

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE BLOCOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL REFORÇADOS COM PRF

George W. A. Rangel⁽¹⁾; Antônio C. dos Santos⁽²⁾; Paulo C. P. Agostinho⁽³⁾

(1) Mestrando, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Brasil, e-mail: georgewar@gmail.com

(2) e (3) Prof. Dr. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Brasil.

Resumo

A alvenaria estrutural é um método construtivo definido basicamente pelo empilhamento de blocos sobre blocos unidos por meio de argamassa, atualmente muito difundido no Brasil dado sua facilidade, rapidez e modularização da construção. No entanto o método esbarra em desvantagens, como a impossibilidade de alteração arquitetônica, baixa resistência ao cisalhamento, tração e falta de controle tecnológico em blocos e argamassa, que podem originar diversos problemas na estrutura como trincas e deformações excessivas. Assim, o reforço estrutural com os polímeros reforçados com fibras (PRF) surge como alternativa para resolução desses problemas. Assim, este trabalho avalia o comportamento de blocos de alvenaria estrutural reforçados com polímeros reforçados com fibras (PRF) solicitados à compressão axial até a ruptura. Foram ensaiados 12 blocos de concreto com dimensões de $14,0 \times 19,0 \times 39,0$ cm, 6 sem reforço e 6 reforçados com uma faixa de tecido unidirecional de fibra de carbono com $5,0 \times 39,0$ cm, impregnada e aderida ao centro do bloco por intermédio de matriz epóxi. Para a medida da deformação vertical foi utilizado um transdutor de deslocamento com cursor máximo de 10,0 mm e para as deformações horizontais um extensômetro elétrico. Como resultado, conclui-se que há aumento de resistência da ordem de 10,0 % e aumento da rigidez em torno de 150,0 %.

Palavras-chave: *Alvenaria estrutural, Bloco, Reforço, Fibras de carbono.*

Abstract

The structural masonry construction method is basically defined by stacking blocks on blocks joined by mortar, currently very widespread in Brazil given its ease, speed and modularity of the construction. However, the method was hampered by disadvantages such as the impossibility of changing architectural, low shear strength, tension and lack of technological control blocks and mortar, which can cause many problems in the structure as cracks and excessive deformations. Thus, the structural strengthening with fiber reinforced polymers (FRP) emerges as an alternative for resolution of these problems. So, this work evaluates the behavior of structural masonry blocks reinforced with fiber reinforced polymers (FRP) required to axial compression until failure. Were tested 12 concrete blocks with dimensions of $14.0 \times 19.0 \times 39.0$ cm, 6 unreinforced and 6 reinforced with a unidirectional carbon fiber tissue with 5.0×39.0 cm, impregnated and attached to the center of the block by epoxy matrix. To measure the vertical deflection was used a displacement transducer with maximum cursor of 10.0 mm and for the horizontal deflections an electrical extensometer. As a result, it is concluded that there is increased resistance of the order of 10.0% and a stiffness around 150.0%.

Keywords: *Masonry, Block, Reinforcement, Carbon fibers.*

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um método difundido em construções residenciais, especialmente nas habitações populares. Caracterizado basicamente pelo empilhamento de blocos sobre blocos, o método detém vantagens como a modularização, economia de fôrmas e redução de armaduras.

Em contra partida, a alvenaria estrutural também apresenta suas desvantagens como a baixa resistência a esforços laterais, falta de flexibilidade na construção de layouts arrojados e grande inviabilidade na alteração da forma estrutural, principal responsável por preconceitos na decisão da escolha do método construtivo.

Considerando a alteração da forma estrutural (como a abertura de vãos) um grande problema da alvenaria estrutural, propõe-se como possível alternativa o uso de reforço estrutural utilizando polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC), dada a facilidade de aplicação, baixo peso e ótimas características mecânicas.

Assim, para avaliar a potencialidade desta solução, analisou-se o comportamento de blocos solicitados à compressão axial com e sem este reforço, por ser este o ensaio básico de caracterização da alvenaria estrutural.

2. ALVENARIA ESTRUTURAL

2.1. Blocos

O bloco é o componente básico da alvenaria estrutural e principal responsável pelas características básicas da estrutura em geral, podendo ser de concreto, cerâmicos ou sílico-calcáreos. Devem atender às especificações da ABNT NBR 6136:2007 (resumidas na Tabela 1), que considera blocos vazados aqueles cuja área líquida é igual ou inferior a 75,0 % da área bruta.

