

# Experimental evaluation of coupler behavior for mechanical rebar splices in reinforced concrete structures

## *Avaliação experimental de luvas para emendas mecânicas de barras de aço em estruturas de concreto armado*



V. G. CHIARI <sup>a, b</sup>  
chiari.victor@gmail.com

A. L. MORENO JUNIOR <sup>a</sup>  
almoreno@fec.unicamp.br

### Abstract

The use of mechanical splices to connect steel bars is an important solution in many infrastructure projects worldwide. In Brazil, this system is rarely used. The Brazilian standards regarding this subject are old and out of date; particularly with regard to the performance evaluation test methods for these splices in the laboratory. This paper presents and discusses the test procedure proposed in the international standard ISO 15835 [1] in light of the current procedure defined by Brazilian Standard ABNT NBR 8548 [2], applied to types of mechanical splices commonly used in Brazil: taper threaded and bolted couplers. Performance parameters for these mechanical splicing systems related to structural integrity in reinforced concrete structures are evaluated on the basis of the results obtained in these tests. In the end, it is intended that this paper provide support for discussion of design procedures and laboratory performance evaluation of couplers for mechanical splices of steel bars in reinforced concrete structures in future reviews of Brazilian standard ABNT NBR 8548 [2].

**Keywords:** coupler, reinforced concrete, mechanical splice, rebar.

### Resumo

A utilização de emendas mecânicas para unir barras de aço é uma importante solução em muitas obras de infraestrutura no mundo todo. No Brasil este sistema ainda é pouco difundido. Além disso, a normalização Brasileira sobre o assunto é antiga, está defasada e carece de atualização; principalmente no que diz respeito aos métodos de ensaio para avaliação de desempenho destas emendas em laboratório. Este trabalho apresenta e discute o procedimento de ensaio proposto na norma internacional ISO 15835 [1] à luz do procedimento atual da norma Brasileira ABNT NBR 8548 [2], aplicado aos tipos de emendas mecânicas usualmente empregadas no Brasil: luvas rosqueadas tipo cônica e parafusadas. Parâmetros de desempenho destes sistemas mecânicos de emenda de barras de aço, relacionados à integridade estrutural em construções de concreto armado são avaliados com base nos resultados obtidos nestes ensaios. Pretende-se, assim, que este trabalho ofereça subsídios para discussão de procedimentos de avaliação de desempenho de luvas para emendas mecânicas de barras de aço em estruturas de concreto armado, nas futuras revisões da norma Brasileira ABNT NBR 8548 [2].

**Palavras-chave:** luva, concreto armado, emenda mecânica, barra de aço.

<sup>a</sup> University of Campinas, Civil Engineering Department, Campinas, SP, Brazil;  
<sup>b</sup> LENTON Company, São Paulo, SP, Brazil.

## 1. Introdução

A região das emendas de barras de aço é sempre tratada com atenção em todas as diretrizes, códigos de práticas e códigos normativos que especificam parâmetros para o dimensionamento de elementos estruturais em concreto armado. Há que se garantir, como exemplo, que estas emendas sejam executadas de modo a não interferir no comportamento originalmente previsto do elemento estrutural na região onde se localizam. Tensões no elemento estrutural, advindas de sistemas ineficientes de emendas, devem ser evitadas, sob o risco de haver a conseqüente redistribuição não desejada de esforços ao longo do elemento e mesmo da estrutura. Pode-se admitir, então, que o desempenho do elemento estrutural, ou mesmo de uma estrutura em concreto armado, está diretamente relacionado ao êxito da boa técnica empregada em eventuais emendas de suas barras de aço.

Basicamente, as emendas das barras de aço são realizadas por traspasse, por soldagem, ou com o emprego de sistemas mecânicos por luvas de aço. A emenda por traspasse é uma solução já consolidada no mercado mundial e é, dentre todos os sistemas, o mais utilizado nas estruturas de concreto armado; principalmente por ser o método menos dispendioso. Entretanto, existem situações onde este sistema de emenda não pode ser empregado; como é o caso de erros de execução no comprimento dos arranques, ou “esperas”, de pilares; em casos particulares de intervenções de recuperação ou reforço estrutural ou até mesmo quando se pretende emendar barras de aço com diâmetros superiores ao limite estabelecido para este sistema de emenda por traspasse. Nesses casos, os projetistas podem recorrer às emendas das barras de aço por solda ou por intermédio de luvas de aço.

Nas emendas por solda, as barras de aço são emendadas por soldagem de topo, por caldeamento ou com eletrodo, ou por cobrejuntas; sendo preferencialmente usada a solda do tipo autógena por pressão. Este tipo de emenda caiu em desuso nos últimos anos; principalmente devido à necessidade de mão-de-obra especializada, tempo requerido para execução e controle de qualidade bastante rigoroso.

Embora seja dos três sistemas apresentados, em muitas situações, o de custo maior; deve-se ressaltar a reconhecida eficácia do sistema de emendas por luvas (Figura 1). De acordo com Singhr *et al.* [3], as principais vantagens da utilização das luvas para emendas mecânicas são:

- Redução dos problemas de congestionamento na armadura;
- Controle da propagação das fissuras no concreto;
- Melhoria da continuidade estrutural entre as barras, gerando maior segurança;
- Redução de mão-de-obra e o conseqüentemente custo global da estrutura;
- Possibilidade de união de barras de qualquer comprimento e diâmetro.

As emendas mecânicas são utilizadas no Brasil desde a década de 70 e foram empregadas em obras bastante relevantes no cenário brasileiro e internacional (usinas nucleares Angra I e II e usina hidrelétrica de Itaipu). Entretanto, as emendas mecânicas de barras de aço ainda são pouco utilizadas se comparadas ao método convencional por traspasse.

Atualmente, é possível encontrar no mercado brasileiro uma gran-



**Figura 1**

Ilustração de uma emenda mecânica por luva aplicada na união de uma barra de aço

de variedade de luvas e, dentre as mais utilizadas, estão a de rosca cônica, parafusada, prensada, rosqueada tipo paralela e soldável, cujas características técnicas estão apresentadas na Tabela 1. Poucas são, atualmente, as publicações nacionais destinadas à avaliação de luvas como material para emenda de barras de aço, sobretudo testadas de maneira isolada, ou seja, sem a inserção em uma estrutura de concreto armado. Mesmo no âmbito internacional, o tema é bastante novo e somente nos últimos 20 anos as emendas mecânicas passaram a ser estudadas com mais frequência devido à demanda mundial por este tipo de solução em grandes obras de infraestrutura.

Nouredine [4], Hillis & Saiidi [5], Rowell *et al.* [6], Alam *et al.* [7] e Huaco e Jirsa [8] apresentaram os primeiros resultados internacionais sobre o desempenho das luvas como emenda mecânica de barras de aço.

Em estudo mais completo, Lloyd [9] avaliou o comportamento de emendas de barras de aço executadas com luvas parafusadas, de 20 e 25 mm de diâmetro, sob carga estática e dinâmica, segundo o padrão estabelecido pela ASTM 1034 [10]. Os resultados obtidos comprovaram a eficiência deste tipo de emenda.

A eficácia da instrumentação, empregada nos ensaios de avaliação de desempenho destas emendas mecânicas, foi abordada nas pesquisas realizadas por Alam *et al.* [7], Connah [11], Taskin [12], Klimenov *et al.* [13], Ling *et al.* [14] e Seo *et al.* [15]. Neste caso, a instrumentação proposta teve o objetivo de coletar dados de deformação e/ou deslocamento, tanto da barra de aço quanto da luva de emenda, com o propósito de avaliar possível deslizamento relativo entre estes dois elementos.

Mais recentemente, Haber *et al.* [16] avaliou o desempenho de dois tipos de luva de aço: de rosca cônica e grauteada (preenchidas com um graute cimentício e aplicadas somente em estruturas pré-moldadas), com 20 mm de diâmetro, de acordo com o método especificado na CALTRANS 670 [17], bastante similar ao método

proposto pela ISO 15835 [1]. Os resultados dos ensaios comprovaram a eficiência do método proposto, principalmente no que diz respeito à instrumentação empregada, onde extensômetros elétricos foram instalados nas barras de aço e nas luvas e transdutores de deslocamento foram posicionados nas barras para determinação do deslocamento relativo entre barra e luva.

Na pesquisa de Nguyen & Mutusuyoshi [18] foi avaliado o desempenho de luvas grauteadas na emenda mecânica de barras de aço. O método de ensaio foi, basicamente, o mesmo empregado por Haber *et al.* [16], com diferenças sutis mas comprovadamente eficazes na instrumentação. Nesta pesquisa, os transdutores de deslocamento não foram fixados às barras, mas sim a uma base hexagonal de aço especialmente fabricada pelos autores. Tal instrumentação mostrou-se eficiente na avaliação do deslizamento relativo entre barra e luva de aço.

