

## VIGA DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO GARRAFAS PET

Alexandre Salomão Barile Sobral (IFAP) alexandre.sobral@ifap.edu.br

Dênio Ramam Carvalho de Oliveira (UFPA) denio@ufpa.br

Vander Luiz da Silva Melo (UFPA) vander\_melo@hotmail.com

**Resumo:** A utilização da garrafa PET na construção civil, tornou-se muito comum, haja vista, que pode ser utilizada na construção de paredes, confecção de telhas, entre outros. A otimização na execução de peças em concreto armado visando garantir redução de peso próprio, bem como, a redução de materiais empregados e consequentemente a redução do custo, é um caso que requer uma atenção na área da construção civil. As vigas ocas ou vazadas são uma boa alternativa para esta otimização, portanto neste trabalho foram ensaiadas no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará 4 vigas com seção de (120 x 400) mm<sup>2</sup> e 2200 mm de comprimento, sendo 1 maciça para referência e 3 delas com área vazada: a primeira (Viga V1) utilizando-se um linha de garrafa PET de 600 ml deitada, a segunda (Viga V2) com duas linhas de garrafa PET deitadas (uma garrafa sobre a outra) e a terceira (Viga V3) com três linhas de garrafas em deitadas (também uma sobre a outra) todas dispostas longitudinalmente na viga. Foi estudada a presença de armadura de cisalhamento e o modelo de ensaio Stuttgart e foi realizada a comparação da capacidade de carga entre as vigas ensaiadas. Vigas ocas ou vazadas apresentaram comportamento próximo às vigas de referência. Os resultados foram comparados com as recomendações da NBR 6118 (2014).

**Palavras-chave:** Viga, concreto armado, garrafas PET.

## REINFORCED CONCRETE BEAM USING PET BOTTLES

**Abstract:** The use of the PET bottle in construction has become very common due to that can be used in the construction of walls, making tiles, among others. The optimization in running parts of reinforced concrete in order to ensure proper weight reduction and the reduction of materials used and consequently reducing the cost, it is a case that requires attention in the construction area. The hollow or cast beams are a good alternative to this optimization, so in this study were tested in the Civil Engineering Laboratory of the Federal University of Para 4 beams with (120 x 400) mm<sup>2</sup> section and 2200 mm long, 1 massive for reference and 3 holding poured area: the first (Beam V1) using a PET bottle line 600ml lying, second (Beam V2) with two rows PET bottle lying down (a bottle on the other) and third (Beam V3) with three rows of bottles in lying (also one over the other) all arranged longitudinally on the beam. It studied the presence of shear reinforcement and the Stuttgart test pattern and comparing the load bearing capacity is performed among the tested beams. Hollow castings or beams showed behavior close to the reference beams. The results were compared with the recommendations of ISO 6118 (2014) and the estimated last distant loads obtained experimentally.

**Keywords:** Beam, reinforced concrete, PET bottles.

### 1. INTRODUÇÃO

Algumas matérias primas tradicionais da construção civil têm reservas mapeadas escassas. Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas que venham a substituir estes materiais na indústria da construção civil. Embalagens pós-consumo de PET, são cada vez mais frequentes na composição do lixo urbano e descartadas indevidamente no meio ambiente, causando danos a estrutura de saneamento urbano. Surge a necessidade de um reaproveitamento destas embalagens.

De acordo com Canellas (2005), o volume de resíduos domésticos produzidos em todo o mundo aumentou três vezes mais do que a sua população nos últimos 30 anos, assim como, o crescimento do uso de embalagens descartáveis, a cultura do consumo e o desperdício são responsáveis pelo descarte de 30 bilhões de toneladas de resíduos sólidos no planeta todos os anos.

Com o crescimento da indústria da construção civil no Brasil, principalmente devidos a programas do governo federal como o PAC, novas metodologias construtivas, bem como novos materiais precisam ser buscados para se tornarem alternativas de utilização nas obras.

Para Inoue (1993) e Chiad (2013), elementos de concreto armado com seção vazada são bastante utilizados em pontes, visando aumentar a rigidez diminuindo o peso próprio do elemento. Esta metodologia de construção poderia ser utilizada em obras convencionais como construção de casas populares, ou obras com estrutura em concreto armado de pequeno e médio porte.

Neste trabalho será apresentada uma alternativa para reutilização de garrafas PET introduzindo-as na confecção de vigas em concreto armado, mais especificamente abaixo da linha neutra (zona tracionada quando a viga está submetida a um esforço de flexão pura), cujo objetivo será a redução do volume de concreto, conseqüentemente a redução do peso, bem como, a retirada de garrafas PET da natureza. O objetivo é analisar experimentalmente as vigas, principalmente no que diz respeito ao seu comportamento ao cisalhamento. Como proposta para novos estudos, serão realizados ensaios para analisar o comportamento à torção, devido à importância, como explica Bernardo (2009), que a torção pode ter no projeto de algumas estruturas, como pontes, por exemplo.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 - RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE ACORDO COM A NBR 6118 - 2014

A norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014), recomenda que a resistência de vigas submetidas ao cisalhamento sejam verificadas simultaneamente nas duas condições apresentadas pelas Equações 1 e 2.

