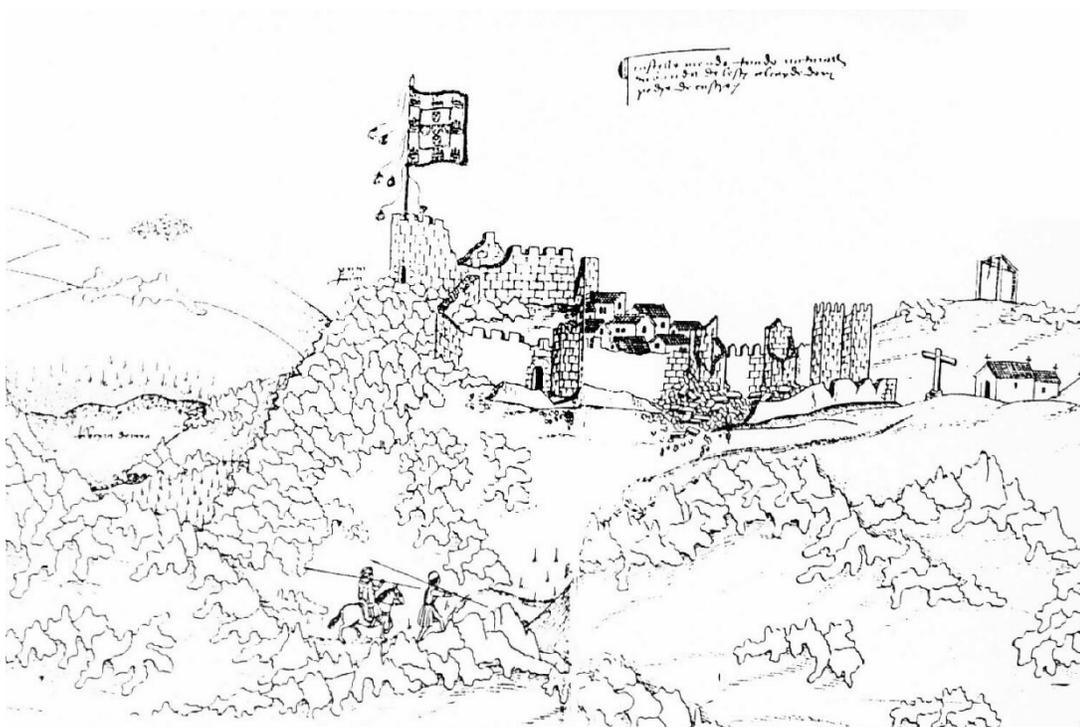




Diagnóstico,
Levantamento
e Controlo de Qualidade
em Estruturas
e Fundações, Lda.



**Inspección y diagnóstico de construcciones antiguas:
Conocer antes de intervenir**

Inspección y diagnóstico de construcciones antiguas:

Conocer antes de intervenir e construções antigas:

V. Córias e Silva, Eng. Civil, Oz, Ld^a.

www.oz-diagnostico.pt

Sumario

La necesidad de información sobre los edificios y monumentos históricos, con la intención de preparar intervenciones, en concreto en lo que se refiere a su modelado estructural. Revisión de algunas técnicas no destructivas y de baja intrusión actualmente disponibles, para el alzado de edificios, monumentos históricos, la caracterización de su comportamiento estructural y la evaluación de las propiedades mecánicas relevantes. Ejemplos de la aplicación de esas técnicas en monumentos y edificios históricos portugueses.

1. Introducción

A La sociedad dispone hoy en día de una amplia infraestructura, construída a lo largo de los siglos, utilizando diversos materiales. Parte de esa infraestructura ha adquirido importancia cultural y las intervenciones requeridas para su conservación apelan al conocimiento de la geometría, de las propiedades y del estado de conservación de las construcciones y de los materiales que las integran.

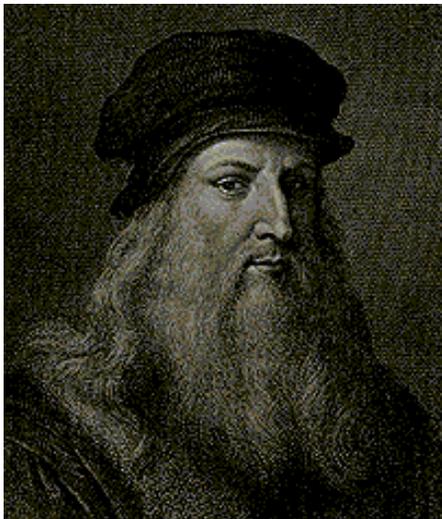
En los últimos años se ha asistido a una intensificación del esfuerzo en investigación para ampliar el alcance y la eficacia de las técnicas no destructivas o semi-destructivas de inspección, observación, monitorización y control de la calidad de las construcciones, sobre todo en las de cemento armado.

Estas técnicas pueden proporcionar datos importantes a los responsables de las intervenciones de conservación, reparación y recuperación, ayudando a:

- Recoger la información necesaria para evaluar las capacidades de comportamiento de la estructura;
- Si existiesen daños, deficiencias o anomalías, determinar sus causas, haciendo posible de este modo una intervención más adecuada;
- Evaluar correctamente la importancia y extensión de las degradaciones existentes;
- Adoptar las medidas correctoras menos intrusivas y más adaptadas a la situación;
- Definir y planear con tiempo suficiente las intervenciones;
- Monitorizar el comportamiento de esas intervenciones.

Paralelamente, esas técnicas pueden ser auxiliar precioso para el control de calidad, ya sea durante la fase de construcción, ya sea más tarde, cuando se someten a una intervención correctora, con el objetivo de garantizar la conformidad con las especificaciones, sobre todo con las que tienen como objetivo asegurar la necesaria durabilidad.

2. História



“Voi sapete le medicine, essendo bene adoperate, rendon sanità ai malati, e quello che bene le conosce, ben l’adopererà,... Questo medesimo bisogna al malato domo, cioè uno medico architetto,...”. Leonardo da Vinci, *Lettera ai fabbricieri del Duomo di Milano*, citado por Antonino Giuffrè [Giuffrè, A. 1988]

De la misma forma que, en la medicina, no se inicia el tratamiento - y mucho menos - una operación, sin un diagnóstico seguro, también en la intervención en una construcción deficiente se presupone que se conoce profundamente la misma y también los males que la afectan.

Por tanto, los trabajos de recuperación son, desde hace muchos años, precedidos por observaciones más o menos cuidadosas y precisas.