Por fim, resta destacar a importância deste tipo de emenda na ligação de elementos pré-fabricados de concreto. Este tipo de ligação vem sendo estudada no Brasil ao longo destes últimos 25 anos, com destaque recente para os trabalhos de Ferreira [19], Ballarin [20], Ferreira [21], Jeremias Junior [22], Souza [23], e

Catoia [24]; estudos estes tomados como referência na literatura técnica Brasileira e que subsidiaram a revisão da ABNT NBR 9062 [25], recentemente publicada. No que diz respeito às referências internacionais, este tipo de estudo foi conduzido por Ordoñez *et al.* [26], Cheok e Lew [27], Haber *et al.* [28] e Yu *et al.* [29].

Contextualizadas as várias pesquisas sobre o comportamento de luvas de aço para emenda mecânica em estruturas de concreto armado, nota-se uma lacuna de publicações nacionais sobre o assunto; tanto no que concerne à avaliação individual de desempenho destas emendas mecânicas, quanto à avaliação destas emendas em conjunto com elementos estruturais em concreto armado.

Neste caminho, insere-se o artigo em questão; com o intuito de apresentar ao meio técnico nacional uma necessária avaliação de desempenho de alguns tipos de emendas mecânicas em uso pela indústria da construção civil nacional e, igualmente, de apresentar subsídios para discussão de procedimentos (de dimensionamento e de avaliação de desempenho em laboratório) na futura revisão da norma ABNT NBR 8548 [2], ao comparar procedimentos indicados por esta norma nacional com os estabelecidos por norma internacional ISO 15835 [1].

**Tabela 1**

Luvas para emenda mecânica disponíveis no mercado brasileiro

Luva para emenda mecânica	Vantagens	Desvantagens
Rosca cônica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo semelhante ao do traspasse</li> <li>• Fácil execução</li> <li>• Distribuição uniforme de tensões ao longo de toda a seção da conexão</li> <li>• Excelente produtividade</li> <li>• Auto-alinhamento</li> <li>• Controle de qualidade através de torquímetro</li> <li>• Equipamento específico para execução das roscas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de preparação das pontas da barra de aço</li> <li>• Não é possível executar a rosca em barras já instaladas</li> <li>• Necessidade de uma luva de posicionamento para utilização em barras dobradas</li> </ul>
Parafusada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não requer preparação das pontas da barra de aço</li> <li>• Utilizados em situações emergenciais onde a barra já esteja instalada no local</li> <li>• Instalação rápida e fácil</li> <li>• Excelente produtividade</li> <li>• Controle de qualidade visual (parafuso cisalha quando alcança o torque especificado)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo</li> <li>• Dificuldade na emenda de barras dobradas</li> </ul>
Prensada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo semelhante ao do traspasse</li> <li>• Boa produtividade</li> <li>• Equipamento específico para execução das roscas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de preparação das pontas da barra de aço</li> <li>• Não é possível executar a rosca em barras já instaladas</li> <li>• Controle de qualidade visual</li> <li>• Dificuldade no alinhamento das barras durante instalação</li> </ul>
Rosca paralela	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo semelhante ao do traspasse</li> <li>• Boa produtividade</li> <li>• Equipamento específico para execução das roscas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de preparação das pontas da barra de aço</li> <li>• Não é possível executar a rosca em barras já instaladas</li> <li>• Controle de qualidade visual</li> <li>• Dificuldade no alinhamento das barras durante instalação</li> </ul>
Soldável	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não requer preparação das pontas da barra de aço</li> <li>• Baixo custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificil execução</li> <li>• Baixa produtividade</li> <li>• Necessidade de mão-de-obra especializada</li> <li>• Controle de qualidade oneroso</li> </ul>

**Tabela 2**Valores de  $f_y$  e  $f_{st}$  de normas internacionais para classes de aço idênticas ao CA 50

País	Norma	Classe do aço	Resistência ao escoamento $f_y$ (MPa)	Limite de resistência à tração $f_{st}$ (MPa)
Alemanha	DIN 1045 [31]	500M	500	550 (1,10 $f_y$ )
Áustria	ONORM B4700 [32]	550	550	620 (1,13 $f_y$ )
França	NF-A-32-020 [33]	500	500	550 (1,10 $f_y$ )
Holanda	BRL-0504 [34]	500	500	550 (1,10 $f_y$ )
Reino Unido	BS 8110 Appendix TA1-B [35]	B500A B500B B500C	500	525 (1,05 $f_y$ ) 540 (1,08 $f_y$ ) 575 (1,10 $f_y$ )

## 2. Parâmetros de desempenho da emenda mecânica

Basicamente, se assume no projeto que a presença de eventual emenda mecânica de duas barras de armadura não resulta na redução da resistência estrutural, da rigidez ou da ductilidade desta barra emendada. A normatização vigente de projetos de estruturas em concreto parte deste princípio, especificando detalhes de configuração destas emendas que estão mais atrelados à garantia do trabalho conjunto do aço e concreto do que, necessariamente, à garantia do comportamento estrutural adequado da emenda mecânica em questão. Daí a importância da garantia de desempenho destas emendas; atrelada à avaliação de parâmetros específicos de interesse através de ensaios padronizados em laboratório.

A avaliação de desempenho do sistema mecânico de emenda de barras de aço no Brasil deve seguir o padrão estabelecido pela ABNT NBR 8548 [2] que, vale ressaltar, carece de revisão, inserindo parâmetros e metodologias de ensaio de desempenho específico para os vários tipos de luvas atualmente em uso na indústria da construção civil nacional.

Internacionalmente, dentre as mais utilizadas na avaliação do desempenho de emendas mecânicas de barras de aço, encontra-se a ISO 15835 [1] que, embora bem mais completa que a equivalente nacional, ainda carece de melhorias no que concerne ao padrão de instrumentação dos modelos na obtenção de parâmetros de desempenho desejados. Neste sentido, ressalta-se a adaptação nesse padrão de instrumentação proposta por Haber *et al.* [16] e Nguyen & Mutusuyoshi [18]. Dois parâmetros de desempenho são essenciais na avaliação dos sistemas mecânicos de emenda de barras de aço: resistência à tração (resistência ao escoamento,  $f_y$ , e limite de resistência à tração,  $f_{st}$ ) e deslizamento relativo entre barra e luva. Do mesmo modo que a Brasileira ABNT NBR 8548 [2], a ISO 15835 [1] faz referência ao necessário comportamento similar, quanto à resistência ao escoamento, da barra com emenda e sem emenda.

No Brasil, o valor mínimo requerido para a resistência ao escoamento de uma barra unida por emenda mecânica é aquele prescrito pela ABNT NBR 8548 [2], que estabelece que os resultados ob-

tidos nos ensaios de resistência à tração, com e sem a aplicação de luvas como elemento de união de barras de aço, deve atender os requisitos mínimos definidos pela norma ABNT NBR 7480 [30], ou seja, para as barras tipo CA 50, o  $f_y$  deve ser de 500 MPa, enquanto que o  $f_{st}$  deve ser 540 MPa (1,08  $f_y$ ). A Tabela 2 apresenta as principais normas internacionais que consideram os mesmos parâmetros supracitados em seu escopo e seus respectivos valores mínimos para aços de classes similares [31] [32] [33] [34] [35]. Apesar de não especificado no escopo da ABNT NBR 8548 [2] e raramente considerado nos projetos estruturais no Brasil (exceção às usinas nucleares), o deslizamento relativo entre barra e luva é igualmente importante na avaliação estrutural, pois serve para aferir a tendência do deslocamento da barra de aço em relação à luva em condições extremas de carregamento e, consequentemente, a confiabilidade da continuidade estrutural.

A norma internacional ISO 15835 [1], utilizada como referência principal desta pesquisa, recomenda um limite máximo de deslizamento de 0,1 mm. Este mesmo limite consta na especificação interna da Eletrobrás Eletronuclear, denominada DS-G-6647-029202 [36], que foi criada e tem sido utilizada em complemento à ABNT NBR 11561 [37], extinta em 2002. O valor limite prescrito para o deslizamento está relacionado, também, ao controle da fissuração do concreto na região da emenda.

## 3. Programa experimental

O programa experimental desta pesquisa teve por premissa a avaliação dos procedimentos propostos na ISO 15835 [1] à luz dos procedimentos nacionais da ABNT NBR 8548 [2], com instrumentação adaptada segundo indicações constantes em Haber *et al.* [16] e Nguyen & Mutusuyoshi [18], para emendas mecânicas de barras de aço com luvas de rosca cônica e parafusadas.

Os ensaios de caracterização das barras de aço antes de emendadas, aqui denominadas “barras de controle”, foram procedidos no Laboratório de Materiais de Construção e Concreto do Instituto Militar de Engenharia (IME) no Rio de Janeiro.