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad (1)$$

$$V_{sd} \leq V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad (2)$$

Onde,

$V_{sd}$  é a força cortante solicitante de cálculo, na seção (kN);

$V_{Rd2}$  é a força cortante resistente de cálculo referente à ruína das diagonais comprimidas de concreto (kN);

$V_{Rd3}$  é a força cortante resistente de cálculo referente à ruína das diagonais tracionadas (kN), sendo  $V_c$  a contribuição do concreto (kN) e  $V_{sw}$  a parcela absorvida pela armadura transversal (kN).

Para a estimativa das forças resistentes de cálculo a norma sugere dois modelos de cálculo. O modelo de cálculo I admite uma inclinação das diagonais comprimidas de 45° em relação ao eixo longitudinal da viga e considera que a parcela  $V_c$  tenha valor constante independentemente de  $V_{sd}$ . As Equações 3 e 4 apresentam as forças resistentes de acordo com o modelo de cálculo I.

a) Verificação da compressão diagonal do concreto

$$V_{Rd2} = 0,27 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (3)$$

b) Cálculo da armadura transversal

$$V_{Rd3} = V_c + V_w \quad (4)$$

Onde,

$$V_{sw} = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) \cdot 0,9d \cdot f_{ywd} \cdot (\text{sen } \alpha + \text{cos } \alpha)$$

$$V_c = 0,09 \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot b_w \cdot d \text{ (flexão simples e flexo - tração);}$$

$b_w$  é a menor largura da seção (mm);  
 $d$  é a altura útil da seção (mm).

$$d = h - \left(\frac{\emptyset}{2} + c\right) = 373,75 \text{ mm}$$

Onde,

$h$  é altura da viga (mm)

$\emptyset$  é o diâmetro do aço (mm)

$c$  é o cobrimento (mm)

O modelo de cálculo II admite uma inclinação das diagonais comprimidas variando entre 30° e 45°. Admite ainda que a parcela  $V_c$  sofra variação com o aumento de  $V_{sd}$ . As Equações 5 e 6 apresentam as forças resistentes de acordo com o modelo de cálculo II.

a) Verificação da compressão diagonal do concreto:

$$V_{Rd2} = 0,54 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \cdot \text{sen}^2 \theta \cdot (\text{cotg } \alpha + \text{cotg } \theta) \tag{5}$$

b) Cálculo da armadura transversal

$$V_{Rd3} = V_c + V_w \tag{6}$$

Onde,

$$V_{sw} = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) \cdot 0,9d \cdot f_{ywd} \cdot (\text{cotg } \alpha + \text{cotg } \theta) \cdot \text{sen } \alpha;$$

$V_c = 0,09 \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot b_w \cdot d$ , quando  $V_{sd} \leq V_c$  (flexão simples e flexo - tração);

$V_c = 0$ , quando  $V_{sd} = V_{Rd2}$ , interpolando-se linearmente para valores intermediários.

$b_w$  é a menor largura da seção (mm);

$d$  é a altura útil da seção (mm).

## 2.2 - APLICAÇÃO DAS EXPRESSÕES NORMATIVAS PARA DETERMINAÇÃO DAS CARGAS DE RUPTURA

Após as aplicações da norma e devidas equações para determinação das cargas de ruptura obteve-se os resultados constantes na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados para as Cargas de Ruptura (NBR 6118:2014)

Vigas	$V_{Rk}$ (kN)			$P_{flex}$
	Modelo de Cálculo I $\alpha=90^\circ$	Modelo de Cálculo II $\theta=30^\circ$	Modelo de Cálculo II $\theta=45^\circ$	
VR	169,0	225,2	236,3	194,4
V1	160,2	217,4	225,4	
V2	151,5	209,6	214,6	
V3	142,7	201,8	203,6	

## 2.3 - PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 2.3.1 - Armaduras de Flexão e Cisalhamento

As armaduras de flexão foram compostas por 3 barras de aço CA50 com diâmetro de 12,5 mm. Como armadura de composição foram utilizados 2 ferros de 5,0 mm na região superior (comprimida da viga). Armadura transversal composta de 11 estribos de aço CA60 de 5,0 mm de diâmetro, espaçados a cada 200 mm espaçamento adotado em função do comprimento da garrafa PET que era de 230 mm (evitando assim que a garrafa se desloca-se para próximo da forma no momento da concretagem)

### 2.3.2- Características das vigas

As vigas foram confeccionadas com seção de (120 x 400) mm<sup>2</sup> e 2200 mm de comprimento, sendo uma maciça para referência e três delas com área vazada: a primeira (Viga V1) utilizando-se uma linha de garrafa PET de 600 ml deitada, a segunda (Viga V2) com duas linhas de garrafa PET deitadas (uma garrafa sobre a outra) e a terceira (Viga V3) com três linhas de garrafas em deitadas (também uma sobre a outra) todas dispostas longitudinalmente na viga.

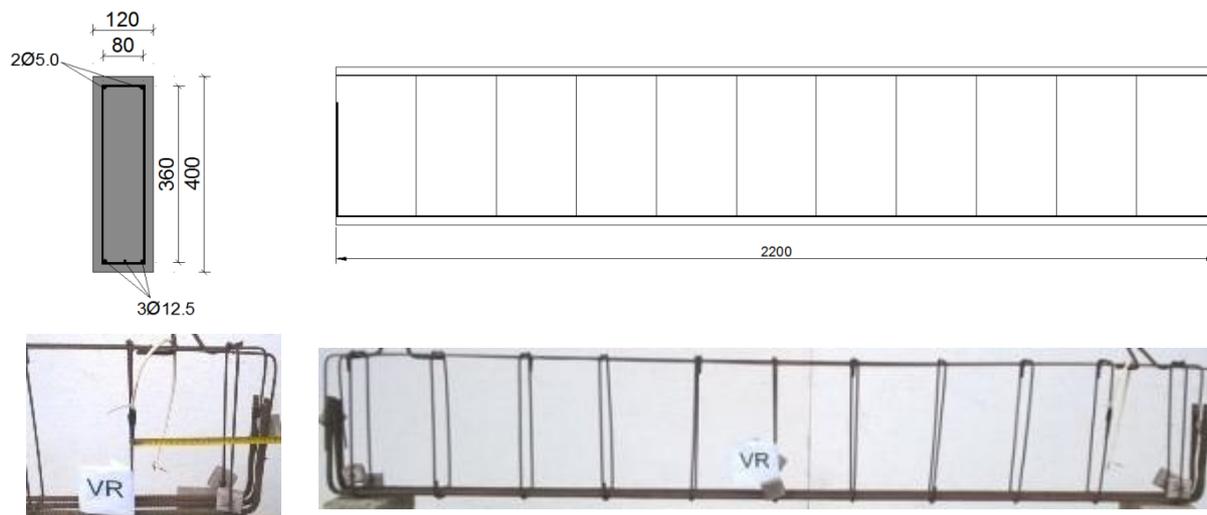


Figura 1 – Viga de Referência – VR

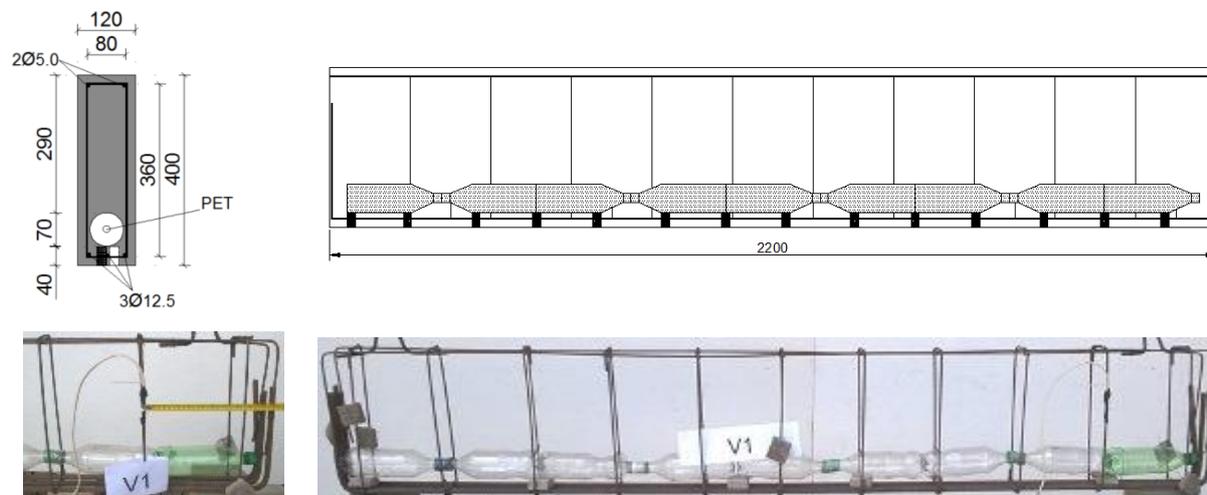


Figura 2 – Viga com uma linha de garrafa PET – V1

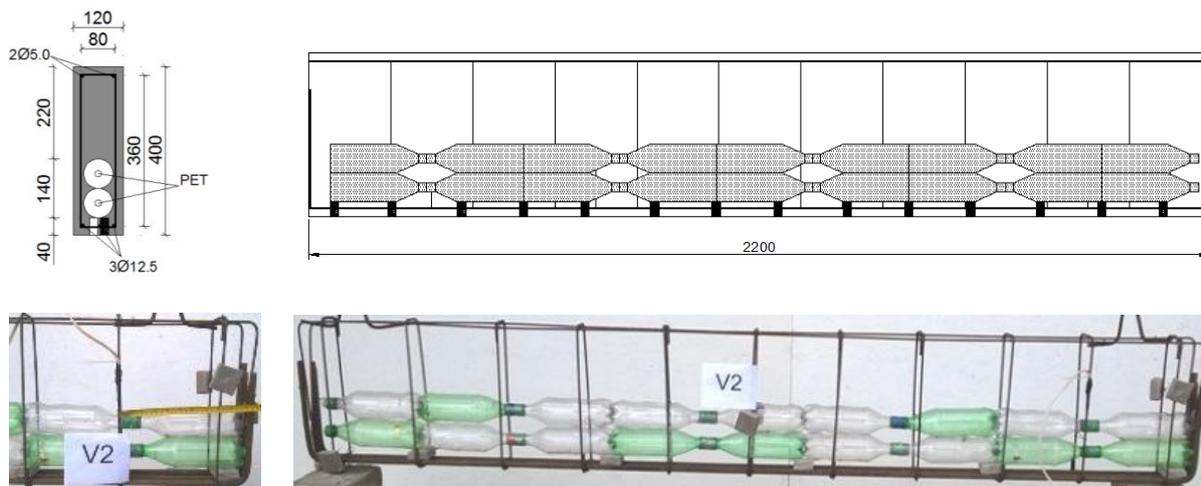


Figura 3 – Viga com duas linhas de garrafa PET – V2

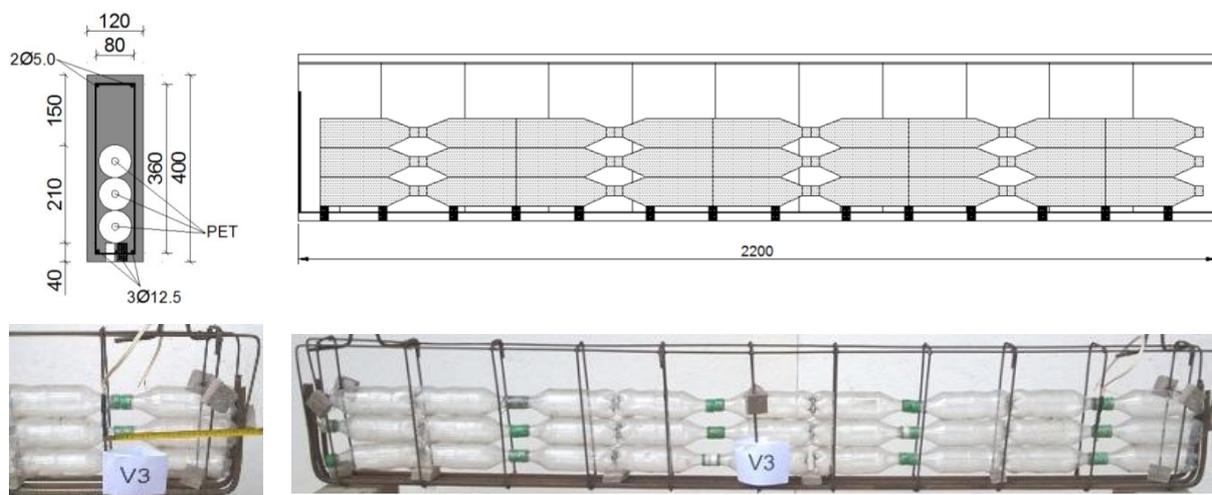


Figura 4 – Viga com três linhas de garrafa PET – V3

A Tabela 2 mostra a quantidade de garrafas PET's inseridas em cada viga, bem como, a economia de concreto e consequentemente a redução de peso. As figuras 5 e 6 mostram as formas das vigas e estas já concretadas.

Tabela 2 – Economia de concreto e a redução de peso.

VIGA	Nº GARRAFAS PET 600 ml	VOLUME APÓS INSERÇÃO DAS GARRAFAS (m³)	ECONOMIA DE CONCRETO (m³)	PESO (Kg)	REDUÇÃO DE PESO (%)
VR	0,0	0,1056	0,0000	264,0	0,0
V1	9,0	0,1002	0,0054	250,5	5,1
V2	18,0	0,0948	0,0108	237,0	10,2
V3	27,0	0,0894	0,0162	223,5	15,3



Figura 5 – Forma das Vigas



Figura 6 – Vigas Concretadas

## 2.4 - INSTRUMENTAÇÃO

### 2.4.1- Deslocamentos verticais

Em todas as vigas, os deslocamentos verticais foram medidos na face inferior no meio do vão da viga, ponto de maior flecha. Para tal, foi utilizado defletoômetro digital da marca DIGIMESS com precisão de 0,01 mm. O defletoômetro foi fixado em um sistema de suporte independente para evitar interferências nas leituras devido às movimentações no sistema de ensaio, ao se aproximar da carga de ruptura, o mesmo foi removido por segurança.

### 2.4.2 - Deformação nas armaduras e no concreto

As deformações da armadura de flexão e do concreto foram medidas com extensômetros elétricos de resistência (EER), fabricados pela EXCEL Sensores Ind. Com. Exp. Ltda. Para a deformação no concreto, em cada viga, foi utilizado um extensômetro modelo PA-06-201BA-120L, F.S, sendo fixado na face superior da viga. Quanto às deformações da armadura de flexão e no estribo, utilizou-se extensômetros modelo PA-06-125AA-120L, F.S, posicionado na barra longitudinal central de cada viga no meio do comprimento da barra e no estribo mais próximo do apoio. Os extensômetros foram fixados lateralmente na barra, com o objetivo de evitar efeitos provenientes da flexão local das mesmas. A disposição dos EER na armadura de flexão e no concreto foi constante para todas as vigas, possibilitando uma análise comparativa dos resultados. A Figura 7 apresenta o posicionamento dos extensômetros na armadura de flexão e na superfície do concreto.

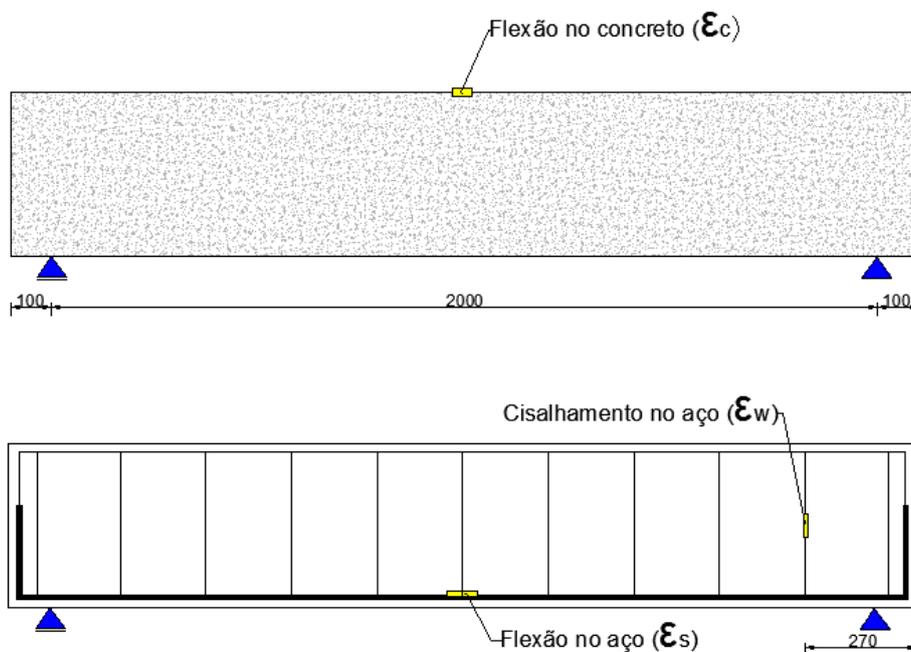


Figura 7 – Posição dos extensômetros nas vigas.

### 2.5 - SISTEMA DE ENSAIO

O sistema de ensaio foi composto por um pórtico metálico fixado à laje de reação do laboratório, como suporte para aplicação de carga; 2 blocos de concreto, onde foram posicionados 2 aparelhos de simulação de apoio, sendo um de 1º gênero e outro de 2º gênero; um cilindro hidráulico com capacidade de carga de 1000 kN, para aplicação do carregamento nas vigas; uma célula de carga com capacidade de 1000 kN e precisão de 1 kN. No ensaio de Stuttgart o carregamento era aplicado sobre uma viga de reação que distribuía a carga em dois roletes afastados 750 mm dos apoios. O carregamento foi aplicado na direção vertical, no sentido de cima para baixo com incrementos de carga de 5 kN. A leitura dos extensômetros durante os ensaios era feita por meio do sistema de aquisição de dados ALMEMO. A Figura 8 mostra a vista 3D e a representação esquemática do sistema de ensaio STTUTGART. Todas as vigas foram posicionadas como mostra a Figura 9, com a viga VR no sistema de ensaio.

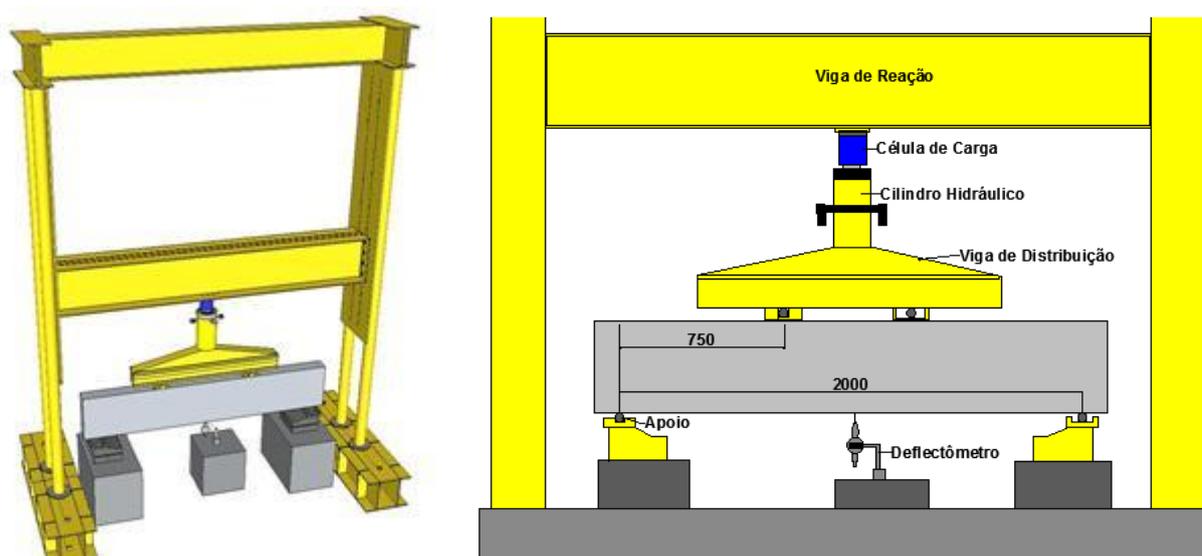


Figura 8 – Vista 3D e esquema do modelo de ensaio de Stuttgart



Figura 9 – Viga VR esquema do modelo de ensaio de Stuttgart

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 - PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

