

# CARACTERIZAÇÃO DO ADOBE EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES NA REGIÃO DE AVEIRO

**Humberto Varum, Tiago Martins\* e Ana Velosa**

Departamento de Engenharia Civil

Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, PORTUGAL

Tel.: +351 234 370938; Fax: +351 234 370094; E-mail: hvarum@civil.ua.pt

**Tema 4:** Investigação, Ensino e Formação/capacitação/transferência

**Palavras-chave:** Adobe, Caracterização Mecânica, Conservação

## Resumo

O adobe em Portugal encontra-se sobretudo em construções antigas da região de Aveiro. A reabilitação ou reforço destas construções, algumas delas com reconhecido interesse histórico-arquitectónico, tem vindo a ser negligenciada. Desta inoperância generalizada resultou o estado actual de dano estrutural pronunciado e, em muitos casos, o limiar da ruína, no qual se encontram a maioria das construções existentes e que deixa antever, a breve prazo, a entrada em colapso de muitas destas.

Neste contexto, torna-se urgente, e absolutamente necessário, avançar com recursos financeiros e humanos na reabilitação e reforço deste importante legado.

Uma grande dificuldade para os técnicos que trabalham na reabilitação deste tipo de construções reside na falta de conhecimento acerca do comportamento mecânico do adobe e das paredes de adobe. Neste sentido, a fim de caracterizar o comportamento estrutural daquelas construções, foram investigadas as características mecânicas do adobe.

Pretendeu-se com este estudo caracterizar o comportamento mecânico de blocos de adobe representativos da construção na região de Aveiro. Para tal, foram recolhidas amostras de adobe de construções seleccionadas, muros e casas. Os provetes cilíndricos extraídos destas foram ensaiados à compressão simples e à compressão diametral, obtendo-se a sua resistência à compressão e à tracção, respectivamente.

Tendo em conta que os blocos de adobe eram feitos fundamentalmente com solos arenosos de natureza bastante argilosa, uma caracterização básica da sua composição foi ainda efectuada, pela análise granulométrica por peneiração seca dos seus constituintes.

A deterioração destes materiais deve-se geralmente à acção da água. Assim, a determinação da absorção de água, bem como a capacidade de secagem do adobe e do reboco é essencial.

Este artigo descreve os ensaios realizados e apresenta os resultados obtidos, discutindo-os.

## 1. Introdução

O estado actual de ruína e abandono no qual se encontram a maioria das construções em adobe no nosso país, e em Aveiro em particular, deixa antever a breve prazo o colapso de muitas delas.

Regra geral, a opção pela demolição tem sido a solução encontrada para estas construções, porém, nos últimos anos, tem-se assistido, pontualmente, ao recurso à reabilitação e reforço das construções em adobe por parte de alguns proprietários sensibilizados com a sua salvaguarda e preservação.

Tal mudança de atitude, associada a um crescente interesse na reabilitação deste tipo de edificado manifestado por parte de municípios e outras entidades públicas, através da realização de projectos e programas de apoio à construção em adobe, tem levado a que um conjunto alargado de agentes se comecem a interessar, de novo, pela construção em adobe com vista à realização de obras de reabilitação e reforço destas construções.

Tornam-se, porém, recorrentes as dificuldades encontradas, por parte dos agentes envolvidos neste tipo de projecto, na busca de informação acerca das propriedades e caracterização mecânica do comportamento do adobe.

Destas constatações, surgiu o interesse em realizar este estudo, motivado pela insuficiente investigação e o escasso conhecimento existentes acerca das propriedades mecânicas do adobe como sejam, por exemplo, o seu módulo de elasticidade ou a sua resistência à compressão e tracção.

Com este trabalho pretendeu-se criar uma base de resultados que sirvam de apoio à realização de projectos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente, através da caracterização mecânica dos blocos de adobe da região de Aveiro.

Pretende-se, assim, estudar o comportamento deste tipo de material de forma a criar uma base que permita estudar soluções de melhoria das características mecânicas das alvenarias e soluções para a correcção de deficiências do seu comportamento estrutural.

## **2. Enquadramento histórico**

Em Portugal, a construção em terra, como elemento estrutural, é predominante no sul e centro litoral. O norte e centro interior são dominados pela alvenaria de pedra. A técnica construtiva mais utilizada no sul é a taipa.