A segunda parte do programa experimental; e objeto principal desta pesquisa, foi composta pelos ensaios de resistência à tração e

**Tabela 3**

Procedimentos de ensaio aplicados às barras emendadas mecanicamente

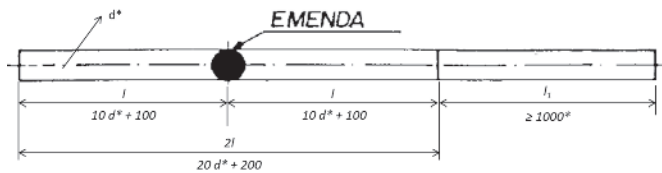
	Método 1	Método 2	Método 3
Resistência à tração	ABNT NBR 8548 [2]	ISO 15835 [1]	ISO 15835 [1]
Deslizamento	Adaptação de DS-G-6647-029202 [36] com aplicação de ciclo único de carga	ISO 15835 [1] com aplicação de três ciclos de carga	ISO 15835 [1] com aplicação de três ciclos de carga
Instrumentação	Adaptação de Haber <i>et al.</i> [16], extensômetros elétricos e transdutores individuais	Adaptação de Haber <i>et al.</i> [16], extensômetros elétricos e transdutores individuais	Adaptação de Nguyen & Mutusuyoshi [18], extensômetros elétricos e transdutores dispostos em grupos de três



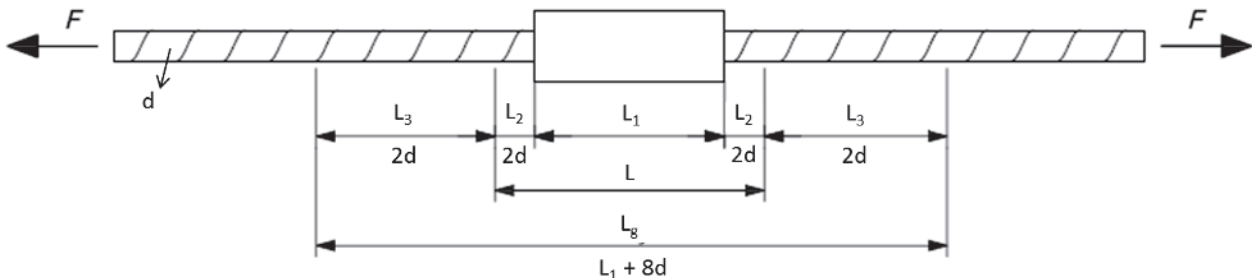
**Figura 2**  
Luva de rosca cônica [38]



**Figura 3**  
Luva parafusada [39]



**Figura 4**  
Amostra para ensaio de qualificação de emendas mecânicas, modificado da ABNT NBR 8548 [2]



**Figura 5**  
Dimensões da amostra para avaliação de desempenho de emenda mecânica, modificada da ISO 15835 [1]

1 This system is being used more and more frequently in Brazil, especially in emergency situations, where conventional couplers cannot be used, because there is no need for any type of preparation of the steel bar ends (threads). Its installation is performed with an impact wrench and the bolt head shear occurs when the specified torque is reached, allowing for visual quality control.

2 This connection system is the one most used around the world due to its ease of alignment with the steel bar during installation. This splice is carried out using specially developed equipment. For proper quality control, the use of a torque wrench is indispensable.

deslizamento destas mesmas barras emendadas mecanicamente, e foi procedida no Laboratório de Estruturas e Materiais da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Face ao objetivo deste trabalho de analisar e comparar, de maneira abrangente, o comportamento das barras emendadas por luvas frente a diferentes procedimentos de ensaio e instrumentação (método de ensaio) descritos na literatura nacional e internacional, três métodos de ensaio distintos foram empregados nos referidos ensaios das barras emendadas. A Tabela 3 detalha os três métodos de ensaio distintos avaliados; com destaque para as diferenças entre normatização empregada (ABNT NBR 8548 [2], ISO 15835 [1] e DS-G-6647-029202 [36]), número de ciclos de carregamento para obtenção do deslizamento (1 ou 3 ciclos) e disposição dos transdutores para obtenção do deslizamento relativo entre barra e emenda (sugestão de Haber *et al.* [16] ou de Nguyen & Mutusuyoshi [18]). Os dois tipos de emendas mecânicas por avaliar foram escolhidos pelo uso recente no Brasil e por serem, atualmente, dos tipos mais especificados em projetos estruturais como solução para emendas mecânicas de barras de aço das estruturas de concreto armado em todo o mundo. Da mesma maneira, os diâmetros das barras emendadas, 20 mm e 25 mm, foram escolhidos por serem de uso comum e onde o comprimento de emenda por traspasse passa a ser de tal magnitude que a emenda mecânica, com luvas, começa a ser promissor, segundo consenso do meio técnico nacional.

### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram:

- Barras de aço tipo CA 50, de 20 e 25 mm de diâmetro;
- Luva parafusada<sup>1</sup> (Figura 2 [38]): composta por parafusos torquimétricos que permitem utilizar a força integral da barra de aço e melhorar a integridade estrutural tanto em tração quanto em compressão;
- Luva de rosca cônica<sup>2</sup> (Figura 3 [39]): fabricada com rosca cônica em ambas as extremidades.

### 3.2 Dimensões das amostras

Para verificação das propriedades físicas e mecânicas das barras de aço empregadas nesta pesquisa, foram seguidas as prescrições descritas na norma nacional ABNT NBR 6152 [40], ABNT NBR 7480 [30] e ISO 15630 [41], inclusive no que diz respeito ao tamanho das amostras.

A norma nacional ABNT NBR 8548 [2] especifica que a barra de aço deve ser separada em três segmentos distintos ( $l$ , e  $2l$ ) de acordo

com a Figura 4, devendo-se avaliar o desempenho mecânico de barra isolada de comprimento  $l$ , cuja dimensão mínima deve ser 1000 mm, e da barra emendada de comprimento  $2l$ . Destaca-se que os comprimentos dos segmentos de barra indicados dependem, unicamente, do diâmetro da barra de aço ( $d$ ) por avaliar e,



**Figure 6**  
Detalhe da ruptura da barra de controle após ensaio de resistência à tração

desta maneira, são independentes do tipo de emenda empregado. De maneira similar, a dimensão das amostras de barras emendadas, segundo recomendação da norma internacional ISO 15835 [1] (Figura 5) deve ser calculada em função do diâmetro da barra,  $d$ , a ser emendada. Entretanto, o comprimento da luva ( $L_e$ ) empregada deve ser considerado no cálculo deste segmento.

### 3.3 Ensaios de caracterização das barras de aço sem emenda (barras de controle)

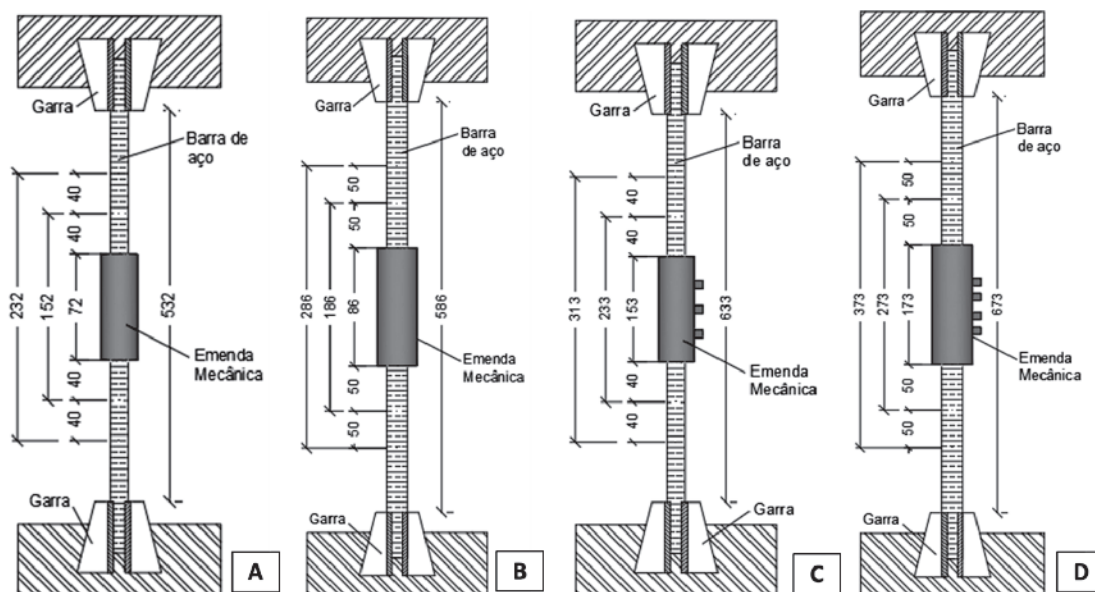
Seja para os ensaios das barras de controle (barras sem emenda mecânica) ou para os ensaios destas barras com a presença das luvas de emenda, a amostragem representativa de cada tipo de luva, diâmetro e método de ensaio, deve ser composta por três amostras, de acordo com as prescrições das normas Brasileira ABNT NBR 7480 [30] e internacional ISO 15630 [41].

