

## Desenvolvimento de elemento de interface para modelagem de alvenaria estrutural

S. Mehendale<sup>\*1</sup>, A. Bambole<sup>2</sup>, S. Raghunath<sup>3</sup>

\*Autor de Contacto: [shashank\\_mehendale@smaassociates.co.in](mailto:shashank_mehendale@smaassociates.co.in)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.147>

Recebido: 18-12-2016 | Aceito: 23-01-2017 | Publicado: 31-01-2017

### RESUMO

A resistência da alvenaria reforçada é influenciada pelas interfaces entre tijolo, argamassa e armadura. O protocolo experimental foi definido para caracterizar o comportamento de juntas de alvenaria de tijolo armado, com aço embutido em argamassa de cimento 1:6. Isto é aplicável para baixa resistência, com tijolo de baixa rigidez. Investigações experimentais mostram que a ligação entre a alvenaria e o aço não é perfeita. Considerando os mecanismos de ligação críticos, é feita uma tentativa de apresentar uma nova abordagem para o desenvolvimento de um elemento de pseudo interface representando três materiais diferentes (tijolo vizinho, argamassa e armadura) e duas interfaces (interface argamassa-armadura (RM) e interface tijolo-argamassa (BM)). Os princípios de projeto clássicos de concreto armado (RC) podem, portanto, ser diretamente aplicados à alvenaria armada com a introdução do elemento de pseudo interface proposto.

**Palavras chave:** junta de alvenaria armada; elemento de interface; comportamento de ligação de reforço de alvenaria; material de pseudo interface; rigidez dos elementos de interface.

**Citado como:** S. Mehendale, A. Bambole, S. Raghunath (2017). “Desenvolvimento de elemento de interface para modelagem de alvenaria estrutural”, Revista ALCONPAT, 7 (1), pp. 73-86, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.147>

<sup>1</sup> Structural Engineering Department, Veermata Jijabai Technological Institute (VJTI), Mumbai – 400 019, India.

<sup>2</sup> Structural Engineering Department, Veermata Jijabai Technological Institute (VJTI), Mumbai – 19, India.

<sup>3</sup> Civil Engineering Department, BMS College of Engineering, Bangalore – 560 019, India.

### Informação Legal

Revista ALCONPAT é uma publicação da Associação Latino-americana Controle de Qualidade, Recuperação Patologia e Construção, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos ao No. 04-2013-011717330300-203 uso exclusivo, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional do Direito de Autor. Responsável pela atualização mais recente deste número, ALCONPAT Unidade Computing, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e imagens publicadas sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C é proibida. Qualquer discussão, incluindo a réplica dos autores, serão publicados na terceira edição do 2017, desde que a informação é recebida antes do encerramento da segunda edição de 2017.

## Development of pseudo interface element for modelling of reinforced brick masonry

### ABSTRACT

Strength of reinforced masonry is influenced by interfaces between brick, mortar and reinforcement. Experimental protocol has been defined to characterise the behaviour of reinforced brick masonry joint, with reinforcement steel embedded in cement mortar 1:6. This is applicable for low-strength, low-stiffness brick masonry found. Experimental investigations show that bond between masonry and steel is not perfect. Considering critical bond mechanisms, an attempt is made to put-forth a novel approach for development of a pseudo interface element representing three different materials (viz. brick, mortar and reinforcement) and two interfaces (reinforcement-mortar (RM) interface and brick-mortar (BM) interface). Principles of classical Reinforced Concrete (RC) design can therefore be directly applied to reinforced masonry with the introduction of the proposed pseudo interface element.

**Keywords:** reinforced masonry joint; interface element; masonry reinforcement bond behavior; pseudo interface material; stiffness of interface elements.

### **Desarrollo de un pseudo-elemento de interfaz para el modelado de mampostería de ladrillo reforzado**

### RESUMO

La resistencia de la mampostería reforzada está influenciada por las interfaces entre el ladrillo, el mortero y el refuerzo. Se ha definido un protocolo experimental para caracterizar el comportamiento de la junta de mampostería de ladrillo reforzado, con acero de refuerzo incrustado en mortero de cemento 1: 6. Esto es aplicable para la albañilería con ladrillos de baja resistencia y baja rigidez encontrada. Las investigaciones experimentales demuestran que el vínculo entre la mampostería y el acero no es perfecto. Teniendo en cuenta los mecanismos de enlace críticos, se intenta presentar un nuevo enfoque para el desarrollo de un elemento de pseudo-interfaz que represente tres materiales diferentes (ladrillo, mortero y refuerzo) y dos interfaces (de refuerzo y mortero (RM) y de mortero (BM)). Por lo tanto, los principios del diseño de concreto armado (RC) clásico pueden aplicarse directamente a la mampostería reforzada con la introducción del pseudo-elemento de interfaz propuesto.

**Palabras clave:** articulación de mampostería reforzada; elemento de interfaz; comportamiento de enlace de refuerzo de mampostería; pseudo-material de interfaz; rigidez de los elementos de la interfaz.

## 1. INTRODUÇÃO

A alvenaria é um material de construção frágil que tem sido usado por muito tempo ao redor do mundo e ainda está sendo usado. Ao longo deste período, a alvenaria é utilizada como elementos portadores de carga vertical devido ao excelente desempenho na compressão. A capacidade de tensão limitada da alvenaria é geralmente superada usando arcos, abóbadas, etc. sobre as eventuais aberturas. Estes arcos e abóbadas convertem a tensão de flexão em compressão devido à sua geometria. Em comparação, o concreto é também um material frágil com capacidade de tração limitada e geralmente esta limitação é superada pela introdução de armaduras ou por pré-tensão. O uso semelhante de armadura na construção de alvenaria não é novo, mas é incomum na Índia. A armadura pode ser introduzida em elementos de alvenaria de várias maneiras. O método mais comum é colocar barras de aço nas bases das juntas. Os elementos estruturais construídos desta forma podem ser utilizados para resistir a forças de flexão (cargas), sob a forma de viga. A

maioria das normas disponíveis para alvenaria estrutural armada baseia-se em princípios e suposições do projeto de concreto armado (RC). A suposição principal do projeto clássico de RC é que, a força de tração é resistida apenas pela armadura e a ligação entre a armadura e o concreto é quase perfeita.