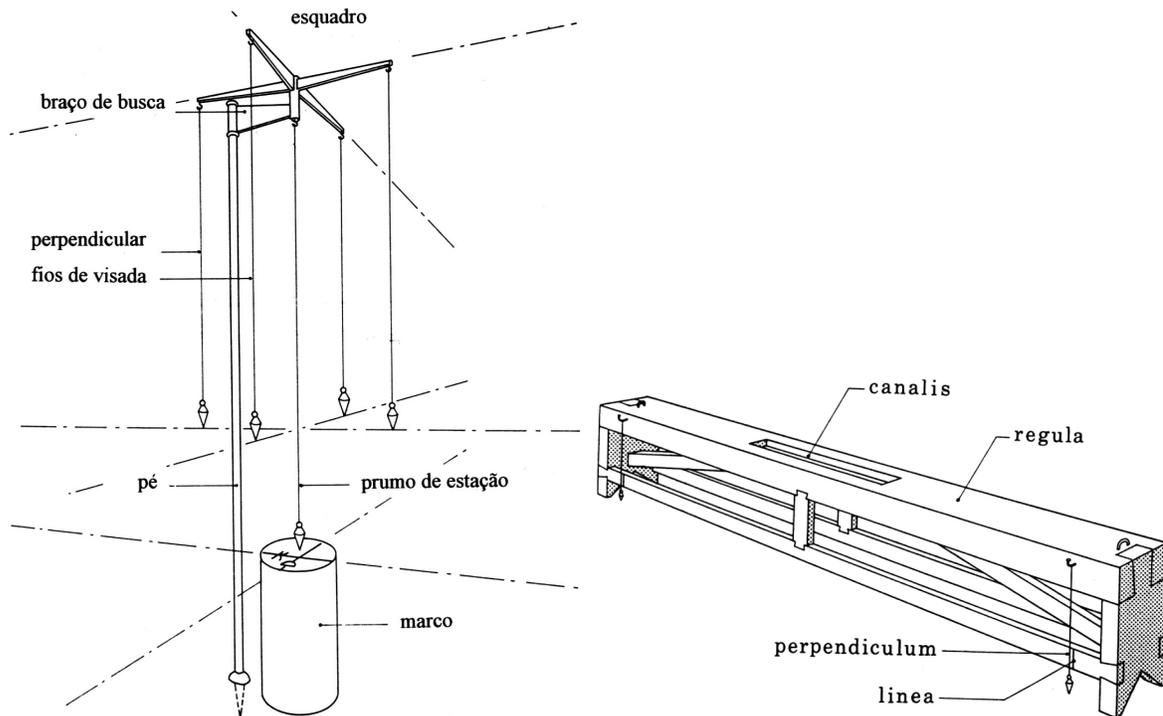


Fig. 1 – Instrumentos romanos para la observación de construcciones [Adam, J.- P., 1995]

[Macchi, G., 1997], menciona las observaciones y estudios sobre las medidas tomadas en la torre de Pisa en 1292, las discusiones en 1400 sobre la estabilidad de la catedral de Milán... Estas observaciones y estudios, necesariamente rudimentarios, consistían en el registro de la apariencia física, relacionada con anomalías estructurales: desplazamientos, asentamientos, inclinaciones, fisuras, exfoliaciones, etc ...

Leonardo da Vinci, en sus "escritos sobre arquitectura", trata con algún detalle la observación de las anomalías en las paredes y en los arcos, deteniéndose en los varios tipos de problemas encontrados y el respectivo diagnóstico, distinguiendo entre situaciones como los asentamientos diferenciales, las infiltraciones de agua en los cimientos, la retracción asociada al endurecimiento de los morteros de asentamiento, el encuentro entre construcciones de edades diferentes.

[Taupin, 1997] menciona los informes de antiguas inspecciones con recogida de mediciones para verificar la geometría de los edificios: en 1572, en Beauvais, la falta de aplomo de los cuatro pilares del crucero se registra con precisión. El seguimiento de la cúpula de Florencia desde su juventud es un ejemplo clásico. El equipamiento más frecuente es la plomada, el nivel de burbuja, el cordel.

Tanto cuanto se sabe, el primer caso documentado de una inspección estructural con el objetivo de reforzar un edificio para preservarlo durante siglos es el de la cúpula de San Pedro, en Roma, en 1742-1743. Los consultores, convocados por el Papa Benedito XIV, siguieron una metodología racional de diagnóstico, idéntica a la actual.

Un ejemplo de inspección deliberada (aunque utilizando procesos destructivos), es la que se llevó a cabo en el Panteón de París por Rondelet, para estudiar el colapso de los pilares, que permitió llegar a un diagnóstico: mala concepción y ejecución de las juntas horizontales entre las piedras (las piedras están en contacto sólo a lo largo de una cinta de anchura reducida), lo que origina grandes concentraciones de tensiones.

En Portugal, es famoso el viaje de inspección de las fortalezas que sam setuadas no extremo de portugall e castella ... (se encuentran situadas en el extremo de Portugal y Castilla) realizado por Duarte de Armas en el encuentro entre los siglos XV y XVI, por mandato de D. Manuel.

Duarte d'Armas [d'Armas, D. ca. 1510] realizó su misión recorriendo a caballo el itinerario de la mayoría de las poblaciones fortificadas de la zona fronteriza, desde Castro Marim hasta Caminha. Primero, durante el trabajo de campo, elaboró esbozos sobre papel, con perspectivas desde varios ángulos, plantas y pormenores de las murallas registrando los deterioros y las necesidades de obras de reparación. Después, con fundamento en las notas y esbozos, elaboró dos códigos, uno más rico en anotaciones, con cotas en varas (1,1 m) y palmos (0,22 m), otro más artístico y conseguido, al que añadió perspectivas de dos villas no fronterizas: Barcelos y Sintra.

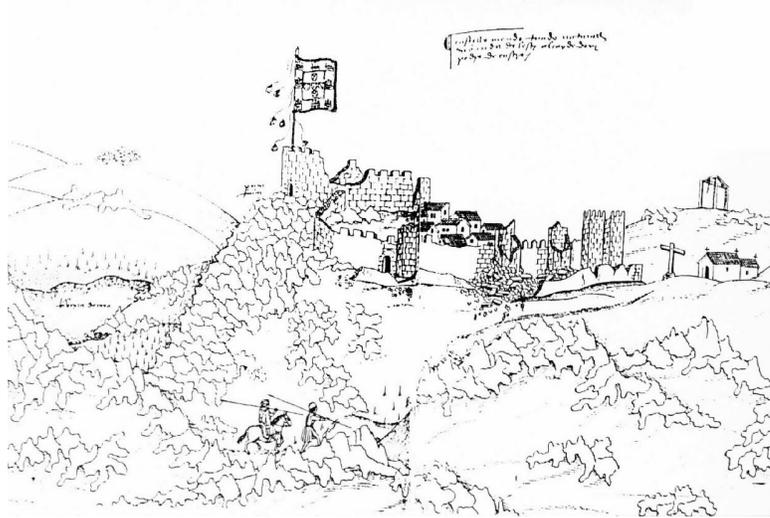


Fig. 2 – Perspectiva de Castelo Mendo, de Duarte de Armas, mostrando el mal estado de las murallas. Según Armando Cortesão, los pormenores de los deterioros son bastante exactos.

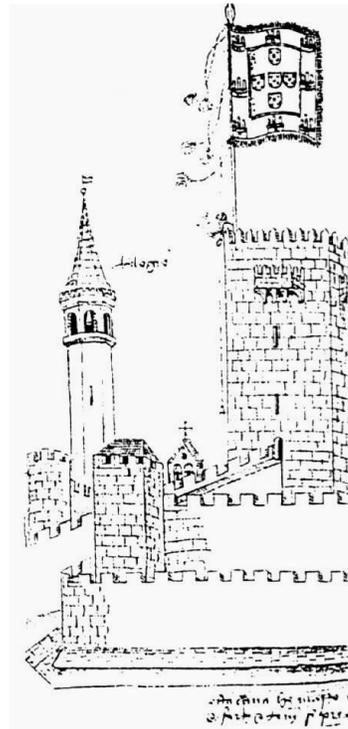


Fig. 3 – Castillo de Olivença. La figura representará al próprio Duarte de Armas en el acto de determinación de la altura de la torre (o de verificación de su plomada), con un hilo tensionado por medio de un estribo

Mestre Mateus do Couto, el Viejo, dedicó un capítulo de su tratado de 1631 a la descripción "*de alguns defeitos, e couzas, con ~q se deve Ter muita conta no edificar e o ~q disto se pode emmendar*". [Couto, M., 1631] (de algunos defectos y cosas con los que se debe tener atención al edificar y lo que de esto se puede corregir)

Es también conocida la inspección por él realizada a las puertas y murallas de Lisboa, en 1650 [Oliveira, E.F., 1891].

3. Técnicas de inspección y evaluación

El modelado de una estructura antigua para evaluar su situación actual y prevenir su comportamiento es, normalmente, una tarea muy compleja, que requiere ingenieros de estructuras experimentados y conocedores de esta área, dotados de herramientas de análisis modernas. No obstante, no será posible realizar un modelado seguro sin un conocimiento apropiado de las características relevantes del prototipo.

La tecnología actual ofrece a todos los especialistas involucrados una gama completa de ensayos, aparatos y técnicas, la mayoría de los cuales no destructivos o reducidamente intrusivos, que hacen posible la recogida de los datos necesarios para la construcción y validación del modelo.

Estos métodos pueden ser utilizados no sólo en las intervenciones de rehabilitación de la estructura, sino también durante y después de esa intervención, siendo el modelado de la estructura tan sólo una fase específica del proceso global. Pueden ser identificadas siete etapas, a las que pueden ser aplicados los métodos en foco (Cuadro I):

Cuadro I – Fases de la intervención en la que los métodos de inspección y observación son aplicables

Fase	Objetivo	Cód.
I) Antes de la intervención	1. Investigación y observación preliminar	IOP
IA) Antes del modelado	2. Caracterización de la geometría de la estructura y de la cimentación	CGE
	3. Caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales	PMM
IB) Durante el modelado	4. Validación del modelo	VM
II) Durante la intervención	5. Control de calidad	CQ
III) Después de la intervención	6. Evaluación de los efectos de la intervención	AEI
	7. Monitorización de la construcción.	MC

El Cuadro II resume los campos de aplicación de los principales métodos actualmente disponibles para el ingeniero de estructuras y para el arquitecto. No se han tenido en cuenta, en el cuadro, los ensayos de laboratorio. Se pueden, no obstante, recoger muestras de los elementos durante el trabajo de campo y someterlas a una gama adicional de ensayos realizados en laboratorio, ampliando la información disponible sobre las propiedades de los respectivos materiales.