Através da metodologia proposta pela ABNT NBR 6152 [40], foram ensaiadas seis barras de aço tipo CA 50, sendo três de 20 mm e outras três de 25 mm de diâmetro, de maneira isolada, com a finalidade de caracterizá-las com relação ao seu alongamento e estrição, além de verificar se estavam de acordo com os valores mínimos da resistência ao escoamento,  $f_y$ , e limite de resistência à tração  $f_{st}$  impostos pela ABNT NBR 7480 [30].

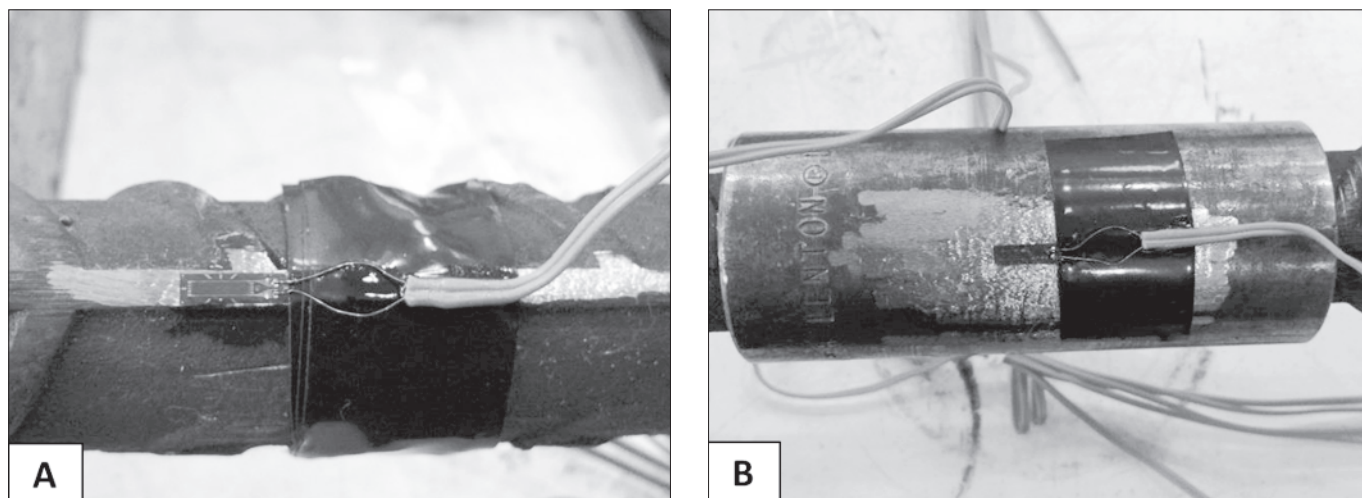
Para a realização destes ensaios, utilizou-se uma máquina universal de ensaios com capacidade de 1000 kN com controle automático de carregamento: CPA (Carregamento Progressivo Automático). Os ensaios de resistência à tração foram baseados na norma Brasileira ABNT NBR 6152 [40]. A instrumentação das barras de controle foi realizada instalando-se dois extensômetros elétricos exatamente no centro das barras, em lados opostos, com a finalidade de medir a deformação da barra de aço, neste ponto central, ao longo do ensaio. Ambos os extensômetros estavam conectados a um aquisitor de dados portátil Vishay modelo P3. A Figura 6 ilustra a barra de aço após ruptura, com detalhe dos extensômetros elétricos instalados.

### 3.4 Ensaios principais: comportamento à tração das barras com emendas mecânicas

Foram realizados três ensaios para cada diâmetro, tipo de luva e



**Figura 7**  
Dimensão das amostras, segundo ISO 15835 [1]. A - luva de rosca cônica 20 mm; B - luva de rosca cônica 25 mm; C - luva parafusada 20 mm e D - luva parafusada 25 mm

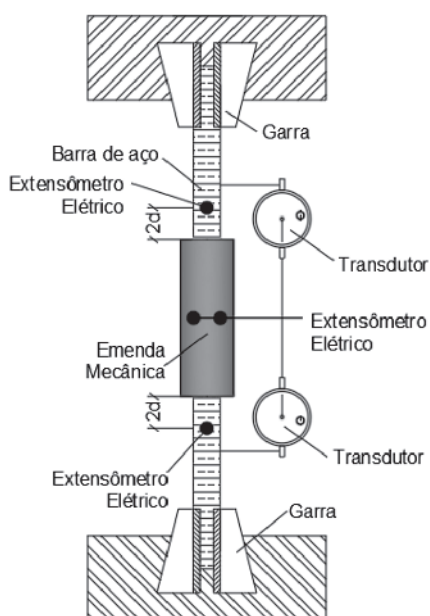


**Figura 8**  
 Detalhe dos extensômetros elétricos: A - barra de aço e B - luva

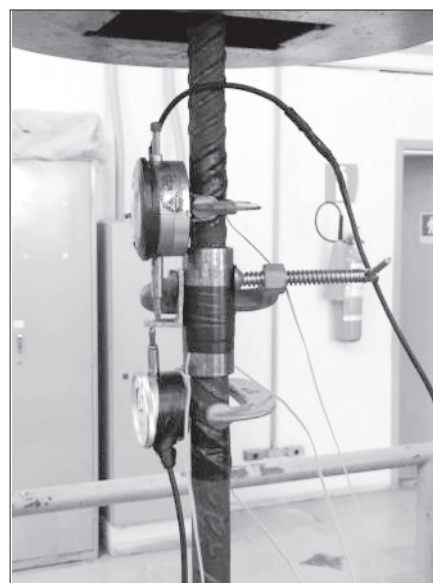
método de instrumentação empregado, totalizando trinta e seis ensaios, que tiveram como finalidade medir a resistência à tração e o deslizamento das amostras com emendas mecânicas. Apesar da norma Brasileira ABNT NBR 8548 [2] não especificar o parâmetro de deslizamento em seu escopo, este foi medido em todos os ensaios. Os ensaios das barras emendadas por luvas foram realizados em uma máquina universal de ensaios com capacidade de 1000 kN e controle automático de carregamento. A Figura 7 ilustra as dimensões das amostras de barras emendadas deste trabalho, segundo a ISO 15835 [1], que considera o comprimento do tipo de luva empregado na emenda.

Como sugerido por Haber *et al.* [16] e Nguyen & Mutusuyoshi [18], em cada barra emendada foram instalados quatro extensômetros elétricos, dois deles na barra de aço (Figura 8A) a uma distância de  $2d$  das faces externas da luva e dois no centro da própria emenda mecânica (Figura 8B) com a finalidade de medir a deformação da barra de aço, e compará-la com a deformação da própria luva, durante o ensaio.

Como instrumentos de medição adicionais e com o intuito de aferir o deslizamento relativo entre barra e luva, em cada ensaio, foram ainda posicionados transdutores de deslocamento. A Figura 9 e Figura 10 ilustram a instrumentação aplicada aos Métodos 1 e 2, cujos

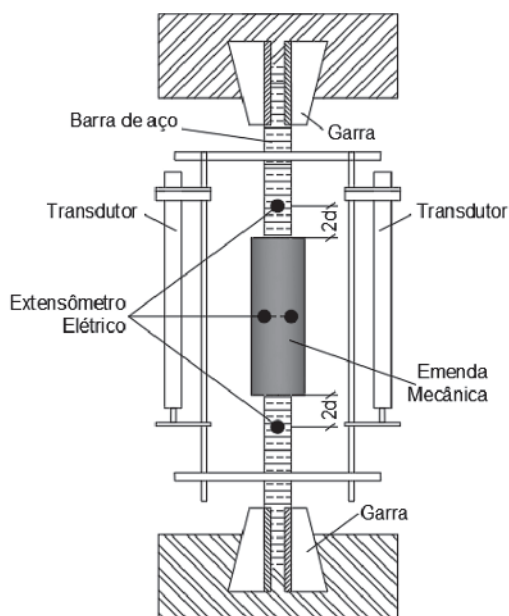


**Figura 9**  
 Esquema de instrumentação com transdutores individuais utilizados nos métodos 1 e 2 de ensaio



**Figura 10**  
 Transdutores de deslocamento individuais utilizados na medição do parâmetro de deslizamento nos métodos 1 e 2 de ensaio

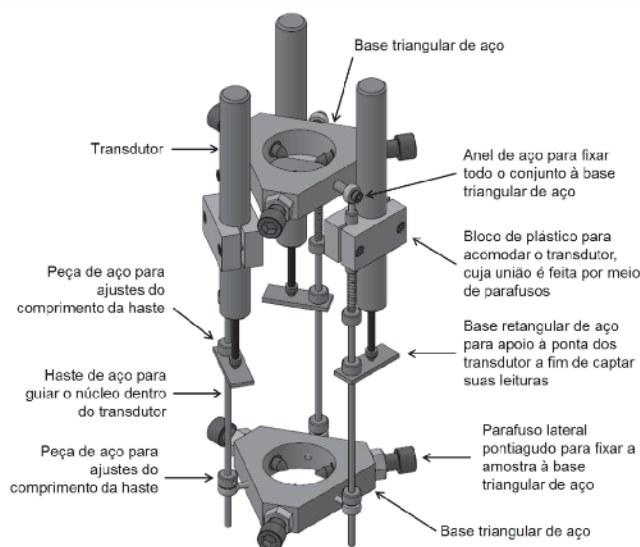
transdutores foram dispostos individualmente e conectados diretamente à nervura da barra de aço e à emenda mecânica. A Figura 11 e Figura 12 mostram os transdutores montados em grupos de três, atrelados a um aparato especialmente desenvolvido para a presente pesquisa (Método 3). A Figura 13 apresenta detalhes deste aparato.