Tabela 1. Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração

Classe	Resistência característica f_{bk} (MPa)	Absorção média em %		Retração ¹
		Agregado normal ³	Agregado leve ²	
A	$\geq 6,0$		$\leq 13,0$ % (média)	
B	$\geq 4,0$		$\leq 16,0$ %	$\leq 0,065$ %
C	$\geq 3,0$	$\leq 10,0$ %		(individual)
D	$\geq 2,0$			

¹ Facultativo;

² Entende-se por agregado leve aquele com massa específica menor ou igual a 1.800 kg/m³ conforme ABNT NBR 12655:2006;

³ Entende-se por agregado normal aquele com massa específica entre 1.800 kg/m³ e 3.000 kg/m³ conforme ABNT NBR 12655:2006.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6136:2007

Conforme a ABNT NBR 12118:2011, a tensão considerada em um bloco de concreto refere-se a sua área bruta, incluindo os vazios, a menos que uma observação tenha sido mencionada.

A resistência característica (f_{bk}) é definida na ABNT NBR 6136:2007, a partir da Equação [Eq. 1].

$$f_{bk,est} = 2 \times \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i-1} \right] - f_{b(i)} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde:

$f_{bk,est}$ = é a resistência característica estimada da amostra, expressa em MPa;

$i = n/2$, se n igual a par; $(n-1)/2$, se n for ímpar;

n = é igual a quantidade de blocos da amostra;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{b(i)}$ = são valores de resistência à compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, ordenados crescentemente.

O valor de f_{bk} deve ser igual a $f_{bk,est}$, não sendo admitido valor de f_{bk} inferior a $\psi \times f_{b(1)}$, sendo os valores de ψ obtidos na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de ψ em função da quantidade de blocos ensaiados

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
ψ	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6136:2007

2.2. Módulo de deformação longitudinal

O módulo de deformação foi o parâmetro utilizado para a avaliação da variação de rigidez fornecido pelo PRF nos blocos ensaios.

Dada a complexidade da determinação do módulo de deformação, é grande a variedade de valores considerados por cada pesquisador, como mostra a Tabela 3. Tal dificuldade é resultado da grande variação que existe entre tipos de blocos e argamassas. Até mesmo o método construtivo altera o valor do módulo de deformação, pois cada operário assentará os blocos de maneira diferente, com juntas de espessuras diferentes. Tantas variáveis caracterizam a anisotropia da alvenaria estrutural, no entanto tratada como material isotrópico.

Tabela 3. Módulo de deformação da alvenaria estrutural utilizados por alguns autores e normalizações

Autores / Normalizações	Módulo de deformação da alvenaria estrutural
Amrhein (1998)	$750,0 \times f_p$
Pedreschi (1998)	$900,0 \times f_p$
Gallegos (1989)	
Drysdale (1994)	$400,0 \times f_p \leq E_{alv} \leq 1290,0 \times f_p$
Gomes (1983)	
Hendry et al. (2004)	$E_{alv} = 700,0 \times 0,75 \times \sigma'_c$
EUROCODE 6:2005	$1000,0 \times f_{par,k}$
ABNT NBR 10837:1985	$400,0 \times f_p$
ABNT NBR 15961-1:2011	$800,0 \times f_{pk}$

E_{alv} = módulo de deformação da alvenaria;

f_p = resistência à compressão do prisma de dois blocos;

$f_{par,k}$ = resistência característica da parede;

σ'_c = resistência última da alvenaria.

Fonte: Ramalho e Corrêa, 2008; Hendry et al., 2004; EUROCODE 6:2005; ABNT NBR 10837:1985; ABNT NBR 15961-1:2011

3. POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRAS

Um material composto é aquele constituído pela união de dois ou mais materiais diferentes, com a finalidade de melhorar determinada propriedade do material final. Os polímeros reforçados com fibras (PRF) já são por si só materiais compostos (fibra e matriz), aderidos à estrutura com intuito de melhoria de alguma propriedade específica ou reabilitá-la.

O material principal de um PRF são as fibras, pois é o elemento que confere ao material composto suas características mecânicas principais, como a resistência à ruptura, podendo ser de carbono, vidro, boro etc. A Tabela 4 apresenta algumas características físicas e mecânicas das principais fibras utilizadas para reforço estrutural.