Relativamente ao adobe e apesar da sua enorme heterogeneidade, confirmada pelas inúmeras tipologias identificadas, a maioria das construções encontram-se confinadas sobretudo ao centro litoral.

A construção em alvenaria resistente de adobe encontra na região de Aveiro a sua maior implantação. Impulsionada em finais do séc. XIX, teve o seu auge na primeira metade do séc. XX, vindo a ser gradualmente abandonada nos anos sessenta até ao seu desaparecimento como técnica construtiva.

Actualmente são, ainda, vários os exemplos de património histórico, sobretudo ligados à Arte Nova, movimento artístico e arquitectónico dominante à época, edificados em alvenaria de adobe na região.

Do mesmo modo, pese embora o estado de degradação patenteado, são inúmeros os exemplos de edifícios de habitação e serviços, alguns de dimensões consideráveis, que continuam a satisfazer as funções para as quais foram projectados, atestando a longevidade do adobe como material de construção.

O emprego deste material, na região, era feito sobretudo na construção de casas e muros, embora lhe sejam conhecidas outras utilizações como sejam a construção de muros de suporte de terras ou até mesmo de poços de água. De tal forma se faz ainda sentir a presença da construção em adobe na região que, segundo dados do município de Aveiro, cerca de 20-25% da construção existente na cidade, actualmente, é de adobe enquanto que referindo-se à região a percentagem sobe para os 35-40%.

Regra geral, os blocos de adobe eram realizados com terra arenosa húmida, que depois de amassada e metida em formas, era seca ao sol. Para o melhoramento do seu desempenho mecânico era relativamente frequente a inclusão de cal e por vezes de palha. As dimensões correntes, pese embora a existência de inúmeras tipologias identificadas, variavam, sobretudo, consoante o uso, sendo de aproximadamente 0.45x0.30x0.15m quando utilizados em casas e de 0.45x0.20x0.15m quando utilizados na construção de muros.

## **3. Selecção de amostras e execução de provetes**

A grande variabilidade de adobes existentes na região tornam-no num material com uma enorme heterogeneidade das suas propriedades mecânicas. Esta dificuldade foi tida em consideração na selecção de um conjunto de amostras representativas das várias tipologias de adobe usadas na região de Aveiro. Para tal, as amostras de muros e casas seleccionadas, mais concretamente provenientes de três casas e cinco muros,

foram recolhidas em distintos locais de forma a caracterizar o mais largamente possível a variedade de adobes existentes na região.

Para facilitar a identificação e análise os provetes foram numerados e seriados, segundo a sua proveniência, diferenciando, respectivamente, amostras de casas e muros com a notação: C<sub>i</sub> e M<sub>i</sub>, onde i representa o número da obra, sendo que a esta é adicionado um índice j, representando o número da amostra, sempre que é feita referência específica a um provete concreto.

Foi sobretudo na cidade de Aveiro que a maior parte das amostras foi recolhida com excepção das amostras de uma casa (C<sub>03</sub>) e de um muro (M<sub>05</sub>) que foram recolhidas no norte da região de Aveiro, nas localidades de Bestida e Murtosa, respectivamente.

As amostras recolhidas eram constituídas, sempre que possível, por blocos inteiros de adobe, e quando possível foram recolhidas amostras de argamassa de junta e de reboco.

Com excepção dos blocos provenientes do muro M<sub>03</sub>, foi possível extrair, para todas as outras amostras, carotes cilíndricos com diâmetro aproximado de 90mm. Estes foram posteriormente cortados com uma altura igual a duas vezes o diâmetro, procedendo-se à regularização das faces de topo dos provetes de forma a estarem perfeitamente perpendiculares ao seu eixo e normalizadas as suas dimensões com o objectivo de serem ensaiados em condições similares e de acordo com as normas dos ensaios de compressão.

De realçar, que a aparência dos provetes obtidos é, desde logo, notoriamente heterogénea, o que se virá a reflectir nos valores de resistência obtidos, assim como, na composição granulométrica, o que se comprova na apresentação dos resultados obtidos.

#### **4. Caracterização granulométrica**

Uma vez que os blocos de adobe eram feitos fundamentalmente com solos arenosos de natureza bastante argilosa, uma caracterização básica da sua composição foi efectuada pela análise granulométrica por peneiração seca dos constituintes das amostras.

