

A INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES PROCEDIMENTOS DE CURA NA CAPACIDADE PORTANTE E ABERTURA DE FISSURAS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO.

Cíntia Cardoso Dal Pont (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)cintiadalpont@hotmail.com, (2)alexandrevargas@terra.com.br

RESUMO

Os procedimentos de cura são fundamentais para aumentar a vida útil do concreto. Dentre os vários cuidados a serem tomados na obra, para obtenção de um bom concreto, a cura faz parte da última operação da execução do mesmo. A deficiência nesse procedimento, influencia na capacidade de carga, na abertura de fissuras e deformações dos elementos estruturais. O objetivo deste trabalho é dar continuidade ao estudo de Rabaiolli (2012), avaliando a capacidade portante e abertura de fissuras entre vigas de concreto armado, submetidas a três diferentes procedimentos de cura. O diferencial está na armadura de flexão dos elementos que foi dimensionada no domínio 3. Para o estudo foram confeccionados três grupos de três vigas sendo que no primeiro, a cura não foi realizada, o segundo foi realizado cura parcial (aspersão descontínua de água) e o terceiro submerso em água. Para cada elemento, do total de nove, foi realizado o ensaio de flexão em quatro pontos de modo a verificar a capacidade de carga, flecha, formação e abertura de fissuras. As médias dos resultados estatísticos não demonstraram influência dos diferentes procedimentos de cura na capacidade de carga, deslocamento, formação e abertura de fissuras.

Palavras-Chave: Cura. Vigas. Concreto armado.

1. INTRODUÇÃO

Em busca de melhores desempenhos dos concretos nos canteiros de obra, ou seja, concretos mais duráveis e que atinjam as resistências exigidas em projetos, fica evidente a necessidade da realização adequada da cura do concreto. A cura do concreto é importante no sentido de evitar que o concreto perca sua água responsável pela hidratação dos compostos presentes na pasta de cimento, principais responsáveis pelo ganho de resistência no concreto, além de promover maior durabilidade, em seu estado endurecido, contra agentes agressivos. Apesar de realizada a cura na obra, mesmo que de forma irregular, esta mesmo assim traz benefícios ao concreto, pois concretos curados apresentam valores mais significativos se comparados aos concretos sem a realização desta.



Os ganhos de resistência nos elementos estruturais de concreto possuem uma ligação direta aos métodos adequados de cura. Segundo a NBR 19431 (2004), elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica, igual ou maior que 15MPa. De modo que durante a fase de hidratação, a cura seja realizada o mais breve possível, para que haja água suficiente para a máxima reação das partículas na pasta endurecida.

De acordo com Pfeil (1984, p.92), "o concreto armado é constituído por dois materiais - concreto e barras de aço - de naturezas muito diferentes, porém com algumas propriedades complementares."

Araújo (2003, p.01) explica que, o funcionamento desses dois materiais só é possível graças a aderência. Devido à aderência, as deformações das barras de aço são praticamente iguais às deformações do concreto que as envolve. Em razão de sua resistência a tração baixa, o concreto fatura na região tracionada do elemento estrutural. Desse momento em diante, os esforços de tração passam a ser absorvidos pela armadura. Isso impede a ruína brusca da estrutura, o que ocorreria, por exemplo, em uma viga de concreto simples.

Segundo Carvalho (2010, p.41) "o dimensionamento de uma estrutura deve garantir que ela suporte, de forma segura, estável e sem deformações excessivas, todas as solicitações a que está submetida durante sua execução e utilização."

A NBR 6118 (2007) cita no item 14.2.1 o objetivo da análise estrutural, que é determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com finalidade de efetuar verificações de estados - limite últimos e de serviço.

Os métodos de dimensionamento das estruturas de concreto armado são classificadas em dois grupos: os métodos clássicos ou das tensões admissíveis, e os métodos de cálculo na ruptura ou dos estados limites.

A segurança da estrutura é garantida partindo-se do princípio que as cargas atuantes nunca poderão ser maiores que a resistência à solicitação máxima do material. Segundo a NBR 6118 (2007) no item 12.5.2 as resistências não devem ser



maiores que as solicitações e devem ser verificadas em todos os estados limites e carregamentos específicos para cada tipo de construção considerada. Neste trabalho será reproduzido o experimento realizado por Rabaiolli (2012), avaliando o comportamento entre três grupos de vigas de concreto armado, submetidas ao ensaio de flexão, com esses grupos passados por três tipos de procedimento de cura, negligenciada, cura parcial e submerso em água. Porém a armadura de flexão utilizada não é armadura mínima como foi anteriormente estudado, mas sim uma armadura dimensionada para atuar no domínio de deformação 3.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com intuito de analisar a influência da cura no desempenho de vigas de concreto armado, foram moldados nove elementos com seção transversal de (12 x 25) cm e comprimento de 240 cm, afim de comparação com Rabaiolli (2012). Todos os elementos confeccionados foram armados com área de aço de flexão para atuar no domínio 3 ($x/d = 0,460$), dimensionados de acordo com a NBR 6118 (2007).