A matriz é o material que vai garantir a união e a orientação do reforço na estrutura, além de protegê-lo contra as intempéries. Recebe também parte das solicitações exercidas, transferindo-as para as fibras, sendo assim, também precisa ter qualidades mecânicas mínimas conforme a solicitação.

As resinas termofixas quando se solidificam não se refundem e necessitam de um catalisador. Já as resinas termoplásticas podem ser reaproveitadas por aquecimento e resfriamento. A Tabela 5 apresenta algumas propriedades das matrizes mais utilizadas. A Tabela 6 apresenta algumas características da fibra de carbono.

Tabela 4. Propriedades físicas de algumas fibras

Símbolo	ρ (t/m ³)	E (GPa)	G (GPa)	v	σ (MPa)	ϵ (%)	α (°C ⁻¹)	T _{max} (°C)
Vidro "R"	2,5	86,0	30,0	0,2	320,0	4,0	$0,3 \times 10^{-5}$	700,0
Vidro "E"	2,6	74,0		0,25	250,0	3,5	$0,5 \times 10^{-5}$	700,0
Kevlar 49	1,45	130,0	12,0	0,4	290,0	2,3	$-0,2 \times 10^{-5}$	-
Grafite "HR"	1,75	230,0	50,0	0,3	320,0	1,3	$0,02 \times 10^{-5}$	>1500,0
Grafite "HM"	1,8	390,0	20,0	0,35	250,0	0,6	$0,08 \times 10^{-5}$	>1500,0
Boro	2,6	400,0	-	-	340,0	0,8	$0,4 \times 10^{-5}$	500,0

Fonte: Adaptado de Pereira, 1998

Tabela 5. Propriedades físicas de algumas matrizes

Símbolo	ρ (t/m ³)	E (GPa)	G (GPa)	v	σ (MPa)	ϵ (%)	α (°C-1)	T _{max} (°C)
Termoresistentes								
Epóxi	1,2	4,5	1,6	0,4	130,0	2,0 a 6,0	$11,0 \times 10^{-5}$	90,0 a 200,0
Fenólica	1,3	3,0	1,1	0,4	70,0	2,5	$1,0 \times 10^{-5}$	120,0 a 200,0
Poliester	1,2	4,0	1,4	0,4	80,0	2,5	$8,0 \times 10^{-5}$	60,0 a 200,0
Policarbonato	1,2	2,4	-	-	60,0	-	$6,0 \times 10^{-5}$	120,0
Termoplásticas								
Polypropileno	0,9	1,2	-	-	30,0	20,0 a 400,0	$9,0 \times 10^{-5}$	70,0 a 140,0
Poliamida	1,1	4,0	-	-	70,0	200,0	$8,0 \times 10^{-5}$	170,0

Fonte: Adaptado de Pereira, 1998

Tabela 6. Propriedades das fibras de carbono

Fibra de carbono	σ (MPa)	E (GPa)	ϵ (%)	ρ (t/m ³)
Tipo PAN com alta resistência (HS)	3500 a 5000	200 a 260	1,2 a 1,8	1,7 a 1,8
Tipo PAN com alto módulo de elasticidade (HM)	2500 a 4000	350 a 700	0,4 a 0,8	1,8 a 2,0
Tipo Piche com alto módulo de elasticidade (HM)	3000 a 3500	400 a 800	0,4 a 1,5	1,9 a 2,1

Fonte: Adaptado de Machado, 2005

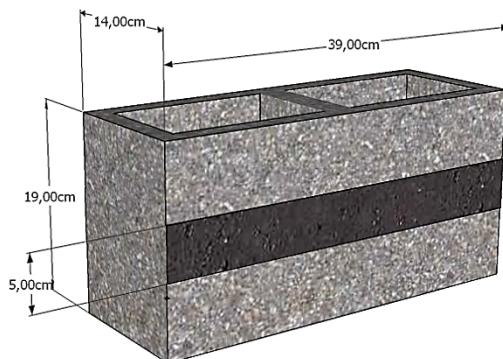
Segundo Meneghetti (2007), as fibras de carbono resultam do tratamento térmico de fibras precursoras orgânicas, tais como a poliacrilonitrila (PAN), o rayon e o nylon. Podem também ser produzidas a partir de alcatrão derivado do petróleo ou do carvão, oxidado em um ambiente inerte. As fibras de carbono são produzidas por um processo chamado pirólise controlada, em que uma das três fibras precursoras é submetida a uma série de tratamentos térmicos (estabilização, carbonização, grafitização e tratamento superficial). O resultado deste processo são filamentos de diâmetro entre 5,0 a 8,0 micrômetros.

4. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento experimental é apresentado no Quadro 1. Os blocos foram reforçados com faixas de PRF sem sobreposição, sem cintamento e em ambas as faces, conforme

Figura 1.

Figura 1. Esquema de reforço em blocos



Quadro 1 – Planejamento experimental

Elemento	Quant.	Número de faixas de reforço	Largura da faixa de reforço (cm)	Área reforçada (%)
Bloco sem reforço (bsr)	6	---	---	---
Bloco com reforço (bcr)	6	1	5,0	26,32

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Blocos

Conforme a ABNT NBR 6136:2007 e ABNT NBR 12118:2011, para caracterização dos blocos definidos na família M-15, com $0,39 \times 0,19 \times 14,0$ m, três determinações de cada dimensão foram obtidas e os resultados são apresentados na Tabela 7. Tais medidas servem para comparação com os valores padronizados e informam o nível de qualidade do bloco.

Os blocos utilizados nos ensaios têm uma característica peculiar em relação aos blocos de alvenaria estrutural vazados convencionais, a existência de fundo. Assim aparecerão duas novas medidas (não normatizadas): a profundidade e a espessura da parede de fundo do bloco.

Tabela 7. Dimensões dos blocos utilizados

Bloco	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Comp. (mm)	Espessura da parede (mm)				Profundidade (mm)	Menor dimensão do furo (mm)
				Trans. Ext.	Trans. Cent.	Long.	Fundo		
1	142,8	193,0	389,0	23,6	25,3	26,7	23,0	170,0	94,0
2	141,6	192,0	388,0	24,5	26,0	24,0	24,0	168,0	95,0
3	143,0	182,0	390,0	23,3	28,0	26,2	21,0	161,0	93,0
Média	142,5	189,0	389,0	23,8	26,4	25,6	22,7	166,3	94,0
Desv. Padrão	0,76	6,08	1,00	0,65	1,42	1,44	1,53	4,73	1,0
Coef.									
Var. (%)	0,53	3,22	0,26	2,75	5,38	5,60	6,74	2,84	1,06

Considerando a média dos valores e a tolerância de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e comprimento, definidos na ABNT NBR 6136:2007, os blocos utilizados não atendem no

requisito largura, por possuírem 0,47 mm a mais que o limite de 142,0 mm. Em todos demais requisitos os blocos são considerados adequados, enquadrando-se, inclusive, na Classe A.

Os ensaios de absorção e área líquida foram realizados conforme ABNT NBR 12118:2011 e os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Absorção e área líquida dos blocos utilizados

Bloco	Antes da secagem em estufa	Peso do bloco (g)			Absorção (%)	Área líquida (cm ²)
		Após secagem em estufa	Saturado	Hidrostático		
1	10440,0	10220,0	11300,0	2920,0	10,6	419,0
2	10700,0	10480,0	11620,0	2994,3	10,9	431,3
3	10140,0	9940,0	11020,0	2840,0	10,9	409,0
Média	10426,7	10213,3	11313,3	2918,1	10,8	419,8
Desv. Padrão	280,24	270,06	300,22	71,17	0,18	11,16
Coef. Var. (%)	2,69	2,64	2,65	2,64	1,64	2,66

De acordo com a ABNT NBR 6136:2007, o valor da absorção (em percentagem) deve ser inferior a 10,0 %, de forma que todos os valores ensaiados ultrapassaram este limite, na média 0,8 % a mais.

Ainda de acordo com a ABNT NBR 6136:2007 blocos vazados são aqueles cuja área líquida é igual ou inferior a 75 % da área bruta. Por padronização, a área bruta da seção transversal do bloco é de 546,0 cm² (0,39×0,14 m), as médias encontradas na Tabela 7 resultam em 554,21 cm², a área líquida média apresentada na Tabela 8 é de 419,76 cm², logo 75,74 % de área líquida. Pode-se então afirmar, com 0,74 % a mais do limite, que se trata de blocos cheios. A Tabela 9 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão nos blocos.

Tabela 9. Ensaio de resistência à compressão nos blocos

Bloco	Resistência à compressão do bloco (MPa)	
	Referente à área bruta	Referente à área líquida média
b1	2,56	3,33
b2	3,32	4,32
b3	4,29	5,58
b4	2,72	3,53
b5	2,05	2,67
b6	3,40	4,42
Média	3,06	3,98
Desv. Padrão	0,78	1,02
Coef. Var. (%)	25,68	

O f_{bk} de 1,89 MPa referente a área bruta (Equação [Eq. 1]), apresenta uma grande diferença em relação ao valor médio de 3,06 MPa, mostrando o quanto a norma brasileira reduz o valor de referência para projetos e controle de qualidade, majorando o ainda mais o coeficiente de segurança já existente no cálculo estrutural.

O f_{b_k} de 2,47 MPa referente a área líquida é usado para a definição da resistência à compressão da argamassa, que deve ter 70,0 % desse valor. Este seria um valor mais adequado ao dimensionamento da estrutura, uma vez que ainda se situa abaixo da média dos blocos referente à área bruta.

5.2. Argamassa de capeamento

A argamassa utilizada para o capeamento dos blocos teve traço 1:0,25:3:0,66 (cimento, cal, areia fina lavada e água em massa). Três corpos-de-prova em moldes cilíndricos de $5,0 \times 10,0$ cm e com idade de 7 dias de idade resultaram nas resistências apresentadas na Tabela 10.

O capeamento serve para garantir a regularidade da superfície de contato do bloco e deve possuir resistência superior à do bloco.

Tabela 10. Resistência das argamassas

Corpo-de-prova	Resistência (MPa)
CP01	11,49
CP02	10,44
CP03	11,52
Média (MPa)	11,15
Desv. Padrão (MPa)	0,62
Coef. Var. (%)	5,52

5.3. Procedimento de aplicação do PRF

A adesão do tecido de fibra de carbono na alvenaria estrutural requer uma superfície livre de partículas e imperfeições que possam impedir um contato eficiente entre a matriz e o concreto. Assim o primeiro passo é lixar toda a região de aplicação.

A área de contato do PRF com a estrutura foi delimitada para evitar o posicionamento do reforço ou aplicação da matriz além da largura da faixa definida, o que influencia na área efetiva de reforço.

Aplica-se então uma mistura de resina epóxi e carga quartzosa a fim de melhorar a aderência entre a superfície e o reforço, regularizando ainda imperfeições (Figura 2-a). São necessárias 24 horas de espera para aplicação do tecido de fibra de carbono.

Figura 2. (a) Regularização da superfície para aplicação do reforço; (b) Posicionamento da faixa de reforço



Com os tecidos cortados na medida desejada aplica-se a resina epóxi sobre a área delimitada com o auxílio de uma espátula de plástico específica para o procedimento.

Posiciona-se o tecido sobre a resina (Figura 2-b) e aplica-se uma nova demão de resina epóxi a fim de impregnar os vazios existentes. O excesso de resina é então retirado com a espátula, aplicando-se uma leve pressão.

5.4. Parâmetros e configurações de ensaio

A força aplicada foi adquirida por uma célula de carga com capacidade máxima de 300,0 kN e a tensão definida à partir da seção padronizada do bloco, 14,0×39,0 cm. A ABNT NBR 12118:2011 recomenda velocidade de aplicação de carga igual a $0,5 \pm 0,05$ MPa/s.

Conforme Figura 3, o deslocamento vertical foi medido por um transdutor de deslocamento (LVDT) com cursor máximo de 10,0 mm. Com o deslocamento, a deformação vertical foi calculada a partir da altura nominal capeada, igual a 200,0 mm. Para medir a deformação horizontal, um extensômetro elétrico foi aplicado na região central do bloco.

Figura 3. Bloco com reforço durante ensaio



Em todos os ensaios o módulo de deformação foi obtido no intervalo correspondente a secante de 5,0 % e 30,0 % da tensão de ruptura do gráfico tensão-deformação, conforme estabelecido na ABNT NBR 15961-2:2011.

Todos os dados foram obtidos com sistema aquisitor digital a frequência de 10,0 hertz.