A literatura em alvenaria de tijolo revela que nos países ocidentais, os tijolos são mais rígidos e mais fortes do que a argamassa utilizada. A resistência à compressão de tais tijolos ou blocos pode estar na faixa de 15-150 MPa e módulo de elasticidade na faixa de 3500-35000 MPa. Considerando que na Índia, os tijolos têm resistência à compressão relativamente menor (3-20 MPa) e módulo de elasticidade (300-15000 MPa). Além disso, a argamassa de cimento comumente usada (1: 6) geralmente tem um módulo de elasticidade de 10 a 15 vezes maior do que o dos tijolos e blocos (Matthana, 1996) (Sarangapani et al., 2005) (Raghunath et al., 1998) e (Gumaste et al, 2004). Laurencio (1994) listou vários modelos para prever o comportamento de alvenaria não armada. Laurencio recomendou modelo de fricção Coloumb com capeamento de compressão para interface entre argamassa e tijolo. Globalmente, a teoria RC clássica é usada para modelar a alvenaria estrutural armada (Narendra Taly, 2010).

Tipicamente, a resistência em alvenaria de tijolo armada na flexão é conseguida inserindo a armadura na junta da canaleta a determinada profundidade. A montagem conjunta em alvenaria armada compreende cinco elementos viz. (i) armadura, (ii) interface de argamassa-armadura, (iii) argamassa, (iv) interface de argamassa-tijolo e (v) tijolo (unidades). Estes são mostrados esquematicamente na Figura 1.

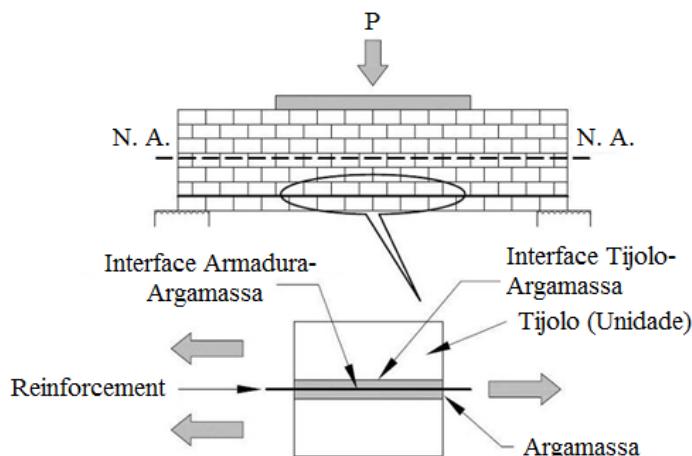


Figure 1. Vigota de alvenaria armada típica e detalhes de juntas de alvenaria estrutural armada.

Investigações experimentais realizadas em alvenaria de tijolo reforçado (Shashank Mehendale et al., 2016) mostram que a ligação entre a armadura e a alvenaria de tijolos não é perfeita. Diferentes deformações de cisalhamento estão sendo observadas devido à variação nas propriedades de cisalhamento de elementos individuais e interfaces entre eles; uma perda de tensão e uma menor resistência são desenvolvidas na armadura, em comparação com um cenário de ancoragem perfeita. Assim, a contribuição da armadura na vigota de alvenaria armada é provavelmente menor do que a da viga de RC. Observa-se que as ligações mais fracas em alvenaria armada são as interfaces entre tijolo, argamassa e armadura. No projeto de alvenaria armada, o uso de suposições clássicas de projeto de RC pode levar a excesso de confiança na armadura. Uma nova abordagem para a concepção de vigas de alvenaria armada se faz necessária para tijolos e argamassas de baixa resistência utilizadas neste estudo.

Considerando a importância das interfaces, foi realizada a investigação detalhada de elementos individuais da junta de alvenaria armada em ambiente de ensaio similar. Com base nos resultados do trabalho experimental em elementos individuais e montagem, é feita uma tentativa de

desenvolver um pseudo-elemento de interface. O presente trabalho tem como objetivo utilizar observações experimentais de elementos individuais e fundir o mesmo em uma pseudo-interface, capturando adequadamente a contribuição de cada um dos elementos na montagem. O elemento de pseudo-interface proposto pode ser agrupado com alvenaria, melhorando assim as previsões sobre a contribuição da armadura. O objetivo da presente pesquisa é estudar e desenvolver um procedimento de projeto, o que ajudará a alcançar a melhor utilização de material e articulação eficiente.

## 2. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

O comportamento da junta de alvenaria armada é investigado pelo procedimento experimental apresentado neste estudo. O ensaio pull-out é amplamente utilizado como um meio eficaz para a caracterização do comportamento de ligação entre armaduras internamente conectadas e a alvenaria. O sistema de ensaio desenvolvido localmente mostrado nas Figuras 2 (a) e (b) é usado para estudar o comportamento da montagem de alvenaria armada usando as instalações disponíveis no laboratório VJTI.

Para a preparação de amostras, foram utilizados tijolos moldados no local, com argamassa de cimento 1:6. A relação água/cimento utilizada em argamassa foi baseada no ensaio de espalhamento. Barras de aço de 8 mm de diâmetro HYSD foram inseridas no centro dos 20 mm de espessura da camada de argamassa em conjunto. Um contrapeso de 2 tijolos foi mantido sobre cada amostra durante 4 dias para assegurar uma ligação adequada entre a argamassa e os tijolos. As amostras foram curadas durante 14 dias. A previsão de sobrecarga das condições in situ é simulada em ensaios aplicando pressão de confinamento às amostras. A pressão de sobrecarga geralmente encontrada foi de cerca de 0,5 N/mm<sup>2</sup> (Laurencio 1994), que foi a utilizada na presente investigação experimental. A força pull-out foi aplicada usando o dispositivo controlado por deformação e a resposta de deformação (deslocamentos) foi registrada.

A Figura 3 mostra o gráfico da força de pull-out vs. deslocamento da armadura. Observa-se que a força de pull-out varia com o deslocamento da barra de armadura quase linearmente até ao valor máximo de força, depois disso, o escoamento/deslizamento é observado à medida que aumenta o deslocamento. Pode-se notar que existe alguma capacidade de adesão residual devido ao efeito de fricção da camada superficial. Observa-se a partir destes experimentos que a capacidade de adesão residual é uma função da pressão de confinamento. Como as propriedades da unidade de alvenaria não são consistentes, mesmo em um único lote, um número de 20 ensaios foram planejados para obter resultados representativos e confiáveis.

