

# UTILIZAÇÃO DA MICROPERFURAÇÃO NA CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS HETEROGÊNEOS: INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ARGAMASSAS DE CAL

## THE USE OF MICRODRILLING TECHNIQUE TO CHARACTERIZE HETEROGENEOUS MATERIALS: INTERPRETATION THE RESULTS OF A LIME MORTAR

*Dória Costa*

*Departamento de Materiais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

*J. Delgado Rodrigues*

*Laboratório Nacional de Engenharia Civil (aposentado)*



### RESUMO

A avaliação da resistência por microperfuração tem grande utilidade na caracterização dos materiais que constituem as superfícies arquitectónicas e é particularmente relevante no estudo dos efeitos dos tratamentos de consolidação. Nas argamassas de baixa resistência, como as de cal aérea, verifica-se uma heterogeneidade muito elevada, atribuída aos valores característicos da matriz aglomerante e aos picos resultantes do corte ou arrancamento dos agregados. Os gráficos apresentam valores com dispersão muito elevada que dificulta ou impede a identificação das pequenas variações procuradas no estudo destes materiais, seja a perda de resistência por alteração, ou o incremento por consolidação.

Propõe-se uma forma simples de interpretar os resultados e que procura separar os valores que caracterizam a matriz aglomerante dos que caracterizam o agregado. Esta abordagem verificou-se útil na avaliação do efeito promovido pela consolidação inorgânica aplicada a uma argamassa de cal. A utilidade na análise dos perfis que permitem avaliar o efeito do tratamento em profundidade será objecto de trabalho futuro.

Palavras-chave: Dureza à perfuração / DRMS / Consolidação / Argamassas / Conservação

## ABSTRACT

The hardness in depth measured by drilling resistance is very useful to characterize the materials present in architectural surfaces and very relevant to analyse the effects of consolidation treatments aiming at restoring the cohesion of the materials in decayed zones. Low resistance mortars drilling profiles are very heterogeneous due to the presence of very high values attributed to the presence of binder and the peaks resulting from the cutting or tearing of the aggregates. The graphs show very high dispersion values that hinder or prevent the evaluation the loss of strength or the identification of small variations promoted by stone consolidation treatments by drilling technique if used in conventional way.

We propose a simple method to interpret the results based on the separation of the values of binding matrix of those characterizing the aggregate. This approach was found to be useful for the assessment of inorganic consolidation action applied on a lime mortar and future work will consider the utility of this approach for assessing the effect of the treatment in depth.

Keywords: Hardness by microdrilling / DRMS / Consolidation /Mortar / Conservation

## 1. INTRODUÇÃO

A caracterização física das superfícies com valor arquitectónico é um aspeto relevante na decisão sobre as medidas para a sua conservação e preservação. O estado de alteração e o efeito da aplicação de produtos com acção consolidante utilizados para aumentar o estado de coesão e evitar as perdas por erosão são alguns dos aspetos que importa caracterizar e quantificar para a tomada de medidas para a conservação das superfícies alteradas. Neste contexto, a determinação da resistência mecânica *in situ* com recurso a métodos não destrutivos ou pouco destrutivos e minimamente intrusivos tem sido um objectivo de há muito, levando à proposta e desenvolvimento de métodos específicos de ensaio aplicáveis nas áreas da conservação.

A técnica denominada por DRMS (“drilling resistance measuring system”) (Tiano et al. (2000)) utiliza a microperfuração para avaliar a resistência dos materiais em profundidade. Durante o ensaio, o equipamento de perfuração realiza um pequeno furo, tipicamente de 5mm de diâmetro, em condições controladas (velocidade de rotação e taxa de penetração) e regista, em cada ponto, a força necessária para perfurar o material até à profundidade seleccionada. Nestas circunstâncias, a reacção medida é uma função da resistência ao avanço e, por isso, uma medida da resistência do material.

O desenvolvimento do método foi feito tendo em vista o seu uso em materiais pétreos brandos ou de dureza intermédia, neles se incluindo uma vasta gama de rochas carbonatadas, como calcários e mármore. Em materiais brandos e com alguma homogeneidade a interpretação dos resultados está facilitada, mas nos materiais naturais a heterogeneidade é mais a regra do que a excepção pelo que é frequente a obtenção de perfis de resistência com valores de força muito variáveis. Em materiais com componentes abrasivos, como os arenitos, é necessário considerar a correcção dos valores obtidos para ter em conta a abrasão do elemento cortante, o que torna o tratamento dos resultados numa tarefa laboriosa (Rodrigues e Costa (2004)).

Apesar de algumas limitações, este método de caracterização mecânica está entre o escasso número dos que se podem utilizar em obra, pelo que o seu desenvolvimento e aperfeiçoamento, seja no hardware ou nas metodologias de interpretação, tem grande acuidade e são bem acolhidos pela comunidade técnica e científica, especialmente no ambiente das intervenções em património onde as metodologias alternativas são escassas.

Nas argamassas de baixa resistência, como as de cal aérea, verifica-se uma heterogeneidade acentuada entre os baixos valores da matriz aglomerante e os grandes picos devidos ao corte ou arrancamento dos agregados, mais resistentes. Os gráficos resultantes apresentam uma dispersão de valores muito elevada que, frequentemente, dificulta ou impede a identificação das pequenas variações que são procuradas no estudo destes materiais, seja a perda de resistência por alteração, seja o ganho, por consolidação.

O presente artigo propõe uma metodologia de interpretação que procura avaliar o efeito nas subpopulações de valores que caracterizam os ensaios obtidos neste tipo de materiais heterogêneos.

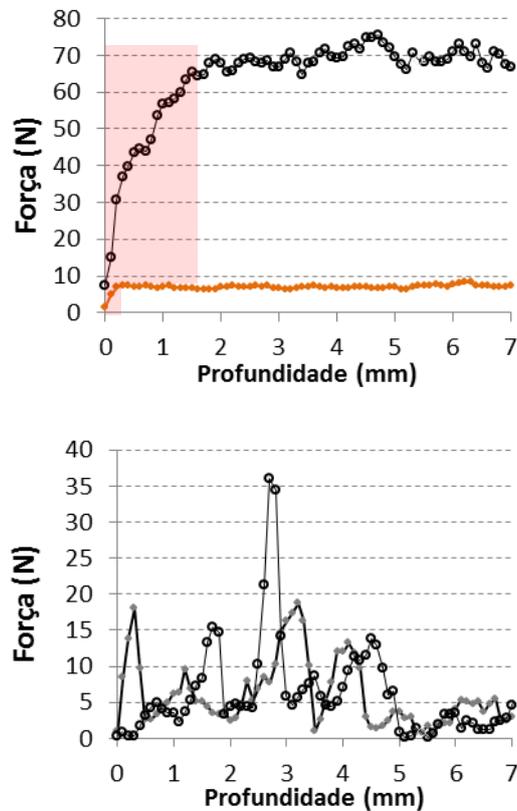
## **2. METODOLOGIA DE ENSAIO E DE ANÁLISE**

### **1.1. Registo e interpretação de perfis de resistência**

A Fig. 1 exemplifica perfis típicos de materiais pétreos consideravelmente homogêneos, embora de resistências distintas como é o caso de um mármore e um calcário muito brando, (gráfico superior) e perfis típicos obtidos numa amostra de argamassa de cal (gráfico inferior).

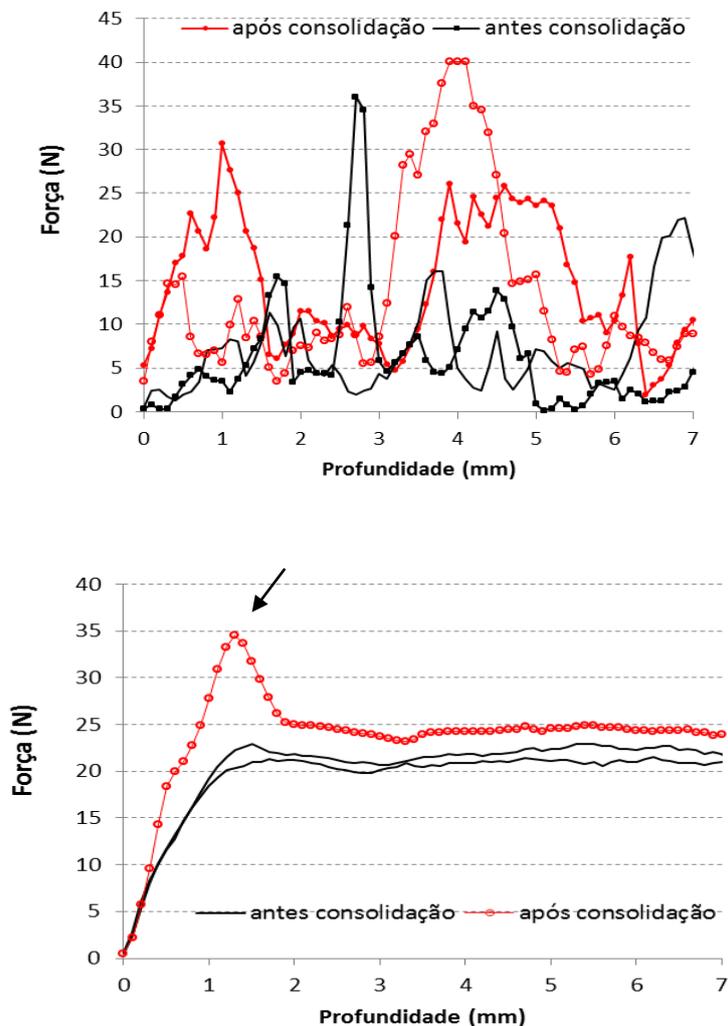
No caso da argamassa, a grande heterogeneidade dos valores medidos entre zero até cerca do 35 N limita a utilização do valor médio como forma de expressar a resistência do material. Mesmo assim, os valores médios (e respectivos desvios padrão) foram utilizados para comparar materiais que se revelavam diferentes noutras propriedades relevantes (Costa et al. 2004) e, mais recentemente, Nogueira et al. (2014) propõem a utilização da moda para expressar os resultados obtidos em argamassas.

No caso das variedades de pedra aqui exemplificados, para efeitos de quantificação dos valores de resistência são eliminados os valores de força iniciais atribuídos à entrada da broca (identificados na zona sombreada como os valores com “efeito de ponteira”, de origem instrumental) e calculados os valores médios do segmento horizontal, cerca de 68N e 6N no caso do mármore e do calcário respectivamente



**Fig. 1 – Exemplo perfis de perfuração em argamassa de cal aérea (em cima) e em duas rochas carbonatadas com resistências diversas (em baixo)**

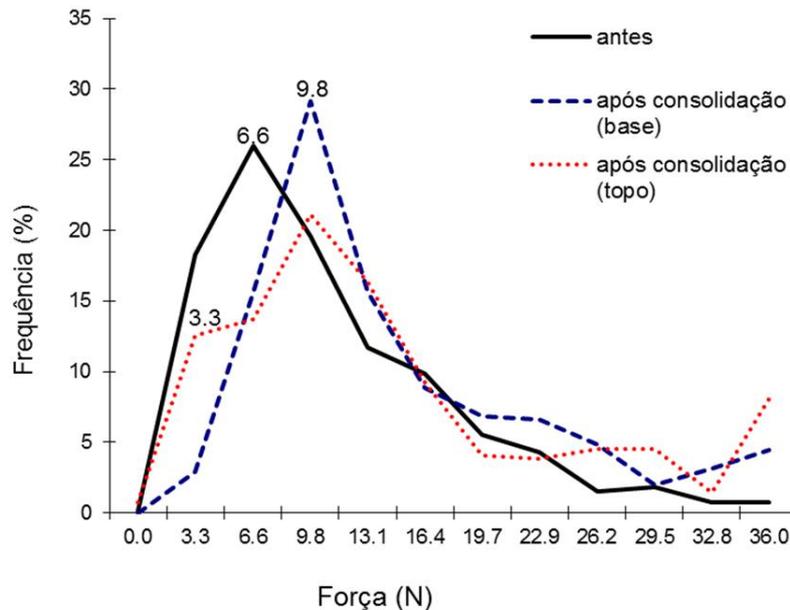
Os efeitos da consolidação podem ser variados e este método permite quantificar mas também informar sobre a forma como se distribui a consolidação em profundidade. No caso das argamassas, a apreciação direta dos efeitos de consolidação é difícil (Fig. 2, gráfico superior), contrariamente ao que acontece nos registos obtidos em materiais homogêneos cuja interpretação está simplificada. Na Fig. 2 (gráfico inferior) apresenta-se um exemplo obtido em materiais cerâmicos antes e após consolidação. Neste caso é claro que a distribuição do consolidante não é uniforme e originou uma zona superficial muito resistente (35N) que contrasta com a resistência do material em profundidade, inferior (cerca de 25N) mas também como uniforme.



**Fig. 2 – Exemplo perfis de perfuração em argamassa de cal aérea (em cima) e num cerâmico antes e após tratamento com produtos de consolidação (em baixo)**

No caso da consolidação da argamassa consolidada com uma nanocal, quando se procura avaliar o efeito de consolidação é na variação da matriz que tem mais sentido fazer a avaliação da acção. A composição da matriz, em geral de calcite, produzida pela carbonatação do hidróxido de cálcio do ligante, faz com que a resistência seja muito mais baixa comparativamente à do agregado, em geral de quartzo. Contudo e olhando para os registos é de admitir que a consolidação também modificou e aumentou direta ou indirectamente os valores atribuídos à presença dos constituintes mais resistentes, provavelmente porque tornou mais resistente a sua ligação com a matriz.

A forma mais direta de avaliar este efeito proporcionado pela consolidação consiste em utilizar a representação das distribuições dos valores das forças (Fig.3, Costa e Rodrigues, 2011)).



**Fig. 3 – Efeito da consolidação de uma argamassa de cal com uma nanocal []**

A interpretação destes resultados permite considerar que a consolidação não modificou a assimetria da distribuição dos valores mas proporcionou um efeito global de cerca de 3 N, embora nas zonas mais afastadas da frente de tratamento os resultados indiquem uma consolidação mais heterogénea, devido à permanência de zonas com valores de resistência característicos do material antes tratamento.

Olhando com mais pormenor registos obtidos na série ilustrada na Fig. 1 (gráfico inferior) na argamassa antes de tratamento é possível verificar que existe uma gama de valores com alguma constância ao longo dos dois furos (utilizados como exemplo) que poderíamos situar abaixo dos 5 N. Sem grande especulação poderíamos atribuir estes valores à fase carbonatada, separando-os das gamas acima de 10 N que caracterizariam a fase mais resistente ligada à presença dos agregados de quartzo. Como é natural, algumas medições afectam simultaneamente a matriz e o agregado, pelo que todos os valores intermédios podem ser obtidos.

Em circunstâncias normais será de esperar que qualquer processo de alteração que conduza à perda de resistência deverá ter o seu maior impacte na fase inferior aos 5 N, e qualquer acção de consolidação que se aplique terá o seu efeito maior também nessa

mesma gama de valores pelo que tem sentido fazer uma análise dedicada nestas gamas de valores.

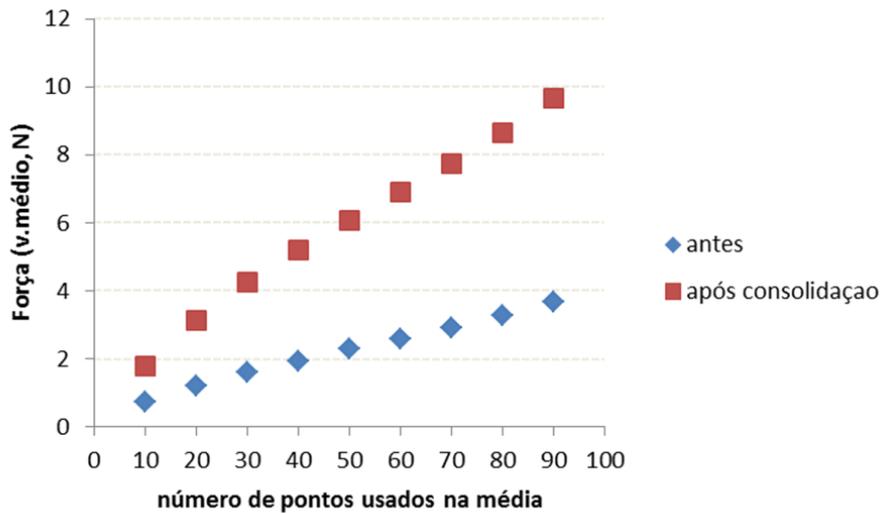
### **1.2. Proposta de nova metodologia**

A metodologia que aqui se apresenta propõe separar os valores mais ligados à matriz carbonatada dos que serão mais afectados pela elevada resistência dos agregados para, desta forma, melhor seguir quaisquer variações que se produzam nessa matriz, seja por alteração, seja por consolidação.

Para manter rigor estatístico, os furos objecto da comparação deverão ter exactamente a mesma profundidade. Quando isso, por qualquer razão, não acontece deverão ser tomados dados até à profundidade que seja comum a todos os furos. Furos excessivamente curtos poderão ter de ser excluídos para manter o rigor da análise.

De seguida, os valores de cada furo são ordenados por ordem crescente de valor da força de perfuração. Desta forma, a sequência de apresentação deixa de ter correspondência directa com a profundidade, sendo pois a análise feita de forma global para toda a espessura considerada. Com os dados ordenados fazem-se as médias de todos os valores por grupos sucessivamente mais amplos. Por exemplo, primeiros dez valores, primeiros vinte, trinta, etc. O número de grupos pode ser afinado face à evolução das médias e à profundidade relevante para análise. Como o equipamento toma dez medições por milímetro de avanço, avançar por grupos de dez valores significa adicionar 1 mm em cada degrau da análise das médias.

Na Fig. 4 apresentam-se os resultados de uma comparação feita entre furos realizados na argamassa de cal antes e após tratamento de consolidação, cujos resultados foram anteriormente apresentados seguindo uma metodologia de interpretação distinta, tal como apresentado anteriormente (Fig.3).



**Fig. 4 – Comparação das forças médias de resistência à perfuração de argamassa de cal antes e após consolidação com uma nanocal**

A metodologia, tal como apresentada, permite identificar se existe ou não acção consolidante, mas não permite determinar até que profundidade essa acção se manifesta. O desenvolvimento desta metodologia vai procurar tratar a informação de forma a comparar os resultados em profundidade e assim conseguir evidenciar os efeitos da consolidação em profundidade no caso dos materiais heterogêneos.

### 3. CONCLUSÃO

Os resultados das medições da resistência à perfuração obtidos em argamassas de cal brandas são caracterizados por valores de resistência muito variáveis. O uso da distribuição dos valores é útil mas esta representação nem sempre permite identificar as características das zonas mais bandas (matriz) onde se procura o efeito da consolidação.

O método proposto é simples e consiste no cálculo do valor médio em segmentos da distribuição após ordenação dos valores das forças. A aplicação a um caso concreto mostrou a separação das linhas correspondentes às duas fases de tratamento e identificou o efeito da acção consolidante. O desenvolvimento desta abordagem permitirá, no futuro, avaliar a possibilidade do seu uso para avaliar os resultados em profundidade, ou seja as características e distribuição do consolidante em profundidade no material tratado.

### 4. REFERÊNCIAS

Tiano, P., Filareto, C., Ponticelli, S., Ferrari, M., Valentini, E. 2000. Drilling force measurement system, a new standardisable methodology to determine the “superficial hardness” of

- monument stones: prototype design and validation. *Int. Journal for the Restoration of Buildings and Monuments* 6 [2], 115 -132. DOI:10.1515/rbm-2000-5461.
- Delgado Rodrigues J. e Costa, D. 2004. A New Method for Data Correction in Drill Resistance Tests for the Effect of Drill Bit Wear. *International Journal for Restoration*, 10 [3], 219-236. DOI: 10.1515/rbm-2004-5855.
- Costa, D., Magalhães, A., Veiga, M.R. 2012. Characterization of mortars using DRMS: tests on field panels samples. In: Válek J, Groot C, Hughes J, editors. *Proceedings historic mortars: characterisation, assessment and repair*. Rilem Bookseries 7; 2012. p. 413–22.
- Nogueira, R., Ferreira Pinto, A.P. , Gomes, A. 2014. Assessing mechanical behavior and heterogeneity of low-strength mortars by the drilling resistance method, *Constr. Build. Mater.* 68 757–768.
- Costa, D., Delgado Rodrigues, J. 2012. Consolidation of a porous limestone with nanolime, *Proceeding of 12th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, October 22-26, Columbia University, New York (2012). Available in <http://iscs.icomos.org/pdf-files/NewYorkConf/costdelg.pdf>