

# **INSPECÇÃO E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS SEGUNDO A NP EN 1504 – CASO DE OBRA**

**JOSÉ ALBANO MARTINS DE SOUSA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM MATERIAIS E PROCESSOS DE  
CONSTRUÇÃO**

---

Orientador: Professor Doutor Luís Filipe Pereira Juvandes

JULHO DE 2011

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais

*“Interessa-me o futuro porque é o lugar onde vou passar o resto da minha vida”*

*Woody Allen*



## **AGRADECIMENTOS**

Embora se trate de um trabalho individual resultante de muito esforço pessoal e pautado por um grande sentido de responsabilidade, a colaboração que me foi prestada revestiu-se de um valor insubstituível, demonstrando categoricamente que a partilha de conhecimentos impulsiona de modo mais acelerado o progresso tecnológico. Por isso, gostaria de expressar o meu reconhecimento e agradecimento a todos quantos me ajudaram ao longo desta árdua caminhada.

Assim, começaria por agradecer ao Professor Luís Juvandes, a amizade, dedicação e disponibilidade, inextinguíveis, partilhando o seu saber, através das linhas orientadoras e do conseqüente acompanhamento e ensinamento que sempre disponibilizou. Para o Sr. Professor aqui fica o registo da minha profunda gratidão, como mentor de todo o meu trabalho.

A dissertação desenvolvida possui uma componente experimental significativa, a qual não poderia ser realizada sem o apoio manifestado pelo Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção. Assim, agradeço os meios colocados à minha disposição.

Aos auxiliares dos laboratórios que tornaram possível a execução do trabalho experimental, em especial as colaborações permanentes da Eng<sup>a</sup> Patrícia Pereira e do Sr. Manuel Ferreira, declaro a minha gratidão.

Aos meus pais e avós, que nestes quase 25 anos de existência, me estimularam e não me deixaram sucumbir nos momentos menos bons. Acreditaram, desde o primeiro instante, nas minhas capacidades, abdicando muito de si, para me proporcionarem tempo, espaço e apoio moral imprescindível para a conclusão da minha dissertação.

À minha querida Ana, que em momentos complicados, demonstrou todo o seu amor e compreensão ajudando a ultrapassar os obstáculos.

Aos todos os amigos que pela amizade e preocupação me deram a força necessária para continuar em frente sem desanimar e com os olhos postos no futuro. De uma forma especial, ao Francisco Araújo, pelas acções de incentivo e carinho que me fazem melhor pessoa e técnico.

A todos, inclusive os que por lapso não tenha referido, aqui deixo a minha mais profunda gratidão.



## **RESUMO**

O reforço e a reabilitação estrutural têm vindo a assumir, ao longo das últimas décadas, uma crescente importância na actividade da construção civil. Facto esse, ditado por variadíssimas razões das quais se destacam, pela sua maior ocorrência, as alterações dos requisitos estruturais previstos na fase de projecto (aumento do espectro de cargas, sujeição a novas exigências normativas, etc.).

A degradação prematura dos materiais estruturais, os problemas resultantes de erros de concepção e de construção e o facto de muitas estruturas de betão armado (o material mais amplamente utilizado na construção) estarem a atingir o fim do período de vida previsto, também são algumas das razões que levam a acções de reabilitação. Acrescem ainda as razões relacionadas com a recuperação estrutural face à ocorrência de acções acidentais como a acção sísmica e a acção fogo.

Os técnicos da construção civil, incumbidos de dar resposta às necessidades originadas pelas referidas razões, foram impulsionados a desenvolver novos métodos capazes de aumentar a viabilidade do processo de reforço e de reabilitação estrutural, assim como, torna-lo mais ágil. Procuraram que o seu campo de utilização fosse ampliado e que os seus tempos de intervenção e custos associados, tanto de aplicação como de manutenção, fossem reduzidos.

Assim, para acompanhar as mais recentes tecnologias e materiais é necessário criar normalização que permita ao engenheiro fazer a melhor opção com base nas características que necessita. Neste âmbito surge, durante as últimas décadas do século passado, a norma NP EN 1504 “Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão”. A partir desta altura passa a ficar claro não só o procedimento mas também as características dos materiais passíveis de serem utilizados neste tipo de projectos. A referida norma divide todo o encadeamento de tarefas em apenas 5 fases e indica as propriedades relevantes dos materiais que podem ser utilizados neste tipo de intervenção.

Depois de uma exposição sobre os conteúdos referentes às normas NP EN 1504, o objectivo do presente trabalho foi implementa-las numa obra concreta disponível no período de execução da dissertação.

Partiu-se de um caso de obra, uma habitação unifamiliar, e tentou-se implementar as fases de observação, de diagnóstico, de deliberação, de reabilitação/reforço, de execução e inspecção em serviço de estruturas. Por restrições de tempo, realizou-se uma avaliação estrutural e dos materiais conforme o disposto na norma referida. Foi efectuada uma fase de diagnóstico, não só visual mas também de caracterização física e mecânica, através de ensaios “in situ” e em laboratório.

Concluiu-se que a estrutura apresenta fragilidades estruturais, apresentando um nível de segurança bastante inferior ao exigido para estruturas deste tipo. Desta forma, com a impossibilidade de verificar elementos estruturais importantes, como sapatas, a solução que mais se adequa será a demolição total do edifício. Por fim, a organização do trabalho demonstra ser importante seguir as sugestões indicadas nas normas NP EN 1504.

Palavras-Chave: NP EN 1504, observação, diagnóstico, deliberação, reabilitação/reforço, execução e inspecção em serviço de estruturas.



## **ABSTRACT**

The reinforcement and structural improvements have been playing over the last decades, a growing importance in the construction business. This fact, dictated by a variety of reasons including most importantly, by its greater abundance, changes in the structural requirements laid down in draft (increase spectrum charges, subject to new regulatory requirements, etc.).

The premature degradation of structural materials, the problems resulting from design errors and construction and the fact that many structures of reinforced concrete (the material most widely used in construction) are reaching the end of the period of expected life are also some of the reasons that lead to rehabilitation. In addition to reasons related to structural recovery against the occurrence of accidental actions such as seismic and fire action.

The technical construction, responsible for responding to the needs arising for such reasons, were driven to develop new methods to increase the viability of the process of structural strengthening and rehabilitation, as well as to make it more agile. They sought to use his field was expanded and that their intervention times and associated costs, both application and maintenance were reduced.

So, to follow the latest technologies and materials you need to create standards that allow the engineer to make the best choice based on the features you need. In this context arises, during the last decades of the last century, the standard NP EN 1504 "Products and systems for the protection and repair of concrete structures." From this point begins to be clear not only the procedure but also the characteristics of the materials can be employed in such projects. That standard divides the entire chain of tasks in 5 phases and indicates the relevant properties of materials that can be used in this type of intervention.

After a presentation on the content related to the NP EN 1504 standards, the objective of this study was to implement the concrete work available in a timeframe of the dissertation.

We started from a case of work, a single family dwelling, and attempted to implement the phases of observation, diagnosis, resolution, rehabilitation / enhancement, implementation and in-service inspection of structures. For time constraints, we carried out an assessment and structural materials as set forth in that standard. It was made a diagnostic phase, not only visual but also physical and mechanical characterization, through tests "in situ" and laboratory materials.

It was concluded that the structure has structural weaknesses, having a much lower level of security required for the structures of this type. Thus, with the impossibility to verify important structural elements, such as shoes, the solution that best suits will be the total demolition of the building. Finally, the organization of work proved to be important to follow the suggestions in the NP EN 1504 standards.

**Keywords:** NP EN 1504, observation, diagnosis, resolution, rehabilitation / enhancement, implementation and in-service inspection of structures.



## **ÍNDICE GERAL**

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>ÍNDICE GERAL</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE QUADROS</b> .....	xi

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 ENQUADRAMENTO .....	1
1.2 NORMA EN NP 1504 .....	4
1.3 OBJECTIVO DO TRABALHO .....	4
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	5
<b>2 PERSPECTIVA DA NORMA NP EN 1504</b> .....	<b>7</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	7
2.2 ORGANIZAÇÃO DA NP EN 1504 .....	8
2.3 FASE DE DIAGNÓSTICO .....	11
2.4 FASE DELIBERATIVA .....	12
2.5 FASE DE DIMENSIONAMENTO .....	13
2.6 FASE DE EXECUÇÃO .....	15
2.7 FASE DE INSPECÇÃO/ MONITORIZAÇÃO/ MANUTENÇÃO .....	16
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	17

<b>3 ESTUDO DE UMA HABITAÇÃO .....</b>	<b>19</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	19
3.2 DESCRIÇÃO DA OBRA .....	20
3.3 FASE DE DIAGNÓSTICO .....	21
3.3.1 INSPECÇÃO VISUAL.....	21
3.3.1.1 Identificação dos Elementos Estruturais e Zonas de Ensaio.....	21
3.3.1.2 Detecção das Patologias Visíveis.....	25
3.3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO BETÃO .....	30
3.3.2.1 Resistência à Compressão.....	31
3.3.2.2 Resistência à Tração por Pull-Off.....	37
3.3.2.3 Absorção de Água por Capilaridade.....	40
3.3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARMADURAS .....	42
3.4 FASE DELIBERATIVA.....	51
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	52
<b>4 CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS .....</b>	<b>53</b>
4.1 CONCLUSÕES GERAIS .....	53
4.2 FUTUROS DESENVOLVIMENTOS .....	54
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO: FICHAS DOS ENSAIOS REALIZADOS .....</b>	<b>A</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 – Peso (%) da reabilitação em diferentes países da Europa (AECOPS, 2009) .....	2
Fig. 1.2 – Ponte de Entre-os-Rios após a queda.....	3
Fig. 2.1 – Exemplo de folha de rosto da NP EN 1504 .....	7
Fig. 2.2 - Ligação entre as diferentes partes da norma e externas.....	10
Fig. 2.3 – Etapas previstas na parte 9 da NP EN 1504 (Silva, 2008).....	11
Fig. 2.4 – Tarefas para avaliação do estado da estrutura (Silva, 2008).....	12
Fig. 2.5 – Tarefas para identificação das causas das avarias/patologias (Silva, 2008) .....	12
Fig. 2.6 – Possíveis decisões (Silva, 2008) .....	13
Fig. 2.7 – Princípios e métodos (Silva, 2008) .....	13
Fig. 2.8 – Processo de dimensionamento (Silva, 2008) .....	14
Fig. 2.9 – Processo de execução da reparação (Silva, 2008).....	16
Fig. 3.1 – Localização da habitação .....	20
Fig. 3.2 – Vista Geral da habitação .....	21
Fig. 3.3 – Planta estrutural da cave (localização dos ensaios) .....	23
Fig. 3.4 – Planta estrutural da Rés-do-Chão (localização dos ensaios).....	24
Fig. 3.5 – Fendilhação em viga (V2).....	26
Fig. 3.6 – “Ninhos de Brita”.....	27
Fig. 3.7 – Vazios na superfície (P9).....	27
Fig. 3.8 – Eflorescências .....	28
Fig. 3.9 – Escorrências .....	28
Fig. 3.10 – Parcela de tijolo (ligação viga-pilar no rés-do-chão) .....	29
Fig. 3.11 – Junta de betonagem (V1) .....	29
Fig. 3.12 – Recobrimento insuficiente .....	30
Fig. 3.13 – Laje de escadas .....	30
Fig. 3.14 – Martelo de Schmit.....	32
Fig. 3.15 – Exemplo de área de ensaio em pilar.....	32
Fig. 3.16 – Zonas de carotagem e provetes extraídos .....	34
Fig. 3.17 – Aço incorporado nos provetes .....	35
Fig. 3.18 – Rectificação dos provetes por capeamento .....	35
Fig. 3.19 – Prensa de ensaio de compressão simples .....	36
Fig. 3.20 – Tipo de rotura do provete.....	37
Fig. 3.21 – Equipamento de ensaio de Pull-Off .....	38
Fig. 3.22 – Pré-caroteamento .....	38

Fig. 3.23 – Colagem das pastilhas .....	38
Fig. 3.24 – Face lateral .....	39
Fig. 3.25 – Face inferior .....	39
Fig. 3.26 – Modo de ruína .....	40
Fig. 3.27 – Provetes ensaiados.....	41
Fig. 3.28 – Franja capilar no fim do ensaio .....	42
Fig. 3.29 – Armadura detectada na zona 1 .....	43
Fig. 3.30 – Armadura detectada na zona 2 .....	43
Fig. 3.31 – Armadura detectada na zona 3 .....	44
Fig. 3.32 – Armadura detectada na zona 4 .....	44
Fig. 3.33 – Armadura detectada na Viga V1 cave.....	45
Fig. 3.34 – Armadura detectada na Viga V2 .....	45
Fig. 3.35 – Armadura detectada na Viga V3 .....	46
Fig. 3.36 – Armadura detectada na Viga VE.....	46
Fig. 3.37 – Armadura detectada na Viga CT.....	47
Fig. 3.38 – Armadura detectada na Viga V1 R/Chão .....	47
Fig. 3.39 – Armadura detectada no Pilar P3.....	48
Fig. 3.40 – Armadura detectada no Pilar P9.....	48
Fig. 3.41 – Armadura detectada no Pilar P10.....	49
Fig. 3.42 – Armadura detectada no Pilar P12.....	49
Fig. 3.43 – Armadura detectada no Pilar P15.....	50
Fig. 3.44 – Armadura detectada no Pilar P16.....	50
Fig. 3.45 – Armadura detectada no Pilar P22.....	51

## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 3.1 – Designação dos ensaios por símbolos .....	22
Quadro 3.2 – Elementos Estruturais.....	22
Quadro 3.3 – Quadro resumo dos ensaios para os diferentes elementos estruturais.....	25
Quadro 3.4 – Valores médios da tensão de compressão superficial do betão por ensaio esclerométrico .....	33
Quadro 3.5 – Características geométricas dos provetes .....	35
Quadro 3.6 – Características gerais dos provetes após rectificação e resultados do ensaio.....	36
Quadro 3.7 – Resumo do ensaio de “Pull-Off” (resistência superficial do betão).....	39
Quadro 3.8 – Características dos provetes .....	41
Quadro 3.9 – Absorção de água por capilaridade .....	41
Quadro 3.10 – Altura da ascensão capilar.....	42





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO

Num estudo publicado no ano 2000, quando a construção de habitações andava já pelos 100 mil fogos/ano, a Associação de Empresas de Construção, Obras Públicas e Serviços (AECOPS) entendia que tal ritmo de construção era insuficiente, e defendia que o País precisava de construir 1,5 milhões de habitações até 2010, ou seja, 150 mil habitações novas por ano. Na realidade, o ritmo de construção de habitações andou, ao longo da segunda metade da década, pelos 75 mil fogos/ano, ou seja, metade do apontado como desejável pela AECOPS. Mesmo assim, o País vê-se, hoje, a braços com cerca de um milhão de habitações devolutas (números redondos), das quais cerca de 200 mil são novas. O valor empatado neste stock pode ser estimado, por baixo, em 100 mil milhões de euros, verba que daria para pagar vários aeroportos e TGVs.

Decorridos nove anos, no estudo “*O Mercado da Reabilitação – Enquadramento, Relevância e Perspectivas*”, divulgado em fins de 2009, a AECOPS adopta uma posição muito mais consentânea com a realidade do País reconhecendo que o estímulo à aquisição de casa própria resultou no acentuado crescimento da produção de novos fogos habitacionais, alguns de reduzida qualidade, que vieram engrossar o já vasto stock de habitações existente (Cóias, 2009).

Desta forma, a conservação do património edificado é uma preocupação crescente das sociedades actuais, e identificada em todos os programas partidários, programas do governo, programas de plano regionais e municipais.

Constata-se que o estado de conservação, quer do parque habitacional e não habitacional de propriedade privada e pública, quer das infra-estruturas públicas e do património histórico-cultural é, na generalidade dos casos, manifestamente deficiente.

É igualmente claro que o modelo de desenvolvimento dominante até à data, assente essencialmente na construção nova e na expansão dos centros habitacionais, se encontra esgotado por ser insustentável do ponto de vista social, económico, ambiental e urbanístico.

As cidades do futuro são, de acordo com a Nova Carta de Atenas, as cidades antigas, pelo que a problemática da conservação e da reabilitação urbana é indubitavelmente uma questão central na abordagem do futuro da construção (Correia et al, 2003).

Com efeito, a reabilitação urbana é nos dias de hoje um tema imprescindível quer se fale de conservação e defesa do património, de desenvolvimento sustentado, de ordenamento do território, de qualificação ambiental ou de coesão social e constitui um instrumento incontornável para a qualificação e o desenvolvimento das cidades.

Retomando a perspectiva da conservação do património edificado, é importante sublinhar que o ordenamento jurídico português possui abundantes diplomas e disposições legais que prevêm a obrigação de conservar o património edificado, seja ele privado ou público. Não obstante, o certo é que em Portugal existe uma manifesta falta de cultura de manutenção e reabilitação do edificado existente. Esta realidade aplica-se aos edifícios e às infra-estruturas, e é transversal às diversas entidades, privadas ou públicas.

Efectivamente, é muito reduzido o volume de trabalhos de manutenção, de reparação e de reabilitação face ao volume total de trabalhos de construção realizados em Portugal, exigindo o estado de conservação do património construído uma intervenção urgente.

No que desde logo se refere aos edifícios habitacionais, que constituem uma das parcelas do edificado onde esta lacuna se torna mais visível, a causa principal reside, sem dúvida, nas regras que, desde há muito, regem o funcionamento do mercado de arrendamento, em particular o congelamento do valor das rendas determinado na década de 40 do século XX e cujas graves consequências se repercutem até aos dias de hoje (Afonso, 2009).

A situação, neste aspecto em particular, assume proporções de extrema gravidade. Os centros das principais cidades portuguesas são um bom retrato disso, encontrando-se repletos de edifícios degradados, muitos deles em risco de ruir, os quais, para além de tornarem pouco atraentes os locais, constituem uma ameaça à segurança dos bens e dos cidadãos.

Este cenário é uma das principais razões que tem contribuído para o despovoamento dos centros das cidades, surgindo agora, consoante acima se referiu mas não é demais recordar, como prioridade nas agendas dos principais responsáveis, o inverter desta situação. Para tal, é já consensual que uma das principais medidas a implementar é assumir como prioritária a reabilitação do património arquitectónico existente, habitacional e outro, atraindo população para a cidade, realidade que por si só dinamizará o comércio e os serviços, criando um enquadramento harmonioso onde se torne agradável e seguro viver e “conviver” na cidade.

Segundo o estudo de Afonso (2009), Portugal é o segundo país da Europa em que o peso da reabilitação é menor (Fig.1.1).O país em que o volume de produção de trabalhos de reabilitação de edifícios residenciais tem maior peso na produção total da construção é a Alemanha, onde estes trabalhos deverão representar cerca de 32% do total. Seguem-se a Itália e a Finlândia, com cerca de 29% e de 26% da produção com origem neste tipo de trabalhos, respectivamente.

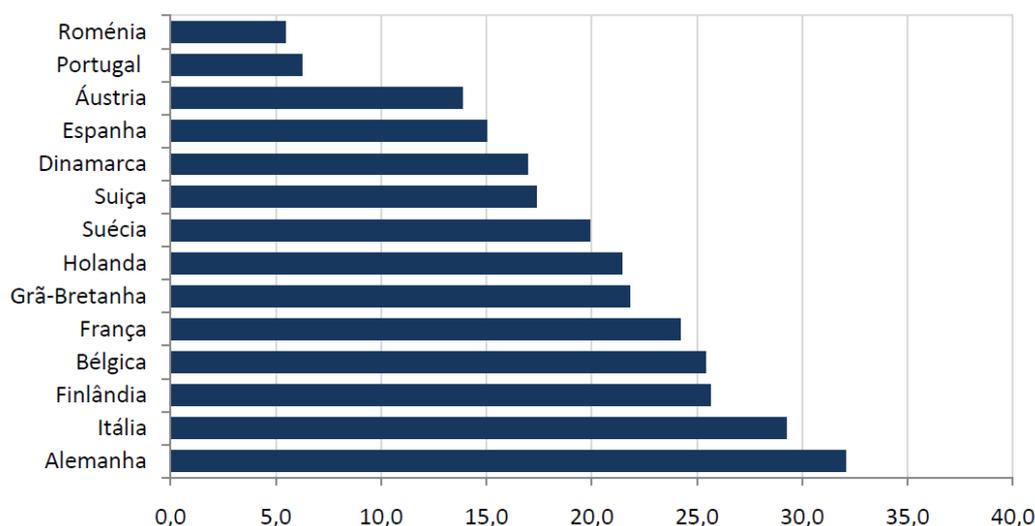


Fig. 1.1 – Peso (%) da reabilitação em diferentes países da Europa (AECOPS, 2009)

Mas, infelizmente, o problema não se confina aos edifícios. A população portuguesa tem ainda bem presente na memória a queda da ponte de Entre-os-Rios (Fig.1.2), a qual, tendo alertado para o grave problema que é, em Portugal, a lacuna existente em termos de manutenção das nossas infra-estruturas, não parece ter sido ainda suficiente para alterar os comportamentos.



Fig. 1.2 – Ponte de Entre-os-Rios após a queda

Muitas obras de reabilitação exibem uma elevada especificidade tecnológica, porque se trata, em geral, para um mesmo tipo de estrutura, de trabalhos de natureza diferente dos da construção de raiz, que obrigam a recorrer a uma diversificada gama de técnicas e produtos, muitos deles diferentes dos utilizados na construção nova.

As vulgaríssimas estruturas de betão armado são um bom exemplo para ilustrar as diferenças de exigência técnica entre construção nova e reabilitação. A qualidade da execução de uma intervenção de reabilitação da mesma estrutura de betão armado contrasta claramente com a construção de uma estrutura nova, sendo condicionada pelo domínio que o empreiteiro possua das técnicas de reabilitação seleccionadas pelo projectista, que podem variar entre umas já razoavelmente estabilizadas e difundidas e outras mais recentes e/ou mais sofisticadas e, por isso, mais exigentes quanto ao rigor de execução.

Para responderem cabalmente às solicitações da reabilitação, as empresas devem possuir elevada capacidade técnica, ou seja, dispor de técnicos superiores, técnicos intermédios e operários competentes, e de uma estrutura organizativa que lhes permita garantir a qualidade das intervenções. A especificidade da reabilitação do edificado acentua-se quando se intervém sobre edifícios antigos, cuja anatomia e tecnologia construtiva são desconhecidas dos empreiteiros generalistas de hoje e, sobretudo, quando se trata de edifícios com valor enquanto património arquitectónico. Neste caso, o edifício é, além de uma construção, um bem cultural e a sua reabilitação não pode prejudicar o seu valor histórico, cultural e arquitectónico.

Constata-se, no entanto, que o baixo nível organizacional e técnico da maior parte das empresas de construção e a ausência de qualificação dos seus recursos humanos não é compatível com o grau de exigência de um vasto conjunto de intervenções de reabilitação. Se a construção nova, que emprega produtos e tecnologias correntes, já apresenta as falhas de qualidade e durabilidade que são hoje quase proverbiais, é fácil antever os problemas que surgirão se as intervenções de reabilitação, que utilizam produtos e tecnologias específicas, forem entregues a agentes com a mesma falta de qualificação (Cóias, 2009).

A falta de capacidade técnica conjugada com a evolução dos diferentes produtos e sistemas passíveis de serem utilizados na reabilitação, levaram a que o mercado fosse estabilizado através de normalização adequada. Este passo encaminhou para a criação da norma NP EN 1504 que vem, desta

forma, organizar todo o processo de reabilitação e indicar as propriedades dos materiais mais relevantes para o efeito.

## **1.2 NORMA EN NP 1504**

Com a investigação de novas técnicas e materiais para responder da melhor forma ao mercado da reabilitação, este ficou saturado de informação que muitas vezes não corresponde às exigências do técnico. A dispersão entre as características essenciais ao dimensionamento de soluções e as características que os produtores revelam, torna o processo de reabilitação difícil de ser avaliado e, por consequência, o potencial dos materiais e técnicas não é aproveitado ao máximo.

Esta lacuna levou, naturalmente, à constituição de equipas técnicas destinadas à preparação de documentos de normalização, que por sua vez, vêm impulsionar e difundir o estabelecimento de critérios de dimensionamento, de verificação de segurança e de execução em obra.

No âmbito da reabilitação de estruturas de betão surge a norma EN NP 1504 “Produtos e sistemas para protecção e reparação de estruturas de betão”, constituída por 10 partes, com o intuito de organizar todo o processo. A parte 1 apresenta as definições gerais e objectivos da norma. As partes 2 à 7, determinar propriedades relevantes para os diferentes produtos e sistemas. As partes 8 e 10 tratam, respectivamente, da avaliação da conformidade e da aplicação e controlo da qualidade. A parte 9 apresenta os princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas.

Contudo, cada projecto é diferente, devendo assim haver o cuidado de ajustar a norma a cada situação, reabilitação e/ou reforço. As normas NP EN 1504 reforçam a ideia de que um projecto de reforço, sobretudo com novos materiais, deve obedecer às etapas especificadas nessas normas. O projecto de reforço, antes de ser iniciado, deve ser alvo de uma análise prévia para que se averigüe a sua adequabilidade e viabilidade económica e estrutural.

A investigação publicada, sobre as recentes normas NP EN 1504, sobre várias áreas de intervenção no reforço cuja preocupação foi tentar ajustar as mesmas à situação concreta de reforço, como o caso do Azevedo (2008). Mas há muito por realizar de modo a se perceber as grandes vantagens da norma.

## **1.3 OBJECTIVO DO TRABALHO**

Pretende-se que o documento fosse um reflexo do estado actual dos conhecimentos da norma NP EN 1504 e sua aplicação num caso real.

O objectivo principal é descrever todos os passos a seguir para a correcta execução de um projecto de reabilitação, apontando as tarefas que, quer pela sua importância, quer pela sua dificuldade, exijam cuidados especiais.

Desta forma foi necessário, em primeiro lugar, de explicitar toda a norma NP EN 1504, o seu surgimento, organização das diversas partes que a constitui e a explicação das diferentes fases do processo intrínsecas na referida norma. Esta explicação pretende ser um contributo para um melhor entendimento das partes constituintes da norma.

O segundo passo desta dissertação foi demonstrar a sua aplicabilidade num caso concreto de reabilitação e reforço. A implementação de toda a informação descrita na norma não foi conseguida. A necessidade de mais tempo e a existência de mais intervenientes, são as principais causas para o sucedido.

#### **1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

De acordo com os objectivos propostos, a dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos e anexos. O primeiro é a presente introdução sobre o estado da reabilitação em Portugal. Apresenta o surgimento da norma NP EN 1504, os objectivos e a organização do trabalho desenvolvido.

O Capítulo 2 diz respeito à norma NP EN 1504, explicando a sua organização e as diferentes fases implícitas na norma para todo o processo de reabilitação de estruturas de betão.

No Capítulo 3 o objectivo prende-se com a aplicação da norma NP EN 1504 a um caso concreto. É elaborada uma descrição geral da obra bem como a sua história e localização. Apresenta a descrição e os resultados dos ensaios efectuados aos diferentes elementos estruturais.

A elaboração do Capítulo 4 prende-se nas conclusões mais relevantes de toda a dissertação com especial atenção no nível de segurança apresentada pela estrutura.

No capítulo 5 estão indicadas as referências bibliográficas que estiveram na base da investigação efectuada pelo autor.

No anexo, apresentam-se as fichas dos ensaios realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção.



# 2

## PERSPECTIVA DA NORMA NP EN 1504

### 2.1 INTRODUÇÃO

O crescente reconhecimento da importância da manutenção e reabilitação estrutural levaram ao aumento de conhecimento e melhoramento de técnicas, produtos e sistemas. Estas tecnologias devem fazer uma ligação entre a construção antiga e a recente. Esta harmonização por vezes torna-se bastante complicada, não só pelo estado da estrutura, mas também pela incógnita do tipo de construção inicial.

Até há uns anos atrás, as disposições normativas específicas para programas de manutenção e reabilitação, mesmo nos países desenvolvidos, era escassa. Era então necessário normalização que tentasse organizar e estabilizar todo o processo de reabilitação e/ou reforço, e que apresentasse a metodologia que deveria ser seguida, desde o diagnóstico inicial, passando pela selecção apropriada das técnicas até às propriedades particulares dos produtos e sistemas, para uma boa decisão.

No decorrer da década de 80, o Comité Europeu de Normalização (CEN) iniciou a preparação de um conjunto de normas referentes à reparação e protecção de estruturas de betão. Esse esforço culminou na Norma NP EN 1504 (Fig. 2.1) sob o título de “Produtos e sistemas para a protecção reparação de estruturas de betão”. Esta reúne toda a informação sobre produtos e sistemas para manutenção e protecção, reabilitação e reforço de estruturas de betão (Silva, 2008).

A referida norma, constituída essencialmente por 10 partes, explicita a divisão de um projecto de reabilitação em 5 fases distintas. Fases essas de diagnóstico, deliberativa, dimensionamento, execução e inspecção/ monitorização/ manutenção, esta última facultativa.



Fig. 2.1 – Exemplo de folha de rosto da NP EN 1504

## 2.2 ORGANIZAÇÃO DA NP EN 1504

A referida norma está dividida em 10 partes, inicia-se nas definições e objectivos da norma na parte 1. Nas partes 2 à 7 são referidos os sistemas e produtos que permitem realizar as operações de reabilitação e/ou reforço, com o estabelecimento de valores para as propriedades que estes devem apresentar em função da aplicação. As partes 8 e 10 tratam respectivamente, da avaliação da conformidade e da aplicação e controlo da qualidade. A parte 9 apresenta os princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas (Silva, 2008).

A parte 1 da NP EN 1504 (2006) classifica e define os tipos de produtos e sistemas para reparação, manutenção, protecção ou reforço de estruturas de betão.

Assim as definições estão agrupadas em três grupos:

- Definições gerais - Definições gerais de produtos, sistemas, tecnologias, comportamento dos produtos e sistemas, e requisitos de comportamento;
- Principais categorias de produtos e sistemas - Produtos e sistemas para protecção superficial, reparações estruturais e não estruturais, colagem estrutural, injeções, ancoragens, protecção das armaduras ou de outros elementos metálicos;
- Principais tipos químicos e constituintes de produtos e sistemas para protecção e reparação - Produtos líquidos hidrófobos para impregnação ou preenchimento de poros, produtos para obtenção de películas superficiais, ligantes hidráulicos, polímeros reactivos, adjuvantes, adições, argamassas e betões hidráulicos, modificadas com polímeros ou com ligante exclusivamente polimérico.

A parte 2 da NP EN 1504 (2006) especifica os requisitos para a identificação, comportamento (incluindo durabilidade) e segurança de produtos e sistemas para a protecção superficial do betão, para aumentar a durabilidade de estruturas de betão e de betão armado, em estruturas novas ou em trabalhos de manutenção e reparação.

A parte 3 da NP EN 1504 (2006) especifica os requisitos de comportamento (incluindo aspectos de durabilidade) e segurança dos produtos e sistemas para a reparação estrutural e não estrutural. São apresentadas indicações para identificação dos sistemas de reparação, que podem ser por meio de caldas, argamassas e betões, utilizados conjuntamente com outros componentes incluindo colas e tratamentos das armaduras.

A parte 4 da NP EN 1504 (2006) especifica os requisitos e critérios de conformidade para a identificação, comportamento (incluindo aspectos de durabilidade) e segurança de produtos e sistemas para colagem estrutural de materiais de construção a estruturas de betão.

Este documento inclui:

- A colagem de placas de aço ou de outros materiais à superfície do betão, para efeito de reforço;
- A colagem entre peças de betão endurecido, aplicável à utilização de sistemas de pré-fabricação;
- A colagem de betão fresco a betão endurecido, quando é necessário o funcionamento conjunto das partes de uma estrutura com betão de idades diferentes.

A parte 5 da NP EN 1504 (2006) especifica os requisitos para identificação, comportamento (incluindo aspectos de durabilidade) e segurança de produtos de preenchimento de fendas e cavidades internas no betão, por injeção ou por gravidade, em trabalhos de protecção ou reforço de estruturas.

Pretende-se, deste modo, garantir a estanqueidade da estrutura e evitar a penetração de agentes agressivos que induzam corrosão nas armaduras. O reforço da estrutura resulta assim do reforço do próprio material betão.

A parte 6 da NP EN 1504 (2008) especifica os requisitos para identificação, comportamento (incluindo aspectos de durabilidade) e segurança de produtos de injeção de caldas em ancoragens, em trabalhos de protecção ou de reforço.

A parte 7 da NP EN 1504 (2008) especifica os requisitos para identificação, comportamento (incluindo aspectos de durabilidade) e segurança de produtos e sistemas de prevenção da corrosão das armaduras, em particular por realcalinização e extracção electroquímica de cloretos.

A parte 8 da NP EN 1504 (2006) especifica os procedimentos para a amostragem, verificação da conformidade, marcação de produtos e identificação de sistemas para a protecção e reparação de estruturas, no âmbito da série de normas NP EN 1504.

A verificação da conformidade baseia-se num conjunto de ensaios iniciais para demonstrar que o produto satisfaz os requisitos da parte de NP EN 1504 que se lhe aplica, e no controlo de produção.

A parte 9 da NP EN 1504 (2009) define os princípios para a protecção e reparação de estruturas de betão, que tenham sofrido ou possam vir a sofrer danos ou deteriorações, e indica regras para a selecção adequada dos produtos e sistemas.

Esta norma identifica as etapas principais de um processo de reparação:

- i. Avaliação das condições da estrutura;
- ii. Identificação das causas de deterioração;
- iii. Decisão sobre os objectivos da protecção e da reparação;
- iv. Selecção dos princípios adequados para a protecção e reparação
- v. Selecção de métodos;
- vi. Definição das propriedades dos produtos e sistemas;
- vii. Especificação dos requisitos de manutenção após os trabalhos de protecção e reparação.

A parte 10 da NP EN 1504 (2008) apresenta os requisitos para armazenamento, preparação e aplicação de produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão, incluindo o controlo de qualidade, manutenção, saúde e segurança.

A segurança e estabilidade, antes, durante e após a reparação, devem ser asseguradas nos termos da parte 9 da NP EN 1504. Qualquer intervalo de tempo necessário para a obtenção de resistência dos produtos de reparação deve ser considerado como parte do prazo da reparação.

Devem ser verificadas as condições físicas e químicas das bases de aplicação de quaisquer produtos de reparação, incluindo a pesquisa de contaminantes. Deve ser avaliada a capacidade da estrutura para suportar cargas, movimentos ou vibrações durante a execução dos trabalhos, bem como a compatibilidade dos materiais estruturais com os materiais de reparação.

São definidos os seguintes requisitos:

- Verificação das propriedades especificadas dos produtos e sistemas de reparação, quando aplicados nas condições reais;
- Verificação da compatibilidade do betão e armaduras originais com os materiais de reparação, bem como a compatibilidade entre materiais de sistemas de reparação diferentes;
- Verificação das condições da base de aplicação, tais como: rugosidade, fendilhação, resistência à tracção e à compressão, existência e profundidade de penetração de cloretos ou outros contaminantes, profundidade de carbonatação, teor em humidade, temperatura e grau de corrosão das armaduras;
- Verificação das condições de armazenamento e de aplicação dos materiais em termos de temperatura e humidade, protecção do vento e da chuva e outras de carácter temporário.

Para cada um dos métodos de reparação descritos, na parte 9, são indicadas as verificações a efectuar de modo a demonstrar a sua adequação aos princípios a que se referem, com base numa lista de propriedades a verificar, métodos de ensaio e normas que se lhes aplicam, valores limite dos resultados dos ensaios ou observações e frequência dos mesmos.

Finalmente, esta norma estabelece o requisito da elaboração de um manual de qualidade, para todos os trabalhos de intervenção numa estrutura, baseado no modelo da série de normas EN ISO 9000(2008), que inclua a definição dos intervalos de inspecção para verificação da eficácia das técnicas utilizadas e de necessidades futuras de manutenção.

Para que os produtos possam ser utilizados em projectos de reabilitação devem estar devidamente certificados e com marcação CE. Desta maneira a norma, faz também referência a outras normas que deverão ser aplicadas para que todos os produtos e sistemas sejam ensaiados da mesma forma a fim de obterem a marcação. Na Fig. 2.2 demonstra-se a ligação das diferentes partes da norma em estudo e com a normalização externa.

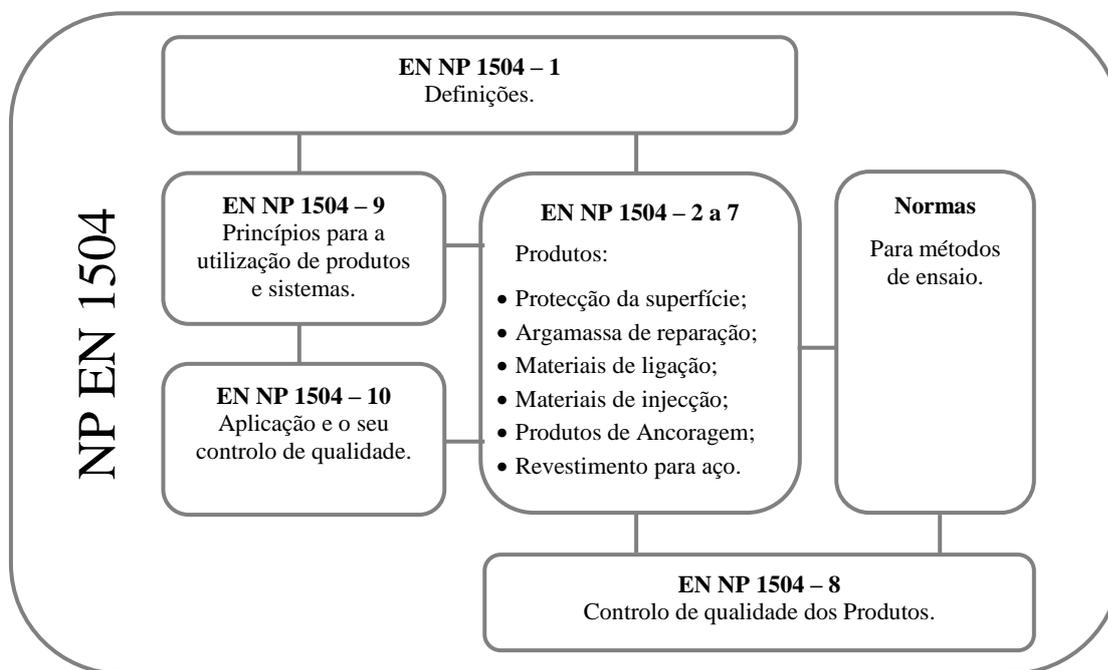


Fig. 2.2 - Ligação entre as diferentes partes da norma e externas

As etapas previstas na parte 9 da NP EN 1504 podem ser agrupadas de forma a resultar em 5 fases distintas (Fig. 2.3). Inicia-se, então, o processo de reabilitação com a fase de diagnóstico, constituída por duas tarefas que visam avaliar o estado da estrutura e identificar as avarias/patologias presentes. Seguidamente, na fase deliberativa são decididas as medidas a tomar e os princípios e métodos a adoptar para o reforço. A terceira fase é o dimensionamento da solução adoptada, baseada na decisão tomada anteriormente. A penúltima fase é a execução da melhor solução encontrada e, por fim a fase de inspecção/ monitorização/ manutenção. Esta ultima é facultativa, sendo que a sua aplicação apenas se torna relevante em estruturas especiais e com alguma importância.

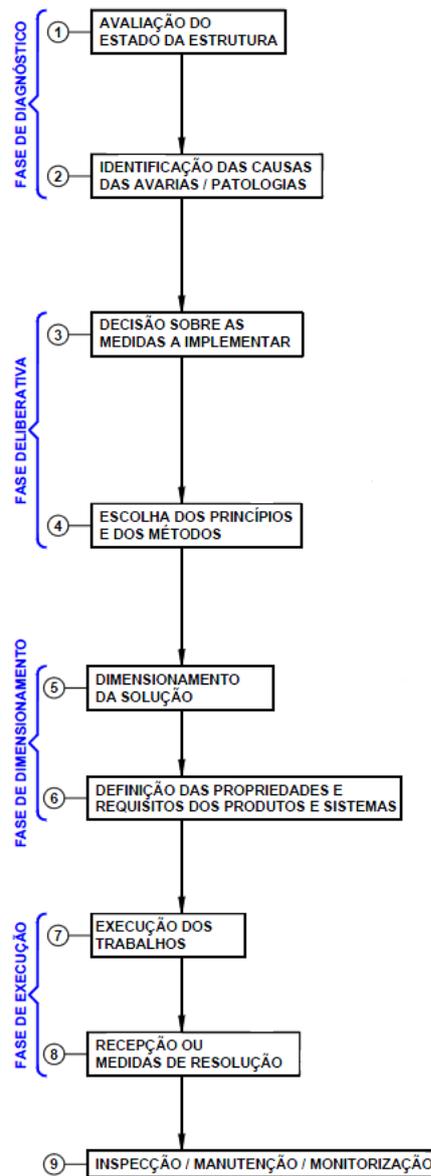


Fig. 2.3 – Etapas previstas na parte 9 da NP EN 1504 (Silva, 2008)

### 2.3 FASE DE DIAGNÓSTICO

A fase de diagnóstico é a que inicia todo o processo de reabilitação e/ou reforço de uma estrutura de betão. Desta forma, é aqui que toda a informação deve ser reunida acerca da estrutura. Não é possível dar seguimento a um projecto deste tipo sem primeiro saber o estado actual da estrutura (Fig. 2.4). Esta acção destina-se a fazer o levantamento da estrutura, história da estrutura, documentação do projecto original, inspeções feitas anteriormente, condições de carregamento, propriedades dos materiais, exposição ambiental e nível de segurança existente.

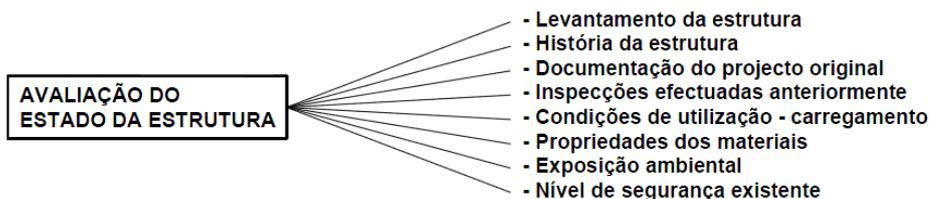


Fig. 2.4 – Tarefas para avaliação do estado da estrutura (Silva, 2008)

Seguidamente, deve ser realizada uma identificação das causas das avarias/patologias (Fig. 2.5). Esta acção visa reconhecer o tipo de patologias/avarias existentes no betão e/ou nas armaduras. Os defeitos no betão podem ter causas diferentes como mecânicas, físicas ou químicas. Nas armaduras a corrosão provém, por exemplo, da carbonatação do betão, de correntes vagabundas ou contaminantes corrosivos.

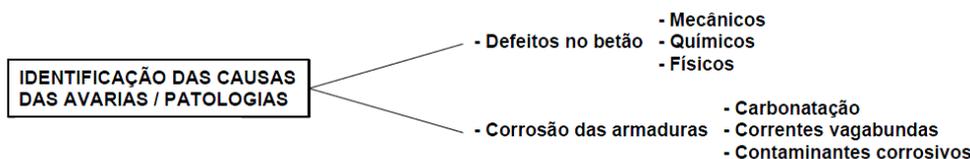


Fig. 2.5 – Tarefas para identificação das causas das avarias/patologias (Silva, 2008)

Algumas vezes as patologias/avarias resultam da deficiente execução da obra (deficiente dimensionamento, erro construtivo ou ausência de especificação). Só depois de se perceber a origem das patologias/avarias é que se poderão definir as medidas a aplicar (Silva, 2008).

## 2.4 FASE DELIBERATIVA

Decidir sobre medidas a tomar depende de factores preconizados na norma EN NP 1504-9 (2008), nomeadamente do uso pretendido para a estrutura, tempo de vida útil, características de desempenho pretendidas, desempenho da reparação previsto a longo prazo, disponibilidade para efectuar reparações com possível interrupção do seu funcionamento, número e custo de futuras acções de reparação e manutenção durante a vida útil da estrutura. Igualmente possíveis, são as dependências por aspectos como as propriedades e métodos possíveis de preparação do substrato existente, da aparência da estrutura reparada, do processo de distribuição das cargas durante e após a reparação, das consequências do colapso da estrutura, dos requisitos de higiene e segurança na utilização da estrutura, das condições futuras de exposição ambiental da estrutura e da necessidade de protecção ambiental de parte ou de toda a estrutura.

A partir deste momento é necessário tomar uma decisão (Fig. 2.6). Caso seja positiva deverão ser então seleccionados os princípios e métodos adequado à reparação pretendida. A cada um dos princípios apresentados na Fig. 2.7 associam-se diversos métodos/técnicas para a sua concretização.

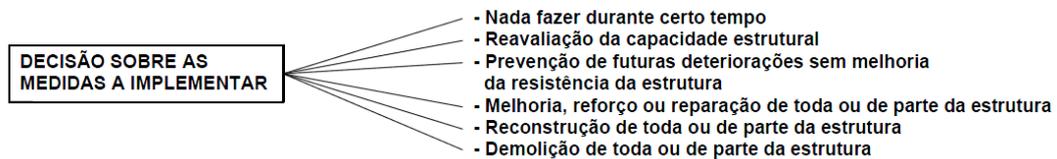


Fig. 2.6 – Possíveis decisões (Silva, 2008)

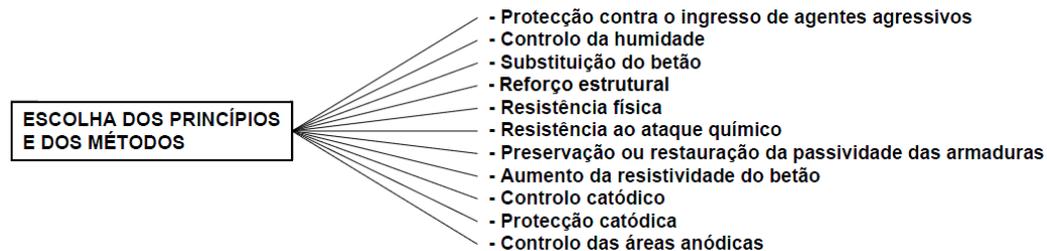


Fig. 2.7 – Princípios e métodos (Silva, 2008)

Nas partes 2 a 7 da norma EN 1504 são referidos os produtos e sistemas que permitem concretizar os princípios e os métodos seleccionados, com identificação das propriedades relevantes para todos os tipos de aplicação, assim como o estabelecimento de valores para essas propriedades, que devem constar do documento preparado pelo projectista. Estes documentos destinam-se à especificação das condições técnicas por ele estabelecidas para a aplicação da técnica adoptada (Silva, 2008).

## 2.5 FASE DE DIMENSIONAMENTO

Colocando o método de dimensionamento, esquematizado na Fig. 2.8, sobre análise é possível observar que anteriormente deve ser realizada uma avaliação preliminar para determinar a exequibilidade das técnicas de reabilitação. Desta forma a primeira tarefa, da fase de dimensionamento, é a selecção preliminar dos produtos e sistemas. Dentro desta acção deve ser realizada uma análise de viabilidade das técnicas em causa para o reforço. Toda a informação retirada dos ensaios e observações da fase de diagnóstico e os critérios estabelecidos para a reparação servem para esta acção. Se a técnica escolhida não cumprir os parâmetros desejados, será necessário adoptar um novo método de reparação, caso contrário o processo de dimensionamento avança para a primeira acção, selecção preliminar dos produtos e sistemas.

O material é um aspecto essencial nesta fase, é neste ponto que o projectista escolhe os sistemas que poderão conduzir à melhor solução. Numa situação de reforço, podem ser de variadíssimos materiais (por ex.: Aço ou FRP) e modo de aplicação (por ex.: colados ou aparafusados), a escolha depende essencialmente das propriedades do que se encontra e o que queremos para o futuro.

Como existe uma variabilidade das propriedades dos materiais, a curto e longo prazo, é então necessário definir os coeficientes parciais de segurança, segunda tarefa.

A partir deste momento é possível começar a terceira tarefa, dimensionar a solução. Esta tarefa determina todas as características para o reforço que será utilizado, como por exemplo a espessura.

Com a quarta tarefa, verificação de conformidade no dimensionamento, pretende-se controlar o nível de reforço alcançado, se as dimensões e disposição do sistema são executáveis e também se o enquadramento com condicionantes ambientais e até do tipo de utilização são adequados.

Satisfeitas as verificações estão reunidas as condições para elaborar as condições técnicas (quinta tarefa). Neste ponto, o projectista deve definir os requisitos para a execução do reforço, nomeadamente, especificando as características dos produtos e sistemas, os procedimentos de execução dos trabalhos e elaborando o plano de controlo de qualidade de todas as etapas compreendidas desde este ponto até à conclusão da obra. Caso as verificações não sejam satisfeitas será então necessário reiniciar todo o processo de dimensionamento e voltar à primeira acção.

Apenas na acção 1 desta fase é que a norma EN NP 1504 intervém. É de fácil entendimento que o projectista necessita obter dos fabricantes de produtos e sistemas, os valores característicos das propriedades pretendidas. Contudo, a maioria das vezes, isso não acontece, apenas são apresentados valores mínimos de algumas propriedades. É de esperar que com a normalização em vigor e o aumento do conhecimento sobre esta venha a ser uma mais-valia para quem projecta tendo assim os valores essenciais para que o projecto seja um sucesso (Silva, 2008).

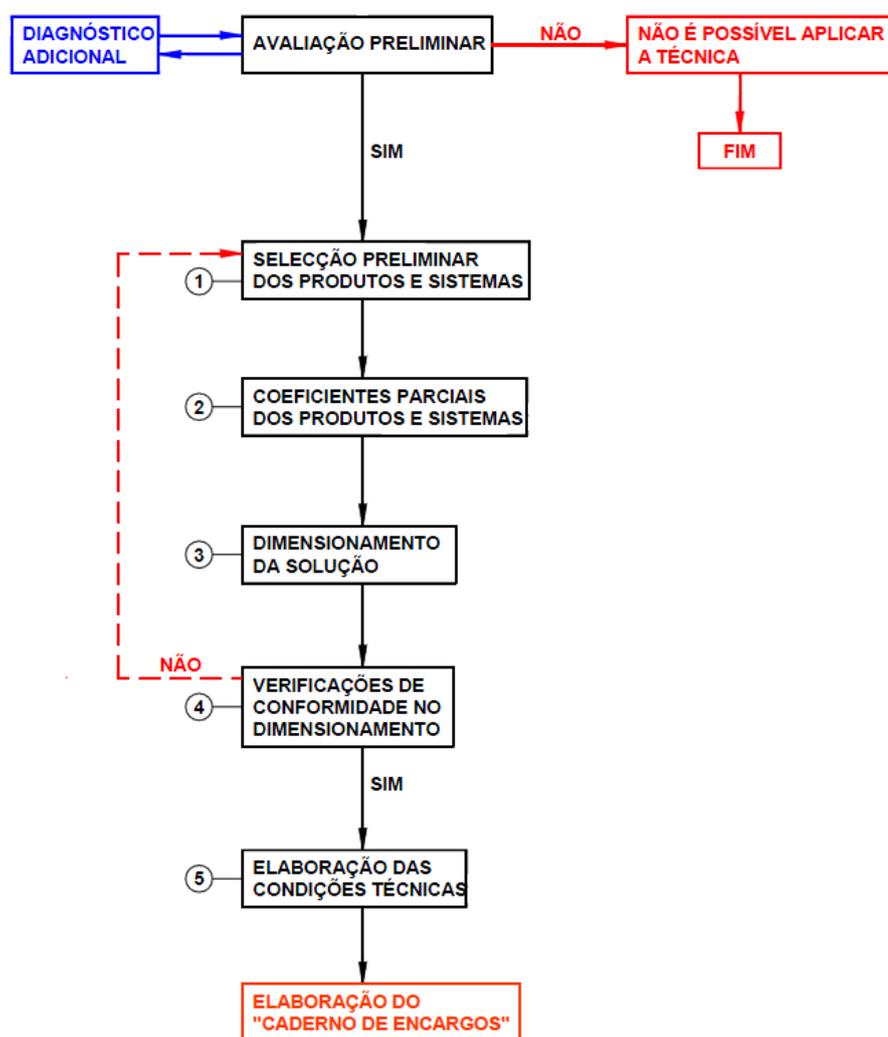


Fig. 2.8 – Processo de dimensionamento (Silva, 2008)

## **2.6 FASE DE EXECUÇÃO**

Na passagem entre a conclusão da fase de dimensionamento e o início da fase de execução, esquematizada na Fig. 2.9, é necessário um ajuste do caderno de encargos entre o promotor e o projectista. Caderno de encargos esse, que a fiscalização deve implementar antes de se iniciarem os trabalhos. As condições técnicas especificadas pelo projectista devem ser satisfeitas pelo documento, assim como deve descrever todos os aspectos relacionados com a execução da reparação e o seu controlo de qualidade e também esclarecer as responsabilidades das partes envolvidas.

A montagem do estaleiro e os trabalhos preliminares de preparação da obra são a primeira acção aquando da recepção do local. Deve ser levado a cabo um controlo de qualidade sobre os materiais e métodos previstos a serem utilizados na reabilitação. A garantia de um óptimo acondicionamento e a verificação das propriedades e especificações correspondentes ao caderno de encargos devem ser seguidas.

Depois do parecer positivo da fiscalização deve dar início à segunda acção – preparação dos elementos a serem reparados. Todos os aspectos devem seguir o procedimento proposto no caderno de encargos e o seu respectivo controlo de qualidade.

A reparação será então a terceira acção desta fase de execução e deverão ser retiradas e ensaiadas amostras dos diferentes sistemas e produtos a fim de serem comparadas com os valores de aceitação previstos no plano de controlo de qualidade.

Caso os ensaios efectuados não sejam satisfatórios, o empreiteiro deverá apresentar medidas de resolução à fiscalização para os problemas. Caso as medidas não se revelem eficazes, o projectista deve ser contactado para redimensionar novo reforço. No entanto, se as medidas solucionarem os problemas a reparação pode prosseguir caso a fiscalização aprove a solução.

O passo seguinte é a inspecção final e aprovação, ou seja, uma inspecção global ao reforço instalado. O construtor deve verificar um conjunto de aspectos relacionados com todo o processo de execução de modo a detectar possíveis defeitos e a avaliar se estes se encontram dentro das tolerâncias admissíveis. Se essas tolerâncias não forem cumpridas, então o construtor deve propor à fiscalização medidas de resolução para os problemas.

Com vista a por termo à execução dos trabalhos, realiza-se um ensaio de carga para avaliar “in situ” a eficácia do reforço. Se a obra estiver em conformidade então deve ser aceite pela fiscalização e assim termina com a quinta acção, recepção do projecto de reforço.

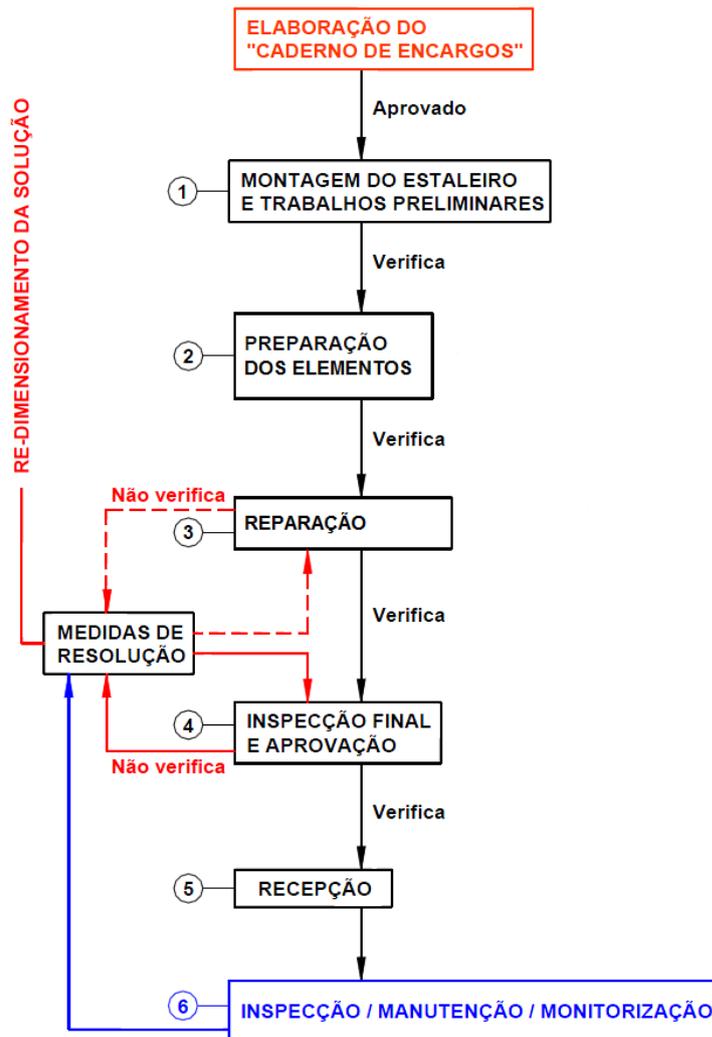


Fig. 2.9 – Processo de execução da reparação (Silva, 2008)

## 2.7 FASE DE INSPECÇÃO/ MONITORIZAÇÃO/ MANUTENÇÃO

Em determinados casos, o caderno de encargos estabelece a implementação de um plano de monitorização da estrutura reforçada com a finalidade de acompanhar o seu desempenho. Nesta fase poderá também ser necessário proceder a inspecções periódicas e os resultados obtidos conduzir para futuras medidas de resolução.

Em edifícios de pouca importância como a habitação estes planos são raramente implementados, no entanto é de bom senso a definição de inspecções periódicas dos elementos para que a estrutura não entre em estado de degradação avançada.

O tempo aconselhado para inspecções visuais é de ano a ano enquanto inspecções mais detalhadas são aconselhadas a cada seis anos. Devem ser devidamente documentadas, constando toda a informação recolhida e facultada aos inspetores, qualquer informação referente ao elemento estrutural, antes e após o reforço.

Devem ser verificados não só os materiais de reforço mas também toda a estrutura para determinar se houve agravamento nos locais de reforço e se não existem avarias/patologias em outros locais. Em

inspecções mais detalhadas deverão ser pesquisados defeitos menos visíveis ao olho humano e sempre que possível com técnicas não destrutíveis.

Evidentemente que para se executarem convenientemente as diversas inspecções ao elemento estrutural reforçado, será necessário possuir o conhecimento sobre os possíveis defeitos, sobre a sua origem, sobre a sua provável localização e sobre os métodos de diagnóstico correntemente ao dispor.

## **2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente capítulo pretendeu explicitar o conteúdo das normas NP EN 1504. Foram identificadas as partes constituintes, e os aspectos mais relevantes destas para um projecto de reabilitação/reforço. Foram explicadas as fases que a norma indica como adequadas a um reforço e as particularidades de cada uma. Constata-se assim, que a norma NP EN 1504 é um documento completo que procura organizar a importante área de reabilitação e reforço de estruturas em termos de projecto, obra e inspecção no tempo.

Para se entender a importância e a logística subjacente à norma, seria importante ajustar um caso concreto de uma obra e procurar organizar o processo que vai do diagnóstico à implementação de um reforço/reabilitação e concluir com a fase de execução e observação.

O principal objectivo deste trabalho vai procurar cumprir-se nos próximos capítulos.



# 3

## ESTUDO DE UMA HABITAÇÃO

### 3.1 INTRODUÇÃO

Na sequência do descrito no capítulo anterior, nesta fase, procurou-se exemplificar a implementação dos supostos avançados pela NP EN 1504 ao caso concreto de uma habitação.

A habitação em estudo, situa-se no norte de Portugal. A sua construção é tradicionalmente portuguesa, com elementos estruturais de betão armado, paredes de tijolo duplo nas fachadas e simples nas divisórias. Lajes aligeiradas para coberturas e piso do rés-do-chão. O telhado elaborado com estrutura de madeira e telha cerâmica.

Primeiro, realizou-se um levantamento exaustivo de todas as patologias aparentes que a estrutura de betão armado exhibe actualmente. Posteriormente, efectuou-se uma campanha de ensaios, “in situ” e em laboratório, com vista à caracterização e avaliação da resistência dos materiais e dos elementos estruturais. Estes factos obtiveram-se através de:

- Levantamento dos elementos estruturais e sua identificação;
- Levantamento das avarias/patologias visíveis;
- Avaliação da resistência à compressão do betão (ensaios esclerométricos e de compressão uniaxial);
- Ensaios de arrancamento por tracção directa (Pull-Off);
- Ensaios de detecção de armadura e seu recobrimento.

Na parte final deste capítulo, fase deliberativa, apresentam-se algumas das conclusões retiradas da fase de diagnóstico e indica algumas das decisões que poderão ser tomadas para a continuidade do projecto de reabilitação.

### 3.2 DESCRIÇÃO DA OBRA

Situada no Alto Minho, numa zona verde ainda em expansão com acesso pela avenida 25 de Abril (Fig. 3.1). A obra em questão é uma habitação unifamiliar de construção tradicional Portuguesa.



Fig. 3.1 – Localização da habitação

Esta habitação é um caso clássico da emigração em Portugal nas décadas de 60 e 70. Assim como milhares de pessoas em busca de uma vida melhor, o dono de obra, mudou de país mas sempre com a esperança de voltar à terra natal. Desta forma, decidiu construir uma habitação, na terra que o viu nascer, para aproveitar a reforma depois de longos anos de trabalho.

Como ainda estava empregado noutro país, não conseguiu acompanhar todas as acções tomadas pelo empreiteiro. Por esta razão, possivelmente, a construção foi descuidada. Contudo, durante a construção, numa das visitas a Portugal, notou que algo que estava errado na estrutura, decidindo parar todas as tarefas para averiguar.

A referida habitação (Fig. 3.2) é constituída por uma cave parcialmente enterrada, destinada a garagem e arrumos, com elementos verticais, laje e fundações realizados em betão armado. A escada de acesso ao Rés-do-chão é feita em laje aligeirada de vigota e aligeiramento de bloco cerâmico. O rés-do-chão destinado a habitação, tem laje de piso e tecto aligeirada de vigotas simples e duplas com aligeiramento em bloco cerâmico. Os pilares e paredes estruturais de periferia e interiores são em betão armado. As divisórias em tijolo e argamassa, as paredes de fachada são constituídas por paredes duplas de tijolo, argamassa e isolamento em poliestireno expandido.

Os pilares exteriores da entrada principal são em pedra granítica. A cobertura é tradicionalmente realizada com estrutura de madeira e telha cerâmica.



Fig. 3.2 – Vista Geral da habitação

Apesar de estar em fase de construção, a estrutura da habitação apresenta patologias que levaram o dono de obra a parar os trabalhos para determinar a segurança da estrutura e arranjar soluções aos problemas que esta tem.

### **3.3 FASE DE DIAGNÓSTICO**

#### **3.3.1 INSPECÇÃO VISUAL**

A inspecção visual levada a efeito, 4 meses após a decisão do dono de obra em parar a construção por questões de segurança em Setembro de 2011, teve como objectivo proceder ao levantamento das patologias que apresentava e determinar se a estrutura não estaria comprometida.

Como referido anteriormente, nesta fase, procedeu-se a um registo exaustivo das avarias/patologias visíveis, até à data, nomeadamente zonas de betão danificado, regiões com armadura aparente sem protecção do recobrimento, fendas existentes e ainda a geometria dos elementos estruturais.

Este passo permitiu organizar e determinar os ensaios relevantes para uma boa avaliação da estrutura e da qualidade dos materiais que a constitui. Esta fase de diagnóstico foi ser iniciada por uma identificação dos elementos estruturais e pela definição das zonas de ensaio.

##### **3.3.1.1 Identificação dos Elementos Estruturais e Zonas de Ensaio**

Para o processo de reabilitação é crucial conhecer a geometria de todos os elementos estruturais assim como as suas ligações. Neste ponto será feito um levantamento estrutural a fim de determinar a posição desses elementos e as suas formas geométricas. Para melhor visualização será também objecto deste ponto a indicação dos elementos estruturais que serão ensaiados.

Foram ensaiadas, por amostragem, várias zonas distribuídas por pilares, vigas e muros previamente seleccionados na estrutura. Nalgumas zonas, o acesso foi directo, noutras foi necessário recorrer a escadas extensíveis, limitadas, em certos casos pontuais de vigas, à natureza do ensaio e ao equipamento disponível em obra.

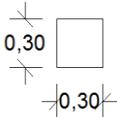
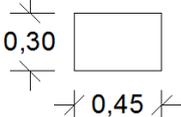
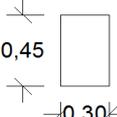
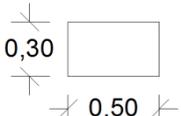
A referência e a distribuição dos tipos de ensaios efectuados pelo edifício constam no Quadro 3.1 e nas plantas das Fig. 3.3 e 3.4. Os desenhos não obedecem a nenhuma escala.

Quadro 3.1 – Designação dos ensaios por símbolos

Designação dos ensaios	Símbolo
Ensaio esclerométrico em pilares	
Ensaio esclerométrico em vigas	
Ensaio esclerométrico em muros	
Extracção de carotes em muros	
Ensaio de arrancamento em pilares	
Ensaio de arrancamento em vigas	
Ensaio de detecção de armaduras em pilares	
Ensaio de detecção de armaduras em vigas	
Ensaio de detecção de armaduras em muros	

No Quadro 3.2 é feita uma descrição dos diferentes elementos segundo a geometria da secção transversal

Quadro 3.2 – Elementos Estruturais

Geometria	Elemento estrutural
	Pilares: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P12, P13, P14, P15, P19, P20, P21, P22, P23, P24.
	Pilares: P10, P11, P16, P17, P18.
	Vigas: V1 (cave e r/chão), V2, V3, CT
	Viga Embebida: VE
	Muros: Zona 1, Zona 2, Zona 3, Zona 4

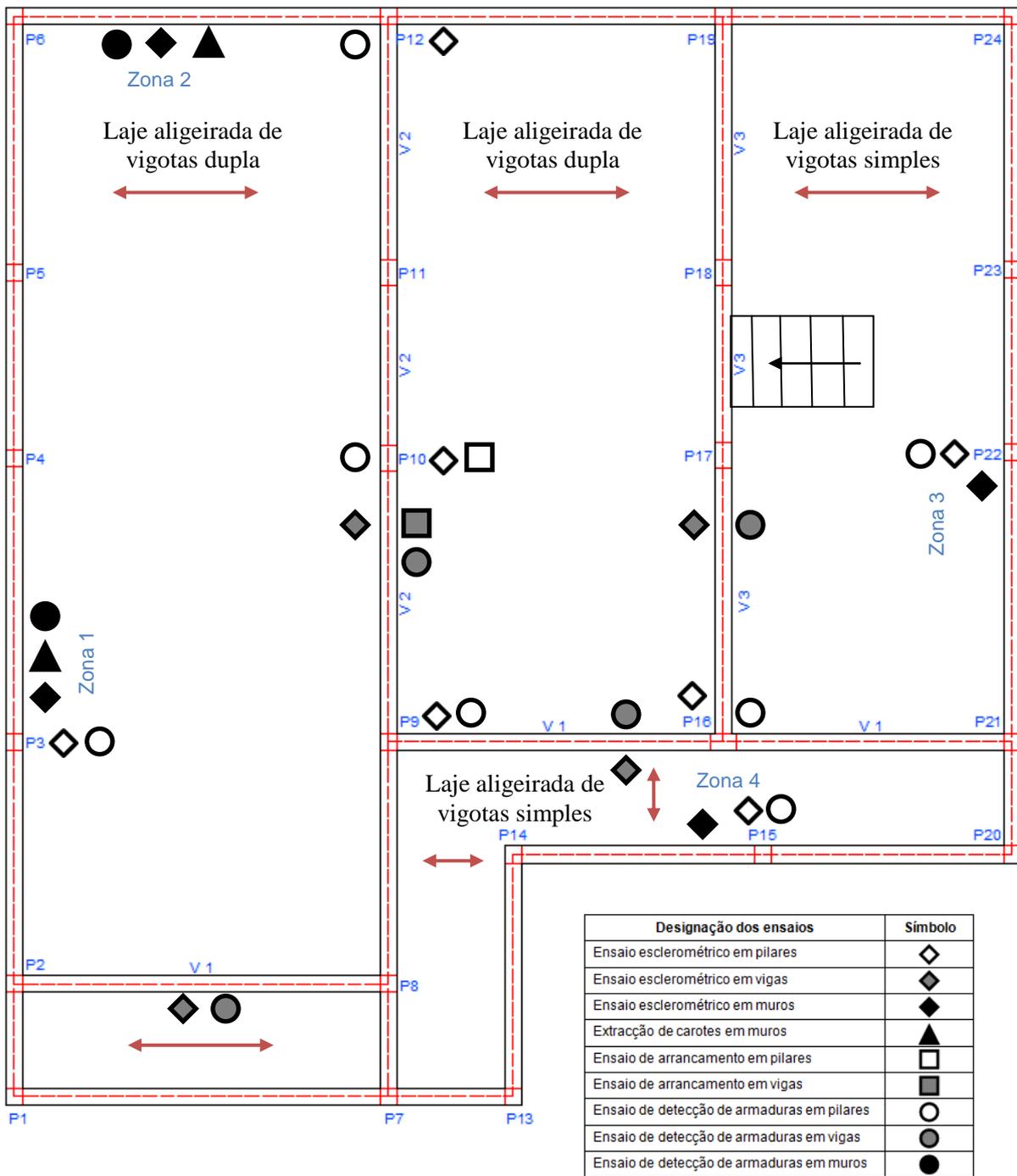


Fig. 3.3 – Planta estrutural do R/C (localização dos ensaios)

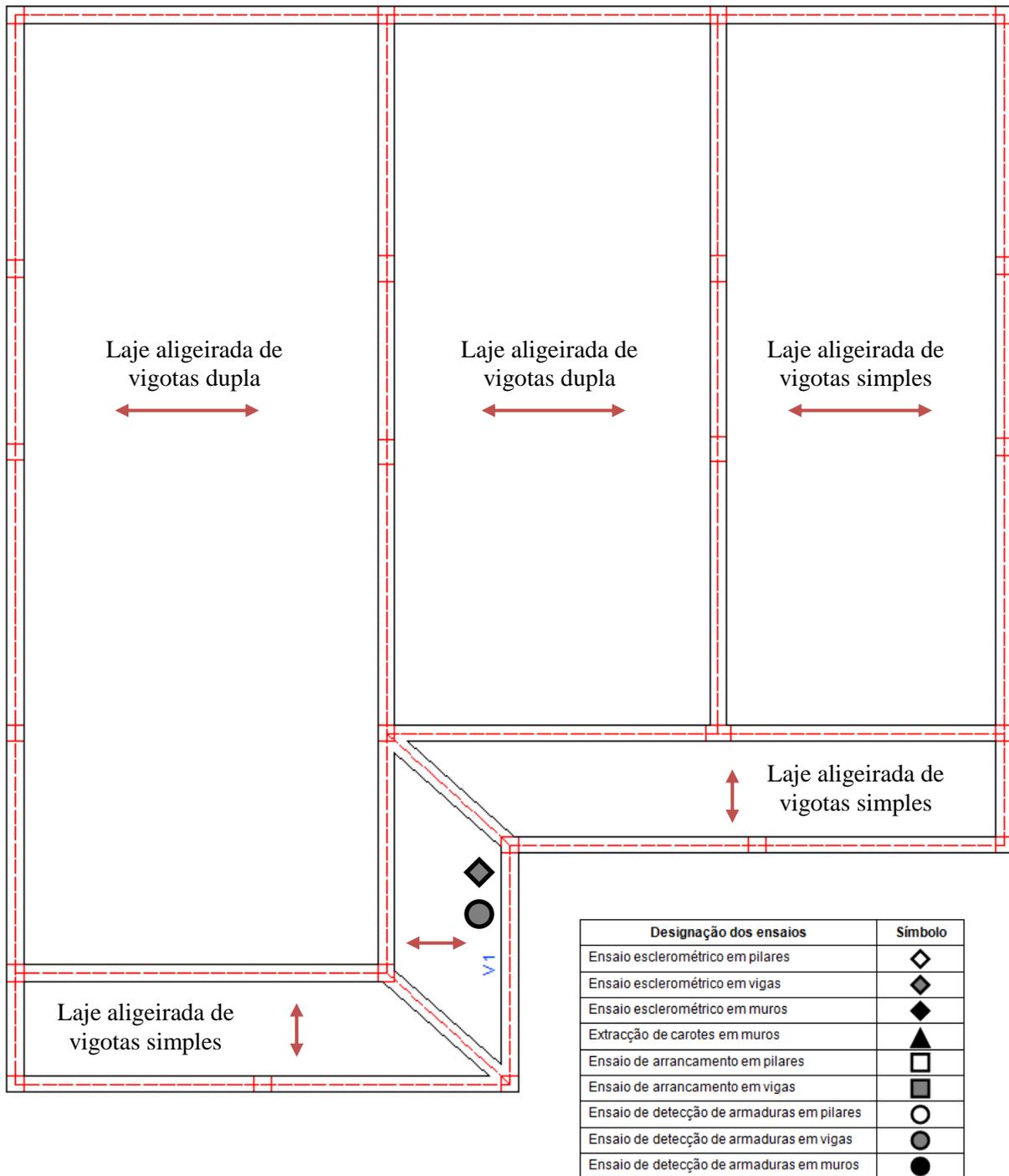


Fig. 3.4 – Planta estrutural da Rés-do-Cobertura (localização dos ensaios)

Para se entender melhor, o Quadro 3.3 apresenta os ensaios de diagnóstico da estrutura e em que elementos estruturais foram realizados.

Quadro 3.3 – Quadro resumo dos ensaios para os diferentes elementos estruturais

Designação dos ensaios		Elemento
Ensaio esclerométricos	Pilares	P3, P9, P10, P12, P15, P16, P22
	Vigas	V1 (cave e r/chão), V2, V3, VE, CT
	Muros	Zona 1, Zona 2, Zona 3, Zona 4
Extracção de carotes	Muros	Zona 1, Zona 2
Ensaio de arrancamento (Pull-Off)	Pilares	P10
	Vigas	V2 (face lateral e inferior)
Detecção de armaduras	Pilares	P3, P9, P10, P12, P15, P16, P22
	Vigas	V1 (cave e r/chão), V2, V3, VE, CT
	Muros	Zona 1, Zona 2, Zona 3, Zona 4

### 3.3.1.2 Detecção das Patologias Visíveis

Na deslocação à obra, foram detectadas patologias de diversas naturezas essencialmente devido a má execução dos elementos definidos em projecto e pelo fabrico do betão não ter sido efectuada em misturadora adequada. Algumas destas patologias demonstram que a estrutura não detém o nível de segurança previsto para uma estrutura deste tipo.

A apresentação dos resultados da inspecção realizada faz-se através de fotografias recolhidas. Para uma melhor compreensão vai procurar localizar-se as patologias registadas recorrendo a algumas peças desenhadas.

#### FENDILHAÇÃO

O principal sintoma de degradação física de uma estrutura de betão é a fendilhação. A fendilhação ocorre sempre que as tensões de tracção a que o betão é submetido excedem a sua capacidade resistente. A importância da fendilhação e a largura mínima da fenda a partir da qual é considerada significativa depende da função do elemento estrutural e das condições ambientais de exposição. Como orientação, pode-se considerar para elementos estruturais interiores uma abertura de 0,35 mm e para elementos estruturais exteriores sob exposição normal ou agressiva, 0,25 mm e 0,15 mm, respectivamente.

Apesar de ainda se encontrar em fase de construção, a estrutura apresenta fendilhação (Fig. 3.5) que em alguns casos, atinge aberturas de 1cm, que são bem relevantes para a segurança e durabilidade da estrutura. Esta fendilhação surge para cargas inferiores às de serviço, visto que ainda não tinham sido colocado qualquer tipo de revestimento nem as sobrecargas pela utilização da habitação. Todas as vigas que suportam a laje do rés-do-chão e as de coroamento da cobertura, apresentam esta patologia. As restantes vigas presentes em projecto não foram avaliadas por serem vigas invertidas e a sua aproximação seria feita pela cobertura.

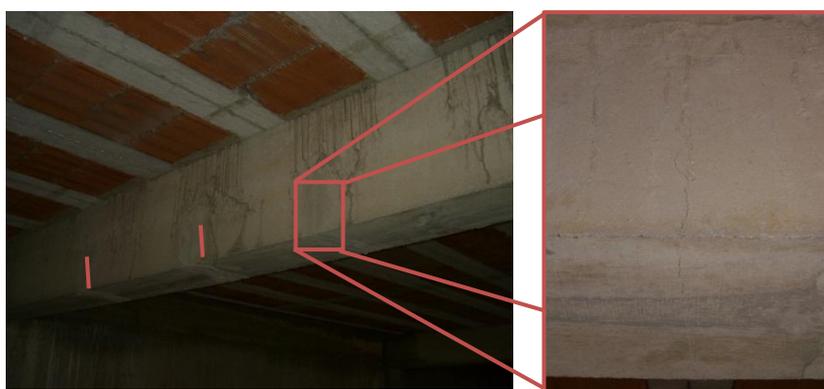
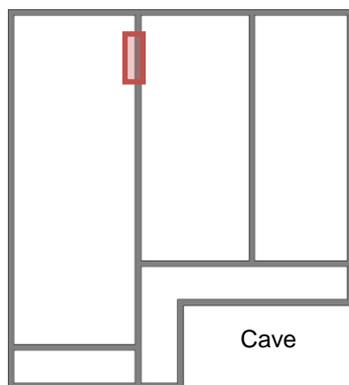


Fig. 3.5 – Fendilhação em viga (V2)

#### *NINHOS DE BRITA E VAZIOS NA SUPERFÍCIE*

Nesta edificação o betão foi misturado em obra com misturadora inadequada e sem um estudo prévio dos materiais utilizados. Estes factores resultaram numa mistura muito aquém do esperado para um betão da classe pretendida. Devido às características da misturadora, esta introduzia ar no betão e não tinha células de pesagem dos materiais, o que levou a relações inadequadas entre os diferentes constituintes.

Como é sabido, o betão para apresentar todas as características pretendidas, como resistência à compressão e bom acabamento de superfície, necessita que seja efectuado um estudo a todos os materiais que o constitui. Ou seja, a lei de mistura dos agregados, cimento, água, adições e adjuvantes, deve ser cuidada. É notório que não houve esse cuidado na amassadura do betão para a criação desta estrutura.

A juntar a este facto, a deficiente colocação e compactação do betão fresco assim como o tipo de cofragem e seu desmoldante originaram, em todos os elementos de betão, patologias como “ninhos de brita” (Fig. 3.6) e vazios na superfície (Fig.3.7).

Todos estes factores, levaram a que o ar emulsionado na amassadura, não fosse libertado aquando da colocação e compactação, criando assim vazios.

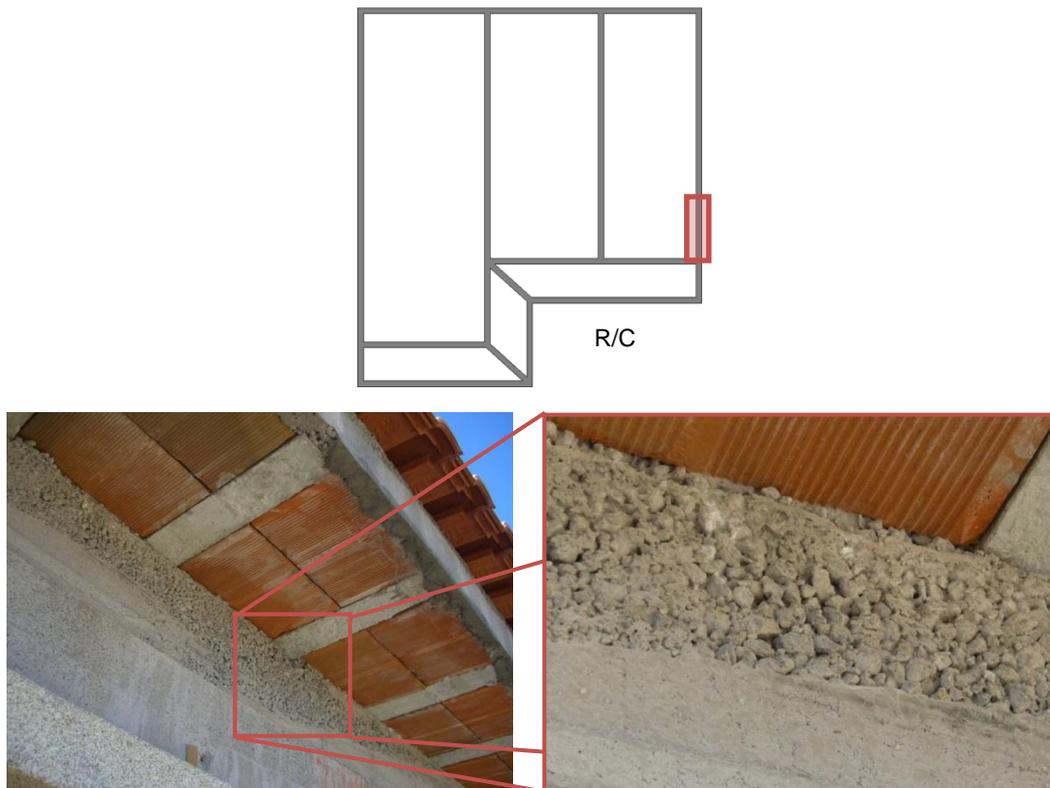


Fig. 3.6 – “Ninhos de Brita”

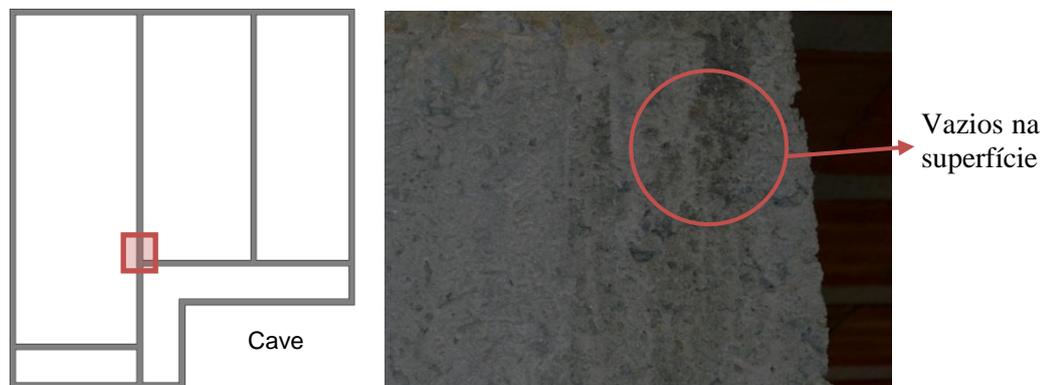


Fig. 3.7 – Vazios na superfície (P9)

### *POROSIDADE*

A degradação do betão das estruturas é muito afectada pelo transporte de líquidos ou gases através do betão. A maior ou menor facilidade de transporte depende essencialmente da estrutura porosa do betão e das condições ambientais na sua superfície. A passagem dos fluidos dá-se através do betão pela pasta do cimento hidratado, pelo agregado, pela superfície de ligação cimento agregado, por fissuras e por defeitos existentes na massa do betão. Essencialmente existem 3 mecanismos de transporte. Dois sem pressão hidráulica: capilaridade e difusão; e um com pressão hidráulica: permeabilidade.

Existem 3 classes de poros, os microporos resultantes das reacções de hidratação do cimento, extremamente pequenos e independentes da razão água-ligante. Os poros capilares que resultam do excesso de água de amassadura e macroporos que se devem à granulometria dos agregados, aos métodos de amassadura, colocação e compactação do betão.

A estrutura porosa do betão é causada por excesso de água de amassadura, ar emulsionado com os componentes na amassadura, maior ou menor porosidade do material pétreo, cura do betão, exsudação e pelo assentamento dos sólidos.

A elevada porosidade demonstrada em todos os elementos estruturais de betão é causadora de várias patologias, principalmente nos elementos em contacto com o terreno e as águas que provêm deste. Nos muros da cave nota-se penetração de água por capilaridade acentuada chegando a atingir 1m de altura. Em toda a franja capilar notam-se eflorescências (Fig. 3.8) de sais provenientes do betão e junto da laje de piso apresenta escorrências (Fig. 3.9). A água ao penetrar no betão, com esta gravidade, não só transmite ao interior a humidade como arrasta com ela substâncias nocivas ao betão e armaduras e limpa do seio de betão a alcalis, degradando mais rapidamente toda a estrutura.

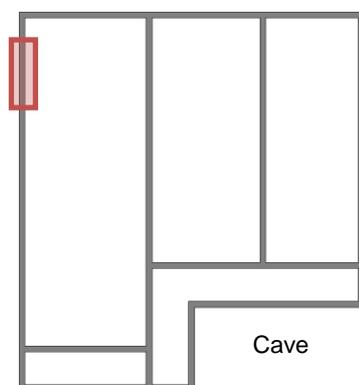


Fig. 3.8 – Eflorescências



Fig. 3.9 – Escorrências

### DESCONTINUIDADES

Em dois pontos de ligação entre diferentes elementos estruturais, foram detectadas descontinuidades. Estas são provocadas por descuidos na colocação de betão. A não limpeza das cofragens deixou uma parcela de tijolo (Fig. 3.10), impedindo a correcta distribuição de esforços na secção. Outra descontinuidade detectada é a presença de uma junta de betonagem (Fig. 3.11). Esta patologia proporciona uma distribuição de esforços errada na estrutura que poderá não estar contemplada em projecto, podendo assim agravar a débil resistência que apresenta.



Fig. 3.10 – Parcela de tijolo (ligação viga-pilar no rés-do-chão)



Fig. 3.11 – Junta de betonagem (V1)

#### RECOBRIMENTO INSUFICIENTE

O ferro existe na natureza em forma de óxidos que corresponde à forma quimicamente mais estável. No aço, o ferro não está estável reagindo com o meio ambiente para atingir a sua forma natural (óxido). Desta forma é necessário proteger o aço dos agentes agressivos. O betão é o material ideal para o fazer, não só tem uma função estrutural como forma em torno do aço uma película passivante que o protege. Esta película é formada devido à elevada alcalinidade do betão e os mecanismos que provocam a sua destruição são, a redução do pH por carbonatação e penetração de cloretos.

Desta forma é necessário que o aço esteja devidamente embebido na matriz do betão. Em algumas zonas existe falta de recobrimento (Fig. 3.12) das armaduras em elementos estruturais. Em pilares de periferia, o aço está à superfície expondo zonas com corrosão (óxido de ferro). A durabilidade é bastante diminuída pois a formação de óxido de ferro é prejudicial, o seu aumento de volume acrescenta tensões internas que promovem o destacamento do betão e de todo o revestimento adjacente. A redução da secção do varão de aço acarreta também problemas a nível estrutural, podendo chegar a um ponto onde a secção disponível não é suficiente para suportar as tensões instaladas.

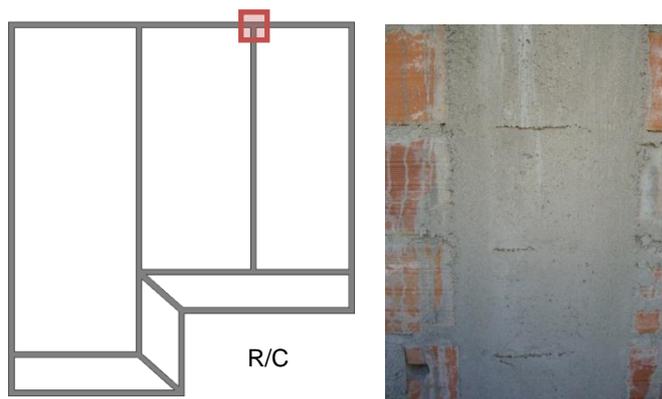


Fig. 3.12 – Recobrimento insuficiente

#### DISCREPÂNCIAS ENTRE PROJECTO E EXECUÇÃO

Durante a inspeção verificou-se também que havia diferenças entre o que foi determinado pelo projectista e o que foi realizado pelo empreiteiro, não havendo certezas absolutas de que a solução adoptada seja a mais segura. Um dos casos mais flagrante foi a escada de acesso ao piso superior (Fig. 3.13) que estava destinada a ser em betão armado e foi realizada em laje aligeirada de vigota e tijolo.



Fig. 3.13 – Laje de escadas

#### 3.3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO BETÃO

Para caracterização do betão que constitui os elementos estruturais do presente edifício foram realizados ensaios mecânicos e físicos. Os mecânicos são de compressão uniaxial e ensaios esclerométricos, ambos com o intuito de determinar a resistência à compressão do material. O físico corresponde ao ensaio de capilaridade. Este demonstra até que ponto o material é poroso e se necessita de cuidados especiais a este nível.

A escolha dos elementos estruturais e dos locais de amostragem para a realização dos ensaios respeitou algumas considerações.

O ensaio de compressão uniaxial e capilaridade requer a extracção de carotes dos elementos a estudar, para o seu posterior ensaio em laboratório. Esta extracção é evidentemente intrusiva e, portanto, a escolha do seu local de amostragem deve ser ponderada com vista a, sobretudo, manter a segurança

estrutural do edifício. Assim, seleccionaram-se as secções para carotagem a partir de elementos estruturais não danificados, secções pouco esforçadas e zonas de betão entre armaduras, após a detecção das mesmas, de forma a evitar a sua interrupção.

A conjugação destes factores com as necessidades de caracterização e da representatividade de cada elemento estrutural ditaram os locais de execução das carotagens. Optou-se por não caracterizar por este ensaio os pilares e vigas dos pórticos. Devido às conclusões obtidas pela inspecção visual, a localização escolhida para os ensaios recaiu naturalmente sobre os muros da cave (Zona 1 e Zona 2). Estima-se que o betão em lajes e pilares não seja muito diferente dos muros.

### 3.3.2.1 Resistência à Compressão

O cálculo de uma estrutura de betão é feito com base no projecto arquitectónico da obra e no valor de algumas variáveis, como por exemplo, a resistência à compressão do betão que será utilizado na estrutura. Portanto, a resistência característica do betão à compressão ( $f_{ck}$ ) é um dos dados utilizados no cálculo estrutural.

Esta característica do betão é a sua identidade, a sua distensão comercial das diversas classes faz-se pela resistência que este atinge na rotura para esforços axiais de compressão. Podemos obter este parâmetro por dois métodos, esclerométrico ou compressão uniaxial. O primeiro mesmo tendo um erro de aproximadamente 20%, torna-se o ideal para avaliar o betão em estruturas existentes por não ser intrusivo. O segundo, como as amostras necessitam de ser levadas a rotura para que o valor seja obtido, apenas se utiliza quando a estrutura apresenta um nível de segurança adequado ou quando se retiram provetes na altura da construção com o betão fresco.

Nos pontos seguintes demonstram-se os ensaios realizados por ambas as técnicas e os seus resultados, permitindo assim tecer algumas conclusões sobre a classe de betão utilizada na estrutura.

#### *MÉTODO ESCLEROMÉTRICO*

Com o intuito de determinar zonas de caroteamento foi realizado previamente o ensaio de esclerómetro. Com este método é possível medir, de uma forma aproximada, a resistência a compressão do betão endurecido.

Foi seguido o processo descrito na norma EN NP 12504-2 (2003): “Ensaio não destrutivo - Obtenção do índice esclerométrico”. O princípio do método é: uma massa impelida por uma mola bate num percutor em contacto com a superfície e o resultado do ensaio é expresso em termos da distância repercutida pela massa.

Os ensaios esclerométricos foram realizados com recurso a um esclerómetro de Schmidt da marca Proceq, tipo N, devidamente calibrado (Fig. 3.14). 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 medir a uniformidade do betão, verificar se existe um determinado nível mínimo de resistência e decidir sobre a necessidade de se realizarem ensaios mais completos.



Fig. 3.14 – Martelo de Schmit

Para a escolha da área de ensaio deve-se ter atenção a alguns aspectos tais como, resistência do betão, tipo de superfície, tipo de betão e deve ter uma área mínima de 300 x 300 mm<sup>2</sup> (Fig. 3.15). A sua preparação implica um desgaste superficial em caso de apresentar rugosidades e argamassa solta até estar lisa. As medições podem ser afectadas pela dosagem do cimento, relação água-ligante, dimensão e natureza do agregado, profundidade de carbonatação, estado da superfície (humidade e irregularidades) e pelo ângulo de incidência do esclerómetro com a superfície.

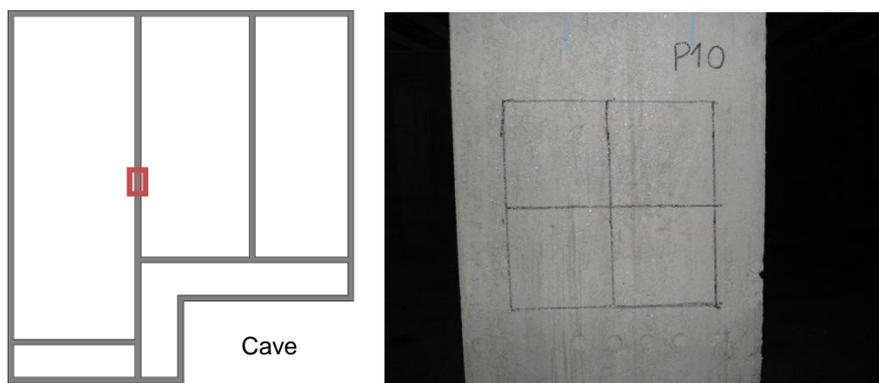


Fig. 3.15 – Exemplo de área de ensaio em pilar

Foi visível um esmagamento da superfície em todos os pontos dos ensaios, o que demonstra a fraca capacidade resistente do betão. Esta característica é traduzida num “valor de dureza” abaixo da gama de medição (entre 20 e 55) para o equipamento, desta forma, foi necessário determinar o valor da tensão por uma expressão aproximada.

$$\sigma_r = a \times n^b \quad (3.1)$$

Em que:

$\sigma_r$  – Tensão de rotura;

$a$  e  $b$  – Constantes do aparelho;

$n$  – Valor de dureza obtido no ensaio.

No entanto, o erro é aumentado. A incerteza do efeito do esmagamento provocado pelo aparelho em conjunto com a falta de conhecimento da verificação da lei para valores inferiores a 20, podem introduzir diferenças significativas. Está especificado para esta estrutura um betão da classe C16/20 o que significa um valor de tensão característica de 16 MPa aos 28 dias.

No Quadro 3.4 apresentam-se os valores de dureza obtidos nos ensaios, respectivos valores da mediana e correspondente tensão de rotura. Após a realização dos ensaios notou-se uma concordância entre a média de valores dos diferentes elementos estruturais, o que demonstra uma uniformidade do betão. No entanto os valores ficam muito além do esperado, visto que para um betão de classe C16/20 deveria ter-se uma tensão característica de 16 MPa.

Quadro 3.4 – Valores médios da tensão de compressão superficial do betão por ensaio esclerométrico

Elementos	Referência	Valores Obtidos no Ensaio									Valor Médio	Tensão [Mpa]	Valor Médio [MPa]
Muros	Zona 1	23	22	22	19	19	20	22	21	19	21,0	10,8 ± 2,2	8,7 ± 1,7
	Zona 2	21	18	15	18	18	17	18	19	17	18,0	8,1 ± 1,6	
	Zona 3	17	19	17	15	16	15	18	20	15	17,0	7,2 ± 1,4	
Pilares	P3	12	17	16	16	16	17	16	16	15	16,0	6,3 ± 1,3	7,5 ± 1,5
	P9	16	17	16	22	28	18	18	20	15	18,0	9,0 ± 1,8	
	P10	20	20	20	18	18	20	19	22	22	20,0	9,9 ± 2,0	
	P12	12	12	12	16	14	13	13	13	14	13,0	4,5 ± 0,9	
	P15	13	13	12	14	14	14	16	14	11	14,0	4,7 ± 0,9	
	P16	22	22	22	24	22	22	17	21	21	22,0	11,4 ± 2,3	
	P22	14	14	19	14	15	18	18	16	16	16,0	6,5 ± 1,3	
Vigas	V1	24	27	26	22	24	22	33	28	34	26,0	17,4 ± 3,5	10,8 ± 2,2
	V2	14	15	16	15	16	16	17	16	18	16,0	6,4 ± 1,3	
	V3	19	20	20	22	24	23	21	23	20	21,0	11,3 ± 2,3	
	VE	26	24	24	25	27	25	23	25	22	25,0	14,8 ± 3,0	
	CT	14	12	12	14	14	14	16	16	18	14,0	5,3 ± 1,1	
	VP1	19	19	18	19	21	20	21	19	18	19,0	9,4 ± 1,9	

É possível retirar do Quadro anterior, que o betão será relativamente idêntico em todos os elementos estruturais, sendo que as amostras retiradas para análise no ensaio de compressão uniaxial podem descrever com maior detalhe a tensão característica do betão utilizado em toda a estrutura.

A classe de betão, prevista pelo projectista é a C16/20, o que deveria corresponder a valores médios da tensão de compressão ordem dos 24 MPa, o que não é verificado.

Conclui-se assim que este betão está muito aquém do que era esperado e que deveria ser realizada uma avaliação estrutural para determinar se os elementos estruturais se encontram capazes de responder, de forma eficaz, às solicitações aplicadas.

**COMPRESSÃO SIMPLES**

O ensaio de compressão uniaxial permite determinar a resistência máxima de compressão do betão, através do ensaio até à rotura de uma carote extraída “in situ”. Todo o processo seguiu as normas NP EN 12504 – 1 (2003) e NP EN 12390-3 (2003) referente à extracção, exame e ensaio à compressão.

Face às condicionantes de fragilidade que a habitação apresenta, decidiu extrair-se 6 carotes, para o ensaio de compressão, sendo 3 por cada zona. A extracção de carotes foi cuidadosamente realizada pelos técnicos do Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção (LEMC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). As fotos da Fig. 3.16, exibem as carotes extraídas nas zonas de amostragem e o Quadro 3.5, as suas características. Sublinha-se o facto de as carotes incorporarem algumas partes de armadura de aço (Fig. 3.17), pois como iremos ver mais à frente, a detecção de armaduras não foi de fácil realização.

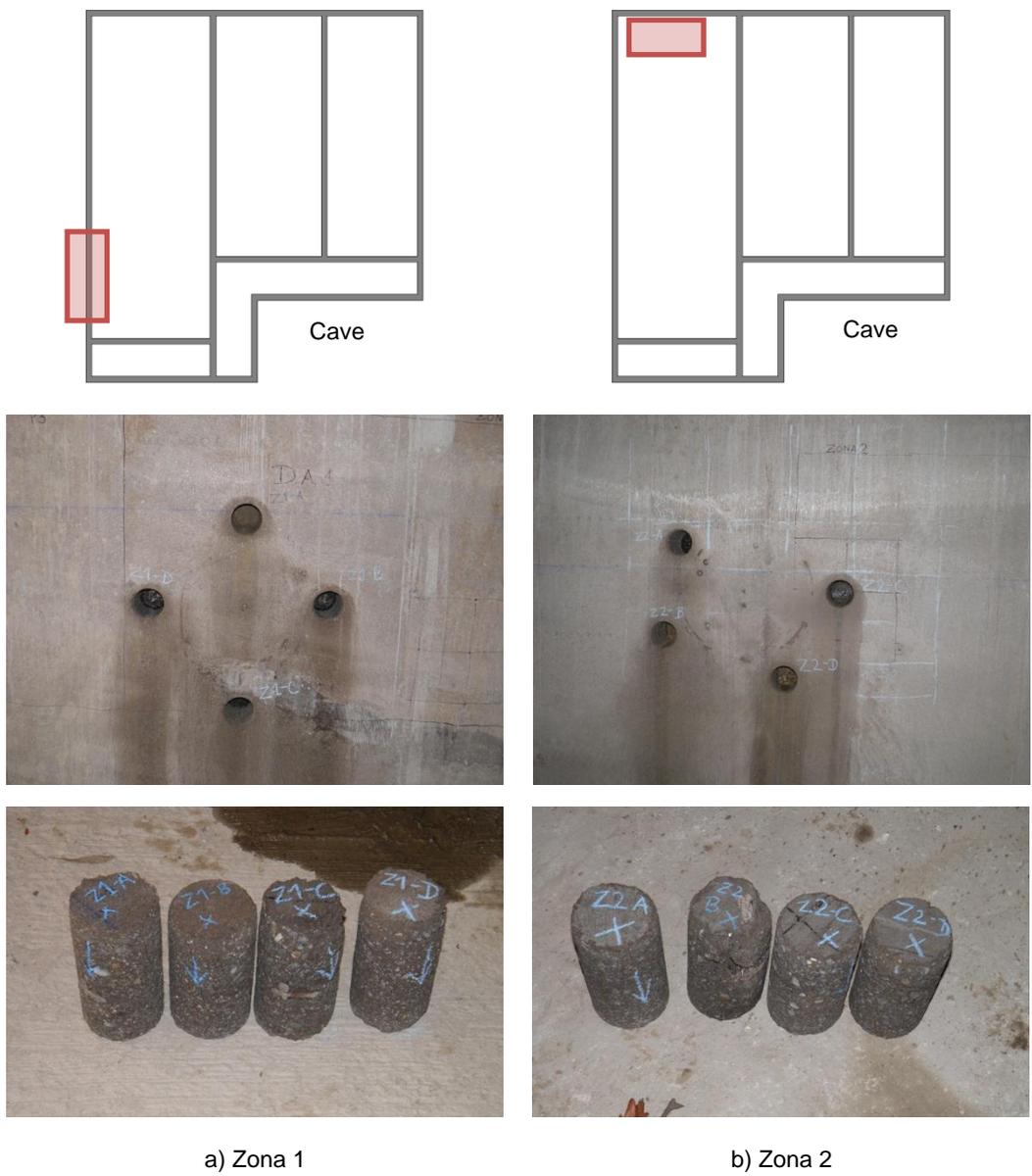


Fig. 3.16 – Zonas de carotagem e provetes extraídos

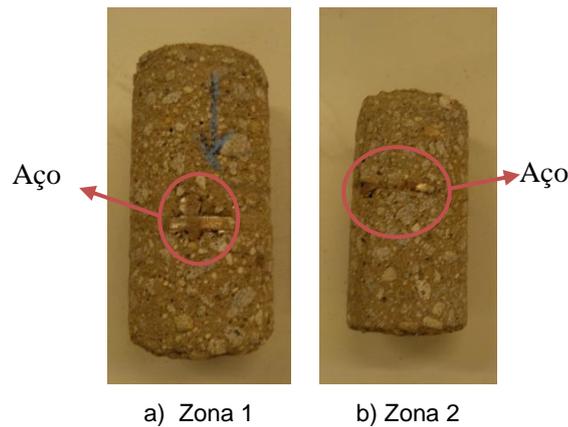


Fig. 3.17 – Aço incorporado nos provetes

Quadro 3.5 – Características geométricas dos provetes

Identificação do provete	Comp. (mm)	Diâmetro (mm)	Máx dimensão nominal agregado (mm)	Armadura incorporada no provete			Anomalias
				Quant.	Diâmetro (mm)	Posição (mm)	
Z1 - A	191	91	16	3	$\phi 10; \phi 6; \phi 4$	101; 113; 121	Desagrega
Z1 - B	187	91	12	3	$\phi 10; \phi 6; \phi 4$	93; 104; 112	Desagrega
Z1 - D	186	91	16	2	$\phi 6; \phi 4$	109; 115	Desagrega
Z2 - A	186	92	12	2	$\phi 6; \phi 4$	73; 78	Desagrega
Z2 - C	183	90	10	3	$\phi 10; 2\phi 6$	64; 74; 88	Desagrega
Z2 - D	185	92	10	2	$\phi 10; \phi 6$	60; 72	Desagrega

Em laboratório, foi realizada uma rectificação dos provetes por capeamento (Fig. 3.18) e, após o endurecimento da argamassa, deu-se seguimento ao ensaio de compressão simples. Foi impossível na preparação das amostras retirar o aço incorporadas nestas.



Fig. 3.18 – Rectificação dos provetes por capeamento

O equipamento de laboratório, para a execução do ensaio, é composto pela máquina de ensaio à compressão (Fig. 3.19) da marca Form Test com celular de 4000 KN. Este determina a tensão de rotura automaticamente, após a colocação dos dados relativos a cada provete.



Fig. 3.19 – Prensa de ensaio de compressão simples

No Quadro 3.6, apresentam-se as características dos provetes depois da rectificação por capeamento bem como os resultados obtidos nos ensaios.

Quadro 3.6 – Características gerais dos provetes após rectificação e resultados do ensaio

Elemeto	Identificação do provete	Dimensões			Massa (kg)	Condições de Humidade	Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)	Valor médio (MPa)
		Comp (mm)	Diâmetro (mm)	h/ø						
Zona 1	Z1 - A	200	95	2,1	3275,2	Seco	2311,5	37,8	5,3	4,4
	Z1 - B	192	92	2,1	3216,7	Seco	2521,5	36,0	5,4	
	Z1 - D	195	93	2,1	3043,6	Seco	2298,9	17,0	2,5	
Zona 2	Z2 - A	193	93	2,1	3191,4	Seco	2435,5	31,7	4,7	5,2
	Z2 - C	190	91	2,1	3228,2	Seco	2613,7	44,4	6,8	
	Z2 - D	191	96	2,0	3143,8	Seco	2275,1	29,7	4,1	

Os provetes retirados das duas zonas de amostragem apresentaram valores muito inferiores ao previsto em projecto, mesmo contendo aço incorporado. Estes resultados vêm indicar que o betão não é, de todo, adequado ao uso para este tipo de estruturas.

Os provetes desagregavam quando eram submetidos à rotura (Fig. 3.20). Os provetes submetidos ao ensaio de compressão simples deveriam, para a classe C16/20, apresentar valores de tensão médios de 24 MPa. Os resultados do ensaio são demasiado inferiores à classe prevista, donde se pode concluir que a estrutura não é segura a nenhum dos intervenientes devendo assim ser considerada perigosa.

Desta forma, uma análise de viabilidade, deve ser realizada para que seja adoptada a melhor solução para a reabilitação da estrutura.



Fig. 3.20 – Tipo de rotura do provete

### 3.3.2.2 Resistência à Tracção por Pull-Off

Pelo facto de se prever uma necessidade de reforço estrutural, em particular usando a técnica de colagem exterior de armaduras adicionais, torna-se importante avaliar a resistência superficial do substrato de betão. Esta propriedade interfere na qualidade de aderência ao longo da interface de colagem entre os dois materiais, o novo e o existente.

Os ensaios directos de aderência sobre a superfície do betão podem ser executados de duas formas, mediante os objectivos que se pretende, mas sempre com o princípio comum de que se avaliam características superficiais. No caso de arrancamento por tracção de uma pastilha metálica previamente colada no betão, mede-se a resistência média à tracção perpendicular à ligação,  $f_{ctm,p}$ , (teste de “pull-off”). Se a mesma pastilha for extraída por um movimento de torção, quantifica-se a resistência ao corte (“torque-test”).

Do conjunto reduzido de ensaios definidos por vários investigadores sobre este assunto, o ensaio de arrancamento por tracção é, actualmente, utilizado “in situ” para análise da aderência (ligação entre materiais e superfícies de betão). Os pressupostos de ensaio estão descritos na norma EN 1542 (1999). O ensaio consiste na medição da força de tracção necessária para arrancamento de pastilhas metálicas (secção circular com diâmetro de 50 mm) previamente coladas à superfície de betão com cola tipo epoxídica. O valor da tensão de tracção,  $f_{ct,p}$ , obtém-se dividindo o esforço de tracção na rotura pela secção da pastilha. Para circunscrever a tensão de aderência à área real da colagem, pode efectuar-se uma pré-caroteagem no perímetro da pastilha, de modo a penetrar cerca de 1,5 cm no elemento de betão.

Os modos de ruína podem ocorrer por corte integral ao longo de uma superfície de betão, por rotura do adesivo, por destacamento na interface de ligação betão-cola ou, por ultimo, pela conjugação dos três casos. Se a ruína se manifestar no betão ou na cola, determina-se a resistência à tracção destes, sendo este valor um limite mínimo para a resistência da ligação. Se a ruína ocorrer, uma parte na interface de ligação e a outra no betão ou na cola, significa que a resistência à tracção dos dois elementos é semelhante e o valor determinado é considerado como valor médio da aderência. O valor da resistência à tracção superficial do betão aproxima-se do valor médio da tensão obtida nos ensaios de arrancamento, desde que a ruína ocorra por corte no betão. Esta tensão é aceitável para valores médios iguais ou superiores a 1,5 MPa.

Os equipamentos utilizados na realização do ensaio são a máquina de extracção das pastilhas controls (Fig. 3.21), bateria de suporte, varias pastilhas metálicas com diâmetro de  $\phi 50$  mm e cola tipo “araldite rapid”.



Fig. 3.21 – Equipamento de ensaio de Pull-Off

O ensaio começa por uma preparação da superfície, em que é realizada uma regularização da superfície seguida de um pré-caroteamento (Fig. 3.22). Depois da superfície preparada são coladas as pastilhas com cola tipo “araldite” (Fig. 3. 23). Após o endurecimento da cola, segue-se então o ensaio propriamente dito. A pastilha é presa ao equipamento e este exerce uma força de tracção, separando a pastilha do elemento estrutural.

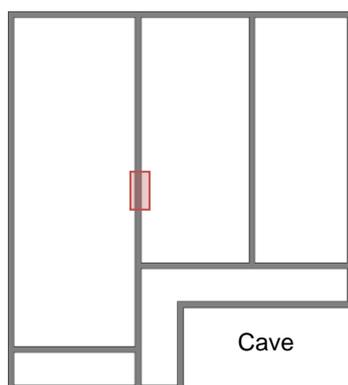


Fig. 3.22 – Pré-caroteamento



Fig. 3.23 – Colagem das pastilhas

Como o betão apresentava sensivelmente as mesmas características físicas, apenas foram realizados ensaios em dois elementos estruturais. Foram analisadas 3 superfícies, uma de um pilar (Fig. 3.22) e duas de uma viga (Fig 3.24 e 3.25), (lateral e inferior) que seriam representativas de toda a estrutura.

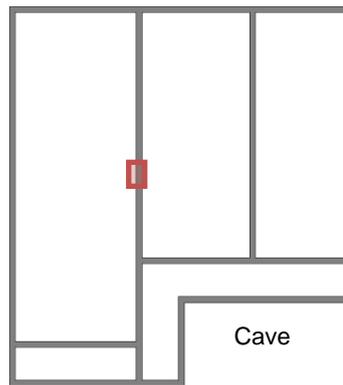


Fig. 3.24 – Face lateral



Fig. 3.25 – Face inferior

No Quadro 3.7 apresentam-se os resultados obtidos no ensaio.

Quadro 3.7 – Resumo do ensaio de “Pull-Off” (resistência superficial do betão)

Elemento	Número do ensaio	Diâmetro (mm)	Força de rotura (N)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Valor médio (N/mm <sup>2</sup> )
P10	1	41	456	0,35	0,30
	2	41	437	0,33	
	3	43	133	0,09	
	4	40	632	0,50	
	5	44	341	0,22	
V2 Face inferior	1	43	521	0,36	0,25
	2	42	400	0,29	
	3	43	254	0,17	
	4	39	226	0,19	
V2 Face lateral	1	Teste - Cola ainda fresca			0,13
	2	41	150	0,11	
	3	40	220	0,18	
	4	40	192	0,15	
	5	38	98	0,09	

Em todos os casos, houve ruína por parte do betão (Fig. 3.26) perto da junta de colagem. O mínimo admissível para utilização da técnica de colagem é de 1,5 MPa. No entanto, esta classe de betão está muito aquém desse valor. Desta forma podemos concluir que a técnica de reforço por colagem não se adequa a esta estrutura.



Fig. 3.26 – Modo de ruína

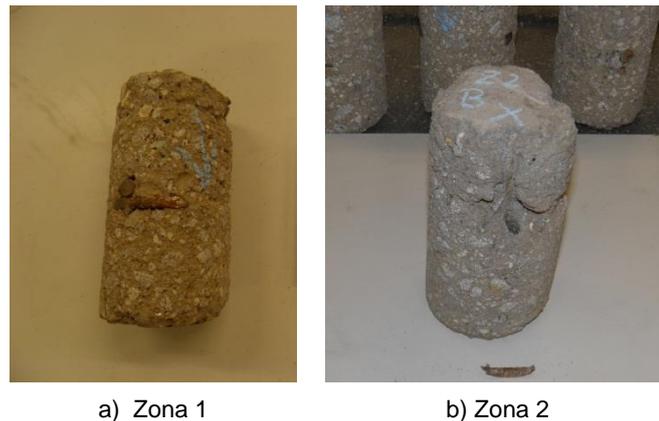
### 3.3.2.3 Absorção de Água por Capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade serve apenas para ter uma ideia do comportamento do betão na presença de água e demonstrar se este apresentará patologias que devem ser precavidas. Como a estrutura é parcialmente enterrada, as águas provenientes do solo não devem ingressar no interior do betão, não só por danificarem revestimentos interiores mas também por serem agressivas para o betão e armaduras. Desta forma, deve ser minimizada absorção para obtermos uma estrutura durável.

O ensaio de capilaridade segue o procedimento explicado na especificação LNEC E 393 (1993) – “Determinação da absorção da água por capilaridade”. A absorção de água por capilaridade é a diferença entre a massa do provete de betão endurecido, que esteve com uma das faces em contacto com a água durante um determinado período de tempo e a massa do provete seco, dividida pela área da superfície em contacto com a água.

A absorção de água por capilaridade pode também ser aferida pela altura média da ascensão capilar perpendicularmente à face do provete que se encontra em contacto com a água. (LNEC E 393-1, 1993)

Os provetes (Fig.3.27) foram retirados por caroteamento, das zonas 1 e 2, para ensaio de absorção de água por capilaridade. Ambos apresentavam elevada irregularidade e porosidade, as suas características são apresentadas no Quadro 3.8. Os resultados obtidos do ensaio respectivamente a absorção de água por capilaridade e ascensão capilar estão representados nos Quadro 3.9 e 3.10.



a) Zona 1

b) Zona 2

Fig. 3.27 – Provetes ensaiados

Quadro 3.8 – Características dos provetes

Identificação do provete	Tipo de Provete	Forma do Provete	Dimensões		Volume (m <sup>3</sup> )
			Diâmetro (m)	Altura (m)	
Zona 1 - C	Corte	Cilíndrica	0,09	0,183	0,001
Zona 2 - B	Corte	Cilíndrica	0,091	0,184	0,001

Quadro 3.9 – Absorção de água por capilaridade

Identificação do provete	Data de ensaio	Tempo	Absorção de água por Capilaridade
		(horas)	(g/mm <sup>2</sup> )
Zona 1 - C	24/05/2011	3	2,432E-02
		6	3,029E-02
		24	4,198E-02
		72	4,321E-02
Zona 2 - B	24/05/2011	3	1,858E-02
		6	2,138E-02
		24	3,223E-02
		72	4,692E-02

Quadro 3.10 – Altura da ascensão capilar

Identificação do provete	Data de ensaio	Tempo (horas)	Altura da ascensão capilar (mm)			
			1	2	3	4
Zona 1 - C	24-05-2011	3	115	107	116	135
		6	134	133	146	160
		24	183	183	183	183
		72	183	183	183	183
Zona 2 - B	24-05-2011	3	80	75	80	83
		6	90	85	95	90
		24	140	130	140	135
		72	184	184	184	184

Após os ensaios é possível observar que a franja capilar vai até o topo da amostra (Fig. 3.28), isto significa uma elevadíssima absorção por capilaridade. Se não houver uma boa impermeabilização a água proveniente do terreno irá infiltrar-se na cave sem dificuldade.



Fig. 3.28 – Franja capilar no fim do ensaio

### 3.3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARMADURAS

As armaduras são uma parte importante do conjunto betão armado. Desta forma, a sua determinação é importantíssima para uma boa análise estrutural e para dar resposta a uma possível intervenção de reforço. Os ensaios foram realizados em locais de superfície regular, no entanto, em algumas zonas, não foi possível determinar com exactidão a sua posição. Nas figuras seguintes, apresentam-se exemplos de malhas de armaduras detectadas em vigas e pilares. Pela extensão do número de ensaios necessários apenas se realizaram em elementos chave e, face às incertezas, foi preciso recorrer a outras técnicas.

Para a detecção das armaduras, devido às incógnitas que foram surgindo na realização os ensaios, preferiu examinar-se com cuidado a maioria dos elementos estruturais presentes na cave e uma viga de coroamento da cobertura.

Foi utilizado para ensaio um detector de armaduras da marca PROCEQ modelo Profometer 5+ que permite detectar a presença de armadura e determinar o diâmetro ( $\emptyset$ ) e recobrimento (rec.) da mesma até uma profundidade de, aproximadamente, 7cm.

ZONA 1

Na proximidade do pilar P3 não se detectou armadura no lado interior da cave. À direita do pilar P5 foi detectada a presença de armadura (Fig. 3.29), espaçada de 30 cm, mas não foi possível determinar o diâmetro, possivelmente devido ao recobrimento. Nos muros, a armadura deveria fazer uma malha quadrada, ou seja, com armadura vertical e horizontal. A vertical de diâmetro de 10 mm e espaçadas em 15 cm. A horizontal de diâmetro de 8 mm e espaçadas em 20 cm.

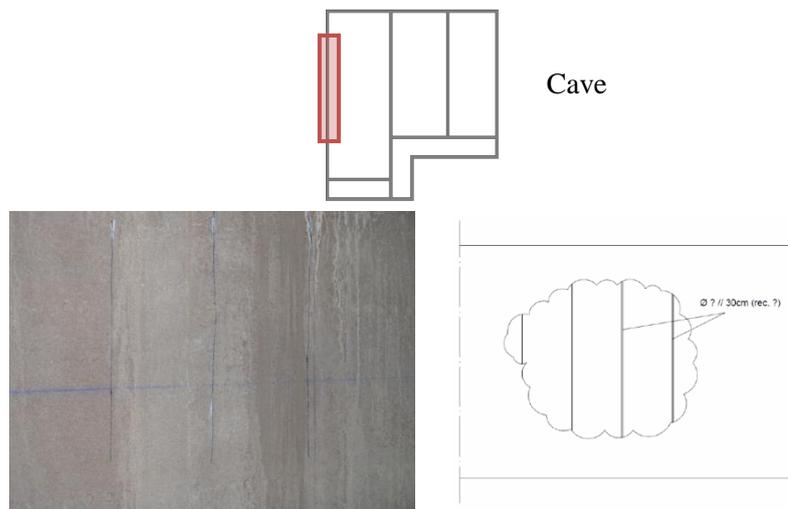


Fig. 3.29 – Armadura detectada na zona 1

ZONA 2

Na zona 2 foram encontradas armaduras em ambas as direcções (Fig. 3.30). Na vertical detectou-se um varão de diâmetro de 25 mm, espaçados em 30 cm e com recobrimento de 55 mm. Na horizontal detectou-se um varão de diâmetro de 6 mm, espaçados em 20 cm e com recobrimento de 65 mm. Nos muros, a armadura deveria fazer uma malha quadrada, ou seja, com armadura vertical e horizontal. A vertical, de diâmetro de 10 mm e espaçadas em 15 cm. A horizontal, de diâmetro de 8 mm e espaçadas em 20 cm.

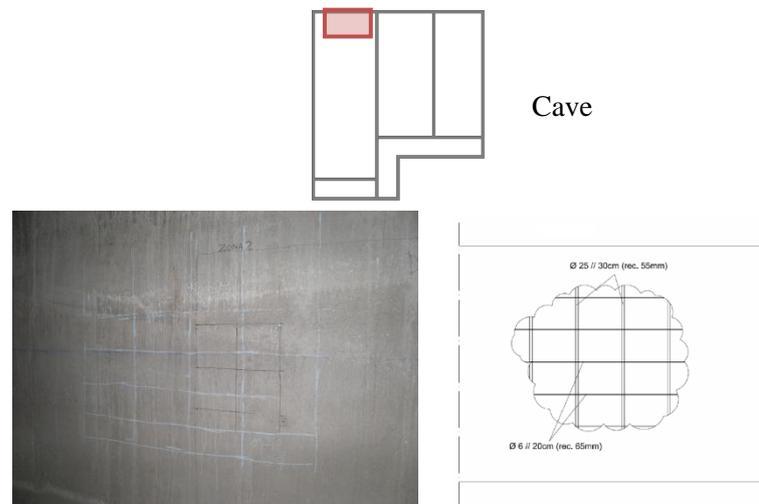


Fig. 3.30 – Armadura detectada na zona 2

### ZONA 3

Foi detectada armadura horizontal apenas na metade inferior do Muro (Fig. 3.31). Entre o pilar P21 e o pilar P20 não foi detectada qualquer armadura. Nos muros, a armadura deveria fazer uma malha quadrada, ou seja, com armadura vertical e horizontal. A vertical de diâmetro de 10 mm e espaçadas em 15 cm. A horizontal de diâmetro de 8 mm e espaçadas em 20 cm.

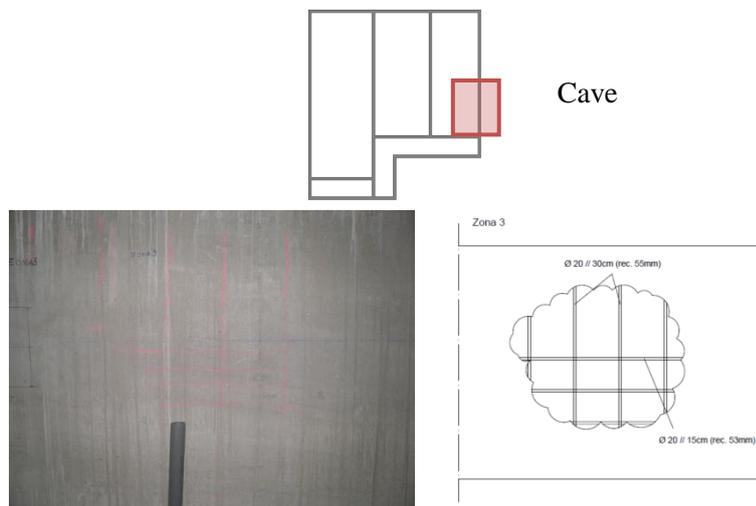


Fig. 3.31 – Armadura detectada na zona 3

### ZONA 4

Na Zona 4, situada entre o pilar P15 e P20, não foi detectada qualquer armadura. Nos muros, a armadura deveria fazer uma malha quadrada, ou seja, com armadura vertical e horizontal. A vertical de diâmetro de 10 mm e espaçadas em 15 cm. A horizontal de diâmetro de 8 mm e espaçadas em 20 cm.

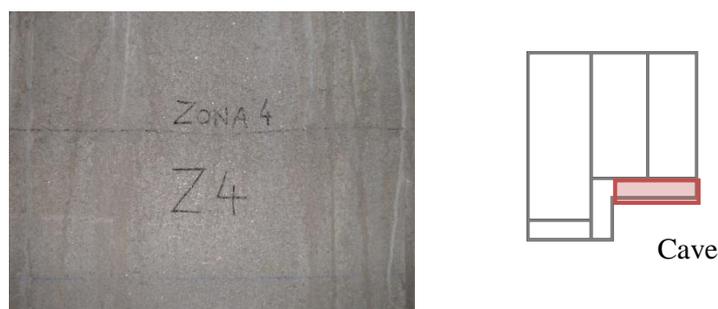


Fig. 3.32 – Armadura detectada na zona 4

VIGA V1 CAVE

A viga V1, situada na cave, deveria apresentar, na zona ensaiada, armadura superior de  $3\phi 12$ , inferior de  $4\phi 12$  e estribos de  $\phi 6$  espaçados em 18cm. Como demonstra a Fig. 3.33, não só foi difícil a detecção da armadura como esta se encontra mal posicionada em relação ao previsto em projecto. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

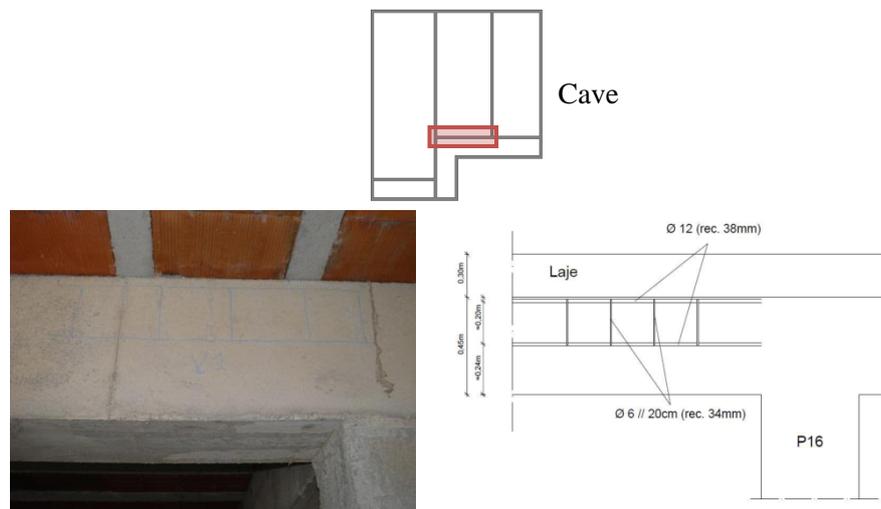


Fig. 3.33 – Armadura detectada na Viga V1 cave

VIGA V2

A viga V2, deveria apresentar, na zona ensaiada, armadura superior de  $2\phi 12 + 4\phi 20$ , inferior de  $5\phi 20$  e estribos de  $\phi 6$  espaçados em 10 cm. Como demonstra a Fig. 3.34, a colocação da armadura não é a correcta comparando com o definido em projecto. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

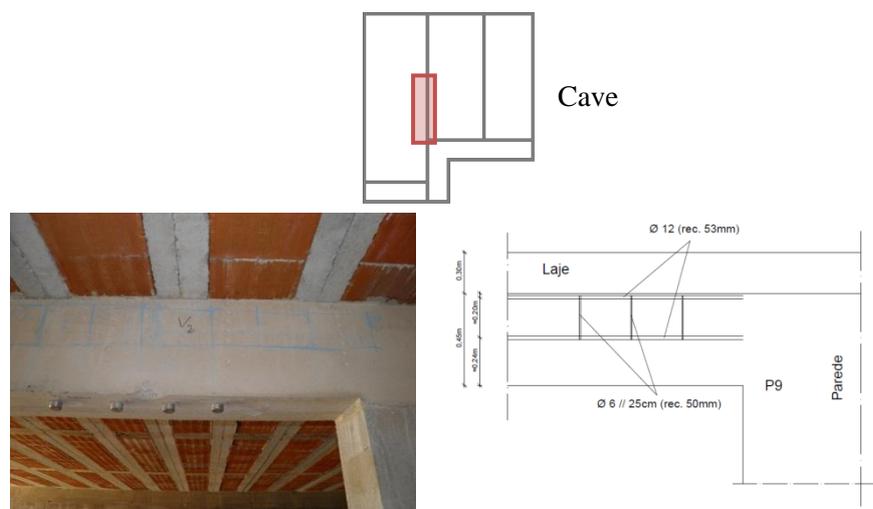


Fig. 3.34 – Armadura detectada na Viga V2

VIGA V3

A viga V3, deveria apresentar na zona ensaiada armadura superior de 2 $\phi$ 12, inferior de 5 $\phi$ 20 e estribos de  $\phi$ 6 espaçados em 18 cm. Como demonstra a Fig. 3.35, a colocação da armadura está incorrecta comparativamente com o definido em projecto. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

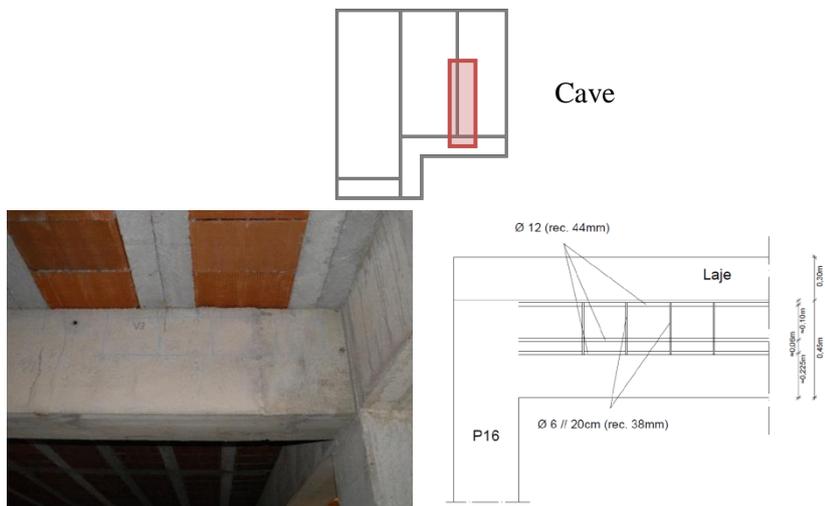


Fig. 3.35 – Armadura detectada na Viga V3

VIGA VE

A viga VE, é uma viga embebida projectada para suportar uma parede de fachada do piso superior e manter-se escondida na laje. Esta deveria apresentar na zona ensaiada armadura superior de 2 $\phi$ 12, inferior de 5 $\phi$ 12 e estribos de  $\phi$ 6 espaçados em 10 cm. Como demonstra a Fig. 3.36, a armadura inferior é apenas constituída por 3 $\phi$ 16 e não foram detectados os estribos. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

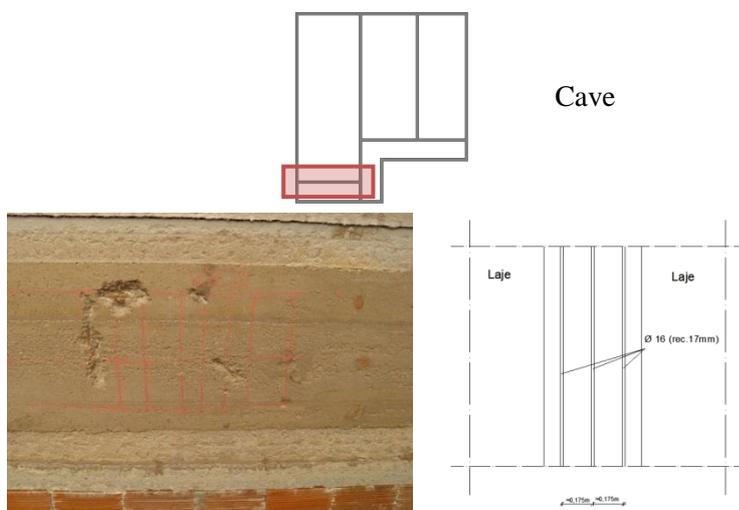


Fig. 3.36 – Armadura detectada na Viga VE

### Viga CT

A viga CT, é uma viga de travamento que se encontra embebida nos muros da cave. Esta deveria apresentar, na zona ensaiada, armadura superior de  $3\phi 12$ , inferior de  $4\phi 12$  e estribos de  $\phi 6$  espaçados em 18 cm. Como demonstra a Fig. 3.37, a armadura inferior é apenas constituída por  $\phi 10$ . O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

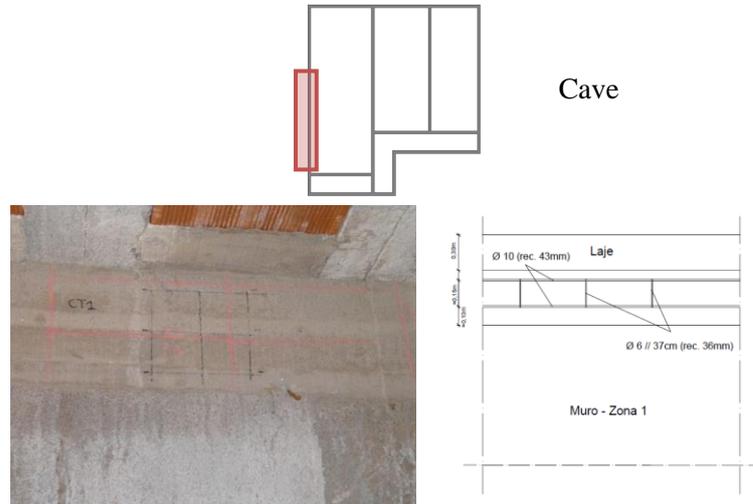


Fig. 3.37 – Armadura detectada na Viga CT

### VIGA V1 R/CHÃO

A viga V1 situada no rés-do-chão, é uma viga de coroamento da laje de cobertura. Esta deveria apresentar, na zona ensaiada, armadura superior de  $3\phi 12$ , inferior de  $4\phi 12$  e estribos de  $\phi 6$  espaçados em 18 cm. Como demonstra a Fig. 3.38, a armadura inferior é apenas constituída por  $\phi 12$ . O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

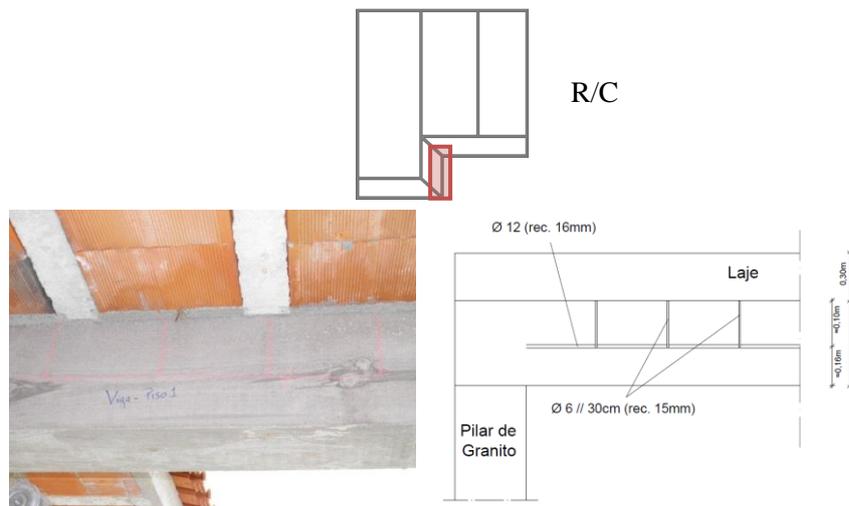


Fig. 3.38 – Armadura detectada na Viga V1 R/Chão

**PILAR P3**

O pilar P3 deveria apresentar na zona ensaiada armadura longitudinal de 6 $\phi$ 12, e transversal de  $\phi$ 6 espaçados em 15 cm. Como demonstra a Fig. 3.39, a armadura inferior é apenas constituída por 3 $\phi$ 16. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

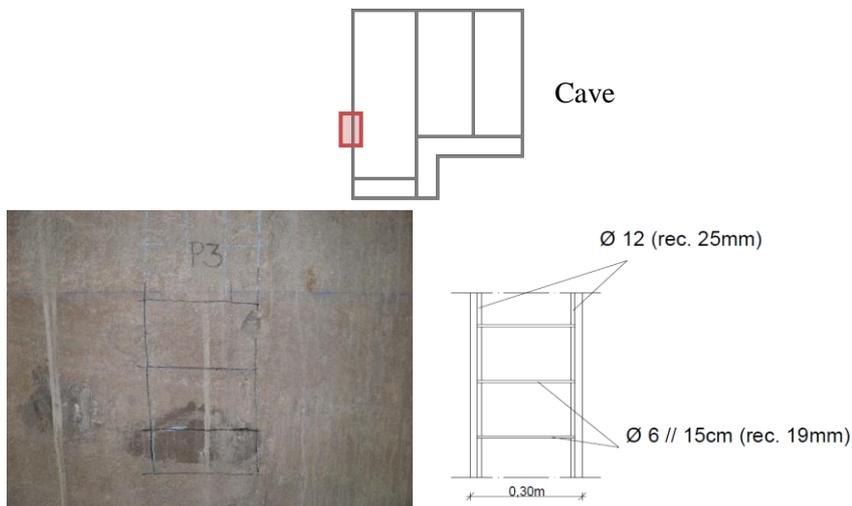


Fig. 3.39 – Armadura detectada no Pilar P3

**PILAR P9**

O pilar P9 deveria apresentar na zona ensaiada armadura longitudinal de 4 $\phi$ 12, e transversal de  $\phi$ 6 espaçados em 15 cm. Como demonstra a Fig. 3.40, não foi possível determinar o diâmetro do varão utilizado. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

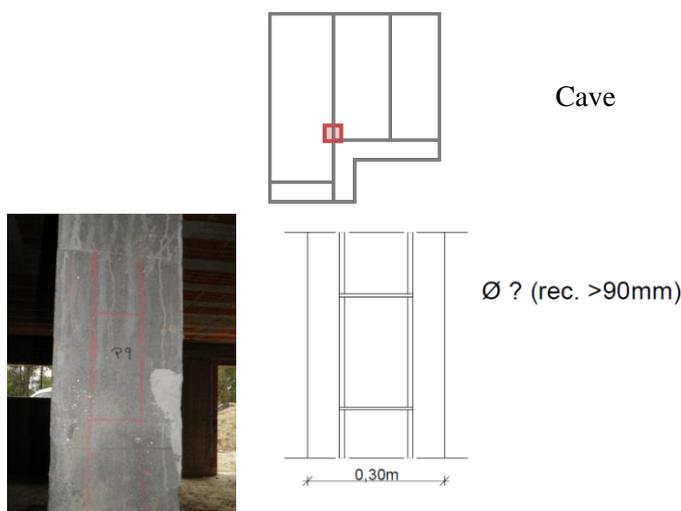


Fig. 3.40 – Armadura detectada no Pilar P9

**PILAR P10**

O pilar P10 deveria apresentar na zona ensaiada armadura longitudinal de  $4\phi 16 + 2\phi 12$ , e transversal de  $\phi 6$  espaçados em 15 cm. Como demonstra a Fig. 3.41 o diâmetro do varão utilizado é de  $\phi 12$  e estribo de  $\phi 6$  espaçado em 25 cm. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

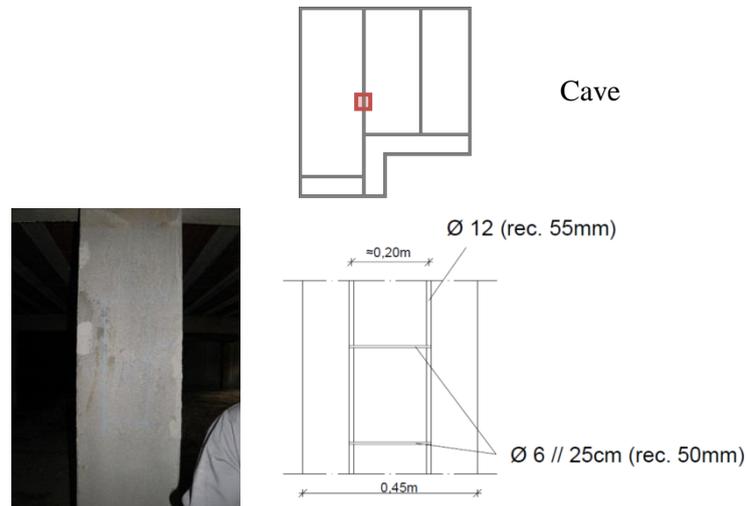


Fig. 3.41 – Armadura detectada no Pilar P10

**PILAR P12**

O pilar P12, está embebido no muro da cave com uma pequena saliência para o interior. Deveria apresentar na zona ensaiada armadura longitudinal de  $4\phi 12$ , e transversal de  $\phi 6$  espaçados em 15 cm. Como demonstra a Fig. 3.42, o diâmetro do varão utilizado é de  $\phi 12$  e o estribo foi impossível de detectar devido à proximidade dos varões longitudinais. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

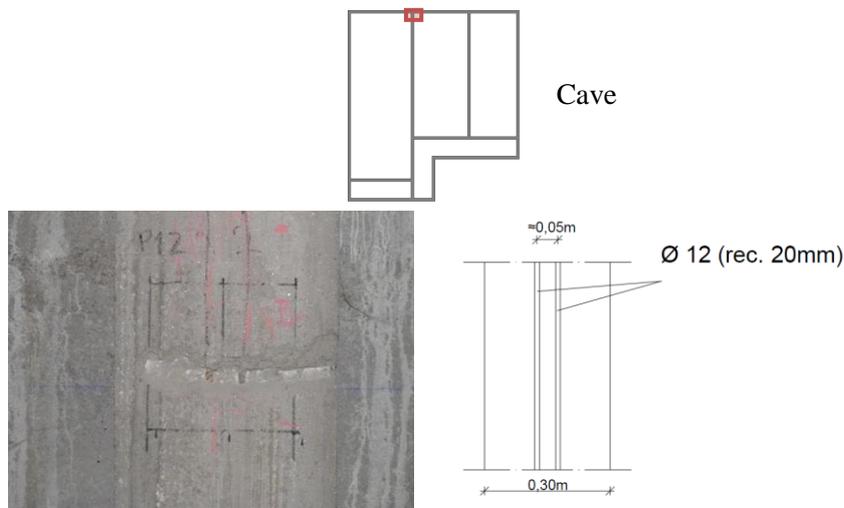


Fig. 3.42 – Armadura detectada no Pilar P12

**PILAR P15**

O pilar P15, está embebido no muro da cave. Deveria apresentar na zona ensaiada armadura longitudinal de 4 $\phi$ 12, e transversal de  $\phi$ 6 espaçados em 15 cm. Como demonstra a Fig. 3.43 o diâmetro do varão utilizado é de  $\phi$ 12 e estribo de  $\phi$ 6 espaçado em 25 cm. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

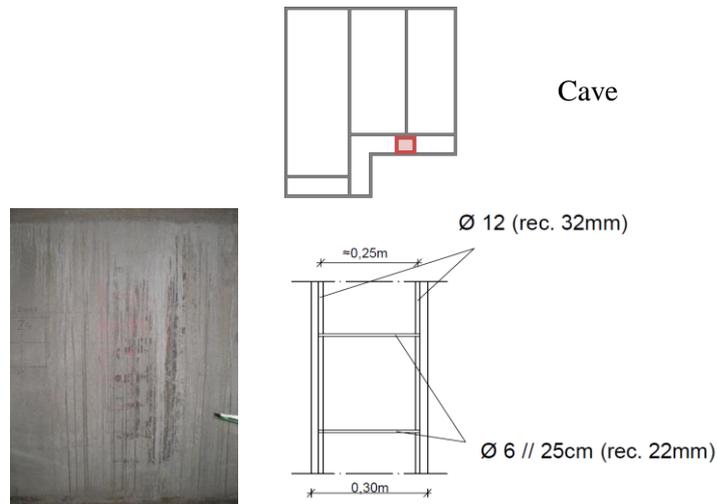


Fig. 3.43 – Armadura detectada no Pilar P15

**PILAR P16**

O pilar P16, deveria apresentar na zona ensaiada armadura longitudinal de 4 $\phi$ 16 + 2 $\phi$ 12, e transversal de  $\phi$ 6 espaçados em 15 cm. Como demonstra a Fig. 3.44, o diâmetro do varão utilizado é de  $\phi$ 12 e estribo de  $\phi$ 6 espaçado em 25 cm. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

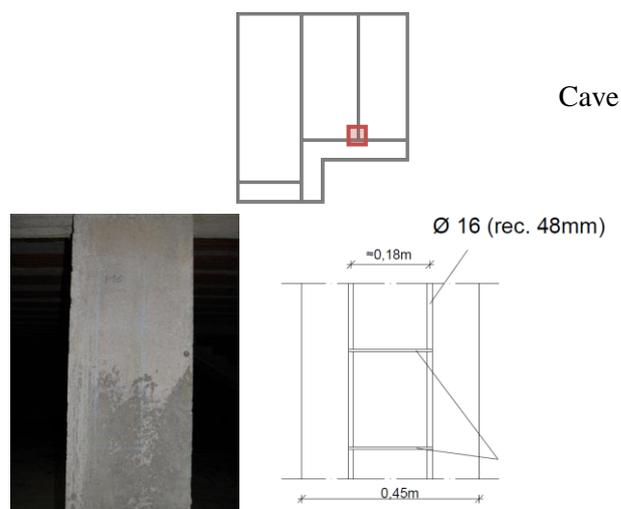


Fig. 3.44 – Armadura detectada no Pilar P16

**PILAR P22**

O pilar P22, deveria apresentar na zona ensaiada armadura longitudinal de  $4\phi 16 + 2\phi 12$ , e transversal de  $\phi 6$  espaçados em 15 cm. Como demonstra a Fig. 3.45 o diâmetro do varão utilizado é de  $\phi 12$  e estribo de  $\phi 6$  espaçado em 25 cm. O ensaio não permitiu descobrir todos os varões, desta forma, estes são uma incógnita, não sabendo se existem ou não.

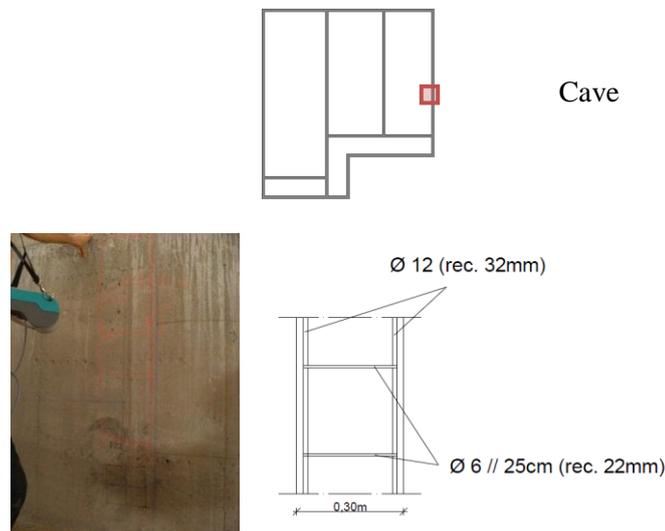


Fig. 3.45 – Armadura detectada no Pilar P22

### 3.4 FASE DELIBERATIVA

Antes da tomada de decisão, é necessário reunir toda a informação obtida na fase de diagnóstico. A fase deliberativa, pretende ser uma etapa de agregação da informação de etapas anteriores e deve ser organizada de forma a proporcionar uma melhor avaliação e encontrar a melhor solução para resolver os problemas.

Em relação ao material betão, este é estimado pelo ensaio esclerométrico como apresentando um valor médio da resistência à compressão entre 7,5 MPa e 10,8 MPa. Em contrapartida, o ensaio de compressão simples avança resistências médias entre 4,4 MPa e 5,2 MPa. Desta forma, o material, em termos de valores característicos, não atinge a classe mínima C8/10 prevista na norma NP EN 206-1 (2007) para poder ser classificado e usado na construção civil. A reforçar este facto, o Eurocódigo 2 só permite a utilização de betão da classe superior ou igual a C12/15 para este tipo de estrutura. Em questões de durabilidade, a sua elevada porosidade e o padrão de fendilhação torna-o vulnerável às agressões da exposição ambiental a que a estrutura está sujeita.

A detecção de armadura foi muito inconclusiva, em muitos casos devido ao recobrimento elevado não foi possível determinar a solução adoptada. Nos casos em que a localização da armadura foi determinada, esta encontrava-se errada, não só em termos de posição na peça, como no diâmetro do varão. Nas vigas, a armadura encontrava-se em média a 30 cm da face inferior, com a armadura inferior e superior muitas vezes com diâmetro inferior e o espaçamento dos estribos superior ao projectado. Os pilares continham a armadura longitudinal mal posicionada em relação às faces verticais e estribos com espaçamento superior. Nos muros, a detecção foi bastante difícil visto haver armadura concentrada sensivelmente a meio e com diâmetros inferiores ao definido pelo projectista.

O padrão de fendilhação nas vigas tem origem estrutural no comportamento de peça de betão armado, face à baixa resistência à compressão (e tracção) do betão e ao suposto frequente mal posicionamento das armaduras nos elementos estruturais (face ao projecto de estabilidade). Refira-se que, não estando concluídos os acabamentos finais na edificação e ainda sem cargas de serviço aplicadas à estrutura, o padrão de fendilhação é já indicativo de incapacidade estrutural no futuro.

As decisões para alterações do definido em projecto pelo empreiteiro em relação à armadura, foram sempre tomadas em prol da insegurança. As soluções encontradas, nos diferentes elementos estruturais, induzem uma fragilização pelo mau posicionamento da armadura. Sistemáticamente, os varões tinham o diâmetro inferior e espaçamentos superiores ao projectado.

Este conjunto de factores, falta de conformidade e deficiente capacidade do betão, pilares e muros frágeis e vigas, levam a pensar em duas deliberações, reforçar? Ou reconstruir?

Para a solução de reforço, seria necessário uma solução bastante dispendiosa visto todos os elementos apresentarem debilidades. O betão não faria parte dos cálculos de reforço por apresentar uma resistência diminuta. Desta forma, o material de reforço teria de fornecer estabilidade e segurança. Assim, a solução de reforço tornar-se-ia dispendiosa porque obriga a um novo projecto de execução.

Com a falta de viabilidade do projecto estrutural executado demonstrada pelos ensaios realizados, a reconstrução da habitação seria a opção mais vantajosa, visto que, os novos elementos teriam material adequado e armadura bem posicionada. Apesar do tempo, material e dinheiro dispendido ser desperdiçado esta será, sem margem de dúvida, a solução mais adequada face aos ensaios realizados, mesmo porque a segurança exigida por regulamento será reposta, no período de vida espectável para a habitação (50 anos).

Infelizmente, a continuação deste processo depende também de terceiros. Desta forma, não foi possível, em tempo útil, passar da fase deliberativa, tendo sido definido que haveria um compasso de espera até se determinar algumas das responsabilidades dos intervenientes no projecto inicial.

### **3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os objectivos previstos para este capítulo, apesar das dificuldades encontradas, foram atingidos. Os ensaios determinados para obter as propriedades dos materiais e da estrutura foram executados. Estes permitiram tecer alguns comentários.

O betão apresenta resistências à compressão bastante inferiores ao previsto pelo projectista. A porosidade demonstrada na generalidade dos elementos estruturais induz nas propriedades do material uma redução de capacidade física e estrutural.

A armadura, de uma forma generalizada, encontra-se deslocalizada e com soluções inviáveis à segurança estrutural.

Este conjunto de factores é muito preponderante em estrutura de betão armado quanto à sua durabilidade, segurança e viabilidade. Desta forma, visto faltarem as três condições, conclui-se que a melhor solução será a de reconstrução da habitação.

Por existirem outros intervenientes e também por questões legais, não existe a continuação das fases sugeridas nas normas NP EN 1504 que seria a definição do projecto de reforço/reconstrução e consequente passagem à escolha dos princípios e métodos, dimensionamento e execução da solução adequada.

# 4

## CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

### 4.1 CONCLUSÕES GERAIS

Nos métodos construtivos aplicados no nosso país, sobretudo em estruturas de betão armado, ressalta a ideia de que a fase de concepção, projecto e construção é a origem de grande parte dos processos patológicos detectados nas estruturas.

Para a determinação das patologias, ressalta o papel essencial da fase de diagnóstico. É nesta fase que se faz notar que é essencial “perceber” o comportamento estrutural da construção e também a importância da realização de ensaios que permitam a obtenção de resultados precisos que auxiliem na dita compreensão do comportamento estrutural.

Saliente-se ainda, a necessidade de, em muitos casos, monitorizar as estruturas de forma a observar e compreender o seu comportamento estrutural.

O desenvolvimento teórico da reabilitação estrutural começa agora a ter correspondência efectiva no campo prático, isto é, os regulamentos, normas, especificações técnicas, etc. começam a chegar aos técnicos, adquirindo assim conhecimentos suficientes para encarar os desafios.

Em termos gerais, pode afirmar-se que os objectivos inicialmente estabelecidos para o presente trabalho foram alcançados. O principal objectivo do estudo foi fornecer uma informação ampla relativa à norma NP EN 1504, podendo também servir como um “manual” para a organização de um projecto de reabilitação.

As normas NP EN 1504 reforçam a ideia de que um projecto de reforço, sobretudo com novos materiais, deve obedecer a etapas especificadas nessas normas. O projecto de reforço, antes de ser iniciado, deve ser alvo de uma análise prévia para que se averigüe a sua adequabilidade e viabilidade económica e estrutural.

Desta forma, um processo deve respeitar as fases implícitas na norma. Inicia-se na fase de diagnóstico com a avaliação do estado da estrutura e identificação das causas das avarias/patologias. Segue-se a tomada de decisão do que se poderá fazer e a escolha dos princípios e métodos, na fase deliberativa.

Com todas as medidas a implementar e produto ou sistema adoptado faz-se então o dimensionamento da solução mais adequada, fase de dimensionamento. Na fase de execução, são então preparados os elementos estruturais para reparação e executa-se a solução adoptada na fase anterior. Por fim, em estruturas mais importantes do ponto de vista arquitectónico ou estrutural, como o caso de pontes, é implementada uma fase de inspeção/ monitorização/ manutenção.

Apesar de conter bastante informação sobre o encadeamento de todo o processo de reabilitação ou reforço, esta não deixa de ser generalizada, pelo que é necessário adequar a cada tipo de obra. Desta forma, neste trabalho foi importante a implementação da norma NP EN 1504 a um caso concreto para que seja clara a informação e se demonstre a sua utilização.

A obra que serviu para a implementação da norma é um edifício de habitação unifamiliar. Por questões que se prendem a trâmites legais, não foi possível concluir no tempo disponível todas as fases respectivas a um processo de reabilitação. Contudo, as fases de diagnóstico e a deliberativa foram realizadas em conformidade com a norma.

A estrutura apresenta debilidades, os materiais não são adequados e as soluções encontradas são inseguras. O betão não está conforme o projecto e ainda menos conforme a regulamentação em vigor. As resistências obtidas nos ensaios de esclerómetro e compressão simples são de 9 MPa e 4,8MPa, respectivamente.

As soluções adoptadas de armaduras apresentam diâmetros inferiores e espaçamentos superiores, criando assim instabilidade e insegurança. Em muitos dos casos não foi possível determinar a posição da armadura por excesso de recobrimento.

Mesmo sem as cargas de serviço aplicadas na estrutura, as vigas já apresentam um padrão de fendilhação que demonstra a incapacidade estrutural no futuro.

Desta forma, com uma insuficiente capacidade estrutural, é possível pensar em duas deliberações, reforçar ou reconstruir.

O reforço de uma estrutura deste tipo, terá um custo muito elevado. Todos os elementos teriam de ser reforçados e os materiais que nela se encontram pouco ajudariam os produtos e sistemas. De uma forma geral, a estrutura não detém a viabilidade para ser reforçada sendo que a conclusão final é que a habitação devia ser reconstruída. Com a falta de viabilidade do projecto estrutural executado demonstrada pelos ensaios realizados, a reconstrução da habitação seria a mais vantajosa, visto que, os novos elementos teriam material adequado e armadura bem posicionada. Apesar do tempo, material e dinheiro desperdiçado esta será, sem margem de dúvida, a solução mais adequada face aos ensaios realizados e também porque a segurança exigida por regulamento será reposta, no período de vida espectável para a habitação.

Infelizmente, a continuação deste processo depende também de terceiros. Desta forma não foi possível em tempo útil passar da fase deliberativa, tendo sido definido que haveria um compasso de espera até se determinar algumas das responsabilidades dos intervenientes no projecto inicial.

## 4.2 FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Alcançada a maioria dos objectivos estabelecidos na presente dissertação, centrados na explicação e implementação da norma NP EN 1504, existem ainda alguns aspectos deste trabalho que merecem ser mais aprofundados, devendo ser considerados em futuros desenvolvimentos, nomeadamente:

- Necessidade de fazer cumprir as normas a projectos de reparação /reforço no futuro;
- Perceber melhor algumas das dificuldades que as normas impõem relativamente às especificações de materiais e de técnicas de reparação a contemplar nos cadernos de encargos;
- Perceber a importância das normas na organização de um caderno de encargos e de especificações técnicas com requisitos de controlo e garantia de qualidade;

Finaliza-se mais uma contribuição para o aumento do conhecimento e da confiança a introduzir na engenharia, sobre a implementação da norma NP EN 1504, na esperança de que os ensinamentos descritos neste trabalho se ajustem, o melhor possível, às soluções dos nossos problemas.



# 5

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### REFERÊNCIAS

- Afonso, F. P., (2009). *O mercado da reabilitação. Enquadramento, relevância e perspectivas*. Associação de Empresas de Construção, Obras Públicas e Serviços, Lisboa, 2009.
- Cóias, V., (2009). *Construção nova e reabilitação são coisas diferentes*. Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitectónico, Lisboa, 2009.
- Correia, P. V. D. e Lobo, I. M. C., (2003). *A Nova carta de Atenas 2003: a visão do Conselho Europeu de Urbanistas sobre as Cidades do séc. XXI*, tradução, Lisboa: DGOTDU - Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbanístico, Lisboa, Novembro, p.40.
- Azevedo, D. M. M. (2008). *Reforço de Estruturas de Betão com Colagem de Sistemas compósitos de CFRP - Recomendações para Dimensionamento*, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, DECivil, Porto.
- Juandes, L.F.P., Marques, N.A., (2007). *Reforço de estruturas por colagem exterior de sistemas compósitos deFRP – Manual de procedimentos e de controlo de qualidade para construção*, Publicação ao abrigo do protocolo Mota-Engil/FEUP, Relatório LEMC-JUV/003-2007, FEUP.
- Juandes, L.F.P. (1999). *Reforço e reabilitação de estruturas de betão usando materiais compósitos de CFRP*, Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, DECivil, Porto.
- LNEC E 393 (1993). *Determinação da absorção de água por capilaridade*, MOPTC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.
- NP EN 206-1 (2007). *Betão. Parte 1: Especificações, desempenho, produção e conformidade*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)
- NP EN 1504-1, (2006). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 1: Definições*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)
- NP EN 1504-2, (2006). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 2: Sistemas de protecção superficial do betão*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 1504-3, (2006). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 3: Reparação estrutural e não estrutural*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 1504-4, (2006). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 4: Colagem estrutural*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 1504-5, (2006). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 5: Injecção do betão*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 1504-6, (2008). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 6: Ancoragem de armaduras de aço*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 1504-7, (2008). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 7: Protecção contra a corrosão das armaduras*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 1504-8, (2006). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 8: Controlo da qualidade e avaliação da conformidade*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 1504-9, (2009). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 9: Princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 1504-10, (2008). *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão – Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 10: Aplicação de produtos e sistemas e controlo da qualidade da obra*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 1542 (1999). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off*, European Standard, CEN, Brussels.

NP EN 12390-3 (2003). *Ensaio do betão Endurecido. Parte 3: Resistência à compressão dos provetes de ensaio*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 12504-1, (2003). *Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1: Carotes, extracção exame e ensaio à compressão*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

NP EN 12504-2 (2003). *Ensaio do betão nas estruturas. Parte 2: Ensaio não destrutivo, determinação do índice esclerométrico*, European Standard, CEN, Brussels. (versão portuguesa)

Silva, P.A.S.C.M., (2008). *Comportamento de Estruturas de Betão Reforçadas por Colagem Exterior de Sistemas de CFRP*, Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, DECivil, Porto.



# **ANEXO**

## **FICHAS DE ENSAIO**

Neste anexo, reúnem-se as Fichas de ensaio, realizadas pelo Laboratório de Ensaio de Materiais de Construção (LEMC).

As fichas de ensaio, são documentos técnicos onde é reunida toda a informação obtida dos ensaios assim como as características das amostras ensaiadas. Nelas podem ser consultados os valores correspondentes aos ensaios elaborados “in situ” e em laboratório.



# Determinação do Índice Esclerométrico (NP EN 12504-2 2003)

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

**REQUERENTE:**

**OBRA:**

**NATUREZA DO ENSAIO:** Determinação do Índice esclerométrico (NP EN 12504-2 2003).

**BETÃO ENSAIADO:** Localização dos elementos analisados na planta em anexo. Para o ensaio foi utilizado um esclerómetro da marca Controls, modelo 5122. Não foi possível regularizar a superfície de ensaio com o esmeril devido à desagregação do betão.

**RESULTADOS DO ENSAIO:**

Área de Ensaio		Data do Ensaio	Valor Médio Registrado	Orientação do esclerómetro	Valor Médio Corrigido
Muros	Zona 1	18/05/2011	21	0 °	(*)
	Zona 2		18	0 °	(*)
	Zona 3		17	0 °	(*)
	Zona 4		15	0 °	(*)
Vigas	V1 (cave)	18/05/2011	27	0 °	(*)
	V2		16	0 °	(*)
	V3		21	0 °	(*)
	VE1		25	+ 90°	(*)
	CT1		14	0 °	(*)
	V1 (pisol)		19	0 °	(*)

## Determinação do Índice Esclerométrico (NP EN 12504-2 2003)

### BOLETIM DE ENSAIO Nº

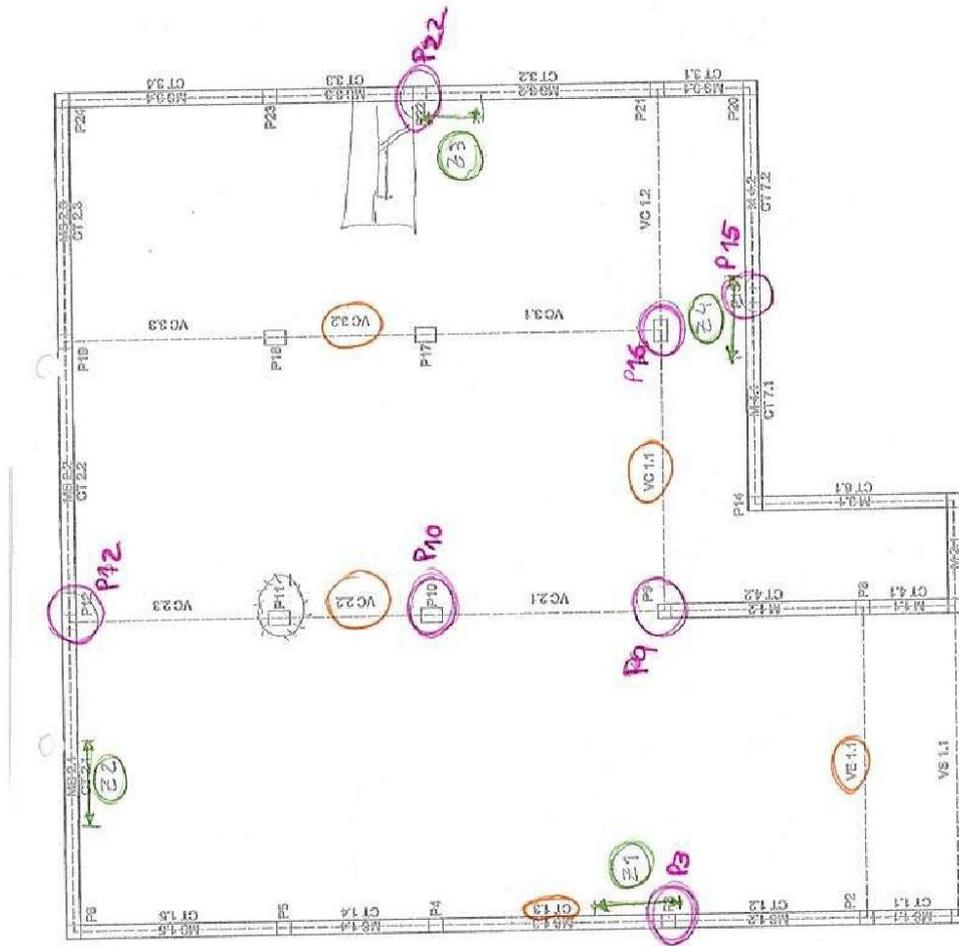
Área de Ensaio		Data do Ensaio	Valor Médio Registrado	Orientação do esclerómetro	Valor Médio Corrigido
Pilares	P3	19/05/2011	16	0 °	(*)
	P9		18	0 °	(*)
	P10		20	0 °	(*)
	P12		13	0 °	(*)
	P15		13	0 °	(*)
	P16		21	0 °	(*)
	P22		16	0 °	(*)

(\*) Dado que os valores obtidos foram excessivamente baixos não foi possível obter uma correlação.

# Determinação do Índice Esclerométrico (NP EN 12504-2 2003)

## ANEXO

Planta da Cave





# Determinação da Resistência à Compressão de Carotes de Betão (NP EN 12504-1 NP EN 12390-3)

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

**REQUERENTE:**

**OBRA:**

**NATUREZA DO ENSAIO:** Determinação da resistência à compressão de carotes de betão de acordo com as normas NP EN 12504-1 e NP EN 12390-3.

**MATERIAL APRESENTADO PARA ENSAIO:** 6 carotes de betão com o diâmetro de aproximadamente 9,5cm, extraídas pelo LEMC a 19/05/2011.

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS CAROTES:**

Identificação da carote	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Máx. Dimensão nominal do agregado (mm)	Aço cortado	Defeitos visíveis nas superfícies
Zona 1 - A	9,5	19,1	16	φ6 + φ4 + φ10	Muito irregular Com desagregação
Zona 1 - B	9,2	18,7	16	φ6 + φ4 + φ10	Muito irregular Com desagregação
Zona 1 - D	9,3	18,6	16	φ6 + φ4	Muito irregular Com desagregação
Zona 2 - A	9,3	18,6	12	φ6 + φ4	Muito irregular Com desagregação
Zona 2 - C	9,1	18,3	12	φ10 + 2 φ6	Muito irregular Com desagregação
Zona 2 - D	9,6	18,5	12	φ10 + φ6	Muito irregular Com desagregação

# Determinação da Resistência à Compressão de Carotes de Betão (NP EN 12504-1 NP EN 12390-3)

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

### RESULTADOS DO ENSAIO:

As carotes foram regularizadas com argamassa. Não foi possível extrair o aço existente na carote. Depois de rectificadas nos topos os provetes foram ensaiados até à rotura.

Identificação do provete	Dimensões (cm)	Massa (kg)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Humidade Superficial
Zona 1 - A	h = 20,0 ; $\varphi$ = 9,5	3,275	2310	Seca
Zona 1 - B	h = 19,2 ; $\varphi$ = 9,2	3,217	2520	Seca
Zona 1 - D	h = 19,5 ; $\varphi$ = 9,3	3,044	2298	Seca
Zona 2 - A	h = 19,3 ; $\varphi$ = 9,3	3,191	2434	Seca
Zona 2 - C	h = 19,0 ; $\varphi$ = 9,1	3,218	2612	Seca
Zona 2 - D	h = 19,1 ; $\varphi$ = 9,6	3,144	2274	Seca

No quadro seguinte apresentam-se os valores da resistência à compressão dos provetes.

Identificação do provete	Data de ensaio	Carga máxima de rotura (kN)	Relação h/ $\varphi$	Tensão de rotura à compressão (MPa)
Zona 1 - A	06/06/011	37,8	2,1	5,3
Zona 1 - B		36,0	2,1	5,4
Zona 1 - D		17,0	2,1	2,5
Zona 2 - A		31,7	2,1	4,7
Zona 2 - C		44,4	2,1	6,8
Zona 2 - D		29,7	2,0	4,1

# Determinação da Tensão de Aderência pelo Método de Pull-Off (EN 1542)

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

**REQUERENTE:**

**OBRA:**

**NATUREZA DO ENSAIO:** Determinação da tensão de aderência pelo método de Pull-Off (EN 1542).

**CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO DE ENSAIO:**

Designação	Nº de série	Capacidade de carga (kN)	Gama de medição (kN)	Divisão (kN)
Controls 58-C0215/T	S617406	16	0 a 16	0,001

**CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA A SER ENSAIADO:**

Zona de Ensaio	Identificação da camada	Designação	Tipo de camada	Espessura da camada (mm)	Notas
Viga V2 (face lateral)	A	Betão	Betão	-	Aproximadamente 2 anos de idade
Viga V2 (face inferior)	A	Betão	Betão	-	Aproximadamente 2 anos de idade
P10	A	Betão	Betão	-	Aproximadamente 2 anos de idade

## Determinação da Tensão de Aderência pelo Método de Pull-Off (EN 1542)

### BOLETIM DE ENSAIO Nº

#### RESULTADOS DO ENSAIO:

Os provetes foram distribuídos pela área onde era possível efectuar o ensaio.

Zona de Ensaio	Identificação do provete	Data de ensaio	Força de rotura (N)	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Tensão de aderência (MPa)	Tipo de rotura
Viga V2 (face lateral)	1	20-05-2011	-	-	-	-	Teste – cola fresca
	2		150	41	1320	0,11	Pelo betão
	3		220	40	1257	0,18	Pelo betão
	4		192	40	1257	0,15	Pelo betão
	5		98	37,5	1104	0,09	Pelo betão
Viga V2 (face inferior)	1	20-05-2011	521	42,5	1419	0,37	Pelo betão
	2		400	42	1385	0,29	Pelo betão
	3		254	43	1452	0,17	Pelo betão
	4		226	39	1195	0,19	Pelo betão
P10	1	20-05-2011	456	41	1320	0,35	Pelo betão
	2		437	41	1320	0,33	Pelo betão
	3		133	43	1452	0,09	Pelo betão
	4		632	40	1257	0,50	Pelo betão
	5		341	44	1521	0,22	Pelo betão

# Determinação da Tensão de Aderência pelo Método de Pull-Off (EN 1542)

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

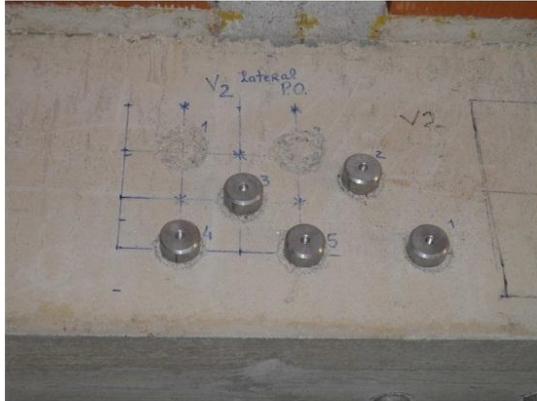


Fig. 1 – Viga V2 (face lateral).



Fig. 2 – Viga V2 (face inferior).

## Determinação da Tensão de Aderência pelo Método de Pull-Off (EN 1542)

BOLETIM DE ENSAIO Nº



Fig. 3 – Pilar P10.

# Determinação da Absorção de Água por Capilaridade (E 393)

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

**REQUERENTE:**

**OBRA:**

**NATUREZA DO ENSAIO:** Determinação da Absorção de água por capilaridade (E 393).

**MATERIAL APRESENTADO PARA ENSAIO:** 2 amostras de betão referenciadas por “Zona 1 – C” e “Zona 2 – B”.

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS PROVETES:**

Identificação do provete	Tipo de Betão	Tipo de Provete	Forma do Provete	Dimensões		Volume (m <sup>3</sup> )
				Diâmetro (m)	Altura (m)	
Zona 1 - C	-	Cortado	Cilíndrica	0,090	0,183	0,001
Zona 2 - B	-	Cortado	Cilíndrica	0,091	0,184	0,001

**RESULTADOS DO ENSAIO:.**

Os provetes foram extraído por caroteamento a condicionados ao ar até à data de ensaio.

Identificação do provete	Data de Fabrico	Data de ensaio	Idade do provete	Tempo (horas)	Absorção de água por Capilaridade (g/mm <sup>2</sup> )
Zona 1 - C	-	24/05/11	-	3	2,432E-02
				6	3,029E-02
				24	4,198E-02
				72	4,321E-02
Zona 2 - B	-	24/05/11	-	3	1,858E-02
				6	2,138E-02
				24	3,223E-02
				72	4,692E-02

# Determinação da Absorção de Água por Capilaridade (E 393)

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

Identificação do provete	Data de Fabrico	Data de ensaio	Idade do provete	Tempo (horas)	Altura da ascensão capilar (mm)			
					1	2	3	4
Zona 1 - C	-	24/05/11	-	3	115	107	116	135
				6	134	133	146	160
				24	183	183	183	183
				72	183	183	183	183
Zona 2 - B	-	24/05/11	-	3	80	75	80	83
				6	90	85	95	90
				24	140	130	140	135
				72	184	184	184	184

# Ensaio de Detecção de Armaduras

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

**REQUERENTE:**

**OBRA:**

**NATUREZA DO ENSAIO:** Ensaio de detecção de armaduras

**MATERIAL APRESENTADO PARA ENSAIO:** Foi realizada a detecção de armaduras em 4 Muros, 6 Vigas e 7 Pilares.

**RESULTADOS DOS ENSAIOS:**

Foi utilizado para ensaio um detector de armaduras da marca PROCEQ modelo Profometer 5+ que permite detectar a presença de armadura e determinar o diâmetro ( $\emptyset$ ) e recobrimento (rec.) da mesma até uma profundidade de aproximadamente 7cm.

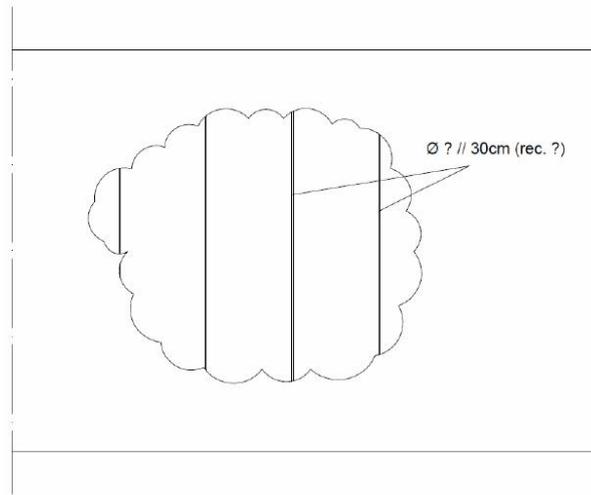
**Muros**

*Zona 1*

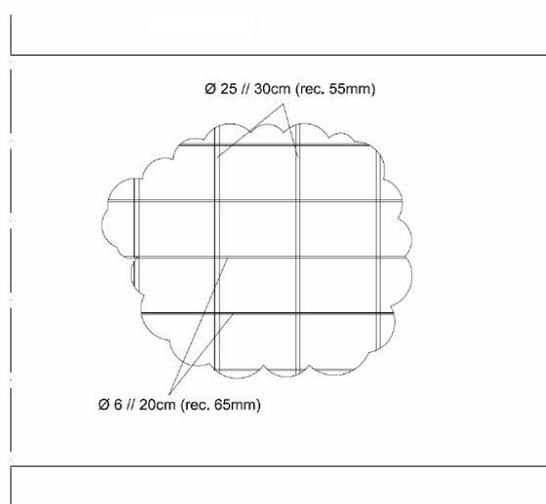
Na proximidade do pilar P3 não se detectou armadura no lado interior da cave. À direita do pilar P5 foi detectada a presença de armadura mas não foi possível determinar o diâmetro, possivelmente devido ao recobrimento (ver esquema abaixo).

## Ensaio de Detecção de Armaduras

### BOLETIM DE ENSAIO Nº



### Zona 2

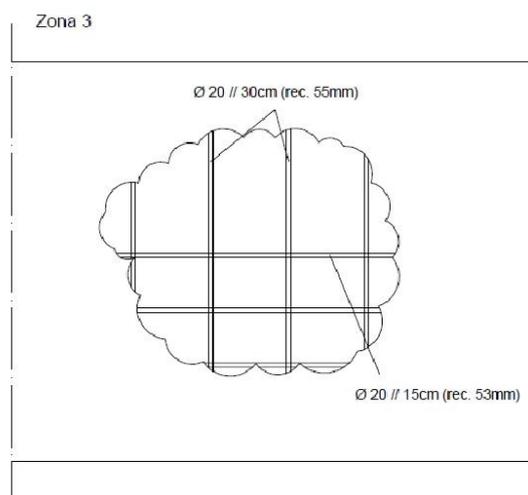


## Ensaio de Detecção de Armaduras

### BOLETIM DE ENSAIO Nº

#### Zona 3

Foi detectada armadura horizontal apenas na metade inferior do Muro, ver esquema. Entre o pilar P21 e o pilar P20 não foi detectada qualquer armadura.



#### Zona 4

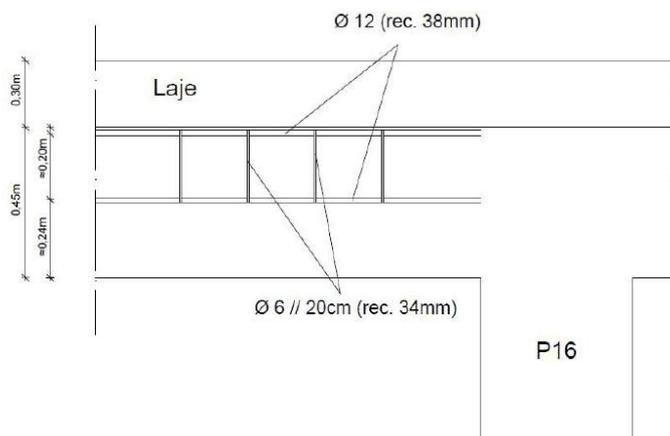
Na Zona 4 situada entre o pilar P15 e P20 não foi detectada qualquer armadura.

## Ensaio de Detecção de Armaduras

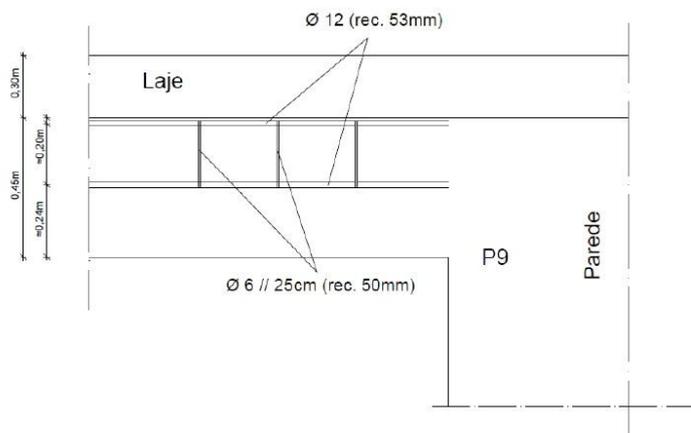
### BOLETIM DE ENSAIO Nº

#### Vigas

#### V1 (cave)



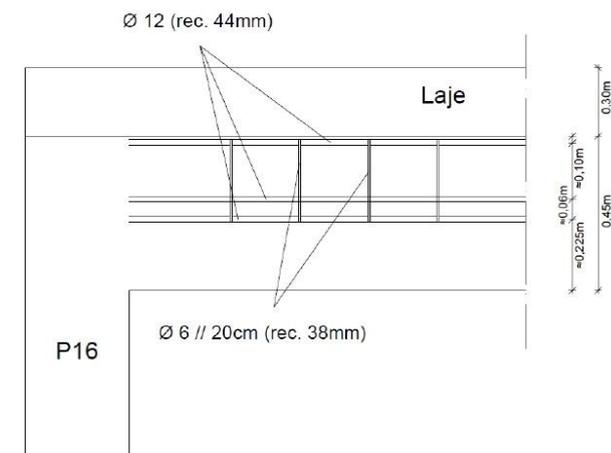
#### V2



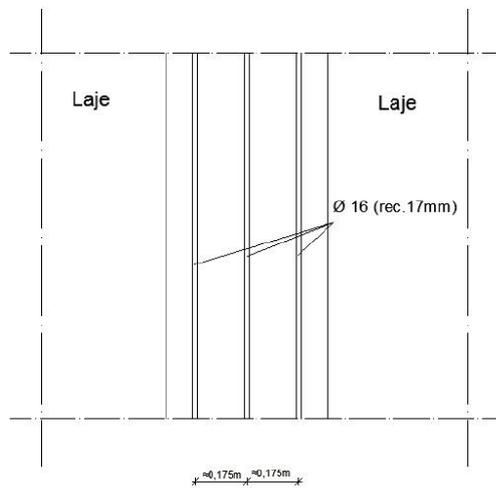
# Ensaio de Detecção de Armaduras

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

V3



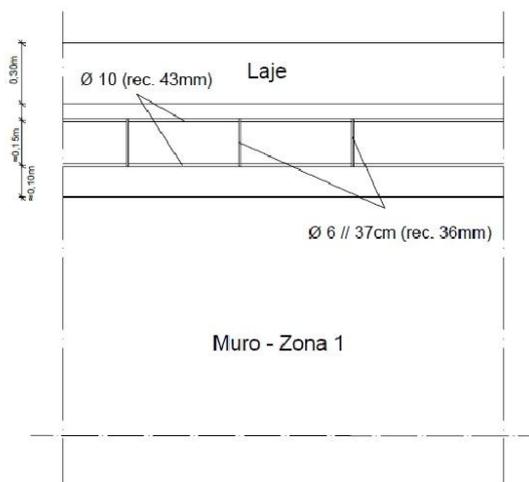
VE1



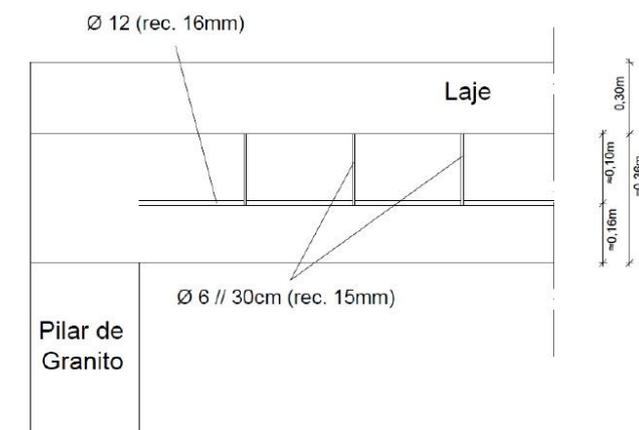
## Ensaio de Detecção de Armaduras

### BOLETIM DE ENSAIO Nº

CT1



V1 (R/Chão)

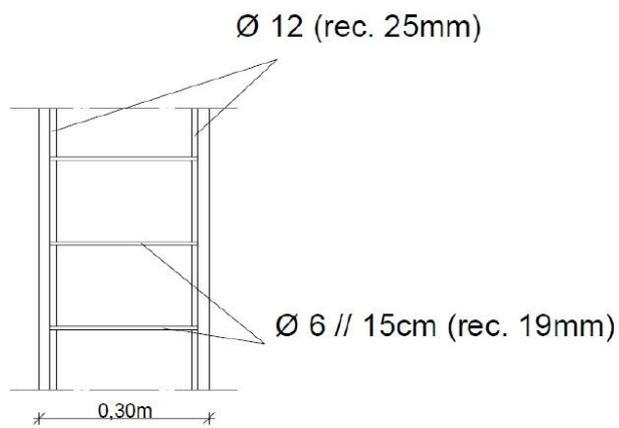


# Ensaio de Detecção de Armaduras

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

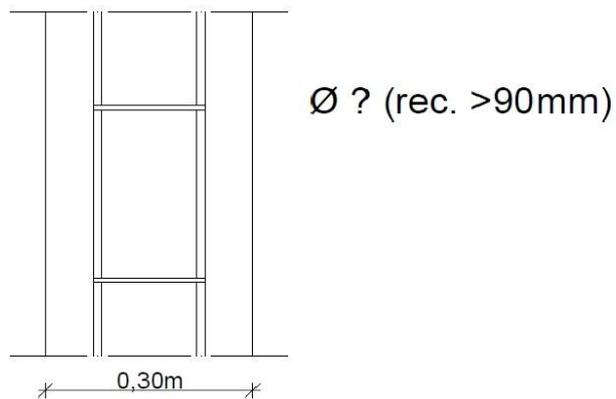
### Pilares

P3



P9

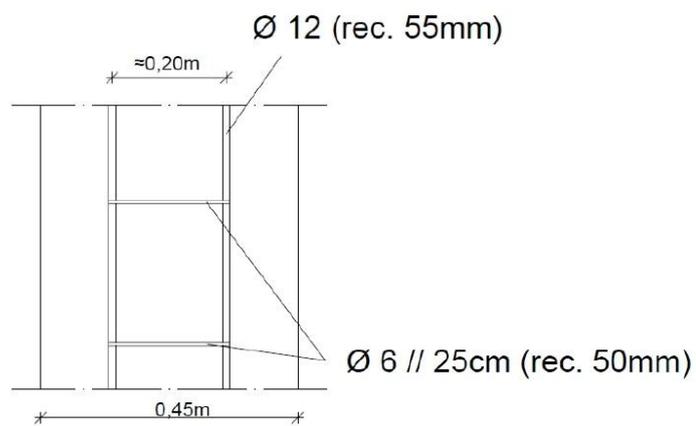
Não foi possível determinar o diâmetro



## Ensaio de Detecção de Armaduras

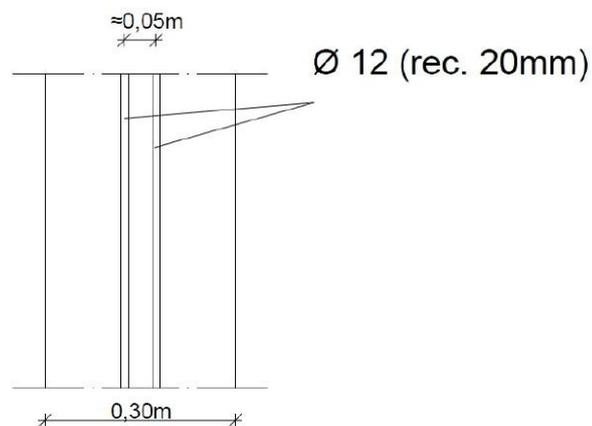
### BOLETIM DE ENSAIO Nº

P10



P12

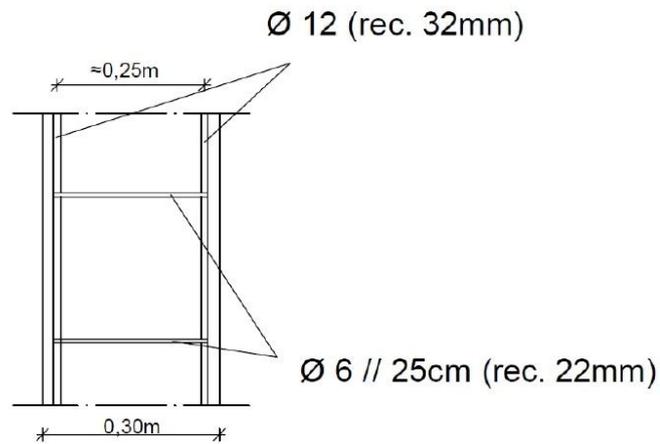
Não foi possível detectar a existência e dimensões das cintas devido á proximidade entre os dois varões.



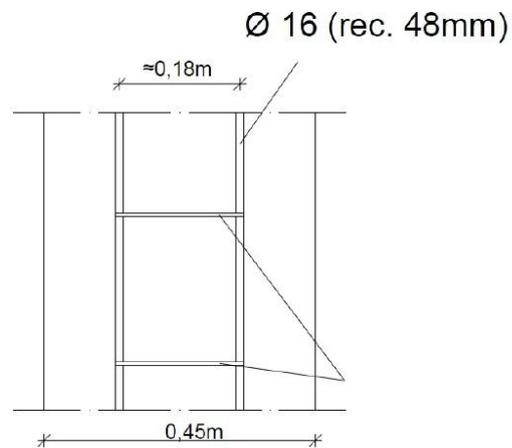
## Ensaio de Detecção de Armaduras

### BOLETIM DE ENSAIO Nº

P15



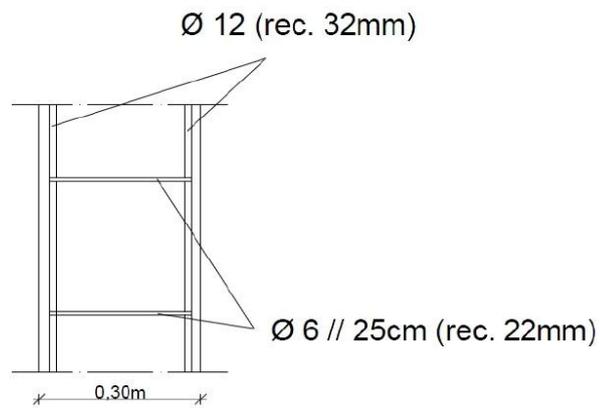
P16



## Ensaio de Detecção de Armaduras

### BOLETIM DE ENSAIO Nº

P22



**OBSERVAÇÕES:** Ver localização dos elementos analisados na planta em anexo.

# Ensaio de Detecção de Armaduras

## BOLETIM DE ENSAIO Nº

### ANEXO

Planta da Cave