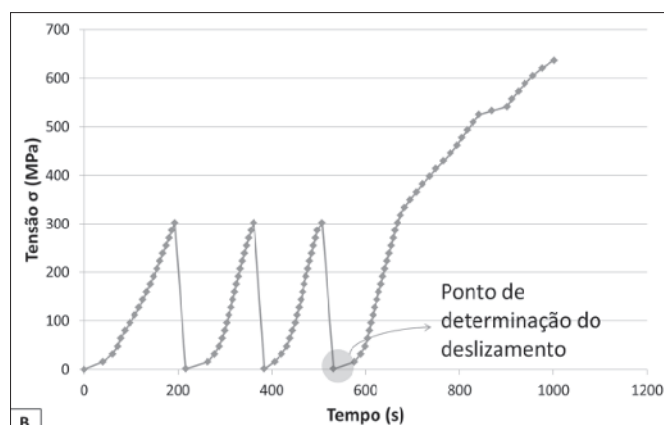
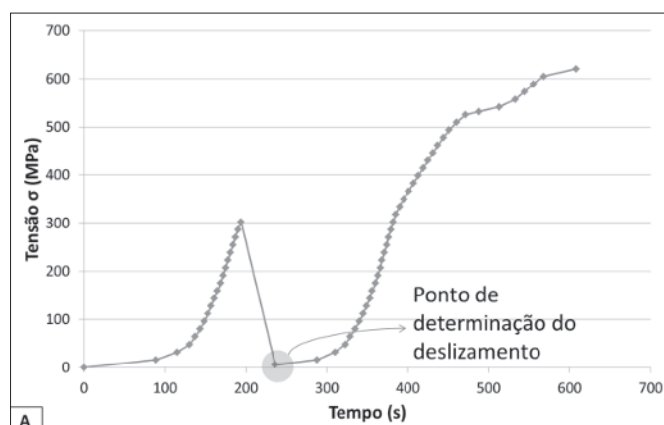
**Figura 11**  
Esquema de instrumentação dos transdutores instalados em grupos de três utilizados no método 3 de ensaio



**Figura 12**  
Transdutores em grupos de três instalados às bases triangulares de aço fixas utilizadas no método 3 de ensaio



**Figura 13**  
Detalhe tridimensional e suas respectivas funções do aparato utilizado no método 3 de ensaio



**Figura 14**  
Esquema dos ciclos de carga para determinação do deslizamento, modificado da DS-G-6647-029202 [36] (A - Método 1) e ISO 15835 [1] (B - Métodos 2 e 3)



**Tabela 4**

Resultados dos ensaios de caracterização das barras de controle

Ensaio	Resistência ao escoamento $f_y$ (MPa)	Limite de resistência à tração $f_{st}$ (MPa)
BC-20mm - 1	555	659
BC-20mm - 2	555	655
BC-20mm - 3	540	671
BC-25mm - 1	545	638
BC-25mm - 2	542	663
BC-25mm - 3	550	716

Para a aferição do parâmetro deslizamento relativo entre barra e emenda, neste trabalho foi adotada a recomendação da ISO 15835 [1], adaptada pela DS-G-6647-029202 [36], que estabelece o limite máximo de deslizamento de 0,1 mm. A aferição deste parâmetro ocorreu ao final de um ciclo de carga (Método 1) ou ao final de três ciclos de carga (Métodos 2 e 3) da barra emendada (Figura 14). Em cada ciclo a amostra foi carregada até a tensão nominal de serviço especificada para a barra de aço emendada (300 MPa, no caso das barras desta pesquisa) e, então, descarregada. Após a determinação do parâmetro deslizamento relativo, as amostras foram carregadas até sua ruptura para a determinação dos parâmetros de resistência à tração e consequente aferição.

**Tabela 5**

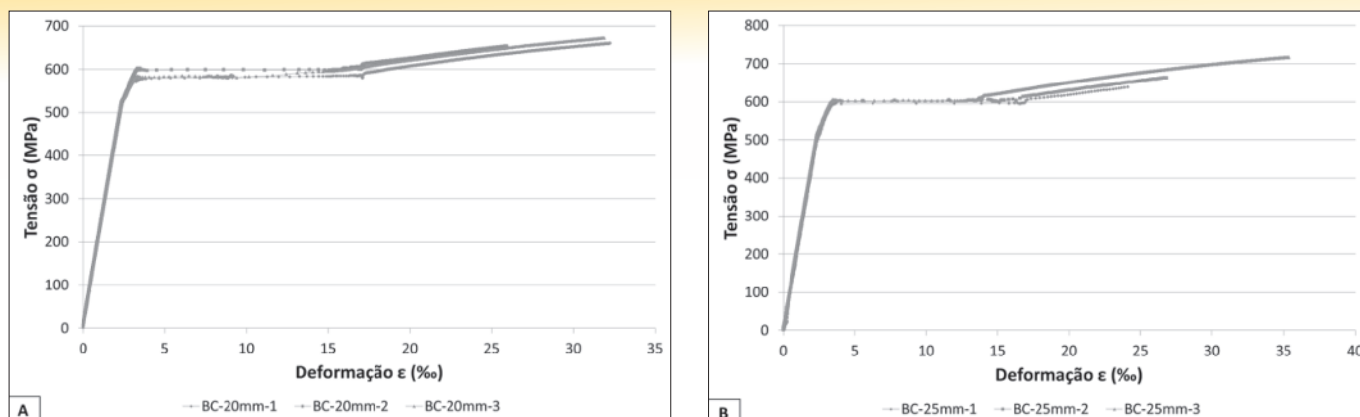
Resultados dos ensaios de desempenho de barras de aço com emenda mecânica rosqueada tipo cônica

Ensaio	Método	Resistência ao escoamento $f_y$ (MPa)	Limite de resistência à tração $f_{st}$ (MPa)	Slip (mm)
RC-20mm-1	Método 1	528	641	0,10
RC-20mm-2		536	648	0,10
RC-20mm-3		535	641	0,02
RC-20mm-4	Método 2	541	646	0,11
RC-20mm-5		541	633	0,02
RC-20mm-6		535	630	0,12
RC-20mm-7	Método 3	541	635	0,03
RC-20mm-8		540	637	0,02
RC-20mm-9		533	637	0,00
RC-25mm-1	Método 1	565	702	0,03
RC-25mm-2		553	688	0,05
RC-25mm-3		570	693	0,01
RC-25mm-4	Método 2	566	682	0,03
RC-25mm-5		567	677	0,28
RC-25mm-6		556	675	0,10
RC-25mm-7	Method 3	565	681	0,02
RC-25mm-8		565	679	0,01
RC-25mm-9		565	674	0,03

**Tabela 6**

Resultados dos ensaios de desempenho de barras de aço com emenda mecânica parafusada

Ensaio	Método	Resistência ao escoamento $f_y$ (MPa)	Limite de resistência à tração $f_{st}$ (MPa)	Deslizamento (mm)
PAR-20mm-1	Método 1	532	621	0,02
PAR-20mm-2		535	649	0,07
PAR-20mm-3		532	657	0,01
PAR-20mm-4	Método 2	535	627	0,05
PAR-20mm-5		532	605	0,15
PAR-20mm-6		535	653	0,19
PAR-20mm-7	Método 3	533	654	0,01
PAR-20mm-8		538	641	0,05
PAR-20mm-9		616	710	0,02
PAR-25mm-1	Método 1	559	670	0,10
PAR-25mm-2		560	661	0,10
PAR-25mm-3		559	693	0,07
PAR-25mm-4	Método 2	558	667	0,14
PAR-25mm-5		564	640	0,30
PAR-25mm-6		564	704	0,05
PAR-25mm-7	Método 3	565	672	0,07
PAR-25mm-8		564	642	0,06
PAR-25mm-9		556	646	0,06



**Figura 15**

Curvas tensão *versus* deformação dos ensaios das barras de controle. A - BC-20mm; B - BC-25mm

