

# ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE VIGAS OCAS

Julie Nuernberg (1), Daiane dos Santos Godinho (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)julie.nuernberg@hotmail.com, (2)dss@unesc.net

## RESUMO

Elementos de concreto armado com seção transversal ocas estão sendo cada vez mais utilizados, e são muito comuns em pontes, postes sob flexão composta, lajes alveolares, entre outros, reduzindo o peso próprio da estrutura e tendo uma economia de concreto. Diante do exposto, este trabalho tem por finalidade avaliar a viabilidade de vigas estruturais ocas, visando garantir a redução do volume de concreto, e o peso próprio da estrutura, com consequência a redução do custo. Foram executadas 24 vigas, sendo 12 maciças, e 12 ocas. Com dois diferentes espaçamentos dos estribos. Um modelo com espaçamento de 10 cm e o outro com 16 cm. As vigas moldadas foram submetidas a dois tipos de ensaio, sendo cisalhamento e flexão a quatro pontos. As vigas ocas foram moldadas com furos de  $\varnothing$  40 mm, posicionados abaixo da linha neutra e respeitando o cobrimento de classe de agressividade II. Os resultados indicaram que as vigas ocas apresentaram propriedades mecânicas estruturais estatisticamente iguais as vigas maciças, tanto na deformação quanto na resistência.

*Palavras-Chave: Concreto Armado. Vigas maciças. Vigas Ocas.*

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é um conjunto entre o concreto e o aço. É um material com alta resistência a compressão e baixa resistência a tração (cerca de 1/10 da resistência a compressão), (CARVALHO e FILHO, 2014). Com este material é possível formar vários tipos de elementos estruturais, tais como: lajes, vigas, pilares e fundações.

A maior desvantagem do concreto armado é seu peso próprio, cerca de 2500 kgf/m<sup>3</sup>, limitando seu uso e gerando aumento de custo, de acordo com (CARVALHO e FILHO, 2014). Para o dimensionamento de uma viga de concreto armado, são verificados os esforços de compressão, tração, flexão, torção e cisalhamento, estes efeitos ocorrem de acordo com a carga que é aplicada na estrutura e a forma de como ela é aplicada. Para o dimensionamento de uma viga de concreto armado atribui-se que a função do concreto é resistir ao esforço de compressão, que aparece acima da linha neutra,

enquanto o esforço de tração abaixo da mesma, é resistido pelo aço inserido na mistura.

Para Sobral (2016), algumas matérias primas tradicionais da construção civil têm reservas mapeadas escassas. Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas que possam substituir ou reduzir o uso destes materiais na construção civil. Um deles é o cimento, já que a produção deste é responsável por 5% da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de todo o mundo (na produção de uma tonelada de clínquer, é produzido uma tonelada de CO<sub>2</sub>), e 3% aproximadamente das emissões de gases do efeito estufa, conforme (MAURY e BLUMENSCHNEIN, 2012).

Para Inoue (1996) e Chiad (2013), elementos de concreto armado com seção vazada são bastante utilizados em pontes, postes sob flexão composta, lajes alveolares entre outros, visando aumentar a rigidez diminuindo o peso próprio do elemento. Esta metodologia de construção poderia ser utilizada em obras convencionais como construções de casas populares, ou obras com estrutura em concreto armado de pequeno e médio porte.

De acordo com (JUNIOR e HOROWITZ, 2016) há um uso frequente de seções com cortes transversais ocos, mas pouco trabalho de pesquisa foi feito para realizar análises comportamentais de tais membros quando submetidos a flexão, cisalhamento e forças normais.

O presente estudo tem por finalidade verificar o desempenho estrutural de vigas de concreto armado maciças e compará-las com vigas ocas, para a redução de uso de concreto em vigas, como consequência a diminuição do uso do cimento na construção civil e a diminuição do peso próprio.

Foram produzidas 24 vigas, com seção de 15x30 cm e 180 cm de comprimento, sendo que 12 vigas maciças de referência e 12 vigas do tipo oca, variando também o espaçamento entre os estribos.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

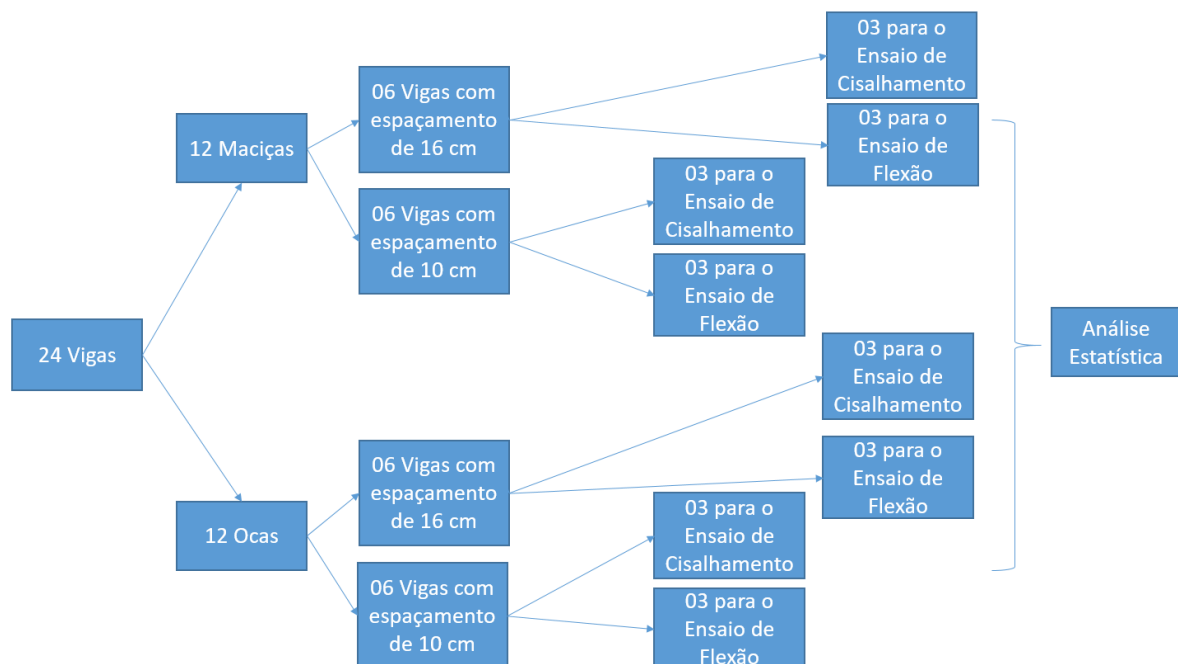
### **2.1 MATERIAIS**

Para a execução das vigas foi utilizado concreto com resistência característica de 20 MPa. Foi utilizado à área de aço mínima. O aço utilizado para a armadura de flexão foi de 2 Ø 8,0 mm CA-50, totalizando 1 cm<sup>2</sup> de área de aço, sabendo que a área de

ação mínima é de 0,68 cm<sup>2</sup>. Para o porta estribo foram utilizados 2 Ø 5,0 mm CA-60, e os estribos também de Ø 5,0 mm, mínimo pela NBR 6118/2014. A confecção das vigas ocas foi realizado com o auxílio de um tubo de PVC com Ø de 40 mm passando por toda a seção longitudinal da peça, respeitando o cobrimento de classe de agressividade II do concreto armado.

Para melhor visualização foi construído um fluxograma, conforme a Figura 1, de como foi desenvolvida a pesquisa.

Figura 1 - Fluxograma



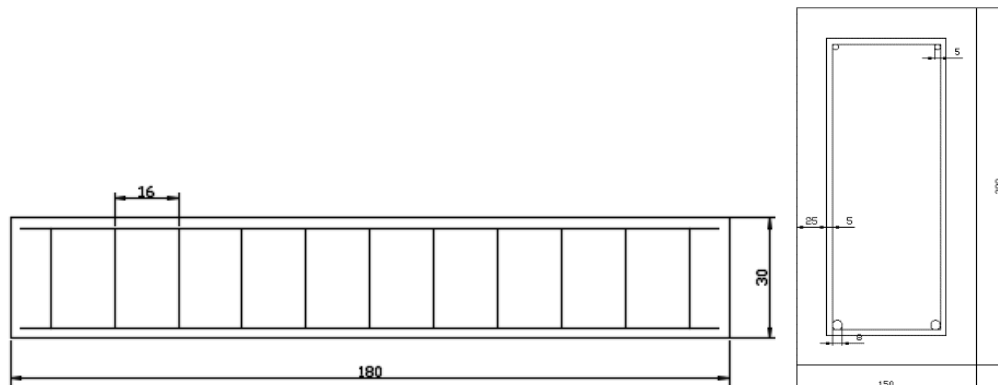
Fonte: do Autor, 2017

## 2.2 DESCRIÇÕES DAS VIGAS

### 2.2.1 Modelos A e B

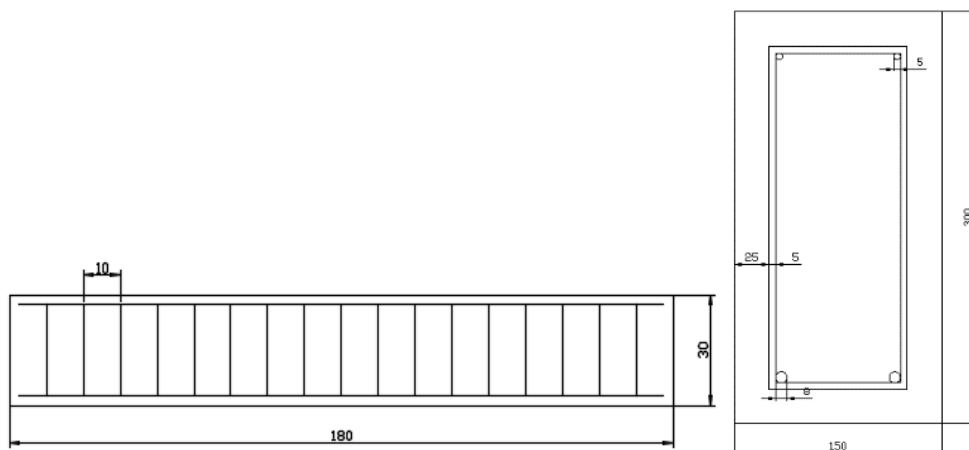
Os modelos A e B foram feitos com vigas de concreto armado maciça com seção de 15x30x180 cm, seguindo a ordem, base, altura e comprimento. Para o modelo A, as vigas foram executadas com estribos a cada 16 cm, totalizando um número de 11 estribos para cada viga, apresentado na Figura 2. O modelo B foi executado com espaçamento dos estribos a cada 10 cm, totalizando um número de 17 estribos para cada viga, apresentado na Figura 3. A seção transversal é a mesma para os dois modelos.

Figura 2 - Modelo A e Seção Transversal



Fonte: do Autor, 2017

Figura 3 - Modelo B e Seção Transversal

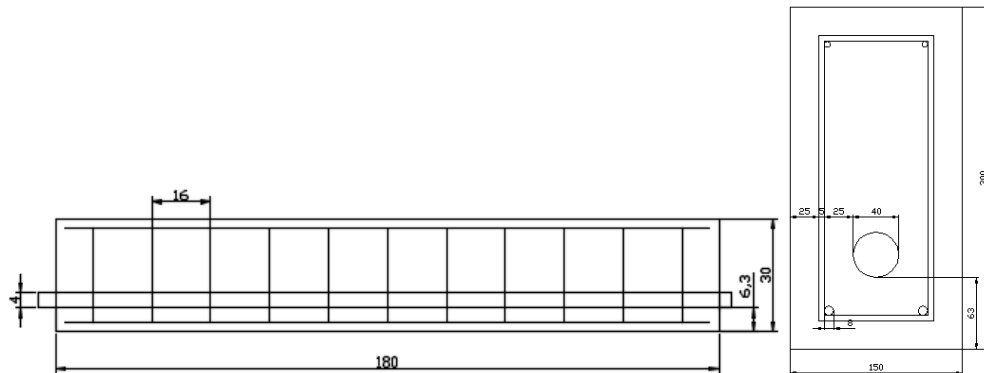


Fonte: do Autor, 2017

### 2.2.2 Modelos C e D

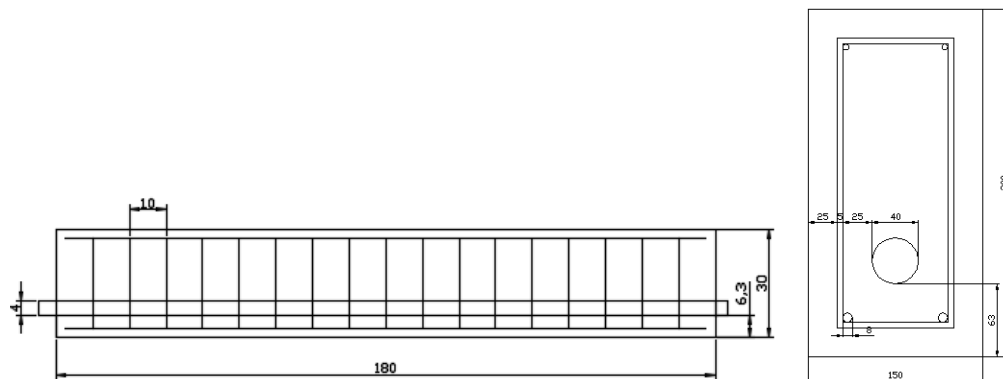
O modelos C e D foram feitos com vigas de concreto armado ocas, com seção de 15x30x180 cm, seguindo a ordem, base, altura e comprimento. O modelo C foi executado com espaçamento dos estribos a cada 16 cm, totalizando um número de 11 estribos para cada viga, conforme Figura 4. Para o modelo D as vigas foram executadas com espaçamento dos estribos a cada 10 cm, totalizando um número de 17 estribos para cada viga, conforme Figura 5. Para a execução da parte oca, foi utilizado um tubo de PVC de  $\varnothing$  40 mm. A seção transversal é a mesma para os dois modelos.

Figura 4 - Modelo C e Seção Transversal



Fonte: do Autor, 2017

Figura 5 - Modelo D e Seção Transversal



Fonte: do Autor, 2017

## 2.3 CISALHAMENTO

Os ensaios mecânicos foram realizados no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC, localizado no IParque.

Parte do conjunto de vigas foram submetidas ao ensaio de cisalhamento. Para a realização do ensaio foram posicionadas as vigas sob um pórtico de reação e foram aplicadas cargas a partir de um cilindro hidráulico de controle elétrico com capacidade de 500 kN, a uma distância 40 cm da face externa da viga até o centro do pistão, conforme Figura 6. Para aferir os deslocamentos foram utilizados dois transdutores de deslocamento (LVDT) de 100 mm, localizados no centro da viga. Além do pórtico metálico e do cilindro hidráulico foi utilizado uma célula de carga na base do cilindro, ligada ao sistema de aquisição de dados Quantum X® que utiliza o software Catman Easy®, ambos da marca HBM®.

Figura 6 - Ensaio de Cisalhamento



Fonte: do Autor, 2017

## 2.4 ENSAIO DE FLEXÃO A QUATRO PONTOS

Parte do conjunto das vigas foram submetidas ao ensaio de flexão a quatro pontos. Para a realização do ensaio foram posicionadas as vigas sob um pórtico de reação e foram aplicadas cargas a partir de um cilindro hidráulico de controle elétrico com capacidade de 500 kN. Para aferir o deslocamento foram utilizados dois transdutores de deslocamento (LVDT) de 100 mm, localizados no centro das vigas. Os equipamentos estão conectados ao sistema de aquisição de dados Quantum X® que utiliza o software Catman Easy®, ambos da marca HBM®. As cargas foram aplicadas pelo cilindro hidráulico e através de um perfil metálico, que foram transferidas para dois pontos localizados nos terços das vigas, conforme Figura 7.

Figura 7 - Ensaio de Flexão a quatro pontos



Fonte: do Autor, 2017

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

O concreto para a execução das vigas e os corpos de prova foi do tipo usinado. O resultado do *slump-test* apresentou um abatimento de 10 cm, obtendo uma consistência medianamente plástica, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014.

Foi retirado três unidades de corpos de prova para realizar o ensaio de resistência a compressão axial conforme a ABNT NBR 5739:2007 foi realizado aos 28 dias, no qual apresentou uma média de 21,17 MPa.

#### 3.2 ENSAIO DE FLEXÃO

##### 3.2.1 Carregamento no Deslocamento Máximo (L/250)

Os valores de carga aplicados para atingir o deslocamento máximo permitido pela NBR 6118:2014 que, neste caso, é de 6,80 mm, estão mostrados na Tabela 1. Observa-se que: a média dos valores em relação das vigas com o espaçamento dos estribos a cada 10 cm houve um aumento da carga de 2,52% para as vigas ocas. Já para o espaçamento dos estribos a cada 16 cm também houve um aumento da carga de 6,43% para as vigas ocas. Percebe-se que o comportamento das vigas ocas para o deslocamento máximo foi mais eficiente em relação as vigas maciças.

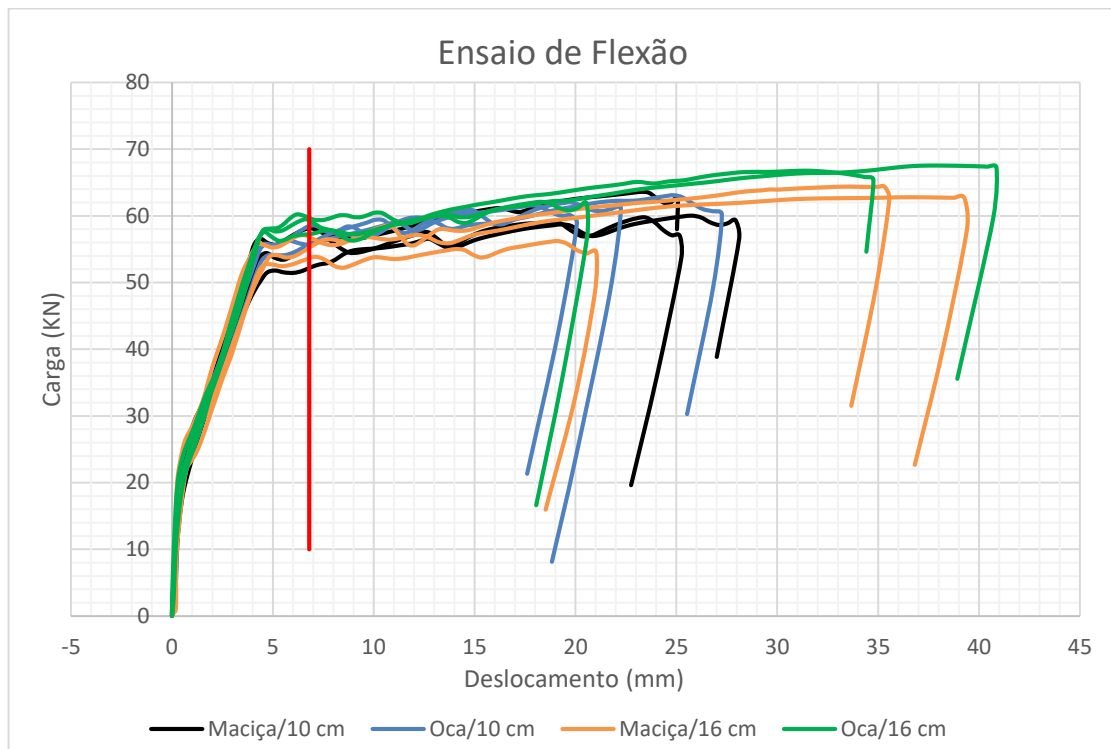
Tabela 1. Carregamento no Deslocamento Máximo (L/250)

Amostras	10 cm		16 cm	
	Maciça	Oca	Maciça	Oca
	Carga (kN)	Carga (kN)	Carga (kN)	Carga (kN)
1	58,05	58,47	55,22	59,28
2	55,52	55,73	56,82	57,29
3	52,17	55,73	53,61	59,71
<b>Média</b>	55,25	56,64	55,21	58,76
<b>Desvio Padrão</b>	2,95	1,58	1,60	1,29

Fonte: do Autor, 2017.

O comportamento das amostras pode ser observado na Figura 8, que apresenta o deslocamento vertical em relação à carga aplicada nas vigas. Pode-se observar que para o deslocamento (L/250) todas as vigas possuem um comportamento igual.

Figura 8 - Gráfico Ensaio de Flexão (L/250)



Fonte: do Autor, 2017

Com o objetivo de analisar e comparar simultaneamente os resultados dos ensaios dos modelos, para que assim pudesse ser verificado a variância entre estes, foi efetuado a análise estatística ANOVA, que consiste em verificar a existência de uma diferença significativa entre as médias das amostras, e se os fatores apresentam influência em alguma variável dependente. Para tal, foi utilizado um intervalo de confiança de 95% em todas as análises. Os valores são estatisticamente iguais, caso  $F$  seja menor que o  $F$  crítico, caso contrário,  $F$  seja maior que o  $F$  crítico, os valores são estatisticamente diferentes. De acordo com a Tabela 2 verifica-se que os valores são estatisticamente iguais.

O teste t bilateral é um teste de hipótese que usa conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula quando a estatística de teste segue uma distribuição t-Student. Foi utilizado o teste de comparação de médias com variância desiguais, com ponto corte de 5%, ou seja, valores de "P" maiores que 0,05 estatisticamente são iguais. De acordo com a Tabela 3 todos os modelos são iguais.



Tabela 2. ANOVA – Deslocamento máximo (L/250)

<b>RESUMO</b>							
<b>Grupo</b>	<b>Contagem</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Variância</b>			
10 cm	3	165,74	55,25	8,71			
16 cm	3	165,64	55,21	2,57			
10 cm	3	169,93	56,64	2,51			
16 cm	3	176,27	58,76	1,67			
<b>ANOVA</b>							
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F crítico</b>	
<b>Entre grupos</b>	25,01	3	8,34	2,16	0,17	4,07	
<b>Dentro dos grupos</b>	30,93	8	3,87				
<b>Total</b>	55,94	11					

Fonte: do Autor, 2017

Tabela 3. Teste T Bilateral Deslocamento Máximo (L/250)

	<b>MACIÇA</b>		<b>OCA</b>		<b>MACIÇA - OCA</b>		<b>MACIÇA - OCA</b>	
	<b>10 cm</b>	<b>16 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>16 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>16 cm</b>	<b>16 cm</b>
<b>Média</b>	55,25	55,21	56,64	58,76	55,25	56,64	55,21	58,76
<b>Variância</b>	8,71	2,57	2,51	1,67	8,71	2,51	2,57	1,67
<b>Observações</b>	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
<b>gl</b>	3,09		3,85		3,06		3,83	
<b>Stat t</b>	0,02		-1,79		-0,72		-2,98	
<b>P(T&lt;t) bi-caudal</b>	<u>0,99</u>		<u>0,17</u>		<u>0,52</u>		<u>0,06</u>	
<b>t crítico bi-caudal</b>	3,18		2,78		3,18		2,78	

Fonte: do Autor, 2017

O concreto é um material com alta resistência a compressão e baixa resistência a tração (cerca de 1/10 da resistência a compressão), conforme (BASTOS, 2006). Como o concreto é um material que não resiste a tração, então quem absorveu esta deformação solicitada foi o aço na região tracionada, observa-se que o concreto retirado não ofereceu algum impacto nas vigas.

### 3.2.2 Carregamento na Ruptura

Os valores de carga aplicados para atingir a ruptura estão presentes na Tabela 4 com seus respectivos deslocamentos verticais, constando a média e o desvio padrão. Observa-se que na média dos valores houve um aumento da carga quando

comparado os grupos de diferentes espaçamentos de estribos. Para o espaçamento de 10 cm houve um aumento de 1,8% para viga oca. Dentro deste mesmo grupo percebeu-se que houve uma diminuição no deslocamento vertical de 13,87% para a viga oca. Para o espaçamento de 16 cm houve um aumento da carga de 7,1% para a viga oca e para o deslocamento houve também uma diminuição de 1,98%. Percebe-se então que de acordo com as médias, as vigas ocas foram mais eficientes para a carga e o deslocamento vertical.

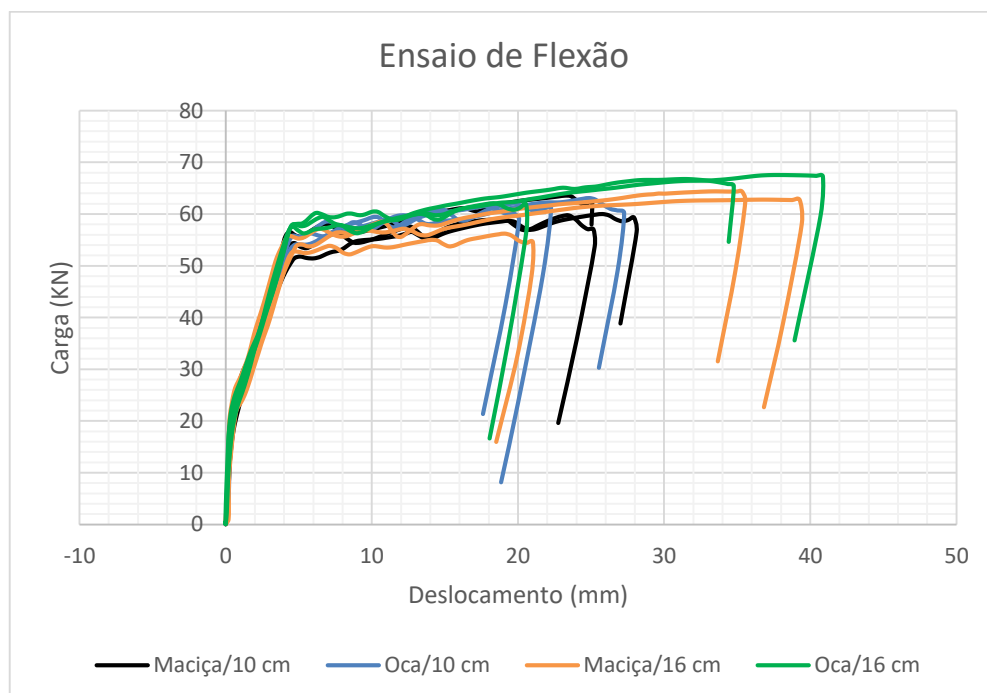
Tabela 4. Carregamento na Ruptura

Amostras	10 cm				16 cm			
	Maciça		Oca		Maciça		Oca	
	Carga (kN)	Flecha (mm)	Carga (kN)	Flecha (mm)	Carga (kN)	Flecha (mm)	Carga (kN)	Flecha (mm)
1	63,57	23,20	62,00	19,79	62,79	36,74	62,12	18,32
2	59,76	23,47	61,54	17,76	64,39	33,56	67,56	37,77
3	60,02	25,77	63,08	24,87	56,23	19,10	66,77	31,53
<b>Média</b>	61,11	24,15	62,21	20,80	61,14	29,80	65,48	29,21
<b>Desvio Padrão</b>	2,13	1,41	0,79	3,66	4,32	9,40	2,94	9,93

Fonte: do Autor, 2017

O comportamento das amostras pode ser comparado na Figura 9, que apresenta um gráfico mostrando o deslocamento vertical em relação à carga aplicada nas vigas. Pode-se observar que todas as vigas possuem um comportamento igual.

Figura 9 - Gráfico Ensaio de Flexão na Ruptura



Fonte: do Autor, 2017

Para a análise estatística do carregamento na ruptura, de acordo com a Tabela 5, verificou-se que o valor de F é menor que o do F crítico, então estatisticamente os valores são iguais. E para o Teste T Bilateral mostrado na Tabela 6, todos os valores foram maiores que 0,05 sendo estatisticamente iguais.

Tabela 5. ANOVA –Carregamento na Ruptura

<b>RESUMO</b>						
<b>Grupo</b>	<b>Contagem</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Variância</b>		
10 cm	3	183,34	61,11	4,52		
16 cm	3	183,41	61,14	18,70		
10 cm	3	186,62	62,21	0,63		
16 cm	3	196,45	65,48	8,64		
<b>ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Entre grupos</b>	38,30	3	12,77	1,57	0,27	4,07
<b>Dentro dos grupos</b>	64,98	8	8,12			
<b>Total</b>	103,28	11				

Fonte: do Autor, 2017

Tabela 6. Teste T Bilateral Carregamento na Ruptura

	<b>MACIÇA</b>		<b>OCA</b>		<b>MACIÇA - OCA</b>		<b>MACIÇA - OCA</b>	
	<b>10 cm</b>	<b>16 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>16 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>16 cm</b>	<b>16 cm</b>
<b>Média</b>	61,11	61,14	62,21	65,48	61,11	62,21	61,14	65,48
<b>Variância</b>	4,52	18,70	0,63	8,64	4,52	0,63	18,70	8,64
<b>Observações</b>	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
<b>gl</b>	3,00		2,00		3,00		4,00	
<b>Stat t</b>	-0,01		-1,87		-0,83		-1,44	
<b>P(T&lt;t) bi-caudal</b>	<u>0,99</u>		<u>0,20</u>		<u>0,47</u>		<u>0,22</u>	
<b>t crítico bi-caudal</b>	3,18		4,30		3,18		2,78	

Fonte: do Autor, 2017

### 3.3 ENSAIO DE CISALHAMENTO CARREGAMENTO NA RUPTURA

Para o ensaio de Cisalhamento foram utilizado apenas os valores para o carregamento na ruptura. De acordo com a Tabela 7 verificou-se que para o grupo de espaçamento dos estribos de 10 cm obteve-se um aumento de carga de 5,36% para

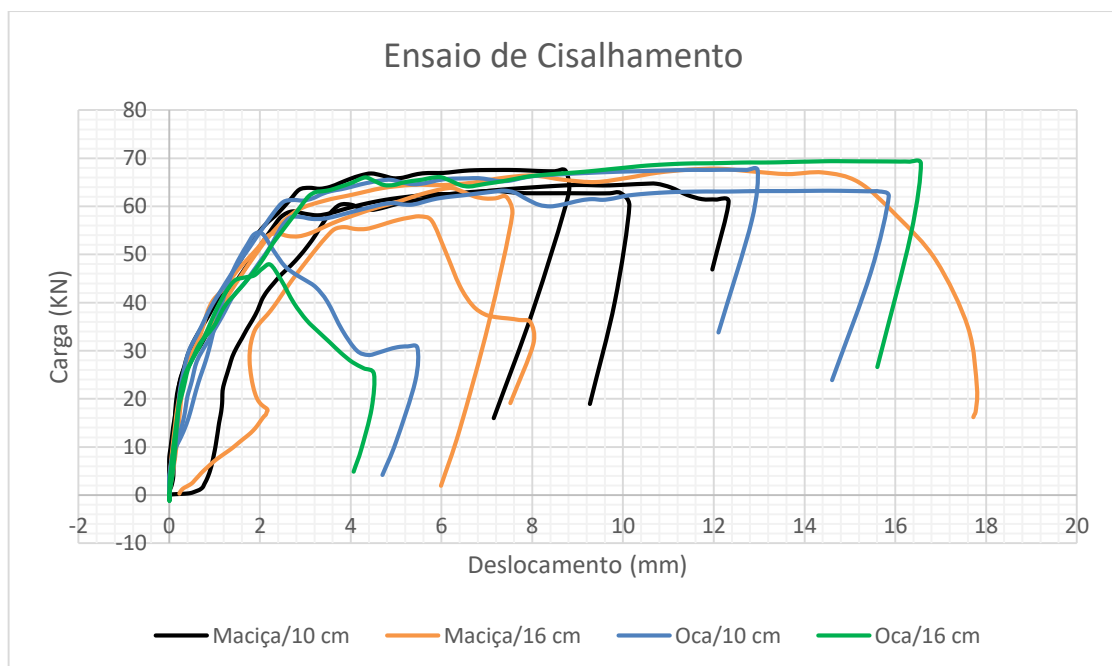
as vigas maciças, e no deslocamento vertical uma diminuição de flecha de 4,7% para as vigas maciças. Já para o grupo do espaçamento de 16 cm obteve-se um aumento da carga para o modelo das vigas maciças de 1,4%, e no deslocamento vertical houve uma diminuição de 15,46% para as vigas maciças.

Tabela 7. Carregamento na Ruptura

Amostras	10 cm				16 cm			
	Maciça		Oca		Maciça		Oca	
	Carga (kN)	Flecha (mm)	Carga (kN)	Flecha (mm)	Carga (kN)	Flecha (mm)	Carga (kN)	Flecha (mm)
1	62,80	9,15	63,24	14,43	63,80	6,24	69,38	14,68
2	67,60	7,49	54,29	2,05	67,82	12,11	47,90	2,23
3	64,66	10,75	67,60	12,25	57,93	7,90	69,50	14,16
<b>Média</b>	65,02	9,13	61,71	9,58	63,18	8,75	62,26	10,35
<b>Desvio Padrão</b>	2,42	1,63	6,78	6,61	4,97	3,02	12,44	7,04

Fonte: do Autor, 2017

Figura 10 - Gráfico Ensaio de Cisalhamento



Fonte: do Autor, 2017

O comportamento das amostras pode ser visualizado na Figura 10, que apresenta um gráfico mostrando o deslocamento vertical em relação à carga aplicada nas vigas. Pode-se observar que nem todas as vigas tiveram o mesmo comportamento. Para o ensaio de cisalhamento apenas algumas vigas romperam por cisalhamento, a maioria

rompeu por flexão, justamente pela falta de armadura de flexão.

Para a análise estatística do carregamento na ruptura do ensaio de cisalhamento, de acordo com a Tabela 8, verificou-se que o valor de F é menor que o do F crítico, demonstra que as amostras são estatisticamente iguais. E para o Teste T Bilateral mostrado na Tabela 9, todos os valores foram maiores que 0,05, sendo também estatisticamente iguais.

Tabela 8. ANOVA – Carregamento na Ruptura

<b>RESUMO</b>						
<b>Grupo</b>	<b>Contagem</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Variância</b>		
10 cm	3	195,06	65,02	5,84		
16 cm	3	189,54	63,18	24,75		
10 cm	3	185,13	61,71	46,03		
16 cm	3	186,77	62,26	154,67		
<b>ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Entre grupos</b>	18,98	3	6,33	0,11	0,95	4,07
<b>Dentro dos grupos</b>	462,57	8	57,82			
<b>Total</b>	481,54	11				

Fonte: do Autor, 2017

Tabela 9. Teste T Bilateral Carregamento na Ruptura

	<b>MACIÇA</b>		<b>OCA</b>		<b>MACIÇA - OCA</b>		<b>MACIÇA - OCA</b>	
	<b>10 cm</b>	<b>16 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>16 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>16 cm</b>	<b>16 cm</b>
<b>Média</b>	65,02	63,18	61,71	62,26	65,02	61,71	63,18	62,26
<b>Variância</b>	5,84	24,75	46,03	154,67	5,84	46,03	24,75	154,67
<b>Observações</b>	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
<b>gl</b>	3,00		3,00		2,00		3,00	
<b>Stat t</b>	0,58		-0,07		0,80		0,12	
<b>P(T≤t) bi-caudal</b>	<u>0,60</u>		<u>0,95</u>		<u>0,51</u>		<u>0,91</u>	
<b>t crítico bi-caudal</b>	3,18		3,18		4,30		3,18	

Fonte: do Autor, 2017

Com base nos ensaios efetuados verificou-se que para seções ocas, a resposta não linear é praticamente independente da percentagem de armadura transversal utilizada, de acordo com (VENTURA; BARROS e AZEVEDO, 2003). Para o ensaio de cisalhamento não houve diferença da carga resistida entre o grupo do espaçamento de 10 e 16 cm.

### 3.4 FISSURAS

As fissuras foram analisadas a partir de critério visual, e podem ser verificadas conforme exposto nas Figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18.

Nas Figuras 11 e 12 apresentam rupturas típicas por flexão, sendo as vigas do modelo A e B, respectivamente.

Nas Figuras 13 e 14 apresentam rupturas típica por flexão, sendo as vigas do modelo D e C, respectivamente.

Figura 11 - Fissuras Vigas Maciças com S a cada 16 cm



Fonte: do Autor, 2017

Figura 12 - Fissuras Vigas Maciças com S a cada 10 cm



Fonte: do Autor, 2017

Figura 13 - Fissuras Vigas Ocas com S a cada 10 cm



Fonte: do Autor, 2017

Figura 14 - Fissuras Vigas Ocas com S a cada 16 cm



Fonte: do Autor, 2017

Para a Figura 15 as V22 e V24 apresentam ruptura por flexão e a V23 apresenta uma fissura por cisalhamento.

Figura 15 - Fissuras Vigas Ocas com S a cada 16 cm



Fonte: do Autor, 2017

Para a Figura 16 as V12 e V9 apresentam fissuras de cisalhamento e a V8 fissurou por flexão.

Figura 16 - Fissuras Vigas Maciças com S cada 16 cm



Fonte: do Autor, 2017

Para a Figura 17 as V16 e V18 apresentam fissuras por flexão e a V17 apresenta uma fissura por cisalhamento.

Figura 17 - Fissuras Vigas Ocas com S a cada 10 cm



Fonte: do Autor, 2017

Para a Figura 18 apresentam fissuras por flexão, justamente pela falta de armadura de flexão.

Figura 18 - Fissuras Vigas Maciças com S a cada 10 cm



Fonte: do Autor, 2017

#### 4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O resultado do ensaio de abatimento do tronco de cone e de resistência à compressão axial apresentaram resultados satisfatórios, sendo estes de 10 cm e 21,17 MPa, respectivamente;
- A relação entre as cargas para o deslocamento máximo ( $L/250$ ) foi 2,52% para o espaçamento de 10 cm e 6,43% para o espaçamento de 16 cm maior para as vigas ocas, ambas comparadas com as vigas maciças com seu respectivo espaçamento;
- A carga aplicada para a ruptura no Ensaio de Flexão a quatro pontos apresentou um aumento de 1,8% com espaçamento de 10 cm e 7,1% para o espaçamento de 16 cm, para as vigas ocas, ambas comparadas com as vigas maciças e seu respectivo espaçamento;
- O deslocamento na ruptura do Ensaio de Flexão a quatro pontos apresentou uma diminuição de 13,87% para o espaçamento de 10 cm e 1,98% para o



espaçamento de 16 cm, para as vigas ocas, ambas comparadas com as vigas maciças e seu respectivo espaçamento;

- A carga para a ruptura do Ensaio de Cisalhamento apresentou um aumento de 5,36% para o espaçamento de 10 cm e 1,4% para o espaçamento de 16 cm, para as vigas maciças, utilizando as vigas ocas como comparação;
- O deslocamento na ruptura do Ensaio de Cisalhamento apresentou uma diminuição para as vigas maciças de 4,7% com espaçamento de 10 cm e 15,46% com o espaçamento de 16 cm, utilizando as vigas ocas como comparação;
- A partir da análise de variância Anova, constatou-se que em todos os ensaios os modelos de vigas são estatisticamente iguais;
- Através da análise de variância Anova constatou-se o que inicialmente era esperado, que as vigas ocas se comportavam mecanicamente igual as vigas maciças.
- Houve uma economia de concreto das vigas maciças para as ocas de 2,81%.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Aumentar a seção vazada gradativamente para verificar se há diferença;
- Encontrar algum método para que possa fazer a retirada do tubo de PVC para verificar se ele interferiu nos dados obtidos;
- Aumentar a armadura de flexão, para que as vigas rompam por cisalhamento e verificar se há diferença significativa.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

BASTOS, P. S. D. S. Fundamentos do Concreto Armado, Bauru, 2006.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. D. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4<sup>a</sup>. ed. São Carlos: Edufscar, 2014.

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

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.

JUNIOR, F. O. Q.; HOROWITZ, B. Shear strength of hollow circular sections. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 9, março, abril 2016.

MAGALHÃES, A. V Carlos; LIMA, M. Cristian; ALMEIDA JR, S. Guido; BRANCO, H.F. Renato. **Economia de Concreto – Vigas Ocas**. Universidade do Vale do Paraíba, 2011.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**, 4 Junho 2012. 75-95.

SOBRAL, A. S. B. **Viga de Concreto Armado Utilizando Garrafas PET**. Universidade Federal do Pará. Belém, p. 65. 2016. (PPCS).

VENTURA, G.A. ; BARROS, J.A.O. ; AZEVEDO, A.F.M. **Comportamento de vigas de concreto armado de seção oca submetidos a flexão, corte e torção**. Viseu-Portugal, 59-68p. Tese (Mestrado) –Instituto Politécnico de Viseu-Escola Superior de Tecnologia-Departamento de Engenharia Civil, (2003).