A armadura utilizada na confecção dos elementos foi aço do tipo CA 50 pré fabricado (cortado e dobrado), o concreto rodado em betoneira, com fck de 25MPa, slump de (80 ± 10) mm e relação água cimento de 0,6. Essas características foram verificadas através da moldagem de dezoito corpos de prova cilíndricos conforme especificações da NBR 5738 (2003), e ensaiados aos sete e vinte e oito dias na prensa de compressão da marca EMIC, modelo PC200I e capacidade de 200 toneladas do LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNESC localizado no I.Parque, respeitando o estabelecido pela NBR 5739 (2007). Para realizar uma comparação com análise do experimento de Rabiolli (2012), foi adotado no dimensionamento ao invés do fck a resistência média a compressão (fcm) das amostras cujo valor foi de 30,81 MPa. Foram formados três grupos de vigas cada qual contendo três unidades, que ficaram expostos às seguintes condições:

- Grupo 01 - sem realizar a cura;

- Grupo 02 - Cura parcial (aspersão descontínua de água), no período de dez dias;
- Grupo 03 - Submerso em água durante vinte e oito dias.

Os procedimentos de cura dos grupos 02 e 03 iniciaram-se logo após o tempo de pega do concreto, ou seja, duas horas e trinta minutos aproximadamente, após a injeção de água no amassamento do concreto. Devido à pressão exercida pela água sobre as vigas submersas (grupo 03), essas foram submetidas a tal condição após o tempo de vinte e quatro horas onde a resistência do elemento era maior que a pressão exercida pela água, até então as vigas foram curadas com aspersão de água nas fôrmas para que mantivessem umedecidas (Figura 01). O grupo que não passou por nenhum procedimento de cura foi protegido no caso de ocorrência de chuva, de maneira a não ter qualquer contato com a água. Na idade de vinte e oito dias as vigas foram transportadas do local de moldagem para o LEE - Laboratório Experimental de Estruturas do I.Parque -I.DT - UNESC, durante o transporte tomou-se o máximo cuidado para que os elementos não sofressem qualquer tipo de esforço. Já no local receberam pinturas com cal dissolvido em água para poder visualizar melhor a formação e aberturas de fissuras.

Figura 01: (a) cura parcial; (b) cura submersa; (c) cura negligenciada



a)

b)

c)

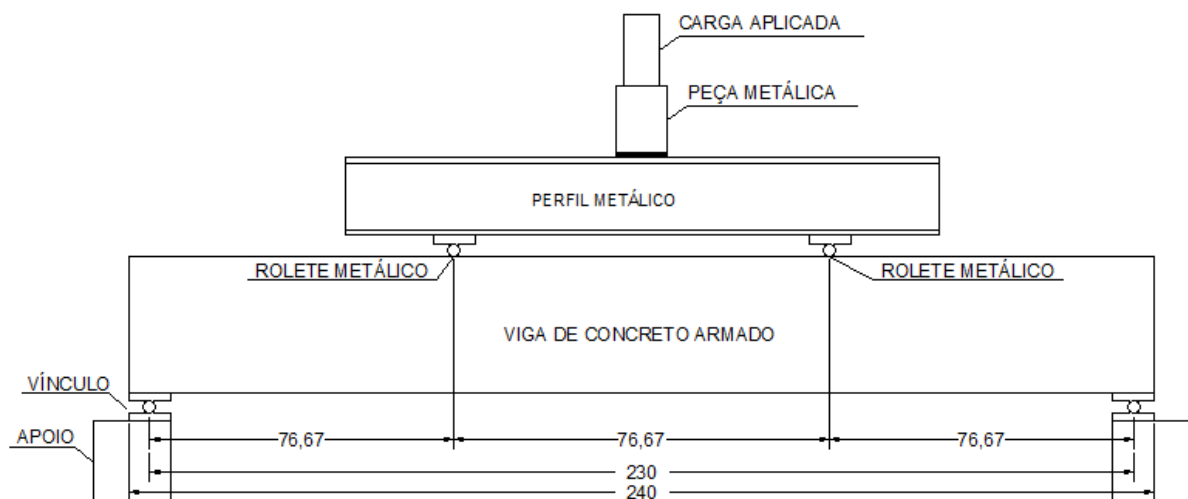
Fonte: Autor, 2012.