Cuadro II - Principales ensayos, dispositivos y técnicas para intervenciones estructurales en edificios antiguos

Ensayos, dispositivos y técnicas	IOP	CGE	PMM	VM	CQ	AEI	MC
Elongámetro Mecánico				X			X
Boroscopia y Videoscopia	X	X			X	X	
Célula de carga				X			X
Corte semidestructivo			X				
Ensayo sónico y ultrasónico		X			X	X	
Extensómetro de corda vibrante				X			X
Extensómetro eléctrico				X			X
Extracción de una hélice	X		X				
Fisurómetro de Corda vibrante				X			X
Impulso mecánico			X		X	X	
Inclinómetro				X			X
Insp. Visual p. especialista	X						
Inspección visual de anomalías	X	X	X			X	
Cilindro plano			X	X		X	
Martillo de Schmidt pendular	X		X				
Medición de vibraciones				X		X	X
Medidor óptico de fisuras	X						
Péndulo y tele-coordinóm.				X			X
Penetración	X		X				
Penetrómetro y SPT			X				
Radar		X			X		
Resistografía			X				
Teodolito automático				X			X
Termografía		X					
Termopar y termómetro				X			X
Topografía y fotogram.		X					
Vibración forzada				X		X	X

4. Ejemplos

En las figuras 4 a 18 se muestran ejemplos de la aplicación de algunos métodos mencionados en el cuadro III, en edificios y monumentos portugueses, en la preparación de intervenciones de rehabilitación (no necesariamente de rehabilitación sísmica), con información sumaria de cada caso.

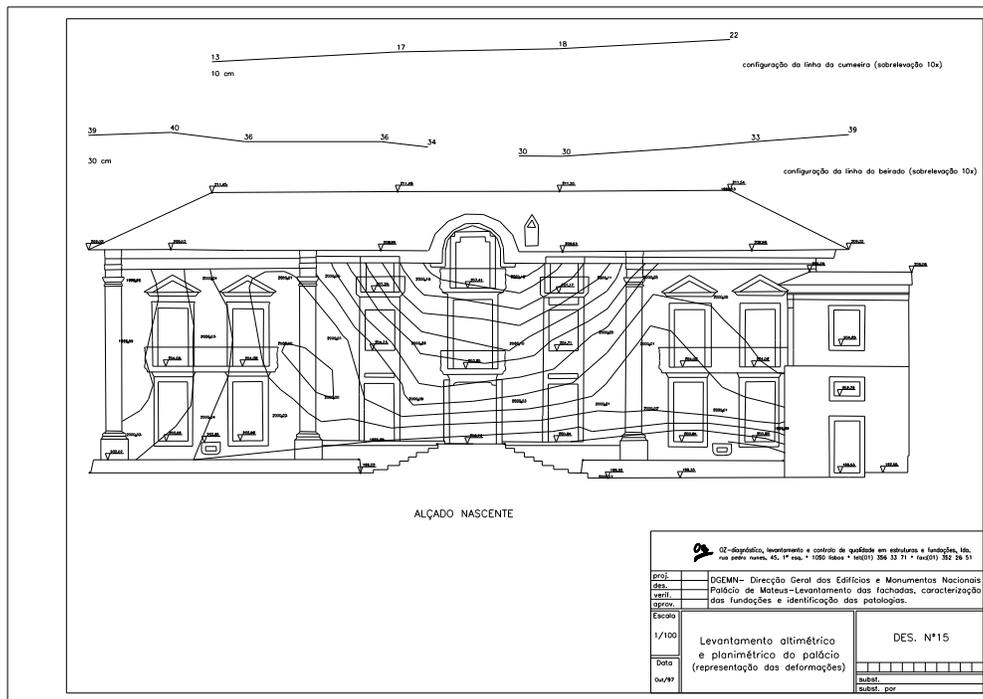


Fig. 4 - Palácio Mateus - Análisis y estudio de la deformación de la fachada Este, usando procesos topográficos

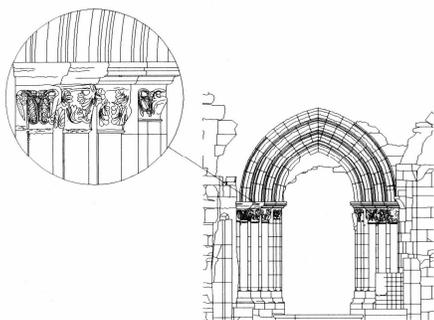
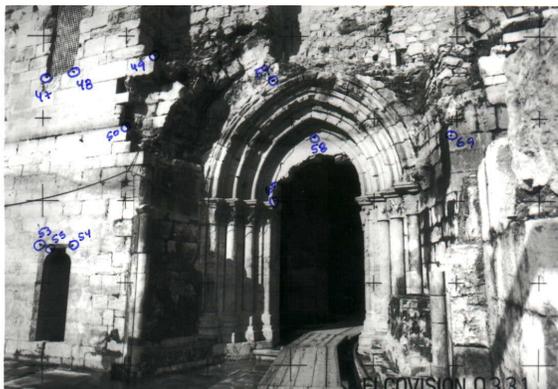


Fig. 5 - Monasterio de Santa Clara-Velha en Coimbra - Análisis y estudio de las paredes, usando fotogrametría

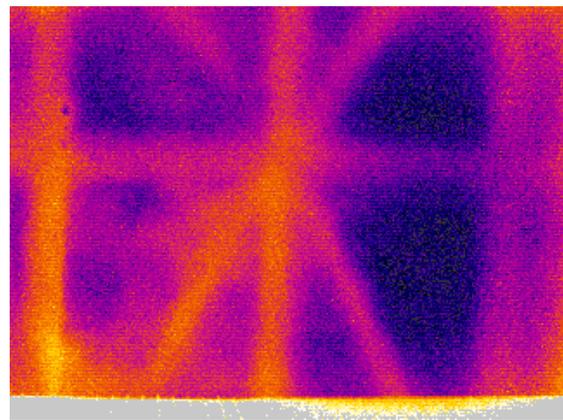
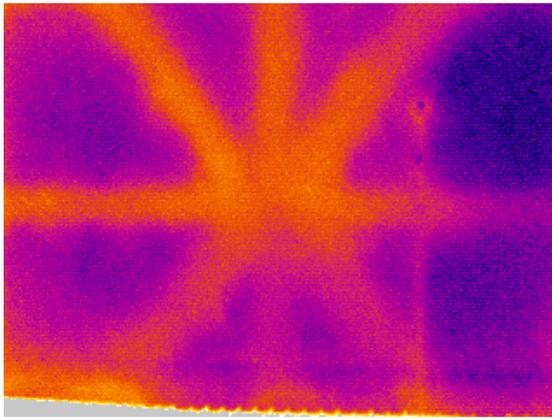


Fig. 6 – Análisis y estudio termográfico de elementos de madera existentes en el interior de paredes "pombalinas"



Fig. 7 – Castillo de S. Jorge, en Lisboa - Videoscopia

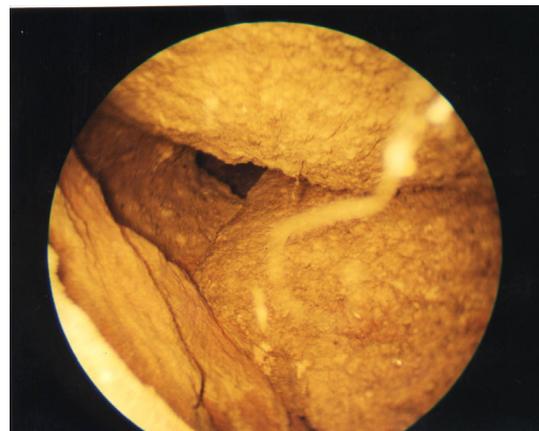


Fig. 8 – Imagen boroscópica del interior de una pared de mampostería



Fig. 9 – Iglesia de S. Francisco, Horta - Ensayo sónico

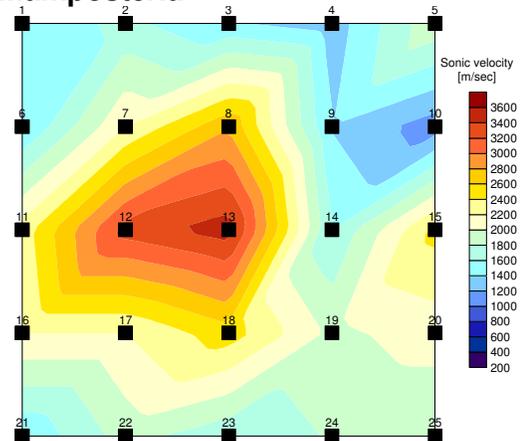


Fig. 10 – Iglesia de S. Francisco, Horta - Representación de las velocidades obtenidas en el ensayo sónico



Fig. 11 – Edificio de mampostería en Lisboa - Ensayo de cilindro plano doble para la evaluación de las propiedades mecánicas



Fig. 12 – Iglesia de Santa Clara-a-Velha - Ensayo de cilindro plano de simple efecto para la evaluación de las tensiones en los arcos.

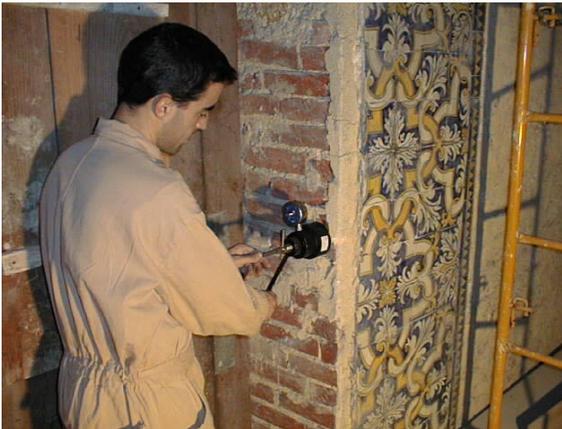


Fig. 13 – Ensayo de extracción de una hélice (determinación de la resistencia del mortero)



Fig. 14 – Ensayo resistográfico sobre elementos de madera



Fig. 15 – Edificio de mampostería en Lisboa - Ensayo de corte destructivo



Fig. 16 – Macizo de cimientos - Medición de vibraciones

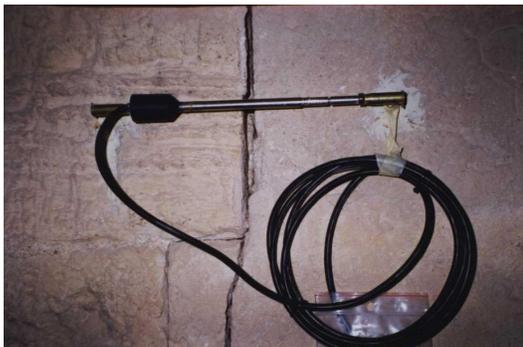


Fig. 17 – Convento de Cristo, Tomar - Medición de movimientos en fisuras con fisurómetro de cuerda vibrante



Fig. 18 - Edificio en la "Baixa de Lisboa" - Reconocimiento del terreno de la cimentación

5. Garantía de Calidad en la Inspección, Análisis-Estudio y Evaluación

Las actividades de inspección, análisis, estudio y evaluación son de una gran complejidad y alta multidisciplinaridad, siendo también trabajo para especialistas. Por otro lado, la evolución rápida en este campo ha traído consigo técnicas sofisticadas que entrañan un riesgo creciente de mal uso como resultado de la selección inadecuada de métodos, procedimientos equivocados o mala interpretación de los resultados.

En Portugal, hasta hace muy poco tiempo, estas técnicas eran a penas aplicadas por laboratorios estatales, departamentos especializados de universidades y organizaciones sin fines lucrativos, financiadas por el estado.

Varias circunstancias han llevado al surgimiento en el mercado de un número cada vez mayor de operadores privados, normalmente empresas pequeñas, con la intención de ofrecer esos servicios especializados. Entre esas circunstancias destacamos:

1. Creciente diversificación y vulgarización de los métodos no destructivos y reducidamente intrusivos.
2. Creciente importancia de las intervenciones de rehabilitación, en el contexto de la construcción civil, que exigen, dada su propia naturaleza, una recogida de datos más extensa.
3. Creciente preocupación con la garantía de la calidad de la obra
4. Capacidad insuficiente de las instituciones tradicionales vinculadas al estado para responder a las necesidades de la industria

La mayoría de estos métodos son nuevos o poco conocidos. Así, en Portugal, su uso no está, en la mayoría de los casos, regulado por leyes, códigos, especificaciones o manuales.

Por otra parte, la formación de los varios agentes involucrados - propietarios, proyectistas, ingenieros, constructores - no abarca estos métodos. La propia formación universitaria está más relacionada con las construcciones nuevas, sin conceder a los asuntos relacionados con la rehabilitación un peso proporcional a la creciente importancia de este segmento de actividad.

5.1. Garantía de Calidad

La prestación de servicios de inspección, análisis, estudio y evaluación fiables debe, por tanto, estar abarcada por un sistema de garantía de la calidad. En el contexto de la inspección y ensayos en edificios, Calidad significa la prestación de servicios adecuados al fin que se pretende alcanzar, según las especificaciones, a un precio razonable y en el plazo acordado.

La planificación y ejecución de inspecciones y ensayos en edificios son actividades complejas, que no pueden ser ejecutadas satisfactoriamente sin la cobertura de una política de calidad bien definida.

Para alcanzar los objetivos referentes a la calidad de un modo consistente los prestadores de estos servicios deben poseer un Sistema de Gestión de la Calidad en conformidad con la norma ISO 9001, certificado.

La garantía de calidad de la inspección y de los ensayos se basa, particularmente, en la existencia de:

- Un departamento técnico especializado, de personal adecuadamente formado, con perfil y formación apropiadas, en todos los niveles de la jerarquía de la empresa, y de una definición clara de las responsabilidades y de la autoridad.
- Una definición clara de los objetivos de cada caso particular y de un plan de calidad y seguridad
- Una selección adecuada de las técnicas que van a ser utilizadas
- Una rastreabilidad de los servicios ofrecidos (lo que se ha hecho, quién lo ha hecho, cuándo, dónde y porqué)
- Una ejecución del trabajo en condiciones bajo control
- Un adecuado control de los equipos de inspección y ensayo y de la implementación de planes de calibración
- Un control de las no conformidades y de la implementación de las acciones correctoras y preventivas que resultan de ellas
- Un registro de todas la informaciones relevantes para la calidad y un adecuado control de los documentos y de los datos

- Una revisión periódica y una evaluación de las condiciones y eficacia del sistema de calidad
- Un seguimiento de cada proyecto después de su conclusión.

4.2 Capacidad técnica del prestador de servicios

La implementación de un sistema de gestión de la calidad (SGQ "sistema de gestão da qualidade") sólo es posible si el prestador de los servicios posee una capacidad técnica apropiada, la cual se puede evaluar en cuatro niveles:

1. Estructura general de la empresa, con particular referencia a su organización y política de calidad
2. Departamento técnico con trabajadores estables
3. Recursos disponibles, sobre todo, personal cualificado y equipamiento especializado
4. "Know-how" interno, medido principalmente por la capacidad de la empresa para permanecer actualizada y por su posición en relación a la innovación.

Referencias bibliográficas

- Adam, J.-P. *La construction romaine*, Picard, Paris, 1995
- d'Armas, D. *Livro das fortalezas*, 1510, con introdução de Manuel da Silva Castelo Branco. Arquivo Nacional da Torre do Tombo e Edições Inapa, Lisboa, 1997.
- Couto, Mateus, o *Tractado de architectura*, 1631
Velho
- Giuffrè, A *Monumenti e terremoti - Aspetti statici del restauro -*
Multigrafica Editrice, 1988
- Macchi, G *Inspection methods and technologies*, Ismes, Bergamo 1997
- Oliveira, Eduardo *Elementos para a história do município de Lisboa*, Tomo V,
Lisboa 1891
- Freire de
Taupin, J.-L. *L'architecte: observer et comprendre pour conserver*. ISMES
Bergamo, 1997

Nota: este documento es propiedad de Oz - Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda., destinándose a la divulgación de los servicios prestados por esta firma. No puede ser copiado ni utilizado para otras finalidades sin autorización previa.