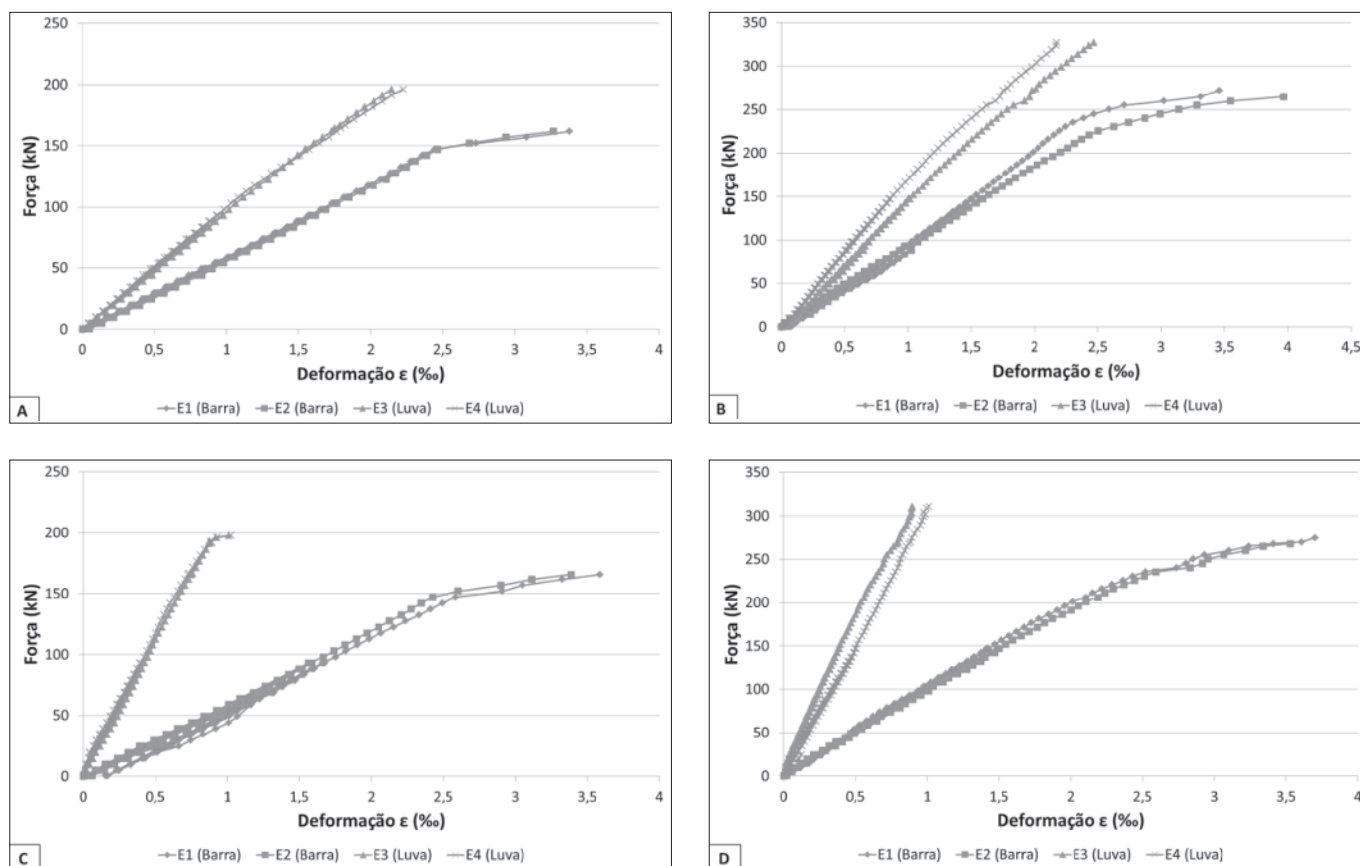
#### 4. Resultados e discussões

Foram realizados seis ensaios de caracterização de barras de aço e trinta e seis ensaios de resistência à tração e deslizamento em barras emendadas por luvas rosqueadas tipo cônica e parafusadas. A Tabela 4 apresenta os resultados da resistência ao escoamento,  $f_y$ , e o limite de resistência à tração,  $f_{st}$ , das barras de controle, enquanto a Tabela 5 e Tabela 6 exibem os resultados destes mesmos parâmetros para as barras emendadas mecanicamente com luvas, além do valor do deslizamento relativo entre barra de aço e luva de emenda. Todas as amostras avaliadas, com e sem emendas mecânicas, atingiram a resistência ao escoamento,  $f_y$  mínima de 500

MPa, assim como o limite de resistência à tração, mínimo,  $f_{st}$ , de 540 MPa; ambos os valores estabelecidos pela ABNT NBR 7480 [30].

A Figura 15, apresenta a típica evolução das deformações específicas, em função da tensão, nas barras de controle empregadas nesta pesquisa. Observa-se o comportamento análogo das barras de ambos os diâmetros até sua ruptura, como previsto e especificado pelo fabricante ArcelorMittal [42].

A Figura 16 ilustra a evolução das deformações específicas, em função da força, nas barras emendadas denominadas como RC-20mm (Figura 18A), RC-25mm (Figura 18B), PAR-20mm (Figura 18C) e PAR-25mm (Figura 18D), sendo “RC” correspondente às luvas rosqueadas tipo cônica e “PAR” às luvas parafusadas, ambas



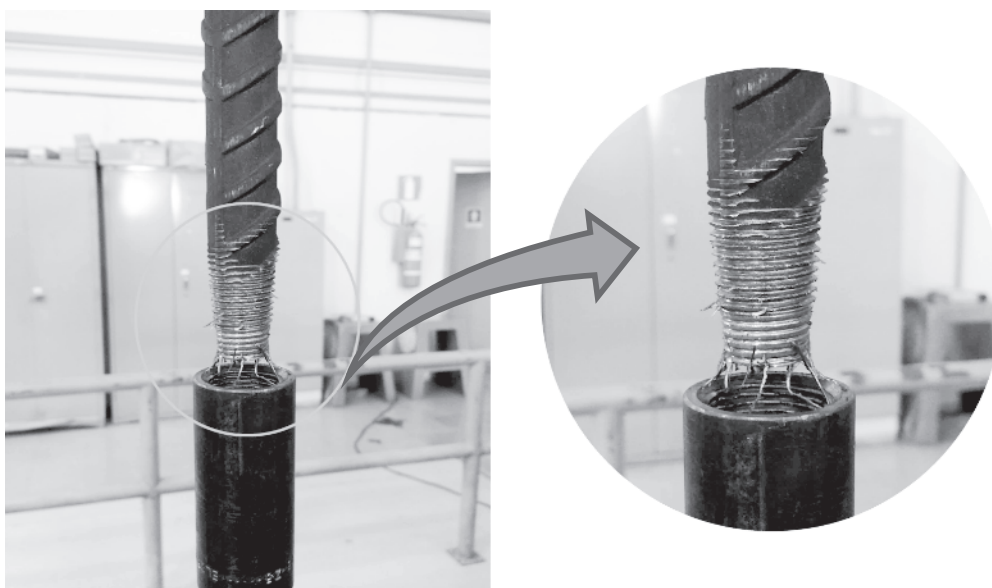
**Figura 16**

Curvas força *versus* deformação dos ensaios das emendas mecânicas. A - RC-20mm; B - RC-25mm; C - PAR-20mm e D - PAR-25mm

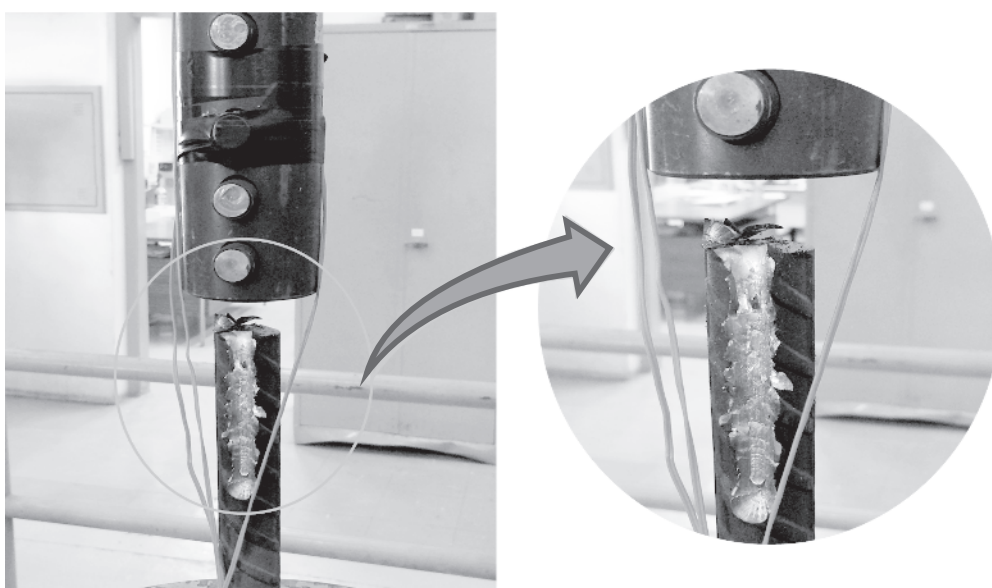
sucedidas pelo diâmetro da barra de aço ensaiada (20 e 25 mm) e, posteriormente, pelo número da amostra ensaiada. Nota-se comportamento esperado das deformações nas barras e luvas.