2.1 METODOLOGIA NO ENSAIO DAS VIGAS

Com o objetivo de fornecer dados de carga aplicada x flecha, foram utilizados os seguintes equipamentos: Pórtico metálico sobre uma laje de reação, cilindro hidráulico da marca ENERPAC com capacidade de carga de 500KN, transdutor de deslocamento (LVDT) de 100mm da marca HBM, além do equipamento de aquisição de dados QUANTUM X que utiliza o software Catman Easy, ambos também da marca HBM.

Todos elementos foram ensaiados posicionados individualmente de maneira bi apoiada e receberam carregamento em quatro pontos equidistantes. O carregamento foi aplicado de cima para baixo, diretamente sobre um perfil metálico com rigidez apropriada a transferir para as vigas de concreto, duas cargas pontuais nos terços médio. Está representado conforme Figura 02 o esquema adotado para o ensaio.

Figura 02: Modelo de aplicação da carga



Fonte: Autor, 2012.

Foi verificada a formação de abertura de fissuras, flecha e capacidade de carga na ruptura ao decorrer da aplicação da carga. De modo a analisar a diferença de comportamento entre as vigas as verificações se deram nos seguintes tempos da aplicação de carga:

- Quando aplicada a carga calculada para o estado limite de serviço (ELS);

- Quando aplicada a carga calculada para o estado limite último (ELU);
- Quando o valor da flecha atingiu o máximo permitido por norma ($l/250$) e
- Na ruptura.

As cargas calculadas para as verificações no estado limite de serviço e último, foram iguais a 5440Kgf e 7690Kgf respectivamente. Foram obtidos esses valores utilizando as teorias de dimensionamento de concreto armado indicadas pela NBR 6118 (2007). Para a flecha máxima permitida foi calculada de acordo com a tabela 13.2 da mencionada norma, cujo valor para o limite máximo de aceitabilidade ($l/250$) é de 0,92cm.

Conforme Rabiolli (2012) a força aplicada era crescente ao longo do tempo, porém nos estados limites e na flecha máxima de norma a carga era mantida estática e de imediato era verificado à formação e abertura de fissuras, isso por que o equipamento não consegue manter a carga estática por um longo período de tempo. Sabe-se que a abertura de fissura e a flecha tenderiam a aumentar se mantido o carregamento estático por mais tempo. Na figura 3 é possível observar as principais etapas do ensaio.

Figura 03: (a) Aplicação da carga (b) leitura da flecha (c) abertura de fissura



a)

b)

c)

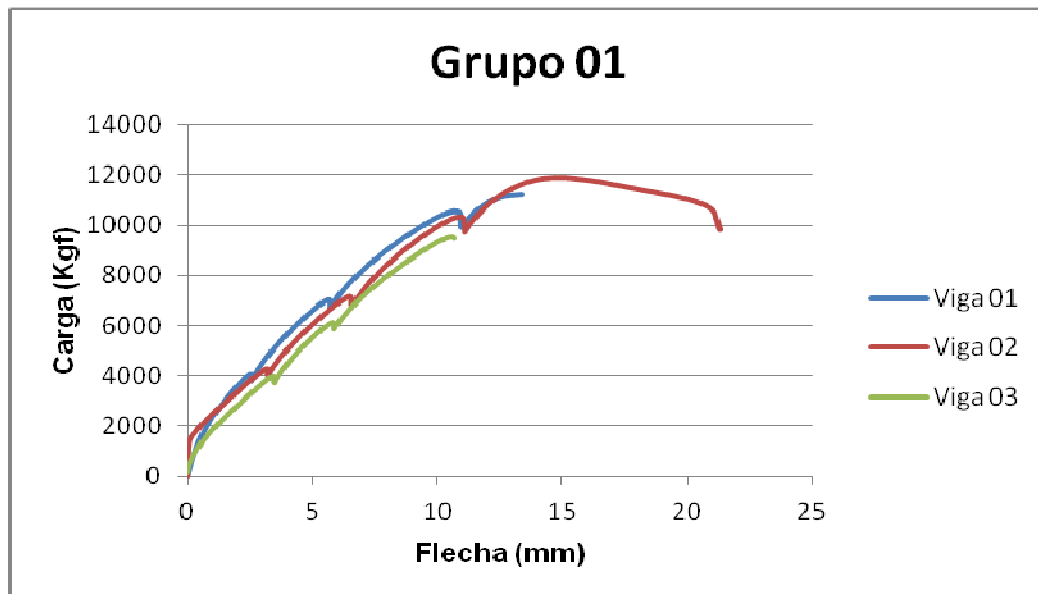
Fonte: Autor, 2012.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estatísticos demonstraram que não houve influência dos procedimentos de cura quanto à capacidade de carga, flecha, formação e abertura de fissuras. Provavelmente a influência dos diferentes tipo de cura tende a aumentar para vigas com taxa de armadura menor, mesmo sendo dimensionadas no domínio 3, porém com x/d menor que o adotado nessa pesquisa.

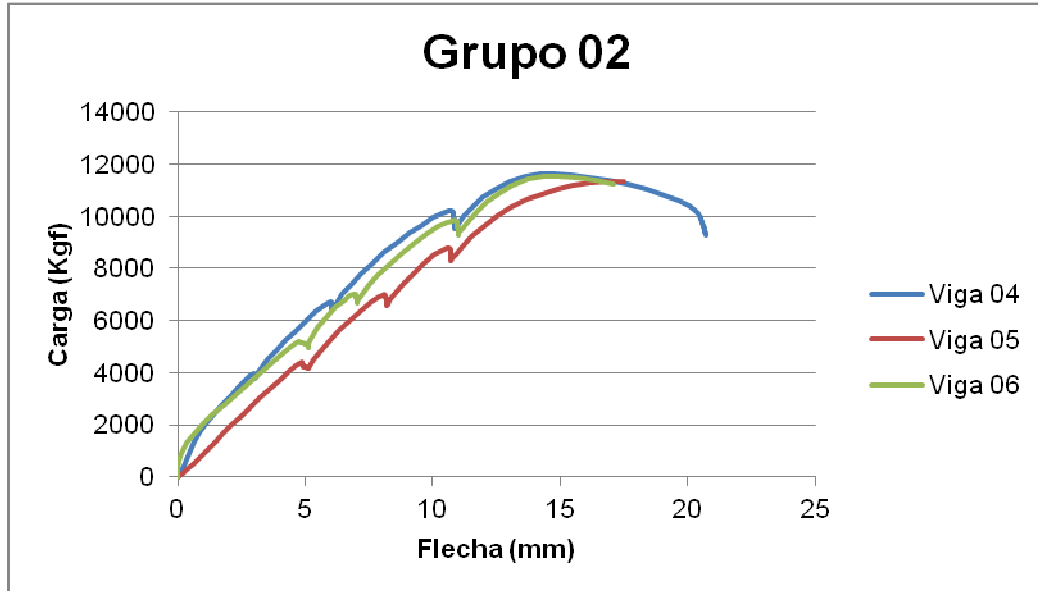
Pode-se verificar nos gráficos das figuras 4, 5 e 6 o comportamento da carga x flecha das vigas de cada grupo até a ruptura. As ondulações surgidas antes de atingir a carga de ruptura, se devem ao fato de o aparelho utilizado para o ensaio não conseguir manter a carga estática, ou seja, nos instantes em que eram feitas as verificações de formação e abertura de fissura havia uma pequena diminuição de carga e um acréscimo no valor da flecha.

Figura 04: Comportamento até a ruptura das vigas do grupo 01



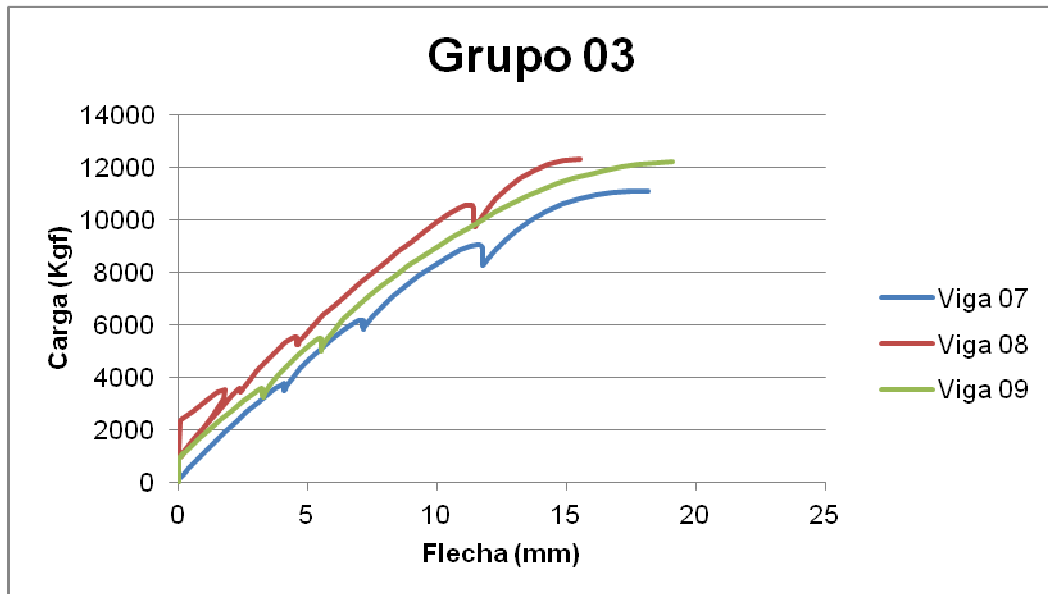
Fonte: Autor, 2012.

Figura 05: Comportamento até a ruptura das vigas do grupo 02



Fonte: Autor, 2012.

Figura 06: Comportamento até a ruptura das vigas do grupo 03



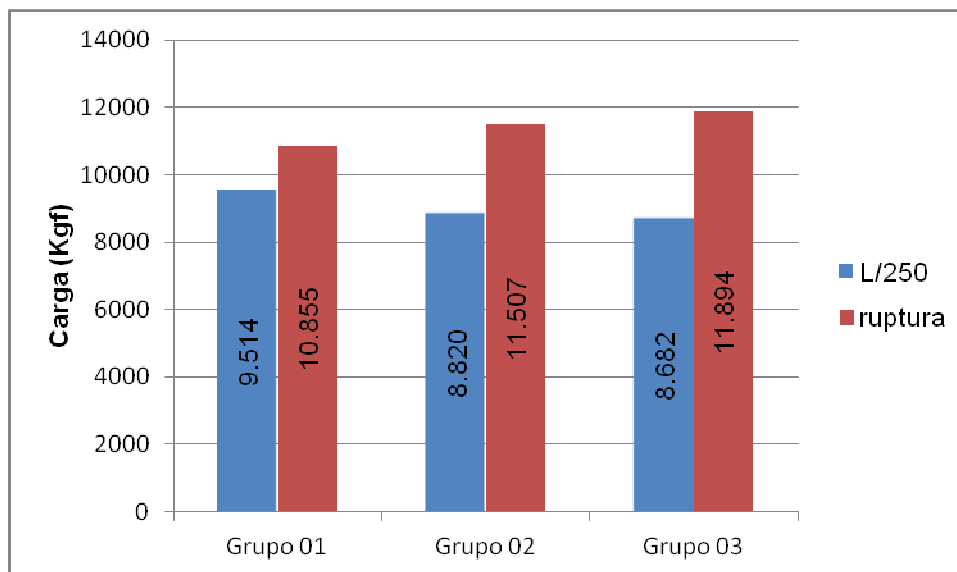
Fonte: Autor, 2012.

3.1 CAPACIDADE DE CARGA

Na figura 07 o gráfico apresentado demonstra que independente da condição de cura os grupos superaram a capacidade de carga calculada para o estado limite último.

- l/250 - O grupo 01 apresentou um valor carga superior para atingir a flecha máxima de norma, em relação aos grupos 02 e 03, de 7,3% e 8,7% respectivamente.
- Ruptura - O grupo 01 atingiu a ruptura com menor valor de carga de 6,0% e 9,6%, comparados aos grupos 02 e 03 respectivamente.

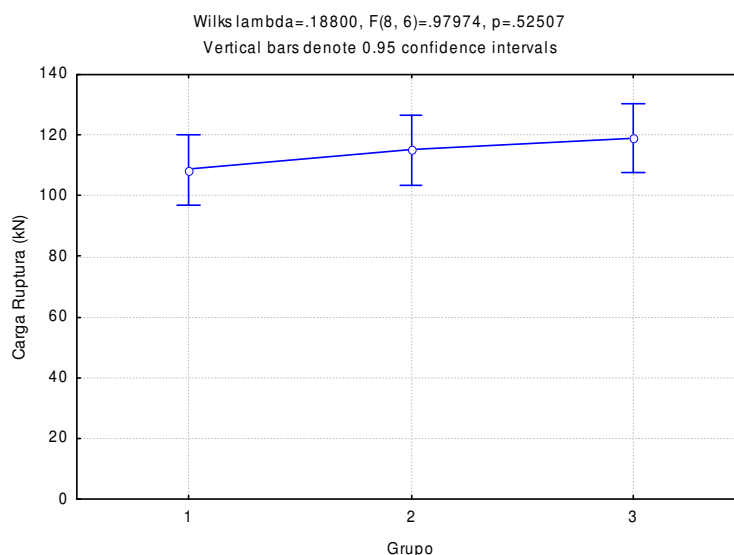
Figura 07: Comparação entre as médias aritméticas dos grupos quanto à capacidade de carga



Fonte: Autor, 2012.

Levando em conta que a carga calculada para o limite último de 7690Kgf, o grupo 01, 02 e 03 apresentaram 41,2%, 49,7% e 54,7% respectivamente, capacidade portante a mais que o calculado.

Figura 08 - Análise estatística do comportamento dos grupos quanto à capacidade de carga na ruptura



Fonte: Autor, 2012.