A resistência à compressão do concreto foi determinada pelo ensaio de 3 corpos-de-prova cilíndricos de dimensões (100 x 200) mm<sup>2</sup> moldados de acordo com as recomendações da NBR 5738 (2003) e ensaiados segundo a NBR 5739 (2007). A Tabela 3 contém os resultados dos ensaios. As barras de aço foram caracterizadas seguindo as recomendações da NBR 6152 (1992) utilizando 3 amostras de mesmo lote das barras tanto de 12,5 mm como de 5,0 mm. As características das barras ensaiadas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3 – Resultado dos ensaios dos corpos-de-prova.

CP	$f_{ck}$ (MPa)
1	49,98
2	43,76
3	41,12

Tabela 4 – Características das barras de aço.

Ø (mm)	$f_{ys}$ (MPa)	$\epsilon_{ys}$ (‰)	Es (GPa)
5,0	583,0	4,5	233,2
12,5	560,0	2,3	243,5



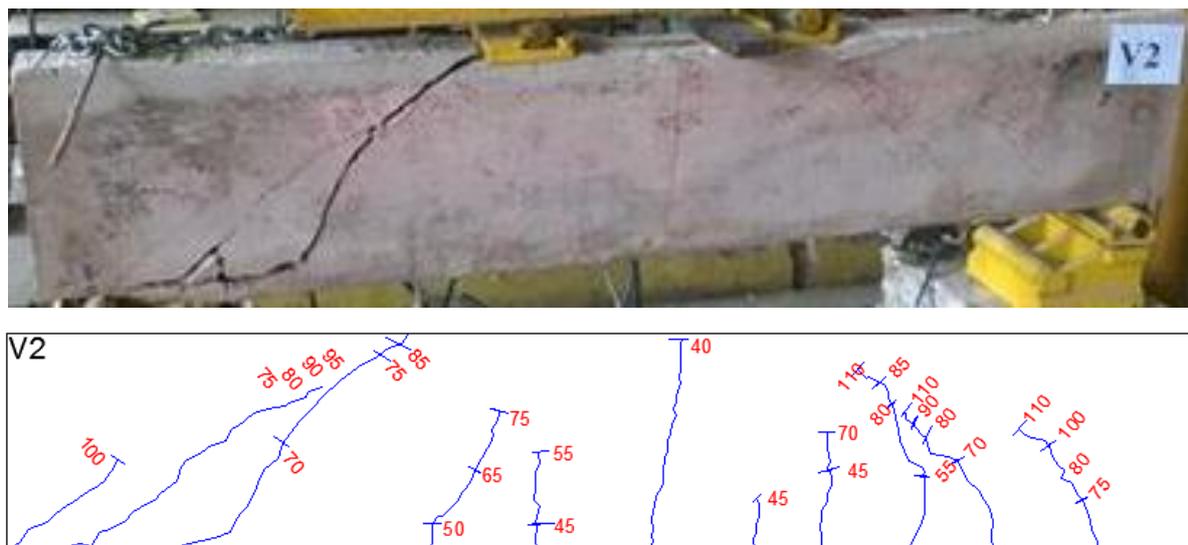


Figura 12 – Viga V2 pós-ensaio / Mapa de Fissuração

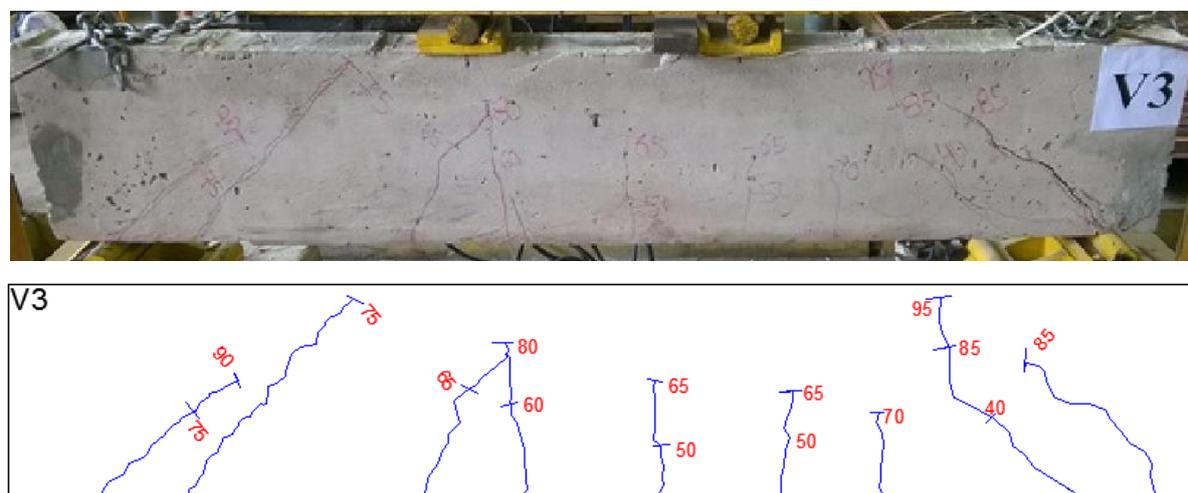


Figura 13 – Viga V3 pós-ensaio / Mapa de Fissuração

### 3.3. DESLOCAMENTOS VERTICAIS – LEITURA NO DEFLECTÔMETRO

A leitura dos deslocamentos foi feita pelo Deflectrômetro durante pequenos intervalos entre os passos de carga. O deflectrômetro foi removido do sistema de ensaio próximo à ruptura das vigas, a fim de evitar danos ao equipamento devido impactos na ruptura das peças. Na Figura 14 são representados graficamente os deslocamentos verticais das vigas. Os gráficos mostram que as vigas vazadas tiveram comportamento semelhante às vigas maciças no que diz respeito aos deslocamentos.

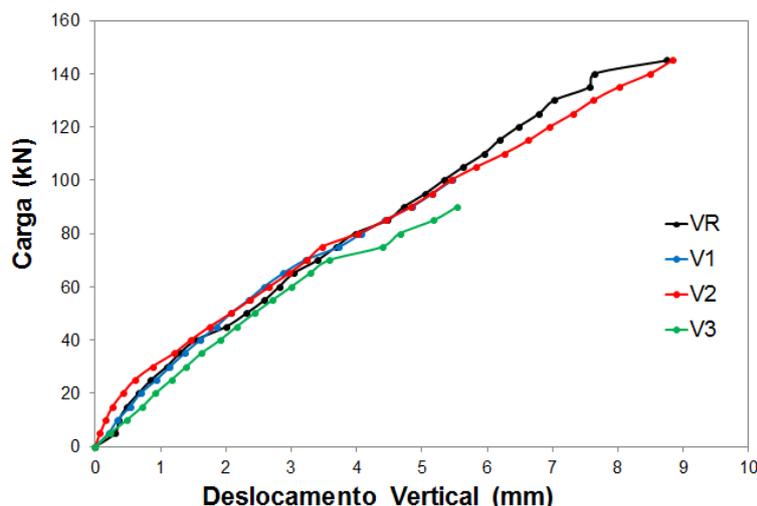


Figura 14 – Deslocamentos verticais das vigas.

### 3.4. DEFORMAÇÕES NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO – LEITURA NO EXTENSÔMETRO

A medida das deformações na superfície do concreto foi obtida por meio de um extensômetro elétrico posicionado na região de maior compressão na flexão. Os resultados encontrados para as deformações na superfície do concreto registrado pelo extensômetro, em cada uma das vigas ensaiadas, são mostradas na Figura 15.

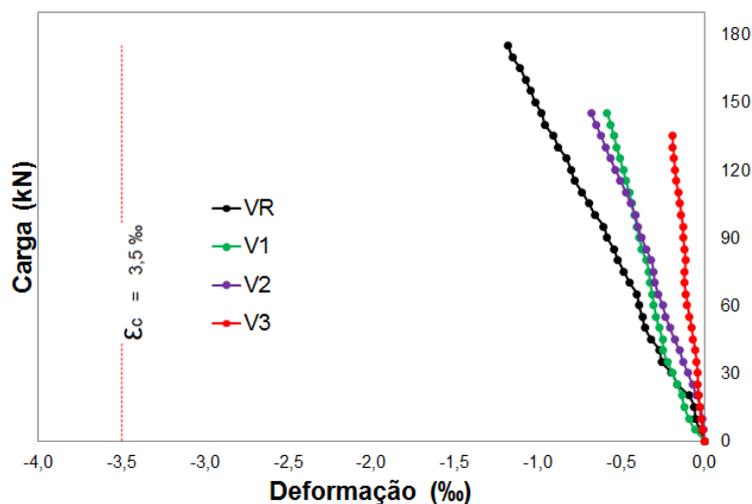


Figura 15 – Deformações na superfície do concreto.

### 3.5. DEFORMAÇÕES NA ARMADURA DE FLEXÃO - LEITURA NO EXTENSÔMETRO

A armadura de flexão foi monitorada no meio do comprimento da barra central como descrito no item 2.4.2. Os gráficos que representam as deformações das armaduras de flexão são apresentados na Figura 16. As vigas VR e V1 apresentaram escoamento da armadura de flexão na ruptura.

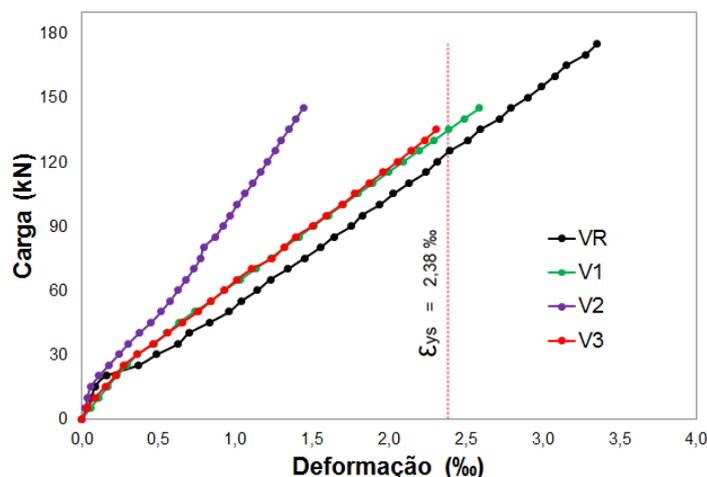


Figura 16 – Deformações na armadura de flexão

### 3.6. DEFORMAÇÕES NA ARMADURA DE CISALHAMENTO - LEITURA NO EXTENSÔMETRO

A armadura de cisalhamento foi monitorada no estribo localizado a 270 mm do apoio como descrito no item 2.4.2. O gráfico que representa as deformações das armaduras de flexão é apresentado na Figura 17. As deformações nos estribos das vigas V2 e V3 foram mais intensos, porque diminuiu a contribuição de concreto para combater os esforços de cisalhamento. Nota-se que a viga V3 que continha pouca contribuição de concreto no combate ao cisalhamento, sofreu uma deformação brusca quando da aplicação de carga de 750 kN.

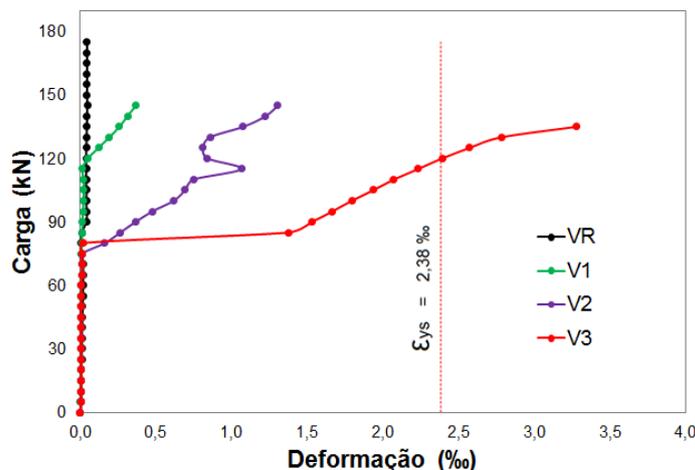


Figura 17 – Deformações na armadura de cisalhamento

Tabela 5 – Comparação resultados de cálculos (NBR) x resultados ensaios.

Viga	Modelo de Cálculo I $\alpha = 90^\circ$	Resultados Ensaio $V_u$ (kN)	Perda de Resistência Vigas Ensaeadas (%)	Modo de Ruptura	$V_u/V_{NBR}$
VR	169,0	186,0	0,0	Flexão	1,10
V1	160,2	166,0	10,8	Cisalhamento	1,04
V2	151,5	146,0	21,5	Cisalhamento	0,96
V3	142,7	137,0	26,3	Cisalhamento	0,96

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados resultados experimentais de 4 vigas de concreto armado sendo 3 delas de seção vazada. Foi observado que a redução da área de concreto da seção não influenciou significativamente no comportamento das vigas quanto aos deslocamentos verticais. Por outro lado, a comparação das cargas de ruptura evidencia que as vigas vazadas apresentam menor resistência ao esforço cortante que as vigas maciças. É importante ressaltar que as perdas de resistência variaram muito entre os elementos, sendo que entre viga VR e a viga V3 houve uma diferença de aproximadamente 26,3%. Houve uma economia de concreto e redução de peso entre as vigas VR e a viga V3 de aproximadamente 15,3%. Verificou-se também na tabela 5 que os resultados obtidos conforme Modelo de Cálculo I, foram muito próximos aos obtidos nos ensaios. O sistema estrutural de vigas vazadas com o uso de garrafas PET se mostra uma solução construtiva válida, sendo necessário o desenvolvimento de mais estudos a fim de melhorar o entendimento de seu comportamento e aprimorar a técnica.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao GAEMA/UFPa e ao IPEAM, pela disponibilidade dos laboratórios da Universidade para realização dos experimentos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739:** *Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos*. Rio de Janeiro, ABNT, 2007.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738:** *Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-prova*. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6152:** *Materiais metálicos - Determinação das propriedades mecânicas à tração*. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:** *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*, 2014.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211:** *Agregados para concreto – Especificação*. Rio de Janeiro, 1983.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655:** *Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2006.

**WIGHT, JAMES K.; MACGREGOR, JAMES G.** – *Reinforced Concrete, Mechanics & Design 6E*.

**INOUE, S.; EGAWA, N.** *Flexural and Shear Behavior of Reinforced Concrete Hollow Beams Under Reversed Cyclic Loads*. Elsevier Science Ltd, Paper No. 1359. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 1996.

**CHIAD, S. S.** *Shear Stresses of Hollow Concrete Beams*. *Journal of Applied Sciences Research*, v. 9, n. 4, p. 2880-2889, 2013.

**BERNARDO, L. F. A.; LOPES, S. M. R.** *Torsion in High-Strength Concrete Hollow Beams: Strength and Ductility Analysis*. *ACI Structural Journal*, no. 106-S05, p. 39-49, 2009.

**CANELLAS, S. S.** *Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas*.