

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DE DOIS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE LAJES UNIDIRECIONAIS NERVURADAS

### *EXPERIMENTAL ANALYSIS OF TWO BUILDING SYSTEMS OF SLABS OF RIBBED UNIDIRECTIONAL*

Ricardo Frazzetto Guetner<sup>1</sup>;  
Alexandre Vargas; Daiane dos Santos; Bruno do Vale Silva<sup>2</sup>

#### **Resumo**

O uso de vigotas pré-fabricadas de concreto para a execução de lajes nervuradas é comumente utilizado em construções de concreto armado devido sua rapidez e praticidade. Entretanto em determinados casos quando a falta de qualidade, controle e continuidade de fornecimento por parte dos fabricantes de vigotas, obrigam as construtoras adotarem métodos alternativos de construção. Um desses métodos é a construção de lajes nervuradas concretadas in loco. Deste modo o presente estudo tem como objetivo analisar experimentalmente o comportamento estrutural desses dois sistemas de lajes nervuradas unidirecionais. Para a realização do estudo foram fabricados dois tipos de protótipos de lajes: (A) com vigotas pré-fabricadas e (B) com nervuras concretadas in loco. Para cada tipo, fabricou-se três protótipos com dimensões de 250x90x12 cm. Os protótipos foram submetidos ao ensaio de resistência à flexão em 4 pontos. Os resultados mostram que para o carregamento em que são solicitadas usualmente (ELS), as lajes do tipo A e B não apresentam diferença estatisticamente significativas, entretanto para cargas maiores ocorre diferenças consideráveis.

**Palavras Chave:** Lajes pré-fabricadas; Lajes moldadas in loco, Resistência à flexão.

#### **Abstract**

The use of prefabricated beams of concrete for the execution of slabs is commonly used in reinforced concrete construction, it ensures speed and practicality in implementation. However in certain cases where the lack of quality control and continuity of supply from manufacturers, forcing builders to adopt alternative methods of construction. One of these methods is the construction of ribbed slabs concreted in loco. Therefore this study aims to examine experimentally the structural behavior of these two systems unidirectional slabs. To conduct the study were manufactured two types of prototype slabs: (A) with precast beams and (B) ribbed concreted in loco. For each type, there are three prototypes fabricated with dimensions of 250x90x12 cm. The prototypes underwent testing flexural strength at 4 points. The results show that for loading in which they are usually applied (ELS) slabs of type A and B show no statistically significant differences occur with considerable larger loads.

**Key Words:** Prefabricated slabs; Slabs molded in loco; Flexural strength.

## **1. INTRODUÇÃO**

No ramo da construção civil a busca por soluções estruturais que propiciem o melhor custo/benefício aliado a qualidade final da estrutura sempre foi um dos tópicos

<sup>1</sup> Eng. Civil, E-mail: [ricardoguetner@hotmail.com](mailto:ricardoguetner@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professores, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), E-mails: [avargas@unesc.net](mailto:avargas@unesc.net); [dss.engcivil@gmail.com](mailto:dss.engcivil@gmail.com); [dovalesilva@unesc.net](mailto:dovalesilva@unesc.net)

mais relevantes e desafiadores para as construtoras. Dentro deste escopo, as lajes maciças foram as poucas sendo substituídas por lajes pré-fabricadas, as quais tornaram-se comuns em pavimentos de edifícios residenciais e comerciais de pequeno e médio porte, pois minimizam o uso de formas, diminuem a quantidade de escoramento, aliado ao fácil manuseio e montagem [5] e [6]. Um dos motivos desta mudança é que as lajes maciças podem ser antieconômicas em determinados casos, devido ao seu elevado peso próprio. Nas lajes pré-fabricadas, a zona de tração é constituída por nervuras entre as quais podem ser colocados materiais inertes, de forma a tornar plana a superfície externa. Os materiais inertes devem ter peso específico reduzido em comparação com o peso específico do concreto [3]. Este sistema construtivo com lajes pré-fabricadas é regulamentado pelas normas NBR 14859-1/2 [2] e [3] as quais subdividem as lajes em unidirecionais ou bidirecionais. Basicamente o sistema de lajes pré-fabricadas é constituído de vigotas pré-fabricadas, material de enchimento e capa de concreto moldada “in loco”.

O processo de fabricação das vigotas pré-fabricadas é de relativa facilidade de implementação, deste modo surgiram no mercado inúmeras empresas especializadas neste ramo. Muitas destas empresas não tem qualificação suficiente para produzir vigotas pré-fabricadas em grande escala para atender a alta demanda das construtoras e por conseguinte não conseguem atender aos requisitos mínimos de controle de qualidade requeridos pelas normas. Deste modo algumas construtoras buscam por sistemas construtivos alternativos, como as lajes com as nervuras concretadas in loco. Esta pesquisa comparou protótipos de lajes com vigotas pré-fabricadas e protótipos de lajes com vigotas moldadas in loco quanto ao seus comportamentos estruturais no ensaio de resistência a flexão em 4 pontos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo foram moldadas seis protótipos de lajes nervuradas unidirecionais, divididas em dois tipos. O primeiro tipo (A), foi constituído de três protótipos de lajes com seção transversal de (90 x 12)cm e 250 cm de comprimento, usando como nervuras vigotas pré-fabricadas com concreto de

$f_{cm}=25$  MPa. A armadura utilizada para cada vigota foi composta de dois fios com 5,0mm de diâmetro de aço CA-60. Conforme mostra a Figura 1.

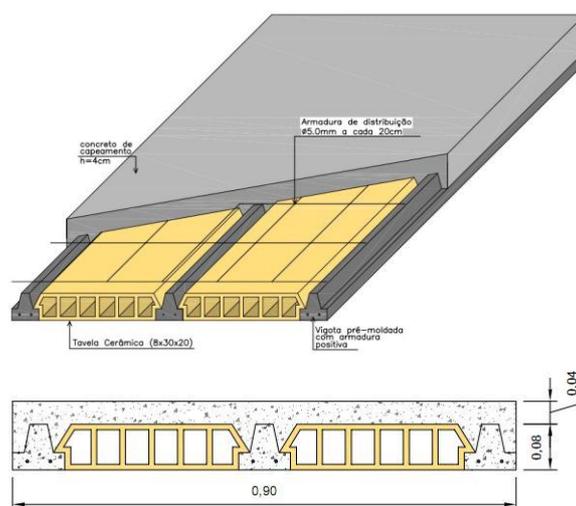


Figura 1 – Detalhe dos protótipos de lajes tipo A (m).

O segundo tipo (B), foi constituído de protótipos de três lajes com as mesmas dimensões do tipo A. Suas nervuras foram concretadas in loco, juntamente com a capa de concreto de 4 cm, tendo como armadura dois fios de 5mm de diâmetro de aço CA-60 para cada nervura. Conforme representado na Figura 2.

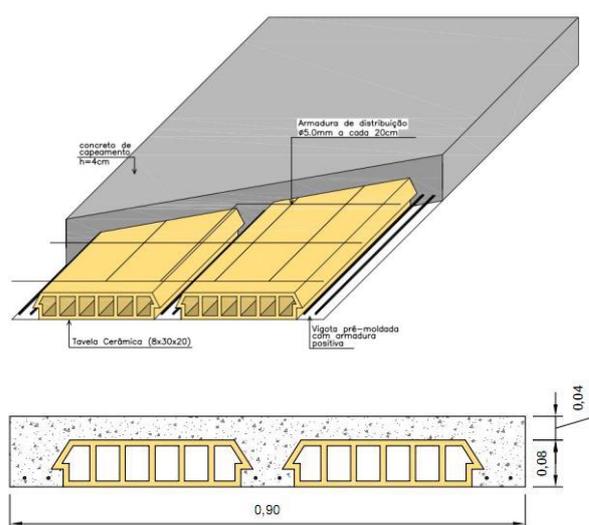


Figura 2 – Detalhe dos protótipos de lajes tipo B (m).

Para a concretagem das amostras foi utilizado concreto usinado com

$f_{cm}=25$  MPa, valor igual ao das vigotas pré-fabricadas. Foram moldados corpos de prova e ensaiados após vinte e oito para o controle da resistência à compressão. A Figura 3 (a), (b) e (c) mostram algumas etapas da fabricação dos protótipos.



Figura 3. (a)Montagem das formas (b)Adensamento (c)Regularização

Após 28 dias de fabricação, os protótipos foram submetidos ao ensaio de resistência à flexão em 4 pontos. As lajes foram posicionadas sob um pórtico de reação e aplicou-se a carga mediante cilindro hidráulico de controle elétrico com capacidade de 500 kN. Aplicou-se o carregamento nos terços médios do vão com velocidade aproximada inferior a 0,1 kN/s. Aplicou-se a carga transversalmente nos terços médios do protótipo por meio de uma viga de distribuição metálica com perfil I sobre 2 roletes, como pode ser observado no desenho esquemático da Figura 4. Os valores de carga foram registrados por meio de uma célula de carga posicionada entre o cilindro hidráulico e a viga de distribuição. Foram medidos os deslocamentos verticais no centro do vão com a utilização de dois transdutores indutivos de deslocamentos (LVDT - *Linear Variable Differential Transforms*) posicionados em lados opostos do vão central, com capacidade de leitura de 100 mm. Foi utilizado o sistema de aquisição de dados QuantumX (marca HBM) com interface com o software CatmanEasy.

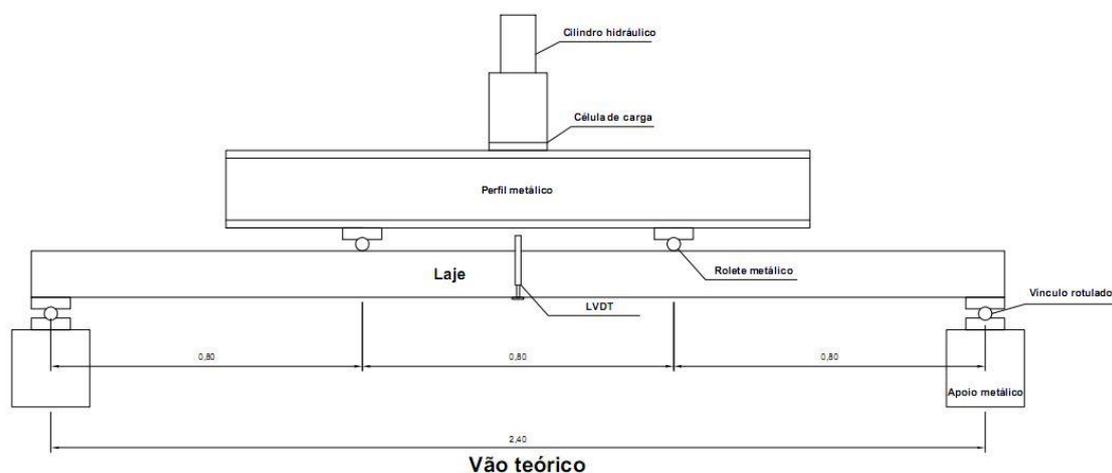


Figura 4 – Desenho esquemático do ensaio de flexão em 4 pontos.

O procedimento do ensaio adotou a sequencia: i) Posicionou-se o protótipo de laje conforme ilustra a Figura 5(a); ii) Inicialmente foi realizado dois ciclos de pré-carga visando à acomodação do protótipo, carregando até 5% de sua carga de ruptura e descarregando em seguida; iii) Após a acomodação do protótipo, iniciou-se o carregamento até a carga de serviço (calculada em 5,18 kN) e logo em seguida descarregou-se; iv) O segundo carregamento foi realizado até o deslocamento de  $L/250$  (calculado em 9,6 mm) e descarregando-se novamente, este dado corresponde ao ELS, critério da NBR 6118 [4]; v) Ao final os protótipos foram carregados até o instante em que, embora houvesse tentativa de aplicação de carregamento, eles só apresentavam aumento de deformação; vi) No decorrer dos ensaios de flexão, registrou-se o surgimento e desenvolvimento das fissuras que ocorreram nas superfícies do protótipo. A Figura 5 (b) e (c) demonstram a marcação das aberturas de fissuras e a configuração da laje após a ruptura, respectivamente.



Figura 5: Posicionamento do protótipo de laje. (b) Marcação das aberturas de fissuras (c) Configuração do protótipo de laje após ruptura.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da flecha (ou deslocamento vertical) no carregamento de serviço (ELS), os protótipos do tipo A (vigotas pré-fabricadas) obtiveram deslocamentos 38,9% maior que o tipo B (vigotas moldadas in loco). Os resultados estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Comportamento dos protótipos tipo A no carregamento de serviço.

<b>Amostra</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Flecha (mm)</b>
<b>Laje A1</b>	5,18	2,21
<b>Laje A2</b>	5,18	1,57
<b>Laje A3</b>	5,18	1,69
<b>Média</b>	5,18	1,82
<b>Desvio Padrão</b>		0,34

Tabela 2 – Comportamento do tipo B no carregamento de serviço.

<b>Amostra</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Flecha (mm)</b>
<b>Laje B1</b>	5,18	1,54
<b>Laje B2</b>	5,18	1,35
<b>Laje B3</b>	5,18	1,03
<b>Média</b>	5,18	1,31
<b>Desvio Padrão</b>		0,26

Na análise do carregamento necessário para atingir a flecha (ou deslocamento vertical) máxima permitida por norma  $L/250$ , verificou-se que o tipo A apresentou um carregamento 49,0% maior que o tipo B para atingir a flecha determinada limite permitida por norma. Os resultados estão dispostos nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Comportamento do tipo A na flecha máxima permitida por norma.

Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje A1	18,02	9,6
Laje A2	14,52	9,6
Laje A3	15,07	9,6
Média	15,87	9,60
Desvio Padrão	1,88	

Tabela 4 – Comportamento do tipo B na flecha máxima permitida por norma.

Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje B1	10,56	9,6
Laje B2	10,61	9,6
Laje B3	10,77	9,6
Média	10,65	9,60
Desvio Padrão	0,11	

Nas Tabelas 5 e 6, encontram-se os valores obtidos para levar a peça a ruptura, onde o tipo A apresenta um carregamento 12,6% superior ao tipo B, e uma flecha 32,5% também superior.

Tabela 5 – Comportamento do tipo A na ruptura

GRUPO A (Pré-moldada)		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje A1	29,49	51,14
Laje A2	33,46	62,23
Laje A3	30,61	66,02
Média	31,19	59,80
Desvio Padrão	2,05	7,73

Tabela 6 – Comportamento do tipo B na ruptura

GRUPO B (In loco)		
Amostra	Carga (kN)	Flecha (mm)
Laje B1	27,75	48,23
Laje B2	26,47	43,35
Laje B3	28,92	43,87
Média	27,71	45,15
Desvio Padrão	1,23	2,68

Os resultados demonstram que há um comportamento diferente entre os dois tipos de protótipos de lajes estudados, tanto para a flecha como para a capacidade de suporte. O comportamento dos ensaios na íntegra com os determinados instantes de aplicação de carga encontram-se dispostos nas Figuras 7 e 8, onde podem ser observadas claramente a diferença de comportamento entre o tipo A e o tipo B.

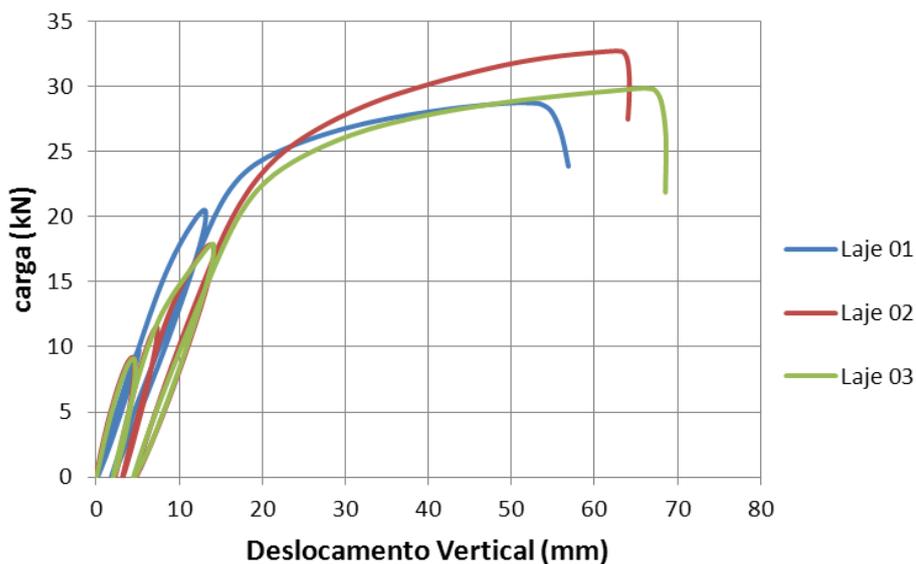


Figura 6 – Comportamento dos ensaios para os protótipos tipo A.

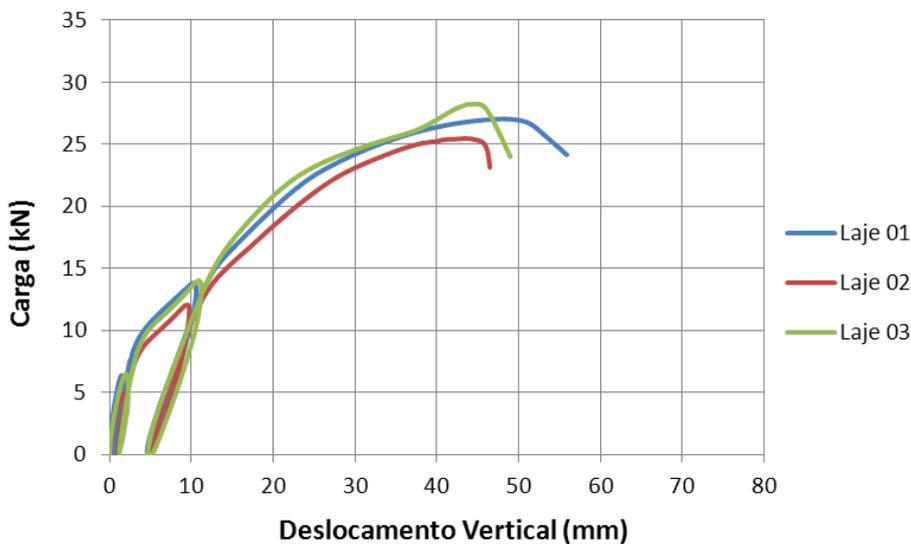


Figura 7 – Comportamento dos ensaios para os protótipos tipo B.

Realizou-se a análise estatística ANOVA (análise de variância) para verificar se o tipo A e B apresentaram resultados distintos, no que se refere: (a) deslocamento no estado limite de utilização (ELS) - (5,18 kN); (b) carga para atingir o deslocamento de  $L/250$  - (9,6 mm); (c) carga máxima de ruptura; (d) deslocamento na carga de ruptura. A análise estatística demonstrou que apenas para o deslocamento no ELS (a) os resultados foram estatisticamente iguais e nos demais testes (b), (c) e (d) demonstrou que os valores foram estaticamente diferentes. Os gráficos das Figuras 8, 9, 10 e 11 mostram as análises realizadas.

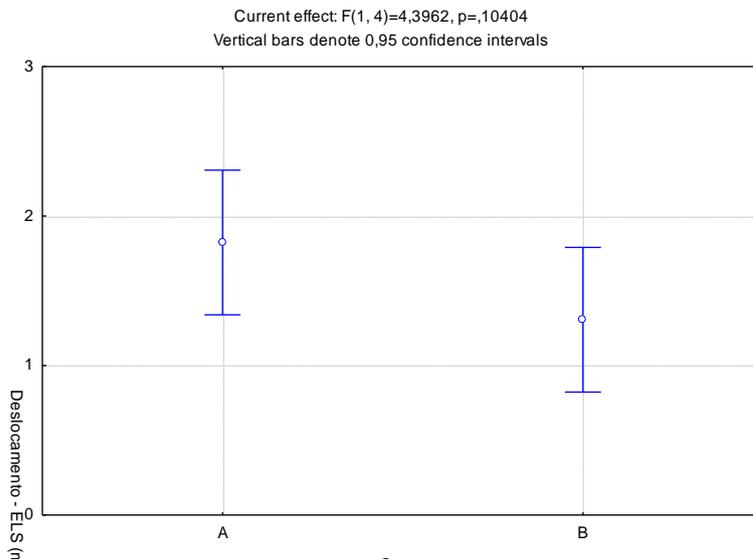


Figura 8 – Análise ANOVA - Resultados de deslocamento no ELS.

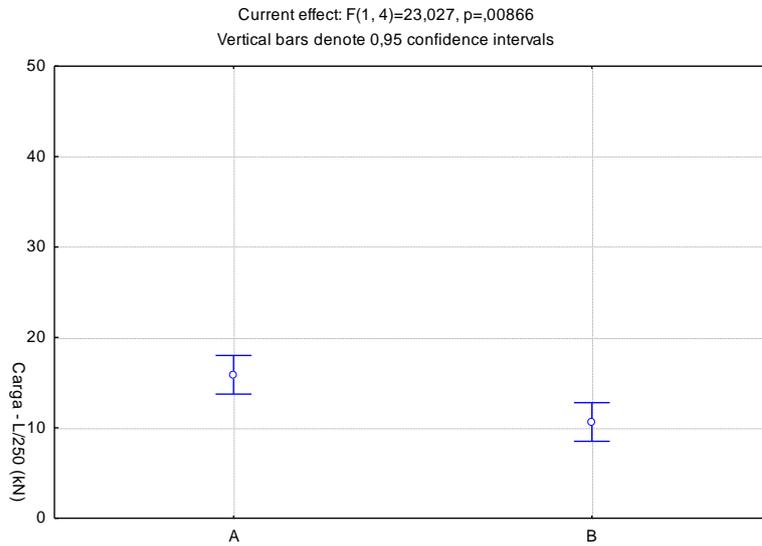


Figura 9 – Análise ANOVA - Resultados de carregamento no L/250.

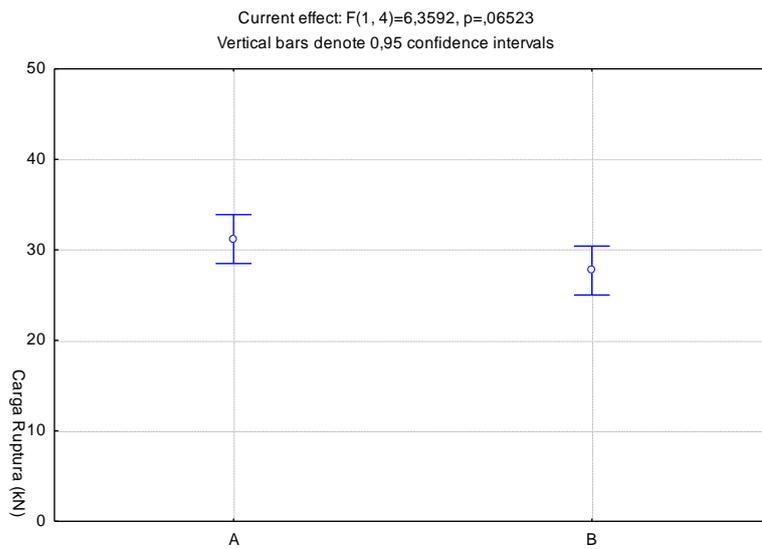


Figura 10 – Análise ANOVA - Resultados de carregamento na ruptura.

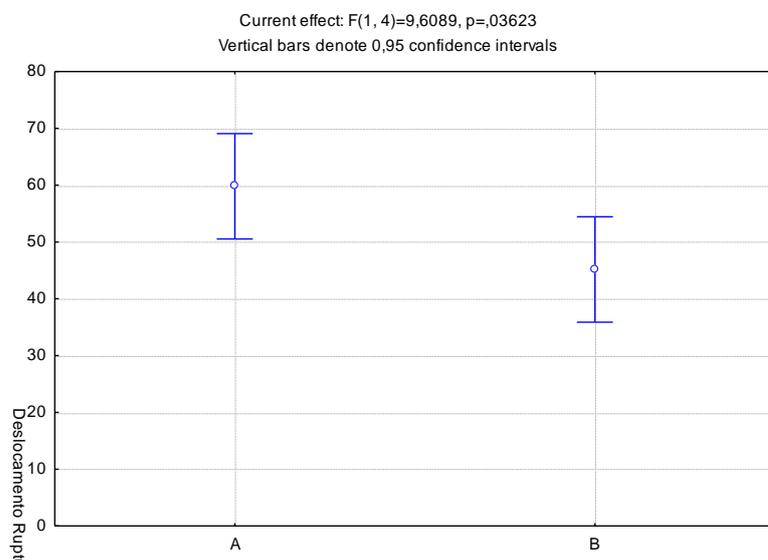


Figura 11 – Análise ANOVA - Resultados de deslocamento na ruptura.

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que ocorre similaridade de comportamento estrutural apenas na carga de serviço, onde usualmente é solicitada a estrutura, tornando possível a utilização de qualquer um dos sistemas construtivos neste caso específico. Entretanto quando ocorre o aumento de carregamento o comportamento estrutural se modificou, os valores foram distintos na carga para atingir  $L/250$ , em que o tipo A apresentou um desempenho de 49,0% superior ao tipo B, e para a flecha na carga de ruptura, que foi 32,5% também superior para o tipo A. Em resumo pode-se concluir que a utilização de lajes nervuradas concretadas in loco trata-se de um possível método alternativo ao de lajes nervuradas pré-fabricadas adotado por construtoras que necessitam de medidas rápidas que aliem o melhor custo/benefício. Entretanto mais análises estruturais devem ser realizadas, principalmente no que tange a durabilidade deste tipo de sistema.

## 5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] ARAÚJO, J. M. Curso de concreto armado. Rio Grande: Editora DUNAS, 2003.
- [2] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14859-1: laje pré-fabricada: requisitos – Parte 1: lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002a.

- [3] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14859-2: laje pré-fabricada: requisitos – Parte 2: lajes bidirecionais. Rio de Janeiro, 2002b.
- [4] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- [5] CHUST, A. C.; FIGUEIREDO F<sup>o</sup>, J. R. Concreto armado: cálculo e detalhamento de estrutura. 2. ed. São Carlos: Edusfcar, 2005.
- [6] SANTOS, A. C.; PIANA R. C. Análise numérica e experimental de vigotas pré-moldadas em concreto armado para emprego em lajes nervuradas. Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v. 33, n. 3, p. 253-258, 2010.