

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EXCÊNTRICA DE PAREDES DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE SOLO-CIMENTO

João Batista S. de Assis¹; Eduardo Chahud²; Paulo Santos Assis³

¹PUC Minas – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Caração Eucarístico, Departamento de Engenharia Civil, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

Tel: (031) 34762399, jbsassis@yahoo.com.br

²FUMEC – Universidade FUMEC,

³UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

Tema 3 – Técnicas, construção, investigação e desenvolvimento

Palavras-chave – solo-cimento, blocos intertravados, resistência à compressão de paredes

Resumo

Este trabalho faz parte de um sistema construtivo que foi criado no Brasil e desde a sua concepção está sendo testado. A partir de ensaios laboratoriais mostra-se o seu desempenho. O bloco intertravado, componente principal do sistema construtivo foi utilizado para compor paredes, as quais foram ensaiadas à compressão excêntrica. Em parte do trabalho serão apresentadas resumidamente as características dimensionais dos blocos, com o objetivo de ressaltar a sua qualidade dimensional. Visando-se a ampliar o conhecimento relativo às características de paredes construídas com blocos intertravados, foram executados ensaios de compressão excêntrica, objetivando determinar as cargas de compressão e os deslocamentos verticais e horizontais delas. Através destes ensaios foi possível observar também como as paredes se rompem e perdem a sua estabilidade. Os resultados finais foram analisados e comparados com cargas que seriam necessárias a paredes de uma edificação hipotética. Segundo Assis (2008), as pesquisas com este sistema construtivo em terra que iniciaram em 1979 tem um grande e batalhador pesquisador no Brasil que é o professor Barbosa (1996). Este artigo tem como um dos objetivos fornecer para a sociedade científica que trabalha com sistemas construtivos similares, informações relativas aos deslocamentos horizontais e verticais de paredes carregadas excentricamente, por não se ter encontrado referências bibliográficas consoantes os resultados aqui apresentados.

1. INTRODUÇÃO

A construção com terra é uma técnica tradicional ancestral. A terra (solo) é utilizada como matéria-prima para a obtenção do adobe; de tijolos com ou sem fibra; de tijolos vazados das mais variadas formas e, mais recentemente, de tijolos especiais retificados, produzidos na França, segundo Cavalheiro (1994). Os tijolos que não são levados ao forno para serem queimados normalmente recebem o nome de tijolos de terra crua. Na estabilização do solo, vários são os ligantes aplicados, tais como: betume, fezes de animais, cal, cimento e resinas orgânicas. Os blocos utilizados neste trabalho, também denominados blocos intertravados, são de solo-cimento e foram utilizados, sem argamassa de assentamento, introduzindo uma forma inovadora de compor as paredes, que difere da alvenaria conhecida como tradicional, conforme Assis e Chahud (2001). Por esta razão, visando-se a ampliar o conhecimento relativo de paredes construídas com blocos de encaixe ou intertravado e, sem argamassa de assentamento, foram executados ensaios de compressão excêntrica em três paredes, objetivando determinar as cargas limites por unidade de comprimento e os deslocamentos verticais e horizontais delas. Ainda, para verificar se as paredes podem ou não ser utilizadas em edificações de um pavimento, no Brasil, uma situação hipotética foi considerada para ao final comparar com os resultados experimentais obtidos neste estudo. Através destes ensaios foi possível observar também como as paredes se rompem e perdem a sua estabilidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais e equipamentos utilizados foram os seguintes: blocos de solo-cimento; cimento Portland CP II E 32; areia lavada de rio; prensa de tração universal, com capacidade máxima de 400 kN; balança eletrônica com capacidade máxima de 15 kg e resolução de 1g; misturador planetário com capacidade de 5 L e com duas velocidades de rotação; pórtico apropriado para ensaio de paredes em escala real; cilindros hidráulicos com capacidade de 100 kN; células de carga com capacidade de 100 kN, e resolução de 1 kN; relógios comparadores para medição dos deslocamentos verticais com resolução de 0,1 mm e horizontais com resolução de 0,01 mm; câmara climatizada mantida (com dispositivos de controle) com umidade acima de 90%; e; pequenos equipamentos e acessórios comumente utilizados em laboratórios.