Em relação aos limites de resistência à tração,  $f_{st}$ , obtidos nos ensaios, apesar da redução nos valores encontrados para as barras emendadas quando comparados aos respectivos limites de resistência obtidos para as barras de controle em alguns ensaios, ressalta-se que todas as amostras estão de acordo com o exigido pela ABNT NBR 7480 [30]; ou seja, para as barras tipo CA 50 empregadas nesta pesquisa, o  $f_y$  deve ser maior

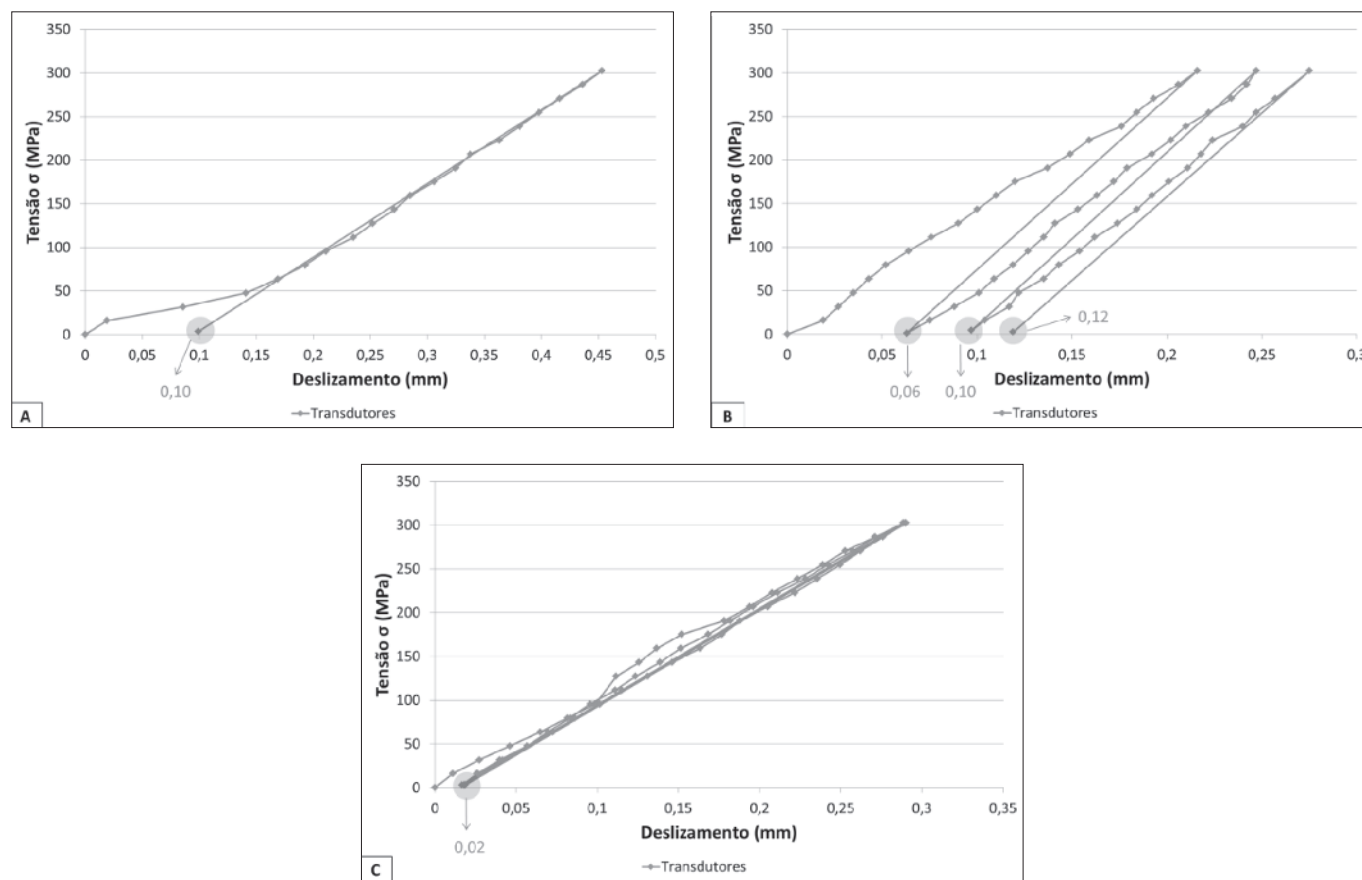
que 500 MPa, enquanto que o  $f_{st}$  deve maior que 540 MPa ( $1,08 f_y$ ). A ruptura das barras emendadas ocorreu, quase que em sua totalidade, na região da emenda, sem afetar, contudo, a integridade das luvas avaliadas. No caso das luvas rosqueadas, a barra é arrancada da luva após rompimento dos frisos da rosca pela combinação de tensões de flexão e cisalhamento. Quanto às luvas parafusadas, verifica-se claramente a ocorrência de ruptura dos parafusos da emenda por cisalhamento. A Figura 17 e Figura 18 ilustram, respectivamente, o modo típico de ruptura observado para as emendas com luvas rosqueadas e parafusadas.



**Figura 17**  
 Detalhe pós-ruptura de barra emendada com luva de rosca cônica



**Figura 18**  
 Detalhe pós ruptura de barra emendada com luva parafusada



**Figura 19**

Evolução do deslizamento relativo entre barra e emenda mecânica tipo RC-20mm.

A - Método 1, B - Método 2 e C - Método 3

No que tange o parâmetro deslizamento, da maneira como proposto, e com base nas prescrições estabelecidas pela norma internacional ISO 15835 [1], e no documento interno da Eletrobrás Eletronuclear, DS-G-6647-029202 [36], 83% das amostras analisadas apresentaram valores de deslizamento inferiores ao limite máximo de 0,1 mm. As amostras que estavam em desacordo com as normas supracitadas tiveram seus procedimentos de ensaio baseados no Método 2 de ensaio, ou seja, utilizaram transdutores individuais para a medição do deslizamento, medido ao final de três ciclos de carregamento.

Quanto ao número de ciclos de carga, antes da medição do valor final do deslizamento, e a forma de instalação dos transdutores para medição deste deslizamento, vale observar o ilustrado na Figura 19. Os valores finais de deslizamentos obtidos, muito diferentes, evidenciam, claramente, eventuais problemas em relação aos métodos de ensaio em avaliação.

Esta barra avaliada pelo Método 1 de ensaio (Figura 19A), apresentou 0,10 mm de deslizamento ao final de um ciclo de carregamento. Pelo Método 2 de ensaio, barra similar (Figura 19) apresentou deslizamentos de 0,05 mm ao final do primeiro ciclo de carga, 0,10 mm ao final do segundo ciclo e 0,15 mm ao final do terceiro ciclo de carga. Considerando que o tipo de instalação dos transdutores, conectados individualmente à barra emendada, é o mesmo em am-

bos os métodos, pode-se concluir que este tipo de conexão pode estar sujeito a eventuais movimentações dos transdutores ao final de cada ciclo de carga; o que, logicamente, poderia inviabilizar tanto o Método 1 quanto o Método 2 de ensaio avaliados.

A Figura 19C, pode elucidar a dúvida expressa no parágrafo anterior. O ensaio de barra similar pelo Método 3, empregando aparato especial (Figura 13) para medição dos deslizamentos resultou em valores de idênticos de deslizamento (0,02 mm) ao final de cada ciclo de carregamento da barra emendada. Este resultado só seria possível, caso não existisse nenhuma movimentação dos transdutores ao final de cada ciclo de carga; o que pode comprovar a eficiência do Método 3 de ensaio proposto.

Quanto ao número de ciclos de carga, a constância nos resultados de deslizamento ao final de cada ciclo ilustrada na Figura 19C (0,02 mm) pode indicar a suficiência de apenas 1 ciclo de carga para a obtenção do deslizamento final. Entretanto, este fato deve ser melhor avaliado em trabalhos futuros, onde outros tipos de emendas mecânicas e outros diâmetros de barras emendadas devem ser ensaiados.

Apesar de não especificado nas metodologias de instrumentação avaliadas nesta pesquisa, a inserção dos extensômetros elétricos no centro da luva de emenda foi de grande utilidade para medir a deformação do material e verificar se haveria alguma influência na

determinação do parâmetro do deslizamento. Em ambos os casos, notou-se que a luva de emenda pouco se deforma durante a realização do ensaio e, conseqüentemente, este valor de deformação pode ser desprezado na avaliação dos resultados dos ensaios.

Entretanto, a instrumentação da luva pode, uma vez que se trata de ensaios de desempenho da emenda e a luva é parte importante do sistema, indicar um comportamento não adequado para este elemento durante o ensaio e, desta forma, deve ser mantida em eventual proposta de avaliação de desempenho do sistema de emendas mecânicas de barras de aço para estruturas em concreto armado.

## 5. Conclusões

1. Em conformidade com os resultados do programa experimental desenvolvido nesta pesquisa, entende-se que as emendas mecânicas por luvas de rosca cônica e parafusadas estariam aptas a serem utilizadas como solução para prover continuidade e integridade estrutural em construções de concreto armado, uma vez que seu comportamento atendeu a todas as prescrições normativas pré-estabelecidas. É importante registrar que essas constatações são limitadas ao experimento realizado e aos materiais empregados nesta pesquisa. A generalização das conclusões só é possível com a continuidade dos estudos, envolvendo obviamente outros tipos de luvas de aço disponíveis no Brasil (prensada, rosca paralela, soldável, etc.).
2. Apesar de não ter sido um parâmetro de avaliação neste trabalho, é de suma importância que o comprimento efetivo de ensaio da amostra emendada seja baseado no tipo de emenda a ser avaliado, ou seja, no caso de emendas com luvas deve-se considerar o comprimento da luva e o diâmetro da barra de aço. Portanto, propõe-se que procedimento similar ao da ISO 15835 [1] seja devidamente apreciado e posteriormente implementado na futura revisão da ABNT NBR 8548 [2].
3. O uso de extensômetros elétricos em vários pontos da amostra foi de grande importância para registro das leituras de deformação e, conseqüentemente, de garantia de comportamento mecânico adequado, na pretendida avaliação de desempenho do sistema de emenda mecânico de barras de aço para concreto.
4. O procedimento de ensaio denominado neste trabalho como "Método 3", com instrumentação baseada em Haber *et al.* [16] e Nguyen & Mutusuyoshi [18], mostrou-se bastante eficiente para a obtenção dos parâmetros de interesse: resistência à tração e deslizamento. Com a inserção de quatro extensômetros elétricos, sendo dois nas barras de aço e outros dois nas luvas de emenda, além dos transdutores de deslocamento, em grupo de 3 e conectados a um aparato especial, foi possível monitorar minuciosa e detalhadamente deformações e deslizamentos nas amostras ao longo de todo o ensaio.
5. Quanto ao número de ciclos de carga, a constância nos resultados de deslizamento, ao final de cada um dos três ciclos, obtidas para o Método 3 de ensaio, pode indicar a suficiência de apenas 1 ciclo de carga para a obtenção do deslizamento final. Entretanto, este fato deve ser melhor avaliado em trabalhos futuros, onde outros tipos de emendas mecânicas e outros diâmetros de barras emendadas devem ser ensaiados.
6. De maneira efetiva, a norma ABNT NBR 8548 [2] está defasada

e necessita de revisão quanto aos processos de ensaio e parâmetros de interesse a serem obtidos. Recomenda-se, portanto, considerar em seu escopo todos os métodos e tipos de emenda de barras de aço em estruturas de concreto armado disponíveis no cenário nacional, incluindo em uma futura revisão, o parâmetro deslizamento e seu respectivo método de ensaio.

Conclusivamente, este artigo possui, portanto, a intenção de contribuir com o conhecimento das premissas e requisitos necessários para o desenvolvimento de novos estudos experimentais que envolvam as emendas mecânicas, além de oferecer subsídios para discussão de procedimentos de avaliação de desempenho e instrumentação de luvas de aço nas futuras revisões da norma brasileira ABNT NBR 8548 [2].

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa LENTON pelo fornecimento das luvas de aço e extensômetros elétricos, além de preciosas informações técnicas acerca dos métodos de ensaio aplicados. À Arcelor Mittal pela doação de todas as barras de aço e um agradecimento especial ao Prof. Dr. Luiz Antonio Carneiro do IME e aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção e Concreto do IME e Laboratório de Estruturas e Materiais da UNICAMP pelo auxílio na execução dos ensaios.

## 7. Referências bibliográficas

- [1] INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARIZATION (ISO). Steels for the reinforcement of concrete — Reinforcement couplers for mechanical splices of bars — Part 2: Test methods. ISO 15835-2. Geneva, Switzerland, 2009.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 8548 – Barras de aço destinadas a armaduras de concreto armado com emenda mecânica ou por solda – Determinação da resistência à tração, Rio de Janeiro, 1984.
- [3] SINGH R., Himanshu S. K., Bhalla N., Reinforcement couplers as an alternative to lap splices: A case study. International Journal of Engineering Research & Technology, Vol 2 Issue 2, 2013, 6 p.
- [4] NEUREDDINE, I. Plastic Energy Absorption Capacity of #18 Reinforcing Bar Splices under Monotonic Loading. MSc Thesis, California State University, Sacramento, USA, 1996, 108 pp.
- [5] HILLIS, D., and SAIIDI, M.S. Design, Construction, and Nonlinear Dynamic. Analysis of Three Bridge Bents Used in a Bridge System Test," Center for Civil Engineering Earthquake Research, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Nevada, Reno, Nevada, Report No. CCEER-09-03, 2009, 82 pp.
- [6] ROWELL, S.P., GREY, C.E., WOODSON, S.C., and HAGER, K.P. High Strain-Rate. Testing of Mechanical Couplers," US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Report No. ERDC TR-09-8, 2009, 74 pp.
- [7] ALAM, M.S., YOUSEFF, M.A., and NEHDI, M.L.. "Exploratory Investigation on Mechanical Anchors for Connecting SMA Bars to Steel or FRP bars," Materials and Structures, 2010, Vol. 43, pp. 91-107.
- [8] HUACO, G. and JIRSA, J. Performance of Damaged Column

- Retrofitting with Innovative Materials and Devices," 15th World Conference on Earthquake Engineering, 15WCEE, 2012, 10 pp.
- [9] LLOYD, W. R. Qualification of the Bar-Lock Rebar Coupler for Use in Nuclear Safety-Related Applications Mechanical Testing Program and Performance Analysis," Idaho National Engineering and Environmental Laboratory Materials Department, Report No. INEEL/EXT-02-01387, 2001, 22 pp.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard Test Methods for Testing Mechanical Splices for Steel Reinforcing Bar. ASTM A1034A. Pennsylvania, USA, 2008.
- [11] CONNAH, G. Prequalification of Mechanical Splices for Reinforcing Bars in Seismic Conditions. Australian Earthquake Engineering Society 2013 Conference, Tasmania, Australia, 2013, 7p.
- [12] TASKIN, H. Determining the Mechanical Properties of Reinforcement Coupler Systems in Turkey. Special Edition Ejoir Magazine, Turkey. 2015, 10 p.
- [13] KLIMENOV, V., OVCHINNIKOV, A. USTINOV, A., DANILSON, A. Stress-Strain State of Mechanical Rebar Couplings. Journal of Physics: Conference Series 671, 2016, 5 p.
- [14] LING, J. H., RAHMAN, A. B. A., IBRAHIM, I. S., HAMID, Z. A. Behavior of grouted pipe splice under incremental tensile load. Construction and Building Materials 33, 2012, 90-98 pp.
- [15] SEO, S.Y., NAM, B.R., KIM, S.G. Tensile strength of the grout-filled head-splice-sleeve. Construction and Building Materials 124, 2016, 155–166 pp.
- [16] HABER, Z.B., Saiidi, M.S., Sanders, D.H. Behavior and simplified modeling of mechanical reinforcing bar splices. ACI Structural Journal March/April 2015, 179-189 pp.
- [17] CT670 CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (CALTRANS), Division of Engineering Services. Method of tests for mechanical and welded reinforcing steel splices. Sacramento, USA, 2011.
- [18] NGUYEN, D. P., MUTSUYOSHI, H. Influence of Quality of Mechanical Splices on Behavior of Reinforced Concrete Members. Research Report of Department of Civil and Environmental Engineering, Saitama Univ., Vol.41, 2015, 32-43 pp.
- [19] FERREIRA, M. A. Estudo de deformabilidades de ligações para análise libnear em pórticos planos de elementos pré-moldados de concreto, São Carlos, 1993, Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, 183 p.
- [20] BALLARIN, A.W. Desempenho das ligações de elementos estruturais pré-moldados de concreto, São Carlos, 1993, Tese (doutorado) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, 187 p.
- [21] FERREIRA, M. A. Deformabilidade de ligações viga-pilar de concreto pré-moldado, São Carlos, 1999, Tese (doutorado) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, 253 p.
- [22] JEREMIAS JUNIOR, A. C. Análise da estabilidade de estruturas pré-moldadas de concreto: influência das ligações semi-rígidas, São Carlos, 2007, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, 218 p.
- [23] SOUZA, A.S. Comportamento de elementos pré-moldados de concreto com ligações semi-rígidas, São Carlos, 2006, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, 118 p.
- [24] CATOIA, B. