

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Engenharia de Estruturas

**COMPORTAMENTO DE JUNTAS DE ARGAMASSA  
SOLICITADAS À COMPRESSÃO  
NA LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS**

*Aline da Silva Ramos Barboza*

Texto apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Estruturas.

Orientador: **Prof. Dr. Mounir Khalil El Debs**

São Carlos - SP  
2001

## *Monte Castelo ( Renato Russo )*

(Adapt. "I Coríntios 13" e "Soneto 11" de Luís de Camões )

*Ainda que eu falasse a língua dos homens  
Que falasse a língua dos anjos  
Sem amor, eu nada seria  
É só o amor, é só o amor  
Que conhece o que é verdade  
O Amor é bom, não quer o mal  
Não sente inveja ou se envaidece  
O amor é o fogo que arde sem se ver  
É ferida que dói e não se sente  
É um contentamento descontente  
É dor que desatina sem doer  
Ainda que eu falasse a língua dos homens  
Que falasse a língua dos anjos  
Sem amor, eu nada seria  
É o não querer mais que bem querer  
É solitário andar por entre a gente  
É um não contentar-se de contente  
É cuidar que se ganhe em se perder  
É um estar-se preso por vontade  
É servir a quem vence o vencedor  
É um ter com quem nos mata lealdade  
Tão contrário a si é o mesmo amor  
Estou acordado e todos dormem  
Todos dormem, todos dormem  
Agora vejo em parte  
Mas então veremos Face-a-Face  
É só o amor, é só o amor  
Que conhece o que é verdade  
Ainda que eu falasse a língua dos homens  
Que falasse a língua dos anjos  
Sem amor, eu nada seria*

*Ao meu marido Márcio  
e aos meus filhos, Beatriz, Laís e Artur.*

## *Agradecimentos*

---

Antes de todos gostaria de agradecer a **Deus** por estar presente em todos os momentos da minha existência.

Aos meus pais, que mesmo diante das dificuldades que o destino tinha lhes reservado, foram capazes de me fazer absorver força e determinação para buscar meus objetivos e aos meus irmãos pela confiança sempre depositada.

Ao professor Mounir Khalil El Debs, não só pelos ensinamentos e orientação, mas também pela amizade já há algum tempo construída.

Aos colegas e amigos do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Alagoas, com os quais estarei repassando os conhecimentos adquiridos e aos professores amigos José Samuel Giongo e Toshiaki Takeya que dispensam qualquer comentário.

Aos amigos técnicos deixados no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, que compartilharam as horas mais difíceis do trabalho.

A todos os amigos alagoanos e paraibanos, com os quais eu pude dividir a saudade nesse tempo longe de casa.

A amiga Mary Cris, com quem eu compartilhei desespero, cansaço, mas principalmente alegrias durante todo o tempo de doutorado e se tornou presença constante em todos os momentos.

Aos amigos conquistados na pós-graduação, Crés, Ana Rita, Rita de Cássia, Suzana, Anamaria, Joel, Felício, Rejane, Vanessa, Kris, Osvaldo, Mônica, Tatiana, Ana Elizabeth e tantos outros que com certeza eu não vou conseguir listar por falta de espaço, mas vão estar sempre presentes nas minhas lembranças.

Às amigas Nadir e Rosi e a todos os funcionários do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos que mais uma vez acompanharam a realização de mais um objetivo.

A CAPES pela bolsa de estudo concedida.

A FOSROC Brasil, a REAX Indústria e Comércio Ltda. e a Rhodia Brasil Ltda. pela doação de materiais usados na pesquisa.

# Sumário

---

## *Capítulo 1- Introdução*

1.1. Preliminares	1
1.2. Objetivos	6
1.3. Apresentação	6

## *Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica*

2.1. Preliminares	8
2.2. Literatura Encontrada	11
2.3. Comentários Adicionais	32

## *Capítulo 3 - Avaliação Numérica dos Parâmetros de Influência da Ligação*

3.1. Preliminares	34
3.2. Comportamento Não-Linear do Concreto e da Argamassa	35
3.3. Discretização dos Modelos	40
3.4. Análise dos Parâmetros de Influência	42
3.4.1. Espessura da camada de argamassa	42
3.4.2. Relação entre as resistências do concreto e da argamassa	49
3.4.3. Resistência do concreto pré-moldado	54
3.4.4. Rugosidade da superfície dos elementos pré-moldados	56
3.4.5. Forma do elemento pré-moldado	62
3.5. Comentários Adicionais	67

## *Capítulo 4 - Avaliação Experimental do Comportamento da Ligação*

4.1. Preliminares	69
4.2. Planejamento do Programa Experimental	70
4.3. Descrição dos Modelos	71
4.4. Materiais	73
4.4.1. Cimento	73
4.4.2. Areia	73
4.4.3. Brita	74
4.4.4. Armadura	74
4.4.5. Aditivo	74
4.4.6. Argamassa	75

4.5. Programa Experimental	75
4.5.1. Execução dos Modelos	77
4.5.2. Instrumentação dos modelos	81
4.5.3. Procedimentos de Ensaio	83
4.6. Ensaio Preliminares	84
4.6.1. Características dos Modelos	84
4.6.2. Resultados dos Ensaio	87
4.6.3. Análise dos Resultados	90
4.7. Ensaio dos Modelos	93
4.7.1. Dosagem das Misturas	93
4.7.2. Resultados dos Ensaio	93
4.8. Comentários Adicionais	107
<i>Capítulo 5 - Análise dos Resultados</i>	
5.1. Preliminares	108
5.2. Influência da Espessura da Camada de Argamassa	108
5.3. Influência da Relação entre as Resistências	116
5.4. Influência da Resistência do Concreto Pré-Moldado	119
5.5. Influência da Armadura de Reforço	121
5.6. Influência do Tipo de Argamassa	123
5.7. Influência de um Contato Descontínuo entre os Segmentos Pré-moldados	126
5.8. Comportamento da Junta de Argamassa Comparada à Ligação com Almofada de Apoio de Argamassa Flexível	129
5.9. Comentários Adicionais	137
<i>Capítulo 6 – Considerações Finais e Conclusões</i>	139
<i>Bibliografia</i>	144
<i>Apêndice</i>	148

## *Lista de Símbolos*

---

$\varepsilon_J$  - deformação específica da junta;

$\Delta\ell_T$  - deslocamento relativo do concreto pré-moldado, medido nos relógios comparadores;

$\Delta\ell_J$  - deslocamento relativo da junta, medido nos relógios comparadores;

$\varphi$  - ângulo de atrito do material

$\alpha$  - fator de eficiência da junta;

$\delta$  - relação entre a menor largura e a espessura da junta;

$\tau_a$  - coeficiente que considera a influência de uma armadura transversal à junta.

$\eta_e$  - coeficiente que considera a influência da distribuição desigual de sollicitação na junta e a influência da excentricidade de aplicação do esforço normal;

$\eta_i$  - coeficiente que considera as imperfeições iniciais de montagem das peças;

$\eta_j$  - coeficiente de redução global devido à presença da junta horizontal considerando todos os fatores de influência;

$\eta_m$  - coeficiente que considera a qualidade da argamassa colocada na junta;

$\tau_m$  - coeficiente que leva em conta a influência da camada de argamassa presente na ligação entre elementos pré-moldados;

$\tau_p$  - coeficiente que considera o aumento da resistência à compressão da argamassa devido à influência da compressão exercida pelos painéis;

$\tau_R$  - coeficiente que leva em conta a diminuição da resistência da parede sob compressão, devido à presença do momento de engastamento do painel inferior na junta, se opondo ao momento de tombamento do painel superior;

$a$  - menor dimensão na seção transversal do elemento pré-moldado adjacente à junta;

$A_c$  - área da seção transversal do elemento pré-moldado na junta;

$A_{ef}$  - área efetiva para transmissão de esforços através da junta de argamassa;

$A_s$  - área de aço colocada como reforço no elemento pré-moldado;

$b$  - maior dimensão na seção transversal do elemento pré-moldado adjacente à junta;

$c$  - coesão do material;

$D_j$  - deformabilidade da junta de argamassa;

$D_m$  - deformabilidade da ligação;

$E_c$  - módulo de elasticidade do concreto pré-moldado;

$E_e$  - módulo de elasticidade equivalente para o sistema pré-moldado;

$E_m$  - módulo de elasticidade da argamassa;

$f_c$  - resistência à compressão do concreto pré-moldado;

$f_{cd}$  - valor de cálculo da resistência à compressão do concreto pré-moldado;

$f_{ck}$  - resistência característica do concreto do elemento pré-moldado;

$f_j$  - capacidade resistente da ligação;

$f_m$  - resistência à compressão da argamassa;

$f_{mu}$  - resistência última à compressão da argamassa;

$f_u$  - tensão última atingida no ensaio do modelo;

$f_y$  - tensão de escoamento do aço;

$H$  - altura;

$h_j$  - espessura da junta;

$k$  - fator que representa uma relação entre a resistência à compressão da argamassa e a resistência à compressão do concreto;

## *Resumo*

---

BARBOZA, A. S. R. (2002) **Comportamento de juntas de argamassa solicitadas à compressão na ligação entre elementos pré-moldados**. São Carlos. 154p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.