2.2 Métodos

Uma amostra de blocos com 12 (doze) exemplares foi utilizada para a avaliação dimensional, os resultados estão apresentados na tabela 2.

Três paredes foram construídas concomitantemente e durante a sua montagem, blocos foram retirados do lote enviado ao laboratório para servirem na preparação de 12 prismas com argamassa em todos os furos ou somente no furo central.

As paredes foram montadas em escala real, com largura de 1.210 mm, espessura de 110 mm e altura de 27 fiadas. A 1^a. foi construída sob o pórtico de ensaio e as outras proximamente a ele. As 2^a. e 3^a, tão logo terminou o ensaio da anterior, foram transportadas para o pórtico de ensaio. Os blocos foram empilhados com juntas de amarração equivalentes à metade de um bloco-padrão (TJ110), simplesmente encaixados uns aos outros, sem a utilização de argamassa de assentamento. Para a consolidação das paredes, os furos menores foram preenchidos com argamassa, e os furos grandes das extremidades receberam barras de aço CA 60 com 5 mm de diâmetro e, posteriormente, preenchidos com a única argamassa utilizada nesta pesquisa. Seguindo as recomendações do sistema construtivo, as duas últimas fiadas receberam barras de aço CA 60 com diâmetro de 5 mm, na horizontal, colocadas no centro da parede. Nestas duas últimas fiadas utilizaram-se blocos em forma de U (invertidos) para a confecção de uma cinta objetivando melhorar a distribuição da carga aplicada. Estas paredes permaneceram em repouso até o dia do teste de compressão excêntrica (excentricidade de 18,33 mm, relativamente ao plano vertical maior da parede), quando receberam carga-descarga em três estágios como mostrado na tabela 5. Os testes com as paredes acorreram com idade entre 27 dias e 29 dias, contadas a partir do término da montagem delas.

Durante a confecção das paredes e prismas, foram moldados corpos-de-prova (cps) cilíndricos (50 mm x 100 mm) da argamassa utilizada, objetivando conhecer e monitorar a resistência à compressão dela. Estes cps permaneceram próximos à parede durante 24 horas e, depois de retirados dos moldes foram conduzidos a uma câmara climatizada com umidade relativa do ar - URA > 90% onde permaneceram até o dia do teste de compressão.

2.2.1 Cargas em uma parede hipotética

A tabela 1 apresenta resumidamente as cargas hipotéticas em uma parede de uma edificação (para o Brasil que não considera nos seus cálculos, carga de vento para até 4 pavimentos e nem tremores de terra) com cômodos de vãos máximos de 4 m. A carga final, com segurança, na parede será comparada com os resultados dos ensaios obtidos neste trabalho, objetivando avaliar a capacidade de paredes deste sistema construtivo e poder indicar o seu uso para um determinado número de pavimentos. A carga distribuída, no telhado, foi tomada igual a 0,70 kN/m² (permanente) e 0,5 kN/m²

(accidental). Adotou-se, ainda, uma laje com as cargas de $1,85 \text{ kN/m}^2$ e $1,00 \text{ kN/m}^2$, permanente e accidental, respectivamente. Condensando os cálculos, obtiveram-se os valores apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Cargas do telhado, da laje e total na parede hipotética

Tipo de carga	Carga do telhado ¹ (kN/m)	Carga da laje (kN/m)	Carga total (kN/m)
permanente	$0,70 \times 5,75/2 = 2,01$	$1,85 \times 4,0 = 7,4$	$S_{\text{gk}} = 2,01 + 7,4 = 9,41$
accidental	$0,50 \times 5,75/2 = 1,44$	$1,00 \times 4,0 = 4,0$	$S_{\text{qk}} = 1,44 + 4,0 = 5,44$
Carga total na parede hipotética			$1,4 \times S_{\text{gk}} + 1,7 S_{\text{qk}} = 22,42$

3. RESULTADOS DOS ENSAIOS

3.1 Características dimensionais dos blocos

A figura 1 mostra com detalhe todas as cotas do bloco padrão identificado por TJ 110. Os valores médios das cotas mostradas nesta figura encontram-se apresentados na tabela 2.

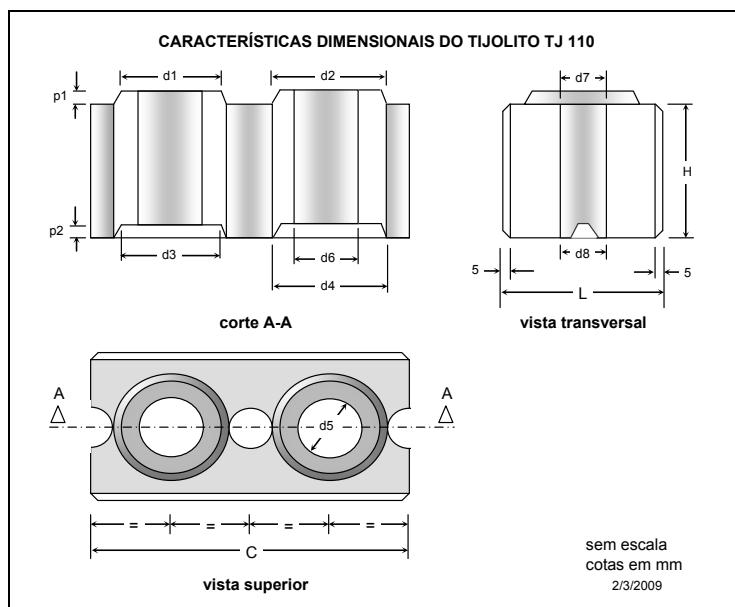


Figura 1 – Características dimensionais do bloco padrão. Fonte: Assis (2001)

Tabela 2 – Valores médios das dimensões da amostra de blocos avaliada. Fonte: Assis (2008)

Cp	Dimensões (mm)												
	L	H	C	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	p1	p2
Média	110,2	100,0	220,1	69,2	78,7	70,0	80,3	44,7	45,8	31,9	32,8	9,9	11,1
S	0,16	0,57	0,19	0,38	0,39	0,35	0,63	0,24	0,07	0,09	0,20	0,15	0,19
cv (%)	0,15	0,57	0,09	0,56	0,50	0,50	0,79	0,54	0,16	0,28	0,62	1,48	1,76

3.2 Resistência à compressão de prismas e da argamassa

As tensões últimas nos prismas (f_p) obtidas nos ensaios de compressão axial dos Pr A (prismas com todos os furos preenchidos por argamassa) e Pr B (somente o furo menor recebeu argamassa) encontram-se na tabela 3. As tensões últimas na argamassa (f_a) obtidas nos ensaios de compressão axial dos cps da argamassa utilizada no preenchimento dos furos dos prismas e das paredes encontram-se na tabela 4. Os testes foram executados com 28 dias de idade, tanto para os prismas como para a argamassa.

Tabela 3 – Resistência à compressão dos prismas⁽²⁾ Pr A e PrB – área bruta

Prismas Pr A	Carga última (kN)	Tensão última fp (MPa)	Prismas Pr B	Carga última (kN)	Tensão última fp (MPa)
1	103	4,3	1	60	2,5
2	113	4,7	2	62	2,6
3	107	4,4	3	55	2,3
4	95	3,9	4	50	2,1
5	90	3,7	5	55	2,3
6	92	3,8	6	58	2,4
Média	100	4,1	Média	57	2,3
s	9	0,4	s	4	0,2
cv%	9	9	cv%	8	8

Tabela 4 – Resistência à compressão da argamassa utilizada nos furos dos prismas e paredes

cps	Carga última (kN)	Tensão última f_a (MPa)	cps	Carga última (kN)	Tensão última f_a (MPa)
1	11,2	5,6	12	14,6	7,3
2	13,0	6,5	13	14,5	7,2
3	14,2	7,1	14	14,2	7,1
4	15,6	7,8	15	14,0	7,0
5	14,5	7,2	16	14,6	7,3
6	15,6	7,8	17	14,1	7,0
7	16,2	8,1	18	13,2	6,6
8	16,4	8,2			
9	16,1	8,0	Média	14,5	7,0
10	14,0	7,0	s	1,3	0,2
11	14,2	7,1	cv%	9	4

3.3 Teste de compressão excêntrica das paredes

Os estágios de carga-descarga e os deslocamentos verticais médios e horizontais ocorrentes durante os ensaios estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Cargas e deslocamentos obtidos durante os testes de compressão excêntrica das paredes P1, P2 e P3

Carga (kN)	PAREDE 1		PAREDE 2		PAREDE 3	
	DM ³ (mm)	D3 (mm)	DM(mm)	D3(mm)	DM(mm)	D3(mm)
3,25	0,01	-	0,01	-	-	-
6,50	0,05	0,40	0,04	0,10	0,03	0,40
-	0,01	0,10	0,02	0,10	-	0,10
6,50	0,05	0,40	0,06	0,20	0,03	0,40
13,00	0,14	0,90	0,11	0,40	0,09	0,70
26,00	0,32	2,00	0,22	1,00	0,19	1,20
39,00	0,50	3,70	0,31	1,40	0,32	2,20
52,00	0,71	5,60	0,45	2,00	0,46	3,30
-	0,19	2,00	0,14	0,20	0,03	0,30
52,00	0,75	5,90	0,49	2,00	0,48	3,40
65,00	0,94	7,20	0,64	2,50	0,62	4,50
78,00	1,20	8,90	0,83	3,20	0,79	5,80
91,00	1,50	10,70	1,03	4,00	1,00	7,30
104,00	1,83	12,80	1,29	5,50	1,22	9,80

A figura 2 apresenta os gráficos de carga vs deslocamento vertical e horizontal registrados durante os ensaios de compressão com carga excêntrica. Os deslocamentos (DM), (obtidos pela média de medições em dois relógios comparadores) residuais variaram entre 0,03 mm e 0,19 mm. Os deslocamentos (DM) máximos, medidos para uma carga de 104 kN, variaram entre 1,22 mm e 1,83 mm. Os deslocamentos horizontais (D3) máximos, medidos durante a aplicação da carga de 104 kN, variaram entre 5,5 mm e 12,8 mm. Em se tratando de paredes com blocos intertravados e isentos de argamassa de assentamento, os valores encontrados são, a nosso ver, aceitáveis. Aproveita-se ainda, este momento para divulgar os resultados deste estudo com o objetivo de contribuir com futuros resultados de outros pesquisadores.

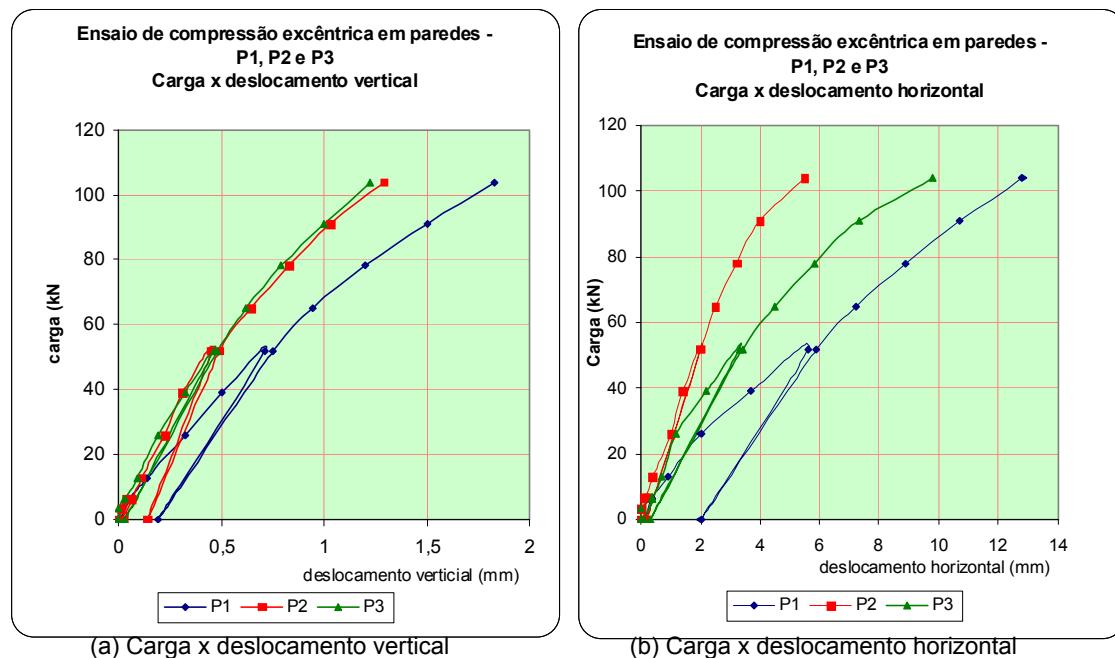
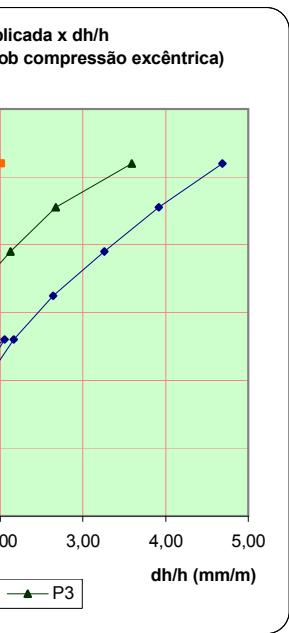