Tabela 01 - Teste de Tukey do comportamento dos grupos quanto à carga ruptura

Grupos	1	2	3
1	-	0.612323	0.327638
2	0.612323	-	0.832853
3	0.327638	0.832853	-

Fonte: Autor, 2012.

Apesar de os resultados das médias dos grupos não apresentarem os mesmos valores, ao realizar uma análise estatística ANOVA e o Teste de Tukey, conclui-se que os grupos apresentaram resultados de capacidade de carga na ruptura estatisticamente iguais, como pode-se observar na figura 08 e tabela 01.

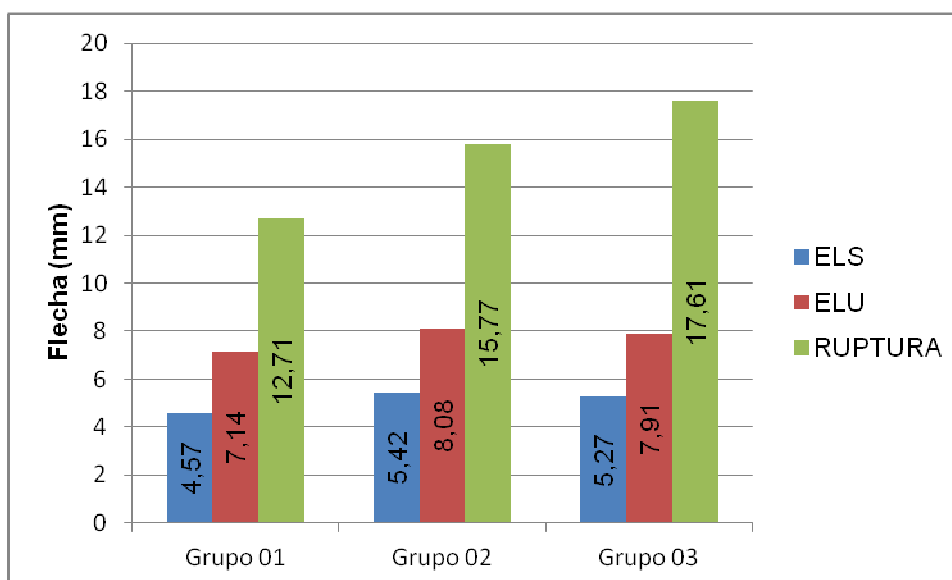
3.2 FLECHA

Segundo NBR 6118 (2007), tabela 13.2, o valor limite de deslocamento visível em elementos estruturais não poderá ser superior a $(l/250)$. Considerando o vão teórico (l) de 230 cm nas vigas em estudos a flecha máxima permitida pela norma é de 9,2 mm. A figura 9 ilustra com um gráfico que as deformações dos elementos ficaram

inferiores do limite máximo estipulado para o estado de limite de serviço (ELS) e até mesmo para o estado limite último (ELU).

- ELS - O grupo 01 apresentou flecha de 18,7% menor que o grupo 02, e 15,5% menor que o grupo 03.
- ELU - O grupo 01 atingiu flecha de 13,2% menor que o grupo 02, e 10,8% menor que o grupo 03.
- RUPTURA - O grupo 01 atingiu flecha de 24,1% menor que o grupo 02, e 38,6% menor que o grupo 03.

Figura 09: Comparação entre as médias aritméticas dos grupos quanto à flecha



Fonte: Autor, 2012.

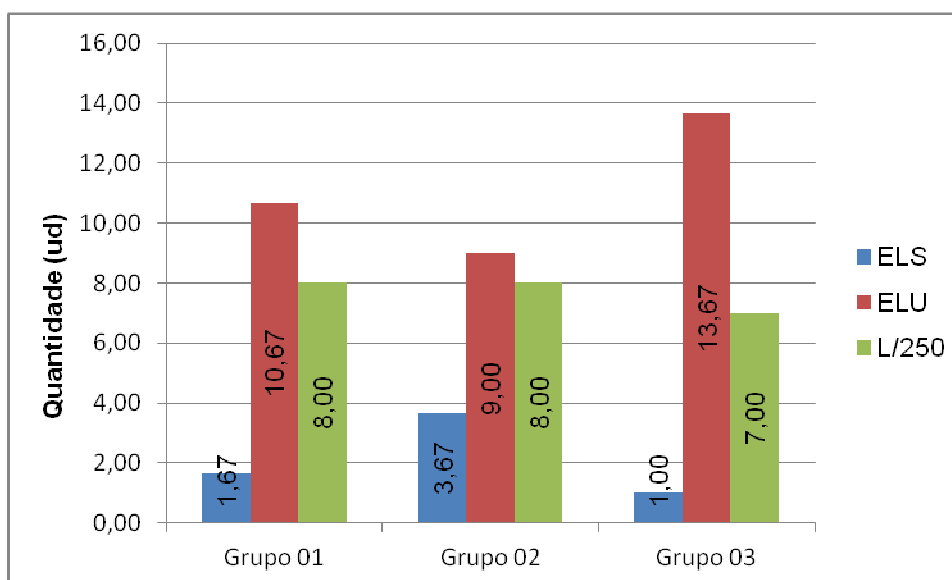
Mesmo os resultados das médias dos grupos não apresentarem os mesmos valores, ao realizar uma análise estatística ANOVA e o Teste de Tukey, conclui-se que estas diferenças não são significativas.

3.3 FORMAÇÃO DE FISSURAS

A figura 10 ilustra no gráfico que os diferentes procedimentos de cura não influenciaram na formação de fissuras.

- ELS - O grupo 01 apresentou 120% menos fissuras quando comparado ao grupo 02, e 40% a mais do que o grupo 03.
- ELU - O grupo 01 apresentou 15,6% mais fissuras do que o grupo 02, e 28,1% a menos que o grupo 03.
- I/250 - O grupo 01 não apresentou diferença na quantidade de fissuras quando comparado com o grupo 02, e evidenciou 12,5% mais fissuras que o grupo 03.

Figura 10: Comparação entre as médias aritméticas dos grupos quanto à formação de fissuras



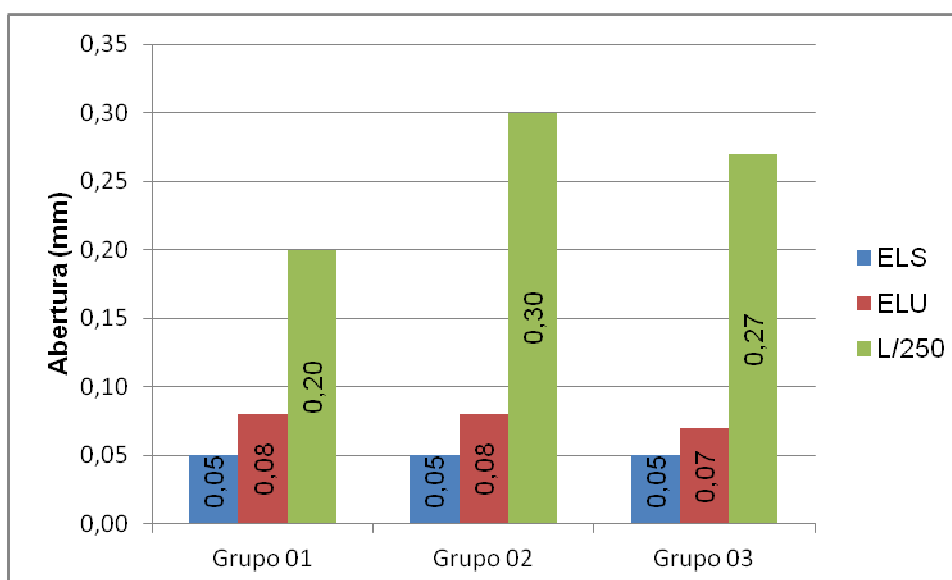
Fonte: Autor, 2012.

3.4 ABERTURA MÁXIMA DE FISSURAS

Na classificação de agressividade, as vigas foram confeccionadas em uma região de nível II, portanto segundo a tabela da NBR 6118 (2007) a abertura máxima de fissura é de 0,3mm. Na figura 11 pode-se notar no gráfico que independente da realização de cura as aberturas dos elementos ficaram inferiores do limite máximo estipulado para o estado limite de serviço (ELS) e até mesmo para estado limite último (ELU).

- ELS - O grupo 01 não apresentou diferença nas aberturas de fissuras comparado aos grupos 01 e 02.
- ELU - Não houve diferença nas aberturas entre o grupo 01 e 02, no entanto o grupo 01 apresentou abertura de 12,5% maior que o grupo 03.
- l/250 - O grupo 01 apresentou aberturas de 50% menor que o grupo 02, e 35% menor que o grupo 03.

Figura 11: Comparação entre as médias aritméticas dos grupos quanto à abertura máxima de fissura



Fonte: Autor, 2012.

Nota-se nos gráficos das figuras 07 e 11, que as vigas do grupo 02 chegaram ao colapso logo após atingirem a abertura máxima por norma. Os grupos 01 e 03 romperam antes mesmo de alcançar o limite.

Com a realização da análise estatística ANOVA e do teste de Tukey conclui-se que os grupos apresentaram resultados médios de abertura de fissura estatisticamente iguais para os grupos.