Do traçado das curvas granulométricas, de amostras de quatro das construções em estudo, ressaltam dois factos relevantes:

- Somente os agregados que compõem os adobes provenientes da casa C<sub>01</sub> foram classificados como areia média. Quanto aos restantes adobes caracterizados, designadamente, os muros M<sub>01</sub>, M<sub>02</sub> e M<sub>03</sub>, foram classificadas como areias grossas.
- Relativamente ao muro M<sub>03</sub>, a elevada fracção de agregados de dimensões superiores a 2.5mm, inviabilizou que a extracção de carotes regulares destes adobes pudesse ser feita, uma vez que o dano e irregularidade destas carotes aquando da sua extracção era considerável impossibilitando assim que estas amostras pudessem ser ensaiadas e caracterizadas.

#### **5. Ensaios mecânicos**

Um total de 40 provetes cilíndricos foi submetido a ensaios destrutivos de resistência mecânica, dos quais, 18 eram provenientes de amostras de casas e 22 de muros.

As amostras divididas em dois grupos de ensaios distintos foram, com recurso a uma prensa mecânica, ensaiadas à compressão simples (Fig.1-a), e à compressão diametral (Fig.1-b) como ilustrado nas fotos.

Adiante, são apresentadas as curvas de comportamento obtidas nos ensaios que possibilitam a análise da deformação dos provetes em função da tensão aplicada.

Para a casa C\_01 foi adicionalmente desenvolvido um ensaio de resistência à compressão simples da sua argamassa de reboco. Neste caso, o ensaio foi diferente dos anteriores uma vez que, dadas as reduzidas dimensões da argamassa de reboco foram utilizadas duas chapas de aço, graduadas com 4 centímetros de lado, colocadas uma de cada lado da amostra da argamassa nas quais foi aplicado o esforço transmitido pelos pratos da prensa.

## 6. Resultados dos ensaios

A realização dos ensaios mecânicos de compressão simples e diametral permitiu a obtenção de resultados referentes às resistências de compressão e tracção do adobe, respectivamente.

Foi igualmente possível estimar valores referentes ao módulo de elasticidade e à deformação correspondente à resistência de pico das amostras ensaiadas. Contudo, tal só foi possível graças ao registo das curvas de comportamento tensão-deformação de cada provete. Na Fig.2 são apresentadas as curvas de comportamento obtidas nos ensaios de compressão simples e compressão diametral, para as amostras de muros e casas.

Na Fig.3 encontram-se sintetizados, para cada ensaio, os resultados obtidos. Destes destacam-se os provetes referentes ao muro M\_05 dos quais resultaram os valores mais elevados de resistência à compressão e tracção, 1.7MPa e 0.6MPa respectivamente. Em oposição, o muro M\_01 apresentou o pior desempenho em termos de resistência à compressão, inferior a 0.8 MPa, cabendo aos provetes do muro M\_04 a resistência de tracção mais baixa, 0.2 MPa.

Para o provete M\_01\_05, os valores obtidos não foram conclusivos, pelo que, estes resultados não foram incluídos na tabela sumária.

Para a casa C\_01 foi, igualmente, ensaiada a resistência à compressão da sua argamassa de reboco, resultando como valor médio de resistência 2.8 MPa. A obtenção deste valor para a tensão de rotura da argamassa é bastante significativa, uma vez que, a sua resistência é superior à obtida para os blocos de adobe. Uma possível explicação para este facto reside na forma como era realizada a argamassa de reboco, na qual a percentagem de cal incluída era, normalmente, superior à utilizada na feitura dos blocos de adobe, o que lhe conferia uma maior resistência mecânica.

Finalmente, na Fig.4 são apresentados os resultados referentes ao estudo da correlação entre os valores médios de resistência à tracção e compressão obtidos para cada obra. Neste gráfico, foram igualmente incluídos os valores das resistências de tracção e compressão oriundos do estudo de Vargas *et al.* [1].