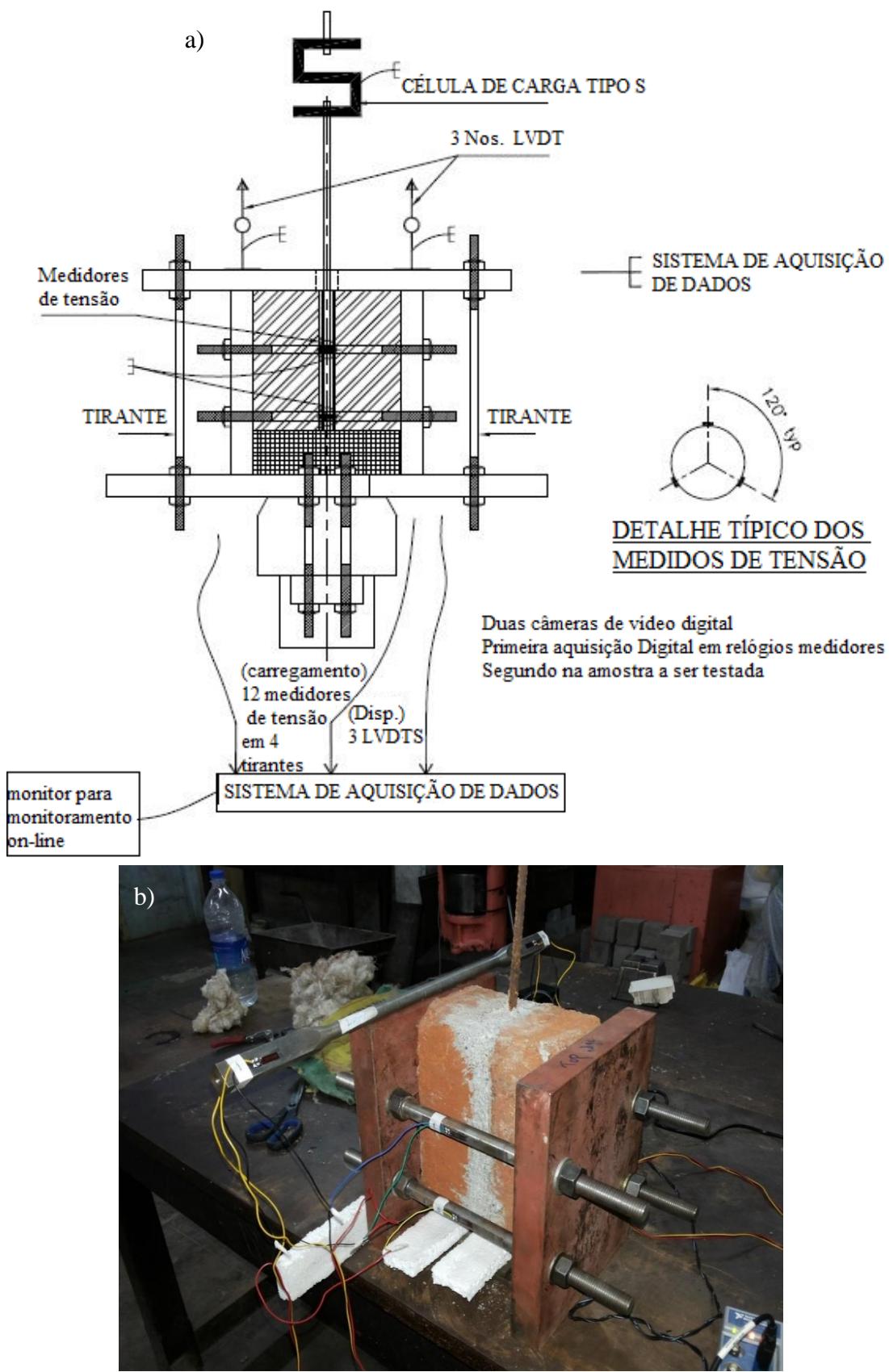


Figure 2. (a) Amostra mantida em posição (b) Configuração do ensaio de *pull-out*.

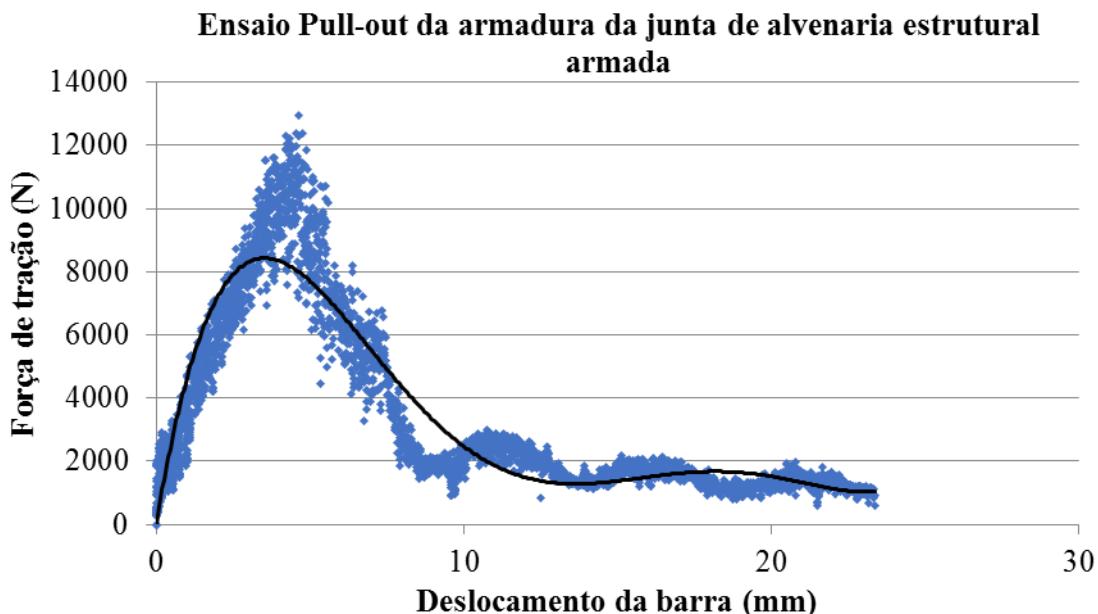


Figure 3. Resultados do Ensaio de pull-out na montagem.

A capacidade pull-out da barra incorporada na montagem e sua rigidez associada depende da interação complexa entre elementos individuais. Tijolo, argamassa, armadura e interface entre tijolo e argamassa e interface entre armadura e argamassa. Esse comportamento é encontrado para ser diferente daquele de um elemento de RC. Observa-se que a deformação em na fibra extrema da alvenaria de tijolo não é totalmente transferida para armadura devido ao deslizamento por cisalhamento do material frágil. Tijolo e argamassa.

Para estudar os diversos parâmetros que afetam a capacidade de pull-out e a rigidez; com base na literatura disponível (Laurencio, 1994), vários conjuntos de ensaios foram fabricados e foram realizados experimentos para determinar as propriedades de unidades, argamassas armaduras e interfaces usadas. Detalhes dos ensaios e procedimento experimental são brevemente descritos neste estudo. A Tabela 1 mostra as propriedades dos elementos básicos utilizados no estudo, que representa a junta de alvenaria estrutural armada.

Tabela 1. Propriedades dos Materiais utilizados no estudo

Ensaios	Bloco	Argamassa (1:6)	Armadura (8mm diâ.)
<b>Resistência à compressão (MPa) (Número de amostras)</b>	3.88 (8)	8.32 (06)	-
<b>Resistência à flexão (MPa) (Número de amostras)</b>	0.98 (6)	2.42 (06)	-
<b>Nota: Carregado ao longo da profundidade</b>			
<b>E<sub>tangente</sub> inicial (MPa)</b>	142.2	15401.6	$2 \times 10^5$
<b>Resistência à tração (MPa)</b>	-	0.96	415

#### A. Ensaio de tração na armadura

O ensaio de tração sobre a armadura foi realizado utilizando o procedimento prescrito na IS 1786 (2008). A rigidez axial da armadura é um parâmetro contributivo.

## B. Ensaio de Pull-out da armadura com a argamassa isolada

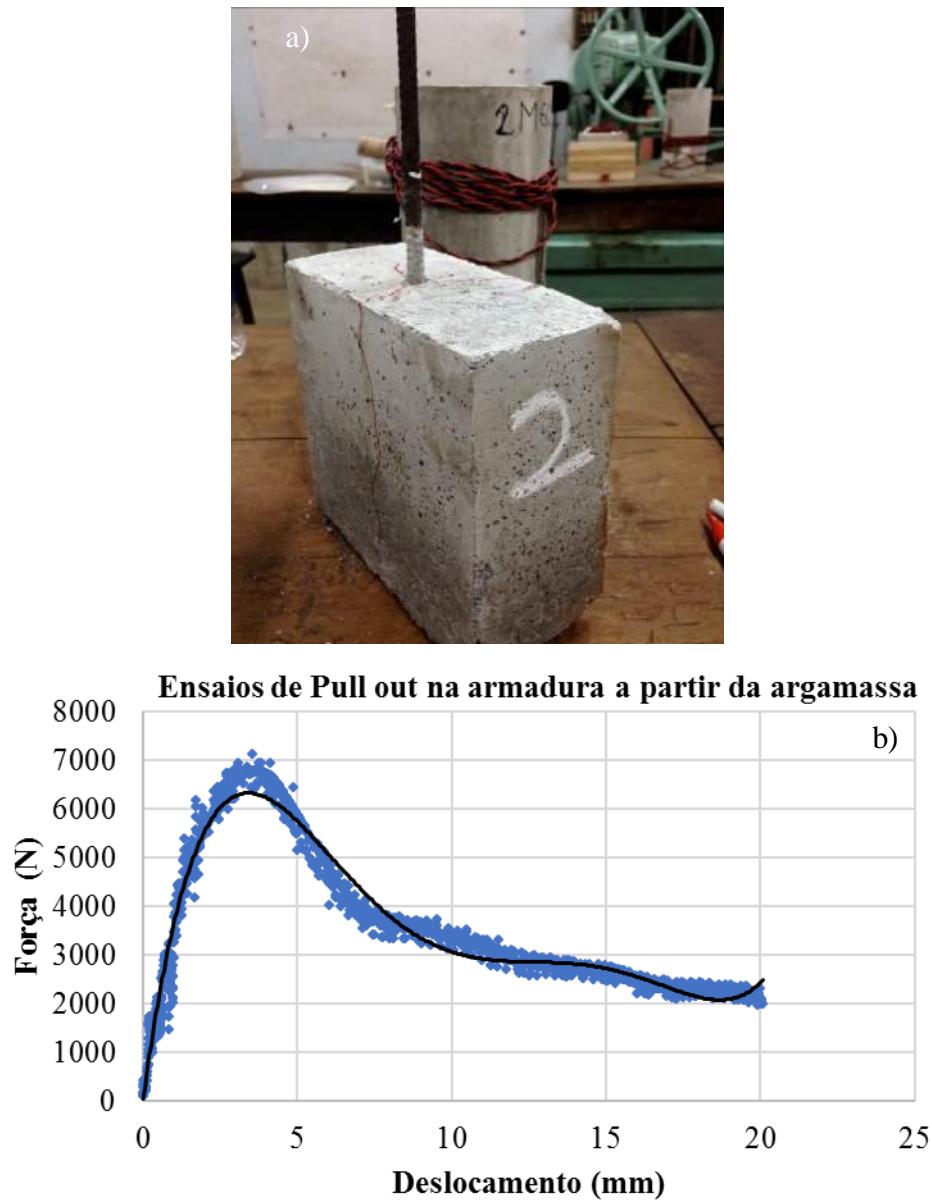


Figure 4. (a) Corpo de prova (b) Resultados do ensaio de Pull-out do R/f da argamassa.

Foi realizado o ensaio de extração da armadura da argamassa utilizando o conjunto de ensaios anteriormente descrito. O tamanho da amostra utilizada foi o mesmo que o da montagem (160mm x 200mm x 90mm), com a armadura inserida no centro. Este ensaio é utilizado para determinar as propriedades da interface de argamassa de armadura. A pressão de confinamento de  $0,5 \text{ N/mm}^2$  é aplicada usando parafusos de tensão. A Figura 4 mostra o gráfico da força de pull-out na armadura vs. deslocamento.

### C. Ensaio de cisalhamento duplo da argamassa

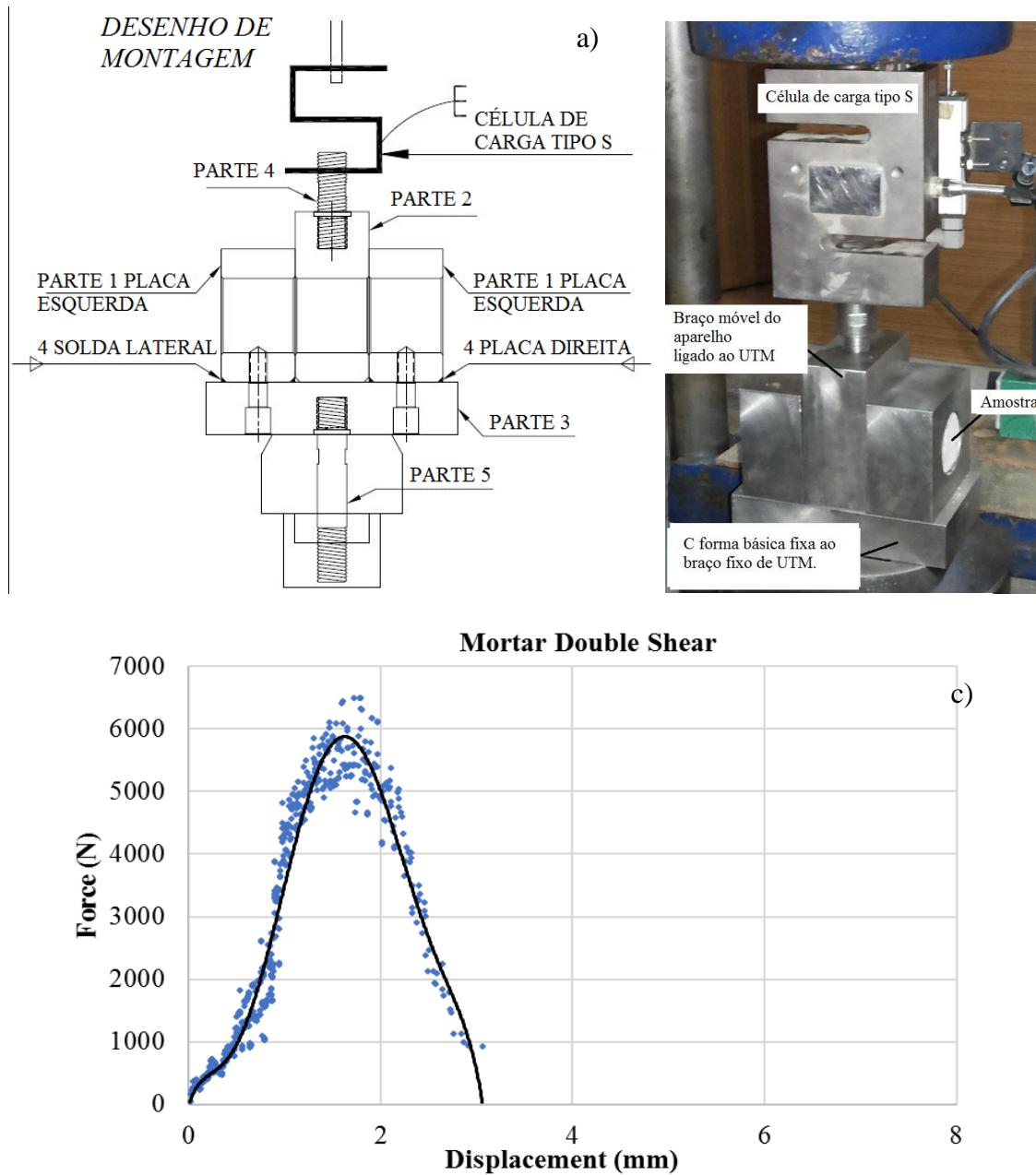


Figura 5. (a) Esquema de preparação do ensaio de cisalhamento de argamassa, (b) fotografia atual  
(c) Resultados.

A contribuição de cisalhamento de argamassa é estabelecida usando o Aparelho de cisalhamento Duplo de Argamassa desenvolvido localmente. Este aparelho baseia-se no conceito de cisalhamento duplo, frequentemente utilizado na mecânica dos solos. Foi adotada a amostra cilíndrica de argamassa com diâmetro de 50mm e comprimento de 150mm. O aparelho, ilustrado na figura 5, consiste em 2 elementos principais, o elemento inferior (forma C) consiste na parte 1 (chapa esquerda e direita) e a parte 3 está ligada ao braço fixo da UTM. O elemento superior etiquetado como parte 2 é anexado ao braço móvel de UTM através da célula de carga.

### D. Ensaio de cisalhamento da interface tijolo-argamassa

O ensaio de cisalhamento de interface de tijolo-argamassa foi realizado com a pressão de confinamento aplicada, usando a disposição ilustrada na figura 6. Foi utilizado epóxi para

assegurar uma ligação perfeita entre a amostra e o aparelho. A contribuição de cisalhamento da interface tijolo-argamassa é calculada usando o aparelho de ensaio de cisalhamento sugerido por P B Launreco, (1994) e Van der Plujim, (1992 e 1993).

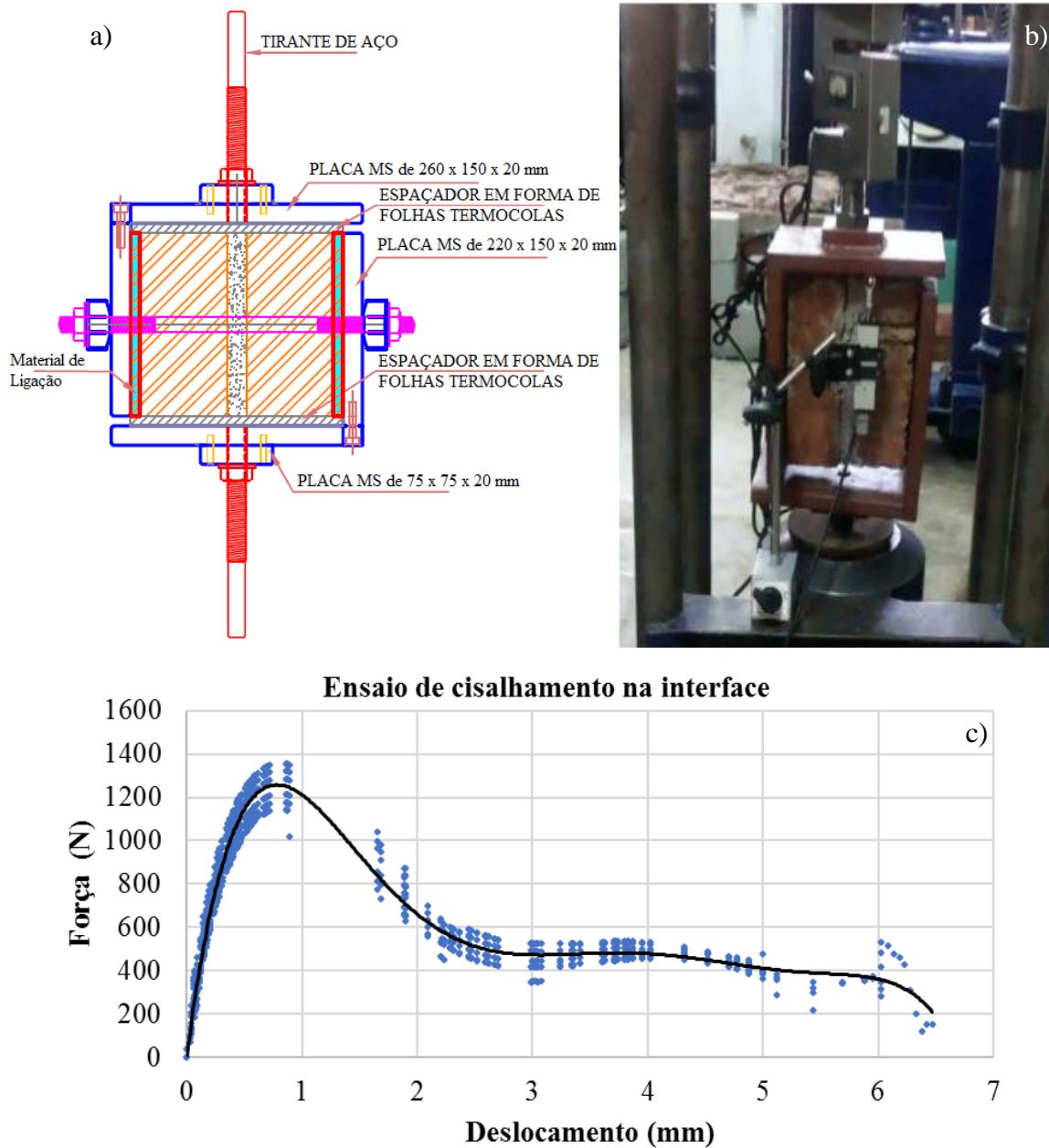


Figura 6. Ensaio de cisalhamento na interface de argamassa de tijolo (a) Configuração do ensaio esquemático (b) Fotografia real (c) Resultados

#### E. Ensaio de cisalhamento no tijolo

A contribuição de cisalhamento de tijolos é elaborada a partir do conceito de ensaio de cisalhamento direto comumente usado em engenharia geotécnica. A pressão de confinamento desempenha um papel importante na avaliação da resistência ao cisalhamento. Em todas as experiências acima mencionadas, foi utilizada uma pressão de confinamento de  $0,5 \text{ N/mm}^2$ , amostras de tijolo de  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  de seção transversal foram cortadas cuidadosamente a partir de unidades de tijolo. A configuração do ensaio, o padrão de falha observado e os resultados dos ensaios são mostrados nas figuras 7 (a), (b) e (c), respectivamente.

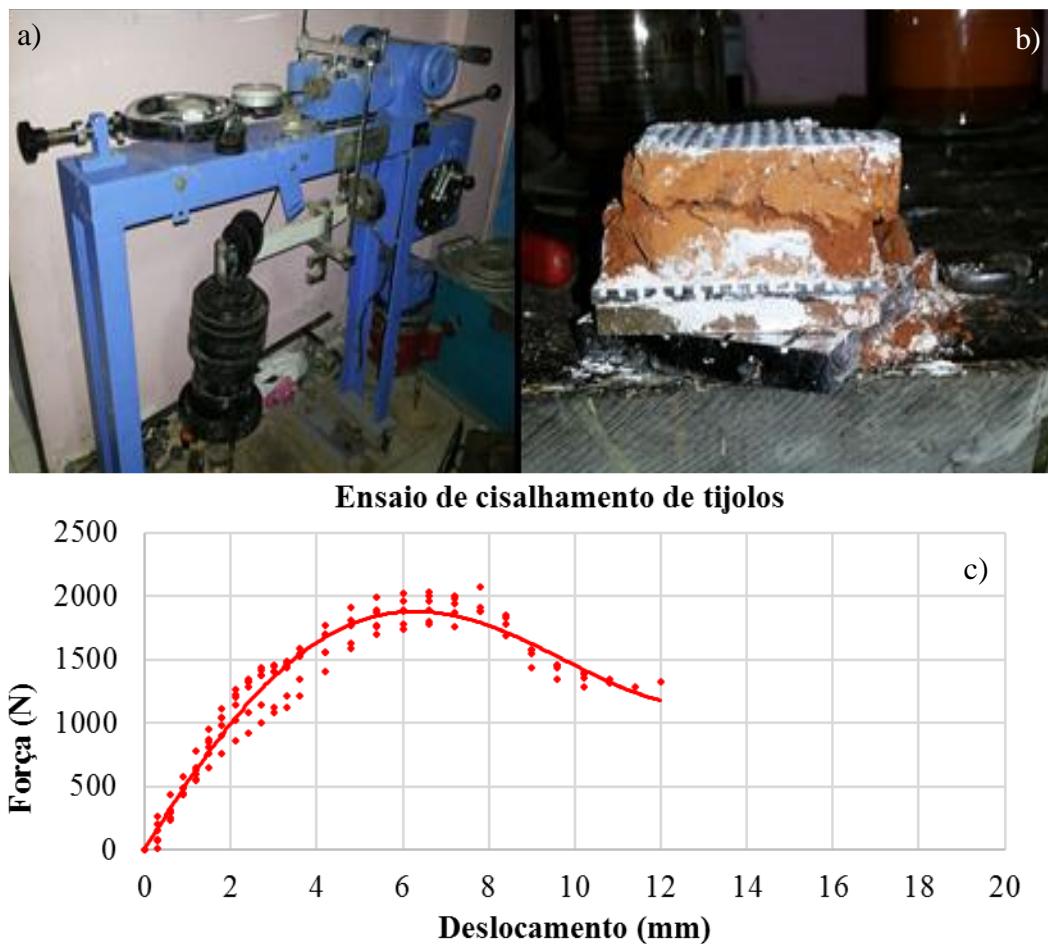


Figura 7. (a) Ensaio de cisalhamento dos tijolos, (b) Falha de cisalhamento típica observada e (c) Resultados do ensaio de cisalhamento de tijolos.

As grandes deformações observadas não são relevantes para o processo de projeto, pois a estrutura teria falhado no momento em que grandes deformações ocorressem. Assim, a tentativa do projetista é manter as deformações no controle e tão mínimas quanto possível. Dentro dessa faixa controlada e limitada de deformações, o comportamento de elementos e interfaces individuais pode ser assumido linearmente elástico. Assim, pode ser idealizado como molas discretas.

Uma idealização usando a analogia da mola foi apresentada para simplificar a complexidade devido à contribuição de cinco elementos da montagem. A força de pull-out permanece constante em todos os elementos e a deformação é função da resistência oferecida pela armadura, interface de argamassa de armadura, argamassa, interface de argamassa-tijolo e resistência ao tijolo. Cada parâmetro contributivo pode ser idealizado como molas discretas e todo o conjunto pode ser idealizado como sistema de molas conectadas em série. Assim, a rigidez efetiva do conjunto é uma contribuição da rigidez da armadura, da rigidez ao cisalhamento da ligação RM, da rigidez ao cisalhamento da argamassa, da rigidez ao cisalhamento da ligação BM e da rigidez ao cisalhamento do tijolo. Uma representação esquemática da idealização acima mencionada é representada na Figura 8.

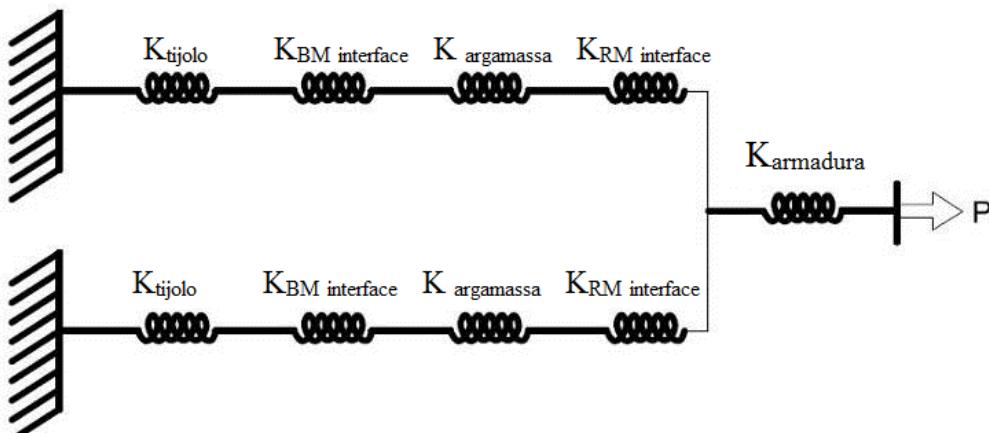


Figure 8. Analogia de molas

### 3. CONCLUSÕES EXPERIMENTAIS E INFERÊNCIA

Todos os ensaios foram realizados utilizando equipamento com deslocamento controlado no VJTI, laboratório de Engenharia Estrutural. Obteve-se um gráfico de Força vs. Deslocamento para cada ensaio. Os valores de rigidez de cada elemento contribuinte foram calculados e tabulados na Tabela 2.

Observa-se que existe boa correlação entre a rigidez experimental para a referida articulação e os resultados obtidos utilizando o modelo analítico utilizando a idealização da mola. As fórmulas de mola para molas em paralelo e em série para o conjunto de molas acima ilustrado na Figura 8 podem ser representadas como se segue utilizando a Equação (1) e a Equação (2);

$$\frac{1}{k_{Eq.pseudomaterial}} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k_{reinforcement}} \quad (1)$$

Onde, k é constante de mola equivalente para molas em paralelo

$$\frac{1}{k} = \frac{2}{\frac{1}{k_{RM interface}} + \frac{1}{k_{mortar}} + \frac{1}{k_{BM interface}} + \frac{1}{k_{brick}}} \quad (2)$$

A Equação (1) e a Equação (2) são válidas dentro dos limites elásticos de cada mola, ou seja

$$P \leq P_R^L, P_{RM}^L, P_M^L, P_{BM}^L, P_B^L \quad (3)$$

Onde,

$P_R^L$  Limitação da carga elástica na mola de armadura

= Limitação do esforço elástico de Armadura x C / s área de armadura

$P_{RM}^L$  Limitação da carga elástica na mola de interface RM

= Limitação da tensão elástica da mola equivalente à interface RM x Área C / s da interface RM

$P_M^L$  Limitação da carga elástica na mola de argamassa

= Limitação do esforço de cisalhamento da mola equivalente à área de Argamassa x C / s da argamassa em cisalhamento

$P_{BM}^L$  Limitação da carga elástica na mola de interface BM

= Limitação de tensão da mola equivalente à interface BM x área C / s da interface BM

$P_B^L$  Limitando a carga elástica na mola de tijolo

= Limitação do esforço de cisalhamento da mola equivalente à área Brick x C / s de tijolo em cisalhamento

A violação de qualquer um destes limites, isto é, a falha de qualquer uma das molas idealizadas listadas acima deve prever o modo de falha correspondente, por exemplo, a falha da mola de RM irá indicar falha de interface entre armadura e argamassa.

Tabela 2. Matriz de Rigidez (Experimental e baseada em fórmula).

Rigidez do Elemento Experimental	Rigidez Tangente Inicial
$K_{\text{armadura}}$	25120 N/mm
$K_{\text{RM interface}}$	3521.1 N/mm
$K_{\text{argamassa}}$	2857.1 N/mm
$K_{\text{BM interface}}$	6666 N/mm
$K_{\text{Tijolo}}$	714 N/mm
$K_{\text{Eq. pseudo material (por Fórmula)}}$	883.77 N/mm
$K_{\text{Eq. pseudo material (ensaio Pull-out)}}$	981 N/mm

Esta correlação utilizando a analogia da mola pode ser usada para modelar um elemento de interface com uma rigidez efetiva equivalente à da junta de alvenaria armada.

### 3.1 Relação com a Elasticidade

A idealização da analogia de molas apresentada acima constitui a abordagem básica para o desenvolvimento de uma nova formulação para modelagem de material de interface para a ligação de alvenaria estrutural armada. A articulação em formulação de flexão resiste à tensão onde a alvenaria recebe a compressão. Assim, a junta pode ser considerada sujeita à tensão isoladamente. A rigidez k de um corpo é uma medida da resistência oferecida por um corpo elástico à deformação e é assim a relação da força aplicada à deformação produzida. Em mecânica, o módulo elástico (módulo de Young) é uma propriedade intrínseca do material que é calculada como a relação de tensão para deformação, ou seja

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

Substituindo valores para  $\sigma$  e  $\varepsilon$ ,  $E = \frac{F/A}{\Delta/l}$  i.e.

$$E = \frac{Fl}{A\Delta} \quad (5)$$

A partir das suposições acima e rearranjando os termos, a equação acima pode ser

$$E = \left( \frac{F}{\Delta} \right) \left( \frac{L}{A} \right) \quad (6)$$

$$\text{i.e. } E = K \frac{l}{A} \quad (7)$$

Assim, o módulo de tensão de elasticidade para o material de interface pode ser escrito em termos de rigidez de juntas de alvenaria estrutural armada  $k$  usando a Equação (4) como se segue,

$$E_{Eq.pseudomaterial} = \frac{L}{A} k_{Eq.pseudomaterial} \quad (8)$$

Substituindo os valores de rigidez experimental do elemento de interface, o módulo de elasticidade do elemento de interface será, (para a vigota de alvenaria de comprimento unitário reforçado com área de seção transversal unitária),  $E_{eq.pseudomaterial} = 883.77 MPa$ .

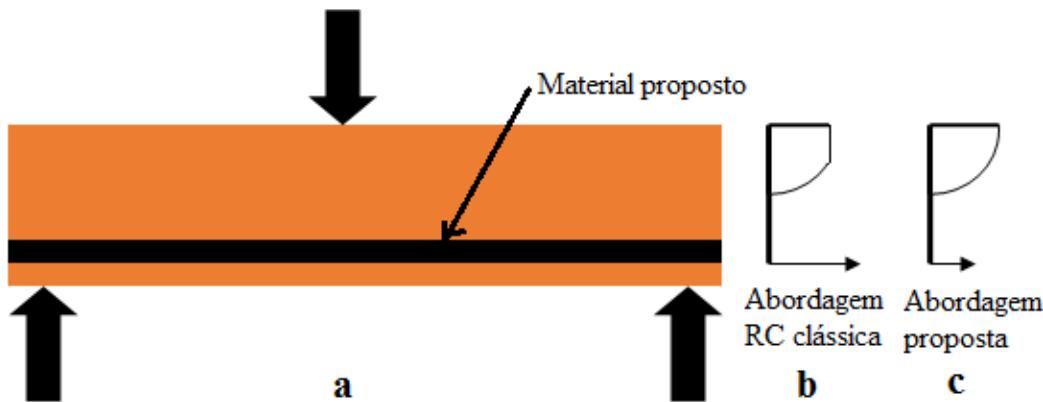


Figura 9. Vigota típica de alvenaria armada com relação de tensão b) diagrama de tensão como por pressuposto de concepção de RC, c) diagrama de tensão com força de tensão descontada e a tensão do bloco de alvenaria.

A comparação da tensão do bloco para alvenaria estrutural armada usando a abordagem clássica de projeto RC (figura 9b) e a formulação proposta para a interface de modelagem de alvenaria estrutural armada (figura 9c) é mostrada na figura 9. Na abordagem clássica de projeto, a armadura cede primeiro e permite levar carga até sua capacidade de produção. Como nesta abordagem, o elemento de interface cede quando uma das condições de fronteira da interface é violada. Isto resulta em uma contribuição relativamente menor da armadura em comparação com o projeto de RC clássico. Assim, uma vigota de alvenaria reforçada exigiria maiores profundidades e armadura perfilada grauteada na alvenaria, de modo a não violar a condição de fronteira de interface e esta abordagem é a que leva à solução ideal.

#### 4. CONCLUSÃO

Investigações realizadas em alvenaria armada com foco nos materiais viz. Unidade, argamassa e armadura e interfaces indicam as seguintes características.

- I) A ligação entre a barra de armadura e a alvenaria não é perfeita.
  - II) Devido a deformações relativas de cisalhamento, ocorre perda na deformação e, portanto, desenvolve-se menos força na barra da armadura.
  - III) As deformações relativas de cisalhamento são observadas devido a diferentes propriedades de cisalhamento de elementos individuais e interfaces entre eles.
  - IV) O elemento de pseudo-interface desenvolvido prediz modos de falha prováveis.
- O comportamento de alvenaria armada é diferente do RC, portanto pressupostos de projeto clássico de RC não podem ser usados diretamente para as unidades de alvenaria consideradas. Esta diferença seria mais para tijolos frágeis e argamassas fracas. Considerando a complexidade da junta de alvenaria armada, este estudo apresentou uma abordagem para desenvolver um

elemento de interface representando 5 elementos diferentes de uma junta de alvenaria armada. Este elemento de interface ajudaria na concepção e modelagem de alvenaria armada na flexão. No entanto, os ensaios são realizados em um determinado tipo de tijolo (unidade), argamassa / argamassa e armadura, o procedimento experimental e abordagem proposta para o desenvolvimento de interface neste estudo é suficientemente robusto e pode ser usado para outros tipos de unidades, argamassas e de armadura. A mesma abordagem pode ser útil em condições semelhantes para simplificar as complexidades das interfaces. O elemento de interface desenvolvido ajudaria os engenheiros a chegarem à solução de alvenaria estrutural armada mais adequada e econômica.

## 5. AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Veermata Jijabai Technological Institute, em Mumbai, Índia, e ao BMS College of Engineering, em Bangalore, na Índia, por fornecer as instalações de ensaio e materiais utilizados neste estudo. O apoio dos técnicos de laboratório e assistentes destes laboratórios também é reconhecido.

## 6. REFERENCIAS

- Arezoo Razavizadeh, Bahman Ghiassi, Daniel V Oliveira (2014), *Bond behavior of SRG-strengthened masonry units: Testing and numerical modeling*. Construction and Building Materials 64 (2014) 387–397 [https://en.wikipedia.org/wiki/Flexural\\_modulus](https://en.wikipedia.org/wiki/Flexural_modulus).
- Gumaste K. S., Venkatarama Reddy B. V., Nanjunda Rao K. S., Jagadish K. S. (2004), *Properties of burnt bricks and mortars in India*. Masonry Int 17(2):45–52.
- Hendry A. W. (1998), *Structural masonry*. Macmillan Press, London.
- Van Noort J. R. (2012), *Computational modelling of masonry structures*, Delft University of Technology, Master Thesis.
- Lenczner D. (1972), *Elements of load bearing brickwork*, Pergamon, Oxford.
- Matthana M. H. S. (1996), *Strength of brick masonry and masonry walls with openings*. Ph D thesis, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, India.
- Narendra T. (2010), *Design of masonry structures*, 2nd Edition, International Code Council.
- Lourenço P. B. (1994), *Computational strategies for masonry structures*, PhD Thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- Van Der Pluijm, R. (1992), *Material properties of masonry and its components under tension and shear*, in: Proc. 6th Canadian Masonry Symposium, eds. V.V. Neis, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, p. 675-686.
- Pluijm, R. Van Der (1993), *Shear behavior of bed joints*, in: Proc. 6th North American Masonry Conf., eds. A. A.
- Hamid and Harris H. G. (1993), Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania, USA, p. 125-136.
- Raghunath S., Jagadish K. S. (1998), *Strength and elasticity of bricks in India*. Workshop on Recent Advances in Masonry Construction: WRAMC-98, Roorkee, India:141–150.
- Sarangapani G., Venkatarama Reddy B. V., Jagadish K. S. (2005), *Brick-mortar bond and masonry compressive strength*. J Mater Civil Eng (ASCE) 17(2):229–237.
- Mehendale S., Bambole A., Raghunath S. (2016), *Studies on Pull-Out Resistance of Reinforcement in Bed-Joint of Brick Masonry*, 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions –Anamnesis, diagnosis therapy, controls – Van Balen & Verstrynge (Eds) © 2016 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02951-4, page 1093 – 1098 <https://en.wikipedia.org/wiki/Stiffness>
- IS 1786: 2008, *High strength deformed steel bars and wires for concrete reinforcement — Specification* (Fourth Revision).