4. CONCLUSÃO

Mesmo com as diferenças de comportamento na comparação entre médias dos resultados, após a análise estatística ANOVA e do Teste Tukey conclui-se que os grupos não demonstraram influência dos diferentes procedimentos de cura na capacidade de carga, no deslocamento (flecha), formação e abertura de fissuras. Apesar de não apresentarem melhor comportamento entre os elementos submetidos à cura parcial (aspersão descontínua de água), os submersos em água aos que não foram curados, nas verificações no estado limite de serviços os valores de flecha e abertura de fissuras estão abaixo dos limites máximos especificados. Para as verificações, o estado limite último para todos os grupos a capacidade de carga foi cerca de 50% (cinquenta por cento) maior que a calculada, demonstrando que os coeficientes de segurança, desde que os procedimentos sejam executados de acordo com todos os preceitos de norma, são maiores que os utilizados.

Os resultados obtidos não foram os esperados, sendo possível que a taxa de armadura tenha influenciado para os resultados, onde a cura deixou de ser um fator principal para influência do comportamento do elemento estrutural. Além da taxa de armadura recomenda-se realizar outros procedimentos de cura mais rigorosos. A diferença de comportamento, entre as vigas dimensionadas pelo Eng. Rabiolli e as vigas dimensionadas nesta pesquisa, fica evidenciada nos itens a seguir:

- Capacidade de carga

I/250 - Os grupos 01, 02 e 03 desta pesquisa atingiram a flecha máxima de norma com carga maior de 76%, 73% e 72% respectivamente, quando comparados aos grupos 01, 02 e 03 da pesquisa de Rabiolli.

RUPTURA - O grupo 01 desta pesquisa apresentou capacidade de carga de 77%, e os grupos 02 e 03 com 78% maior que os grupos 01, 02 e 03 respectivamente da pesquisa de Rabiolli.



- Flecha

ELS - Os grupos 01, 02 e 03 desta pesquisa apresentaram flecha maior de 82%, 87% e 86% respectivamente, quando comparados aos grupos 01, 02 e 03 da pesquisa de Rabaiolli.

ELU - A flecha medida nos grupos 01, 02 e 03 desta pesquisa apresentaram percentual maior que os grupos 01, 02 e 03 de Rabaiolli de 53%, 69% e 63% respectivamente.

RUPTURA - Os grupos 01 e 02 desta pesquisa apresentou flecha menor de 9% e 7% respectivamente comparados com dos grupos 01 e 02 de Rabaiolli, enquanto o grupo 03 apresentou flecha de 2% maior que o grupo 03 de Rabaiolli.

- Formação de fissuras

ELS - Os grupos 01 e 02 desta pesquisa apresentaram 20% e 73% mais fissuras que os grupos 01 e 02 da pesquisa de Rabaiolli, e no grupo 03 do autor citado não apresentou nenhuma fissura, enquanto nesta pesquisa o grupo 03 apresentou uma fissura.

ELU - Os grupos 01 e 02 desta pesquisa apresentaram 41% mais fissuras, e o grupo 03 apresentou 68% mais fissuras quando comparados com os grupos 01, 02 e 03 respectivamente apresentados por Rabaiolli.

l/250 - Os grupos 01, 02 e 03 desta pesquisa apresentaram 50%, 29% e 52% respectivamente menos fissuras quando comparados com os grupos 01, 02 e 03 do autor acima citado.

- Abertura de fissuras

ELS - Na comparação entre os grupos 01 e 02 das pesquisas não houve diferença na abertura de fissuras, enquanto o grupo 03 houve diferença de 100% em função do grupo de Rabaiolli não apresentar fissuras.

ELU - Os grupos 01 e 02 desta pesquisa apresentaram 38% de aberturas maiores e o grupo 03 29%, quando comparados com os grupos 01, 02 e 03 de Rabaiolli.



I/250 - O grupo 01 desta pesquisa apresentou 65% de abertura menor que o grupo 01 apresentado por Rabaiolli, quando comparados o grupo 02 não há diferença entre aberturas, e o grupo 03 desta pesquisa apresentou aberturas 37% maiores que o grupo 03 de Rabaiolli.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 - Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739 - Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto: Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2003.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado.** Rio Grande, RS: DUNAS, 2003. 222p.

_____. **Curso de concreto armado.** 2 ed. Rio Grande, RS: DUNAS, 2003. 325p.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado:** segundo a NBR 6118:2003. 3 ed. São Carlos, SP: EDUFSCAR, 2010. 367 p.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994

PETRUCCI, Eládio G. R. **Concreto de cimento portland.** 13 ed. Porto Alegre: Globo, 1998. 307 p.

RABAIOLLI, Douglas Trevelin. **Análise experimental da influência dos diferentes procedimentos de cura nas propriedades mecânicas de vigas de concreto armado.** Criciúma, 2012. 94p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc.