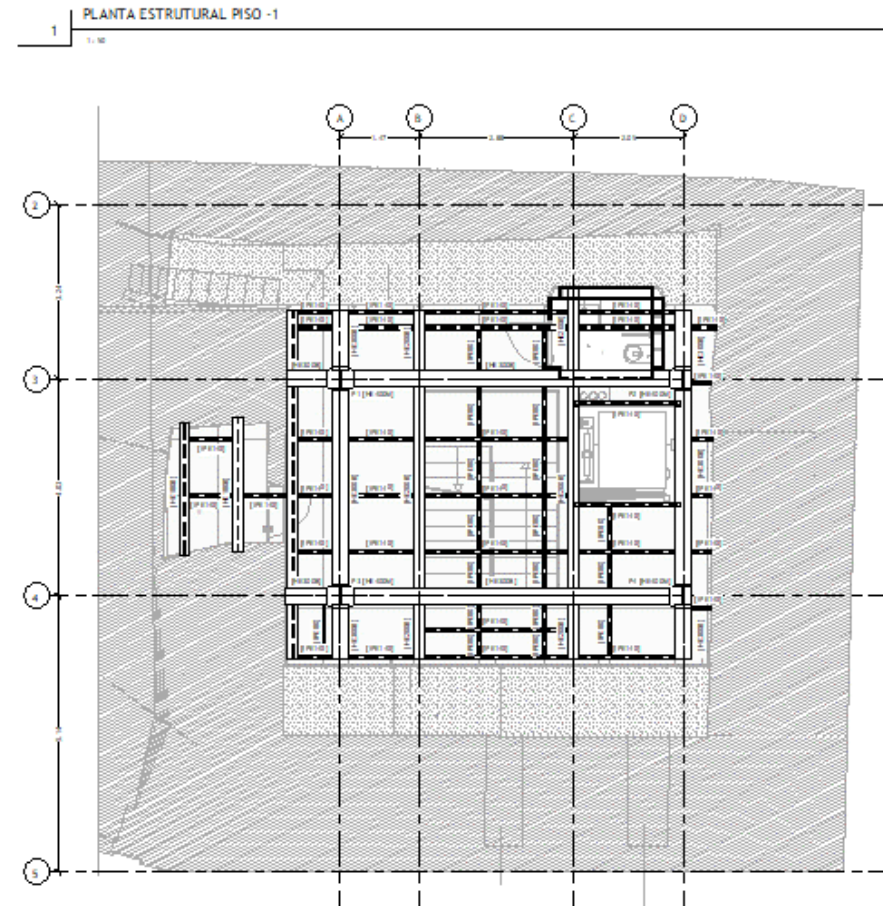
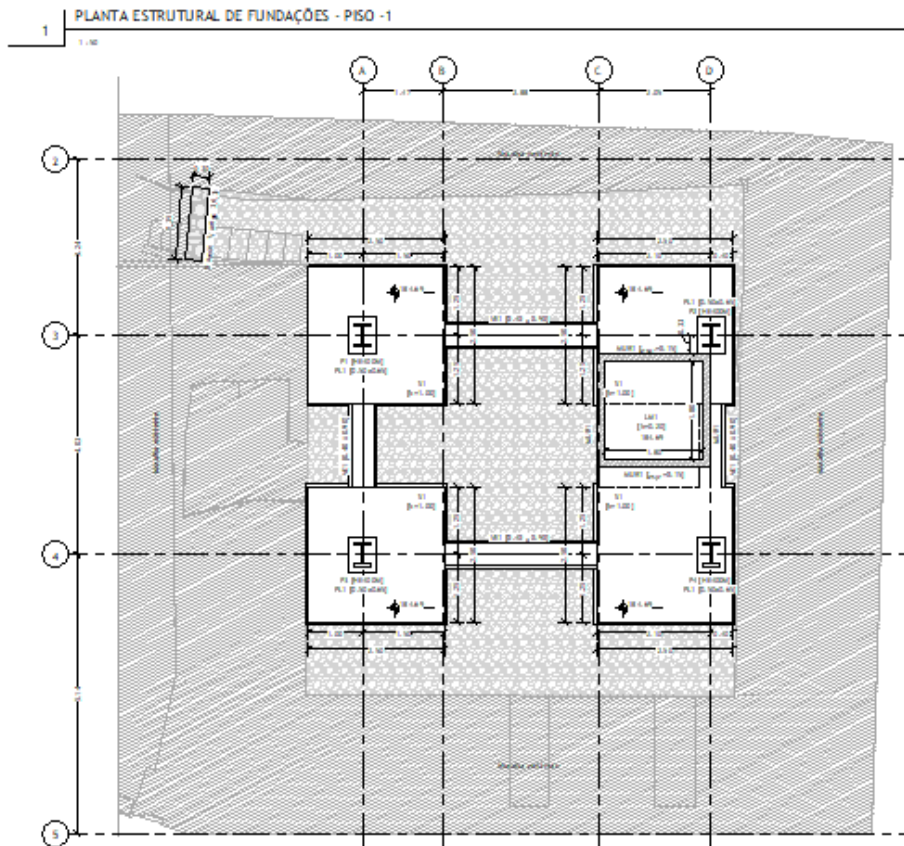
Verificação não-linear

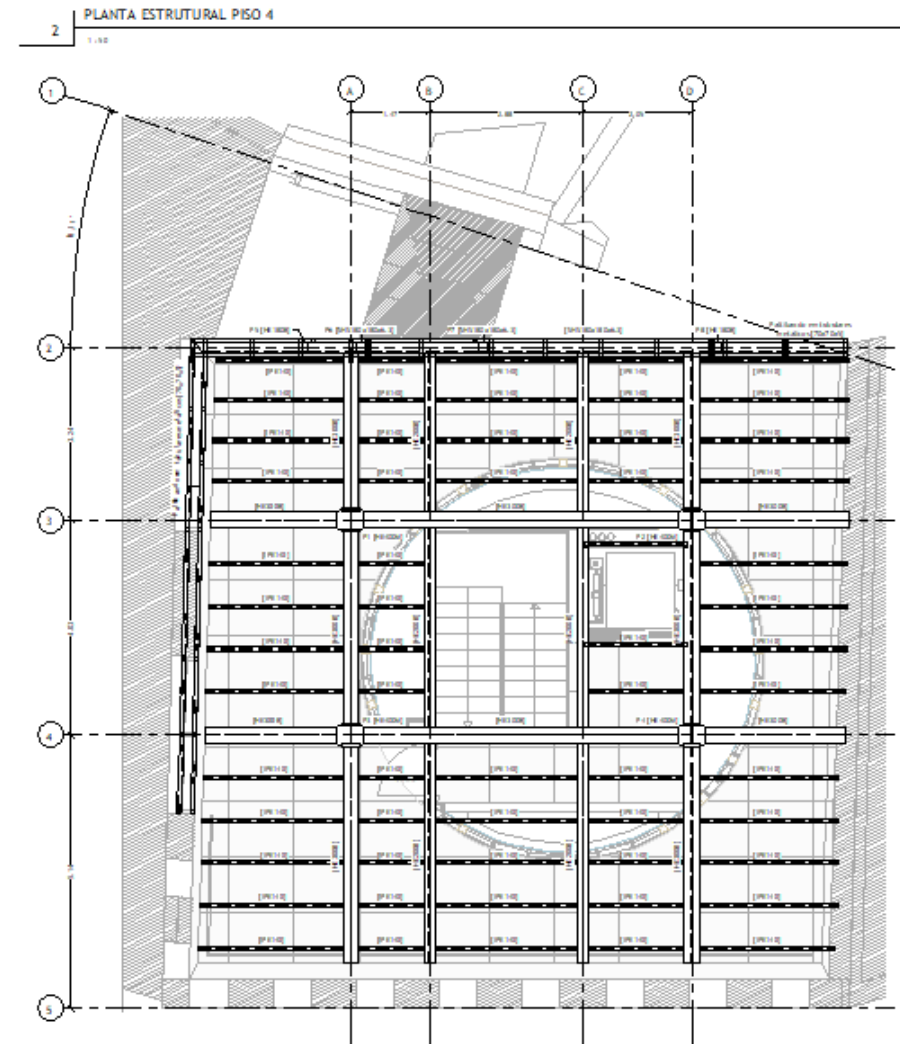
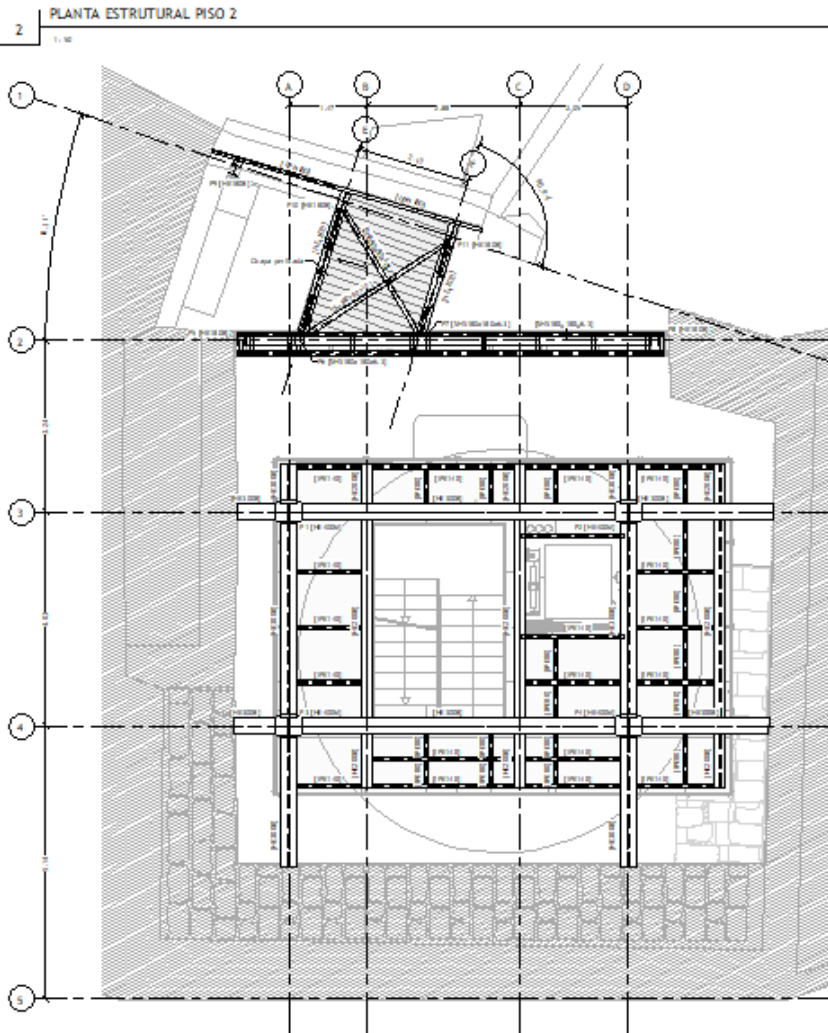
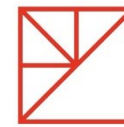
VERIFIED 1724,040477 %

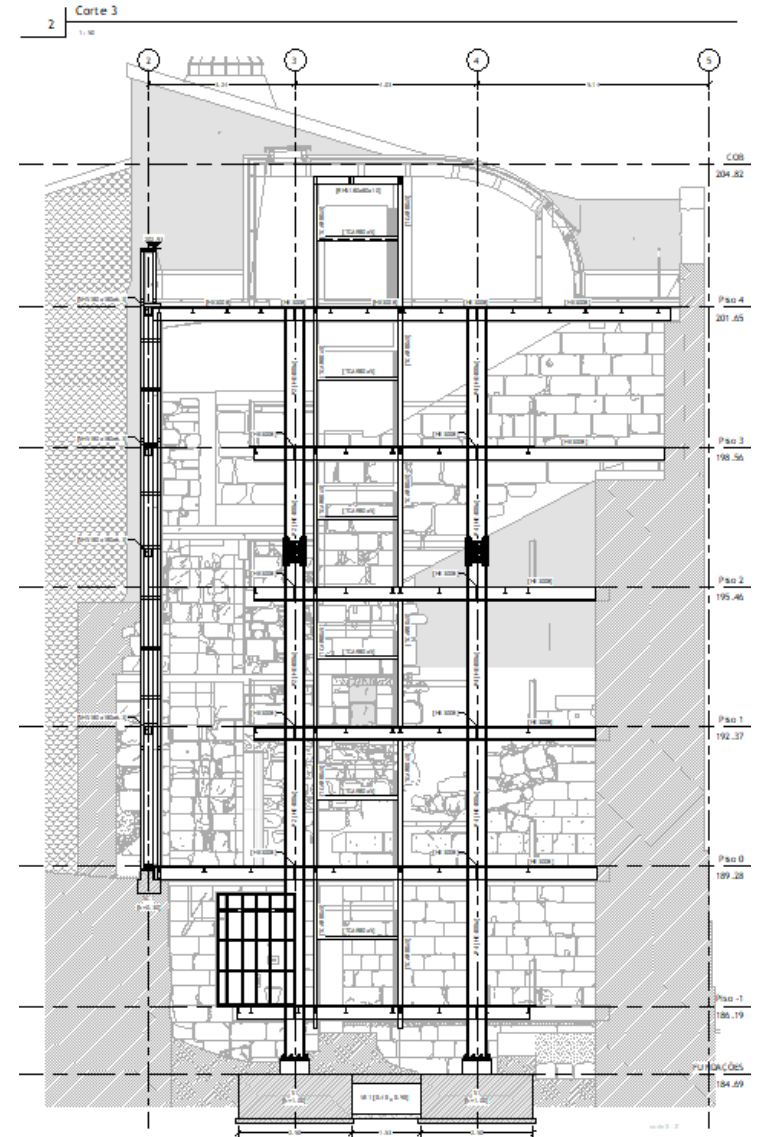
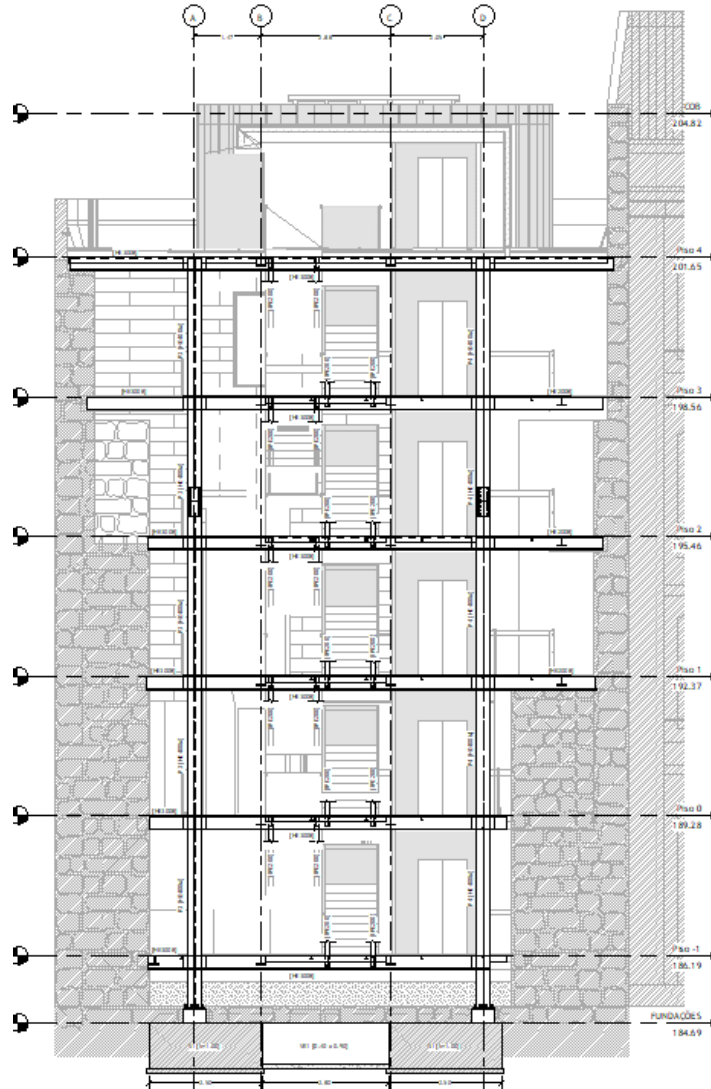
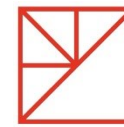




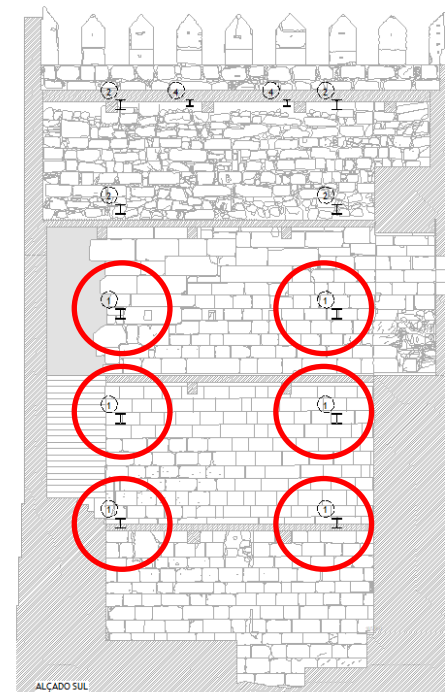
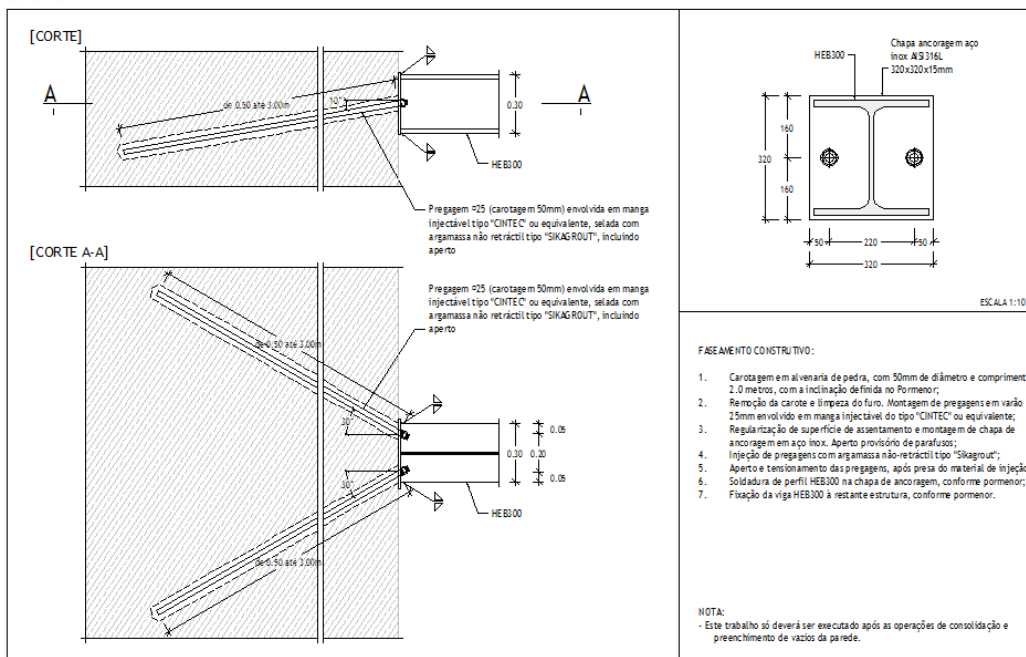
Intervenção estrutural







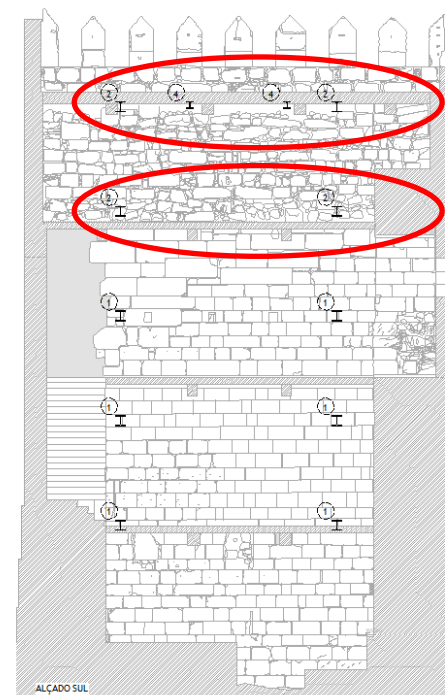
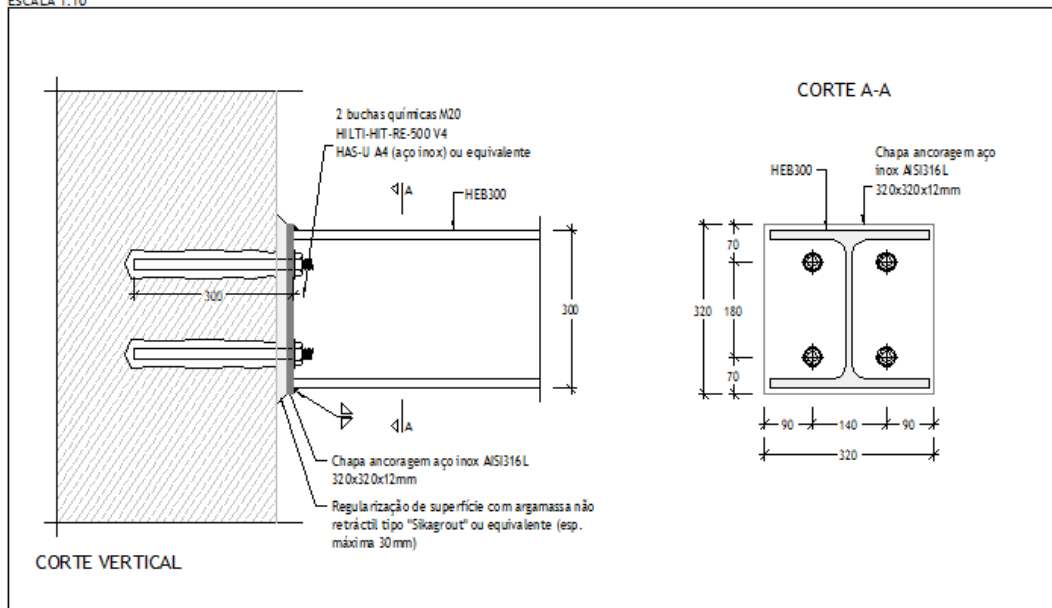
LIGAÇÃO (1)
ESCALA 1:20



- Ligação da estrutura metálica às alvenarias através de pregagens em manga injetável, do tipo CINTEC, com comprimento até 3.0m, permitindo mobilizar a totalidade da espessura da parede
- Contributo da estrutura metálica no travamento da alvenaria para fora do próprio plano
- A estrutura metálica introduz cargas verticais muito reduzidas nas alvenarias

LIGAÇÃO (2)

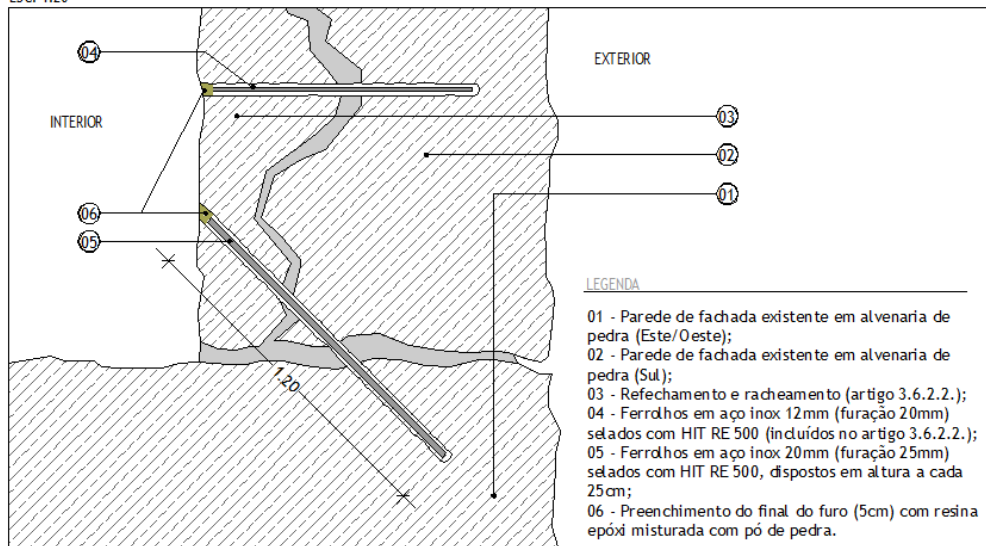
ESCALA 1:10



- Fixação dos elementos de travamento às secções de alvenaria simples com recurso a buchas químicas
- Contributo da estrutura metálica no travamento da alvenaria para fora do próprio plano
- A estrutura metálica introduz cargas verticais muito reduzidas nas alvenarias

REFORÇO DE CUNHAIS EM ALVENARIA EXISTENTE

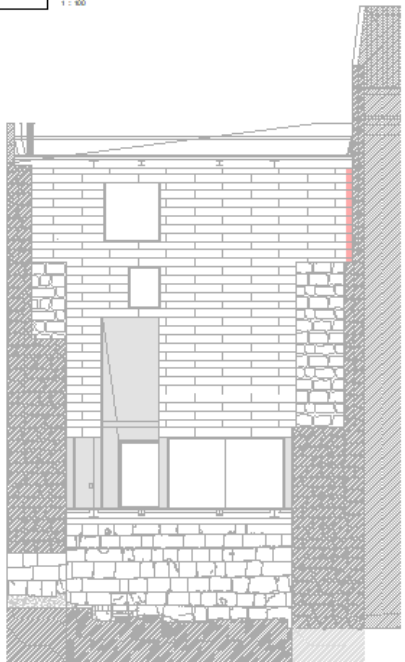
ESC: 1:20



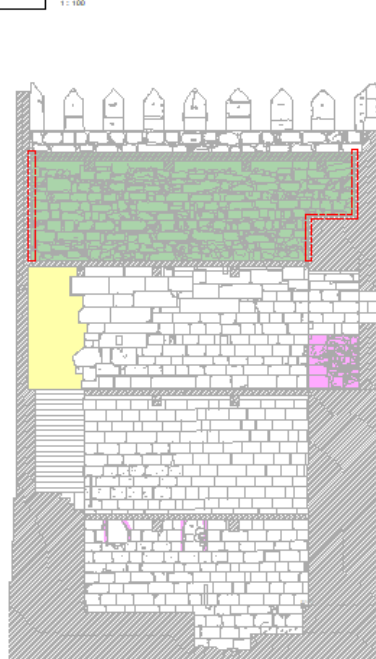
- Reforço dos cunhais desligados da alvenaria, com recurso a pregagens em manga injetável, do tipo CINTEC, com comprimento até 1.2m
- Melhoria do funcionamento global da estrutura



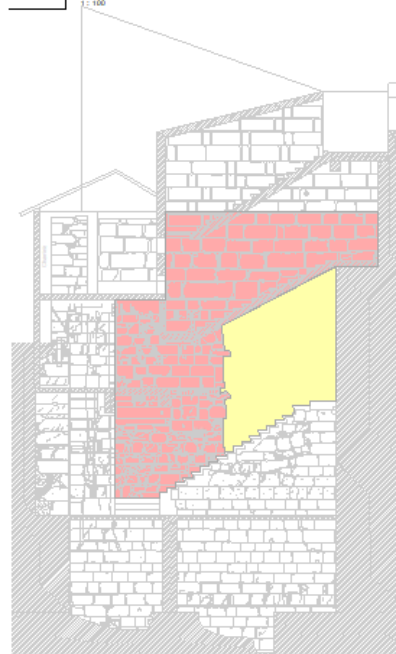
1 Alçado interior Norte
1:100



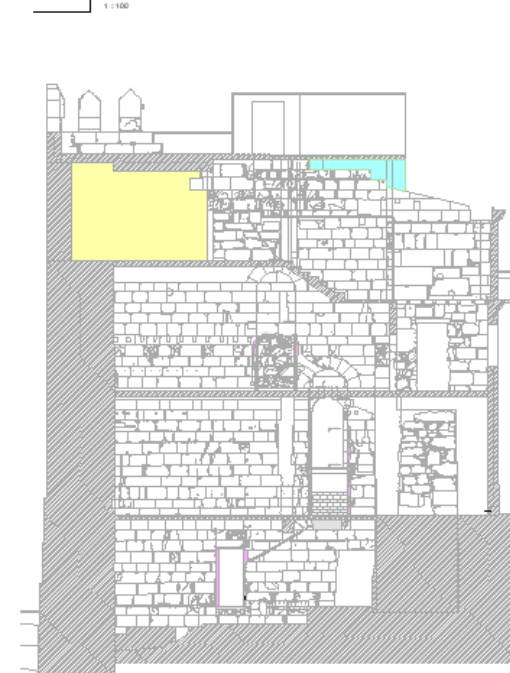
2 Alçado interior Sul
1:100




3 Alçado interior Este
1:100





4 Alçado interior Oeste
1:100

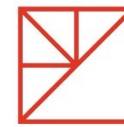


 **3.6.2.1 - CONSOLIDAÇÃO LATERAL DE VÃOS**

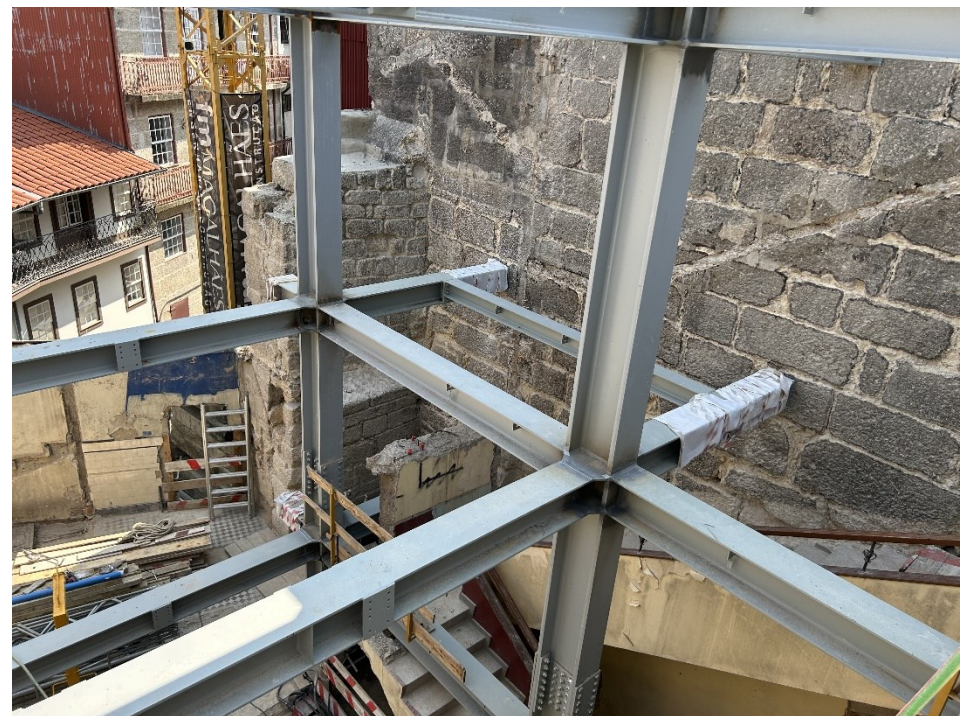
 **3.6.2.2 - REFECHAMENTO E RACHEAMENTO DE PAREDES EXISTENTES**

 **3.6.2.3 - PREENCHIMENTO DE ABERTURAS EM PAREDES EXISTENTES (incluindo remoção de tijolo existente)**

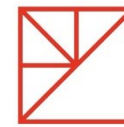
 **3.6.2.4 - EXECUÇÃO DE PAREDE NOVA**



Vista geral da estrutura metálica



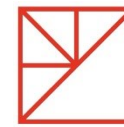
Vista geral da estrutura metálica



Sistema de Pregagens CINTEC



Desobstrução das furações para montagem das pregagens



Pregagens cruzadas injetadas



Fixações com buchas químicas



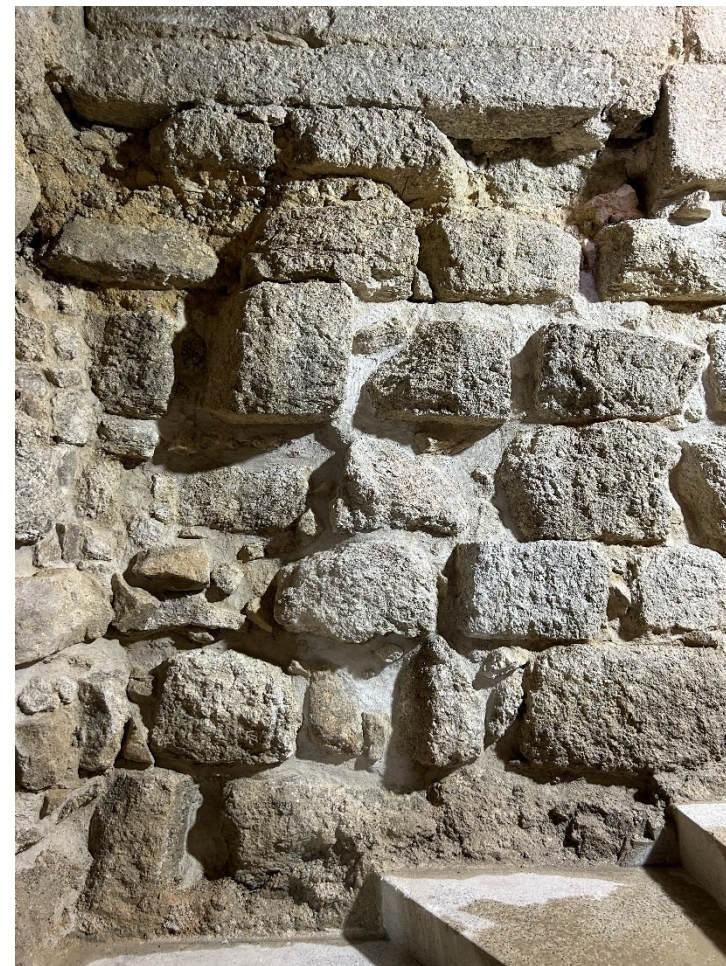
Tratamento de juntas e reconstrução de alvenaria do último troço (caminho de ronda), com colmatação de novas pedras, perpianhos e pregagens de ligação entre panos e injeção e refechamento com argamassa à base de cal hidráulica natural



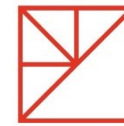
Consolidação das alvenarias com injeção de argamassas à base de cal hidráulica natural



Tratamento de juntas em alvenaria com argamassa à base de cal hidráulica natural



Consolidação de alvenaria com colmatação de novas pedras e injeção e refecimento com argamassa à base de cal hidráulica natural



Principais conclusões:

- A avaliação de segurança foi realizada através de análise estática linear com base em modelação por elementos finitos (cargas permanentes) e análise limite não linear com abordagem cinemática de macroblocos (cargas sísmicas), concluindo-se sobre o elevado fator de segurança da estrutura.
- Tirou-se proveito da estrutura metálica para o travamento e melhoria do comportamento da alvenaria a movimentos para fora do próprio plano, através de buchas químicas e pregagens injetáveis, mobilizando toda a espessura da parede.
- A estrutura metálica não introduziu cargas verticais relevantes na alvenaria de pedra.
- Foram definidas metodologias de injeção e consolidação de vazios e reconstrução de paredes de alvenaria nas zonas mais debilitadas / alteradas. Todas as argamassas de consolidação e refechamento de juntas foram de base de cal hidráulica natural.
- As soluções estruturais garantem a compatibilidade entre materiais e a reversibilidade da intervenção, permitindo a conservação do valor Arquitetónico e autenticidade da construção histórica da Torre.