Figura 2 – Diagramas carga x deslocamento das paredes P1, P2 e P3

Carregamento x dh/h
 vertical e horizontal

A figura 3 apresenta gráficos de carga x deformação vertical e horizontal. No gráfico da figura 3(a) observa-se que a parede P2 apresentou valores intermediários se comparados com os valores obtidos em P1 e P3, mas muito próximos dos resultados da parede P3. Considerando a carga de 104 kN, as deformações verticais variaram entre 0,45 e 0,67 (mm/m); as horizontais entre 2,01 e 4,69 (mm/m); e as deformações verticais residuais entre 0,01 e 0,07 (mm/m).

4 DISCUSSÃO

Os deslocamentos verticais, das paredes P1, P2 e P3, ensaiadas, foram de (i) 1,83 mm; (ii) 1,29 mm; e (iii) 1,22 mm, respectivamente. As deformações relativas à altura das mesmas paredes foram de 0,67 mm/m; 0,47 mm/m; e 0,45 mm/m, respectivamente. Considerando-se um valor médio para as deformações de todas as paredes ensaiadas, chegou-se ao valor de 0,53 mm/m. Comparando-o com os obtidos por BARBOSA (1996), verifica-se que ele é perfeitamente aceitável, principalmente porque a excentricidade usada pelo pesquisador indicado foi inferior a utilizada neste trabalho.

As deformações residuais verticais ficaram entre 0,01 e 0,07 mm/m. Estes valores, segundo ASSIS (2001) são perfeitamente aceitáveis para este tipo de parede. A deformação residual horizontal máxima, relativa a altura da parede foi de aproximadamente 0,73 mm/m. Comparando o deslocamento máximos residual com o máximo medido durante o ensaio, verifica-se que o residual é 15% do máximo registrado durante o ensaio. Como não se comparou este resultado com o de nenhuma referência bibliográfica, ele serve como elemento para possíveis comparações futuras.

Os deslocamentos horizontais obtidos nos ensaios das paredes P1, P2 e P3, foram de: 12,8 mm; 5,5 mm; e 9,8 mm, respectivamente. Chegou-se a partir destes valores ao valor médio de 9,37 mm. Relacionando este valor com a altura da parede chegou-se a $h/dh = 291$. Este valor não foi comparado com nenhuma referência, mas poderá servir para futuros estudos similares aos aqui apresentados.

Considerando-se que a carga média de ruptura das paredes foi de aproximadamente 104 kN/m com um coeficiente de variação de 8,6%, obteve-se o coeficiente de minoração γ , do seguinte modo: $\gamma = 1 + 4xCv = 1,34$. Utilizando-se este valor chegou-se à carga segura de: $Pr/\gamma = 104/1,34 = 77,3$ kN/m. Como o valor máximo, por hipótese, foi de 22,42 kN/m, concluiu-se que paredes similares às pesquisadas neste trabalho suportariam o carregamento excêntrico indicado e, que seria possível utilizá-las, para edificações de até três pavimentos, quando sem abertura, carregamentos horizontais de vento de tremores de terra.

As paredes apresentaram ruptura “quasi frágil” por flexo-compressão tendo sido constado esmagamentos localizados nas fiadas 18^a. e 20^a. nas paredes P1 e P2. Durante a aplicação das cargas não houve fissuração visível nos blocos. Proximamente à carga de ruptura, alguns blocos apresentaram fissuração vertical próxima ao seu centro deles. A parede P3 ruiu, imediatamente após a aplicação da carga máxima. Neste caso poder-se-á considerar a sua ruptura como frágil. As curvas carga x deslocamento, correspondentes às três paredes ensaiadas mostraram um comportamento próximo do linear e, após as descargas os deslocamentos residuais foram variados.

5 CONCLUSÕES

As deformações relativas à altura das paredes foram para P1, P2 e P3, 0,67 mm/m; 0,47 mm/m; e 0,45 mm/m, respectivamente, sendo a deformação média de 0,53 mm/m.

As deformações residuais verticais em mm/m, ficaram entre 0,01 e 0,07. A deformação residual horizontal máxima foi de aproximadamente 0,73 mm/m, tomando a altura da parede como referência. O deslocamento residual máximo foi 15% do deslocamento máximo medido.

O valor médio dos deslocamentos horizontais obtidos nos ensaios das paredes foi de 9,37 mm e a relação entre este valor e a altura das paredes foi de $h/dh = 291$.

A carga média de ruptura das paredes foi de 104 kN/m e a carga máxima, com segurança foi de 77,3 kN/m. A partir deste valor é possível executar paredes com a configuração estudada, com segurança, para até três pavimentos, para edificações construídas no Brasil, por não considerar carga de vento e terremoto.

As paredes apresentaram ruptura “quasi frágil” e frágil por flexo-compressão.

Bibliografia

Assis, João Batista Santos de (2001). *Avaliação experimental do comportamento estrutural de paredes não armadas, submetidas à compressão axial, construídas com tijolito*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Assis, João Batista Santos de (2008). *Determinação experimental da resistência à tração na flexão em paredes construídas com blocos intertravados de solo-cimento*. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1983). NBR 6461. *Bloco cerâmico para alvenaria: verificação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008). NBR 15.575. *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho*. Rio de Janeiro: ABNT.

Barbosa, Normando Perazzo (1996). *Construção com terra crua, do material à estrutura*. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba.

British Standards Institution (1992). BS-5628: Code of practice for structural use of masonry: part I: unreinforced masonry. London.

Cavalheiro, O. P. (1994). Alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto: exemplo de cálculo segundo a norma brasileira. *International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries*, 5, Florianópolis. Proceedings ... Florianópolis: UFSC, p. 375-385.

Notas

(1) Considerou-se o telhado com telhas cerâmicas, engradamento de madeira e laje pré-moldada revestida. O telhado e a laje foram considerados bi-apoiados.

(2) (a) A tensão f_p foi obtida a partir da área bruta, determinada com base no desenho do bloco apresentado na figura 1; (b) Os prismas A receberam argamassa em todos os furos; e (c) Os prismas B receberam argamassa somente no furo pequeno central.

(3) DM representa a média dos valores de D1 e D2, relógios comparadores que mediram os deslocamentos verticais. D3 indica os valores obtidos em leituras do relógio comparador que mediu os deslocamentos horizontais.

Curriculum

Joao Batista Santos de Assis: Engenheiro Civil (PUCMinas/Br, 1977), Mestre em Engenharia de Estruturas (UFMG,2001). Doutor em Engenharia de Estruturas (UFMG, 2008), professor e coodenador do Curso de Engenharia Civil da PUC Minas.

Eduardo Chahud: Professor e Coordenador do Curso de Mestrado em Construção Civil da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC, Doutor em Engenharia de Estruturas pela Universidade de São Paulo.

Paulo Santos de Assis: Professor Titular da Escola de Minas de Ouro Preto, Prof. da REDEMAT, Prof. Honorário da HUST, China. Pesquisador em Materiais, Qualidade, Meio Ambiente e Custo.