Este trabalho apresenta uma análise teórico-experimental do comportamento de juntas de argamassa solicitadas à compressão, usando para preenchimento da junta materiais comercialmente disponíveis e almofada de apoio de argamassa flexível, com o objetivo de propor recomendações de projeto que caracterizem a deformabilidade e a resistência da junta, visando um melhor aproveitamento da capacidade resistente do sistema pré-moldado. Inicialmente foi feito um levantamento bibliográfico sobre os principais parâmetros que influenciam o comportamento da junta e, posteriormente, foram realizadas algumas simulações numéricas utilizando-se o programa ANSYS 5.5.1. Em seguida, desenvolveu-se um programa experimental cujas variáveis foram: a espessura da camada de argamassa, a resistência do elemento pré-moldado e da argamassa, o material de preenchimento da junta, a presença de armadura de reforço na região adjacente à ligação e a rugosidade na superfície do elemento. Os resultados obtidos mostraram que a espessura de 20mm seria a mais indicada, pois, além de minimizar o efeito de descontinuidade provocado pela presença da junta, melhora o controle da uniformidade da espessura e o aparecimento de vazios. Observou-se também que o uso de concreto de alta resistência no elemento pré-moldado faz com que as tensões de fendilhamento tenham maior importância. Para um maior aproveitamento da capacidade resistente do sistema, o material de preenchimento também deve ser de alta resistência. Dos diversos materiais usados para o preenchimento da junta, a argamassa do tipo "Dry Pack" foi a que ofereceu melhores condições de execução. Além de proporcionar total aproveitamento da capacidade resistente do sistema, diminuiu a deformabilidade da junta e, conseqüentemente, a fissuração.

**Palavras-chave:** ligação, concreto pré-moldado, juntas de argamassa.



## *Abstract*

---

BARBOZA, A. S. R. (2002) **Compression mortar joints behavior at the precast elements connection**. São Carlos, 154p. Ph.D. Dissertation - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brazil.

In this thesis a theoretical-experimental analysis of the compression mortar joints behavior is presented. The joints were produced with commercially available materials and flexible support cushion. The purpose of this research was to obtain design recommendations that characterize the deformability and the strength of the joints, in order to have a better use of the precast system bearing capacity. Previous studies of this problem showed the main parameters related to the joint behavior and numerical simulations were carried out using ANSYS 5.5.1. An experimental program was developed considering as variables the thickness of the mortar layer, the strength of the precast concrete element and of the mortar, the joint material, the additional reinforcement in the connection area and the roughness of the element surface. The results showed that a 20mm thickness is most suitable, because besides minimizing the discontinuity effects, it improves the control of the uniformity of the thickness as well as the air retained in the joint. It was also observed that using high strength concrete precast elements the splitting stresses becomes more important. For a larger use of the bearing capacity of the system, the joint material should also be of high strength. The use of a "Dry Pack" mortar offered better execution conditions, improving the bearing capacity of the system, with less deformability as well as cracking.

**Keywords: connection, precast-concrete, mortar joints.**

# 1

---

## *Introdução*

---

### *1.1. Preliminares*

A utilização de estruturas de concreto pré-moldadas surgiu com a busca de uma técnica alternativa de execução de estruturas dentro do canteiro de obras, que representasse um modelo mais racional para a construção convencional. Os primeiros elementos estruturais pré-moldados foram vigas do Cassino de Biarritz, na França, executadas em 1891. A partir dessa experiência, outras peças foram executadas nos Estados Unidos e na Europa e a técnica foi sendo difundida por todo o mundo.

À medida que as exigências de desempenho foram aumentando, a produção em canteiros de obras foi sofrendo limitações econômicas e de qualidade que impediam avanços no processo produtivo. A saída para tais limitações foi a criação de fábricas que permitiam o desenvolvimento de sistemas construtivos de alta qualidade e representavam o primeiro passo para o processo de industrialização da construção.

Após a Segunda Guerra Mundial, a escassez de recursos e a necessidade de reconstrução das cidades o mais rápido possível, impulsionaram a indústria de pré-moldados, pois trouxe uma forte conscientização para o uso

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