Neste estudo, cujo objectivo era o de correlacionar a resistência da alvenaria de adobe com a as características fundamentais do solo originário, foram seleccionadas amostras de solos de seis zonas do Perú: Cajamarca; Cuzco; Huancayo B.; Huaraz, Pisco e PUC, onde a construção em adobe é tradicional. Os adobes feitos com os solos recolhidos foram submetidos a ensaios de resistência mecânica sendo os resultados obtidos utilizados na Fig.4.

As tensões resistentes de tracção e compressão obtidas para as construções de adobe de Aveiro, para além de distintas entre si, são comparativamente superiores às apresentadas pelo estudo de Vargas *et al.* [1]. Esta maior banda de resistências encontradas evidencia a correlação entre os resultados da resistência de compressão e tracção dos adobes ensaiados. No estudo de Vargas *et al.* [1], a proximidade dos valores de resistência obtidos, não torna evidente esta correlação.

## 7. Conclusões

Neste artigo, são descritos e discutidos os resultados referentes a um conjunto de ensaios levados a cabo tendo como a principal motivação a caracterização do comportamento e resistência mecânica do adobe.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples mostram valores significativos da resistência à compressão das amostras ensaiadas (0.5-2.0MPa), sendo que para a resistência à tracção, igualmente expressivos, os resultados obtidos correspondem a valores de aproximadamente 20% da resistência à compressão respectiva.

A análise diferenciada dos resultados obtidos comparando os valores de resistência mecânica entre os provetes provenientes de casas e muros, indicia um prevaecimento para melhores resultados em termos de rigidez (módulo de elasticidade) e resistência, à compressão e à tracção, nos provetes provenientes de casas. Contudo, e em virtude da maior heterogeneidade apresentada do ponto de vista da composição granulométrica, e consequentemente da variabilidade dos resultados obtidos, ter sido uma amostra proveniente de um muro, no caso o M\_05, aquela obteve os valores mais elevados quer em termos de resistência quer no módulo de elasticidade.

Do ponto de vista da distribuição granulométrica dos agregados constituintes das amostras ensaiadas, a análise granulométrica revela uma clara tendência para que a amostras com maiores fracções de partículas de menores dimensões correspondam valores de resistência à compressão e tracção superiores.

Do estudo realizado, foram igualmente extraídas algumas ilações sobre formas indirectas de caracterização mecânica do adobe. Indicações práticas que auxiliam na realização de projectos de reabilitação e reforço das construções de adobe. Destas, destacam-se como características que favorecem a resistência mecânica do adobe, a quantidade de cal utilizada, assim como a utilização fracções elevadas de agregados de pequenas dimensões.

Este trabalho será complementado com ensaios de absorção capilar e secagem das amostras de adobe.

## Bibliografia

- [1] VARGAS, J; BARIOLA, J.; BLONET, M; MEHTA, K. (1984): "Seismic strength of adobe masonry - Tutorials on Earthquake-Resistant Housing Construction Practices", Adobe tutorials, Earthquake Engineering Research Institute, U.S. Agency for International Development (AID), Research Project DI-84-01.
- [2] ARANGO GONZÁLEZ, J.R. (1999): "Uniaxial deformation-stress behaviour of the rammed-earth of the Alcazaba Cadima", Materials and Structures, University of Granada, Spain.
- [3] VEIGA OLIVEIRA, E; GALHANO, F. (1992): "Arquitectura Tradicional Portuguesa", Portugal de perto, Publicações D. Quixote, Lisboa.
- [4] Seminário (1992): "Arquitecturas de Terra", Museu Monográfico de Conímbriga, Ed. CCRCentro, Coimbra.
- [5] DETHIER, J. (2002): "Arquitecturas de Terra ou o Futuro de uma Tradição Milenar", Fundação Calouste Gulbenkian, Dinalivro, Lisboa.
- [6] TOLLES, E.L.; KIMBRO, E.E.; WEBSTER, F.A.; GINELL, W.S. (2000): "Seismic Stabilization of Historic Adobe Structures – Final Report of the Getty Seismic Adobe Project", The Getty Conservation Institute, Los Angeles, CA.
- [7] PUCP/CIID, "Nuevas Casas Resistentes De Adobe", Pontificia Universidad Católica del Peru, Centro Internacional de Investigacion Para el Desarrollo (CIID), Lima, Peru.
- [8] MINKE, G. (2005) "Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de tierra", Forschungslabor für Experimentelles Bauen Universidad de Kassel, Alemanha.
- [9] EERI (2003). "World Housing Encyclopedia", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- [10] RILEM (1994) "RILEM Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials", E & FN Spon, London, England.

# CARACTERIZAÇÃO DO ADOBE EM CONSTRUÇÕES EXISTENTES NA REGIÃO DE AVEIRO

Humberto Varum, Tiago Martins\* e Ana Velosa

## Figuras

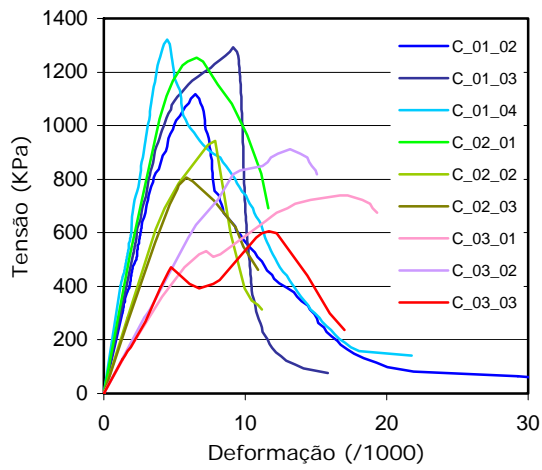


a) compressão simples

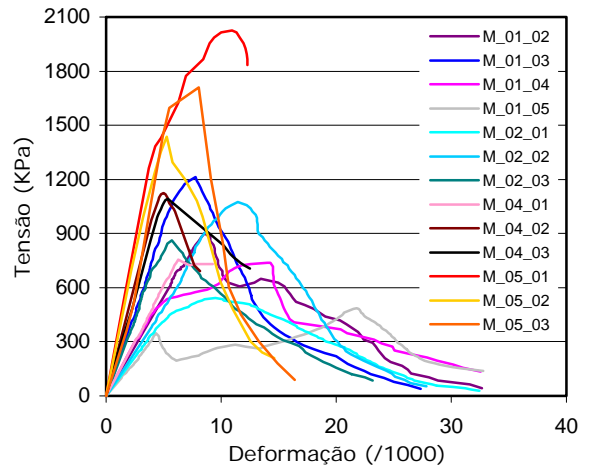


b) compressão diametral

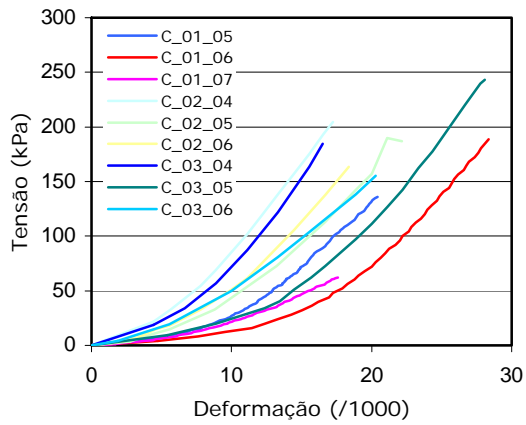
Fig.1 – Ensaio mecânico dos provetes. Fotos dos autores.



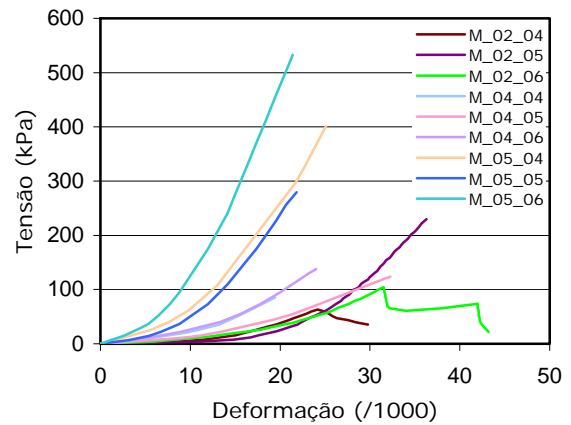
a) compressão simples: provetes de casas



b) compressão simples: provetes de muros



c) compressão diametral: provetes de casas



d) compressão diametral: provetes de muros

Fig.2 – Curvas de comportamento dos provetes ensaiados: tensão vs. deformação. Gráficos dos autores.



Provete	Propriedades mecânicas					
	Módulo de Young [MPa]	Resistência à compressão [kPa]	Deformação no pico [1/1000]	Resistência à tracção [kPa]		
Casas	Casa 1	C_01_02	230.0	1118.0	6.5	--
		C_01_03	250.0	1291.5	9.2	--
		C_01_04	340.0	1320.4	4.5	--
		C_01_05	--	--	--	136.1
		C_01_06	--	--	--	188.5
		C_01_07	--	--	--	62.2
		Média	273.3	1243.3	6.7	128.9
	Casa 2	C_02_01	280.0	1253.6	6.5	--
		C_02_02	170.0	943.1	7.9	--
		C_02_03	160.0	806.9	5.8	--
		C_02_04	--	--	--	204.3
		C_02_05	--	--	--	189.6
		C_02_06	--	--	--	163.6
		Média	203.3	1001.2	6.8	185.8
	Casa 3	C_03_01	95.0	738.8	16.7	--
C_03_02		100.0	911.7	13.2	--	
C_03_03		95.0	605.2	11.7	--	
C_03_04		--	--	--	184.3	
C_03_05		--	--	--	243.3	
C_03_06		--	--	--	155.1	
Média		96.7	751.9	13.9	194.2	
Muros	Muro 1	M_01_02	110.0	899.9	8.6	--
		M_01_03	185.0	1213.6	7.8	--
		M_01_04	120.0	737.4	--	--
		M_01_05	--	--	--	--
		Média	138.3	950.3	8.2	--
	Muro 2	M_02_01	85.0	542.8	9.5	--
		M_02_02	97.0	1075.0	11.5	--
		M_02_03	170.0	860.8	5.7	--
		M_02_04	--	--	--	63.2
		M_02_05	--	--	--	229.6
		M_02_06	--	--	--	104.4
		Média	117.3	826.2	8.9	132.4
	Muro 4	M_04_01	120.0	754.5	6.3	--
		M_04_02	250.0	1123.9	5.0	--
		M_04_03	230.0	1092.5	5.4	--
		M_04_04	--	--	--	85.4
		M_04_05	--	--	--	124.0
		M_04_06	--	--	--	138.1
		Média	200.0	990.3	5.6	115.8
	Muro 5	M_05_01	340.0	2024.8	10.9	--
M_05_02		320.0	1436.6	5.3	--	
M_05_03		190.0	1708.9	8.2	--	
M_05_04		--	--	--	401.3	
M_05_05		--	--	--	279.6	
M_05_06		--	--	--	532.8	
Média		283.3	1723.4	8.1	404.6	

Fig.3 – Tabela resumo das propriedades mecânicas do adobe. Tabela dos autores.

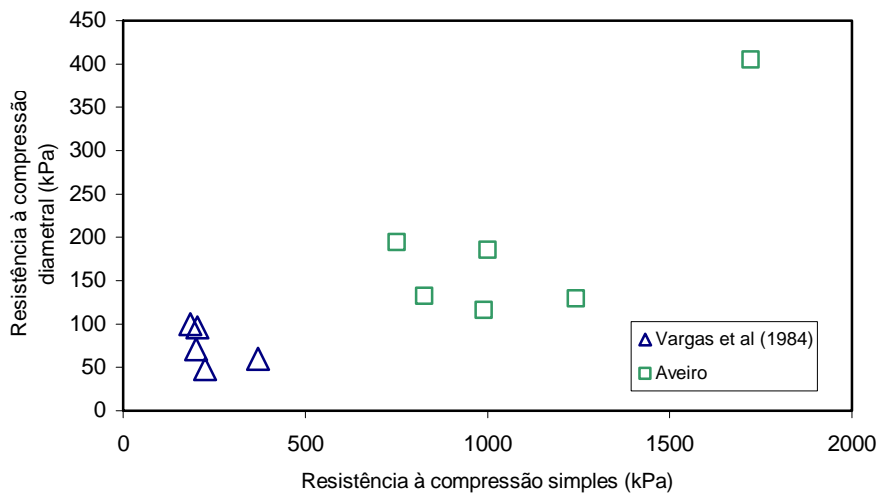


Fig.4 - Resistência à compressão simples vs. resistência à compressão diametral. Gráfico dos autores.