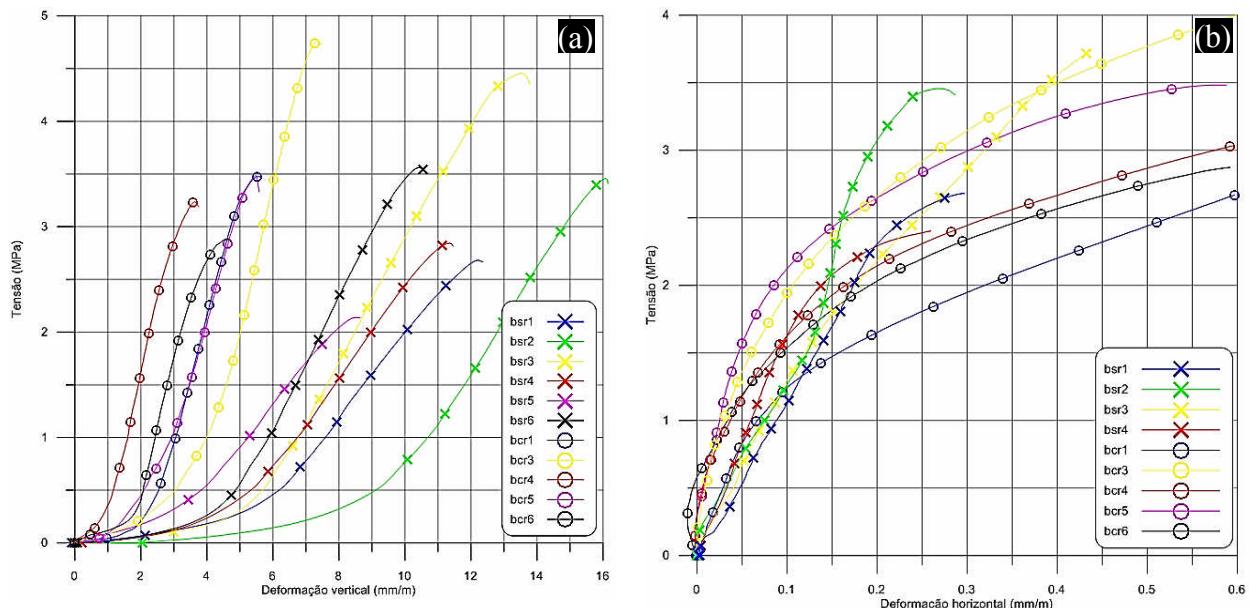
6. RESULTADOS E ANÁLISES

Analizando a Figura 4-a observa-se a repetitividade e reprodutibilidade nos ensaios realizados. Para os blocos reforçados é possível observar que todas as deformações verticais máximas são inferiores aos blocos não reforçados, comprovando que os blocos com reforço de imediato já possuem menor deformação, restringida pela faixa de PRFC.

Ainda na Figura 4-a é possível verificar o ganho de rigidez nos blocos reforçados, uma vez que a inclinação da curva desses blocos é mais acentuada do que a curva dos blocos sem reforço.

Quanto às deformações horizontais, conforme Figura 4-b, considerando que o PRFC está perfeitamente aderido à superfície do bloco e que a deformação que ocorre no topo do PRFC também ocorrerá na superfície do bloco, observa-se que os blocos reforçados apresentam maior deformação horizontal, absorvendo melhor os esforços, o que justificaria o ganho de resistência mecânica. Em geral, observa-se que as deformações horizontais apresentam comportamento inicial semelhante, diferenciando-se ao aproximar ao ponto de ruptura do bloco, adquirindo uma maior capacidade de deformação. Essa maior capacidade de se deformar antes da ruptura nos blocos reforçados pode ser traduzida em ganho de ductilidade.

Figura 4. Blocos sem reforço (bsr) e com reforço (bcr). (a) Tensão vs deformação vertical; (b) Tensão vs deformação horizontal



A Tabela 11 apresenta as resistências à compressão determinadas nos blocos com e sem reforço. A Tabela 12 apresenta os módulos de deformação longitudinal determinados nos blocos com e sem reforço.

A ruína do bloco sem reforço se deu predominantemente por trincas horizontais ao longo da interface de capeamento, o que é peculiar nesse tipo de ensaio (Figura 5-a). Por sua vez nos ensaios com blocos reforçados com PRF a ruptura se iniciou na fronteira entre a área reforçada e o restante do bloco (Figura 5-b).

Tabela 11. Resistência à compressão dos blocos

Bloco sem reforço	Resistência à compressão do bloco sem reforço (MPa)		Bloco com reforço	Resistência à compressão do bloco com reforço (MPa)	
	Área bruta	Área líquida		Área bruta	Área líquida
bsr1	2,56	3,33	bcr1	3,47	4,52
bsr2	3,32	4,32	bcr2	2,99	3,89
bsr3	4,29	5,58	bcr3	4,45	5,79
bsr4	2,72	3,53	bcr4	3,13	4,07
bsr5	2,05	2,67	bcr5	3,33	4,33
bsr6	3,40	4,42	bcr6	2,79	3,63
Média	3,06	3,98	Média	3,36	4,37
Desv. Padrão	0,78	1,02	Desv. Padrão	0,59	0,76
Coef. de Var.	25,68 %		Coef. de Var.	17,48 %	
Confiabilidade	84,49 %		Confiabilidade	80,07 %	

Tabela 12. Módulo de deformação dos blocos

Bloco sem reforço	E (MPa)	Bloco com reforço	E (MPa)
bsr1	184,96	bcr1	807,84
bsr2	229,21	bcr2	fallha
bsr3	451,84	bcr3	516,79
bsr4	253,70	bcr4	954,59
bsr5	183,06	bcr5	545,51
bsr6	407,10	bcr6	753,62
Média	284,98	Média	715,67
Desv. Padrão	115,96	Desv. Padrão	184,07
Coef. de Var.	40,69 %	Coef. de Var.	25,72 %
Confiabilidade	73,46 %	Confiabilidade	76,29 %

Figura 5. (a) Ruptura predominante do bloco sem reforço; (b) Ruptura predominante do bloco reforçado



7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração as médias dos ensaios, constata-se um aumento de 151,13 % no módulo de deformação nos blocos reforçados em relação aos blocos sem reforço, aumento justificado pelo confinamento fornecido pelo PRFC.

Os blocos reforçados têm significativa redução da deformação vertical total, podendo-se afirmar uma redução em torno de 50,0 % em relação aos blocos não reforçados.

Já para as deformações horizontais, verifica-se uma proporcionalidade das deformações dos blocos sem e com reforço até 60,0 % da tensão resistente. A partir deste patamar de 60,0 %, os blocos reforçados possuem maiores valores de deformação horizontal em relação aos blocos não reforçados, com um aumento médio da resistência de 9,8 %.

Quando o nível de tensão fica próximo ao patamar de ruptura, os blocos reforçados ainda contam com a ajuda do PRF, fazendo com que resistam a uma força maior e consequentemente tenham uma maior deformação horizontal por intermédio do aumento da ductilidade do conjunto bloco-reforço.

Este trabalho faz parte de uma pesquisa em andamento de maior vulto, onde painéis de alvenaria estrutural com $14,0 \times 120,0 \times 120,0 \times \text{cm}$ também estão sendo reforçados com PRFC para avaliação do desempenho. Por hora também se verifica ganho de rigidez em tais painéis. Maiores informações serão publicadas posteriormente.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837**: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.
- _____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 15961-1**: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 15961-2**: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2007.
- EUROPEAN STANDARD. **Design of masonry structures – Part 1-1**: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. EUROCODE 6, 2005.
- Hendry, A. W.; Sinha B. P.; Davies S. R. **Design Of Masonry Structures**. Department of Civil Engineering. University of Edinburgh, UK. E & FN SPON, 3^a ed. London 2004. 279 p.
- Machado M. G. **Estudo Experimental da Ductilidade de Vigas em Concreto Armado Reforçadas À Flexão Utilizando Compósitos com Tecido de Fibras de Carbono**. 2005. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Pontifícia Universidade Católica Do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. 296 f;
- Meneghetti L. C. **Análise do Comportamento à Fadiga de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com PRF de Vidro, Carbono e Aramida**. 2005. Tese (Doutorado em estruturas) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. 275 f;
- Pereira J. C. **Curso De Projeto Estrutural Com Materiais Compostos**, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. Santa Catarina, 1998;
- Ramalho M. A.; Corrêa, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 2008. 174 p;

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelos recursos financeiros oferecidos, sem os quais este projeto não teria saído do papel. À CAPES pela bolsa de pesquisa.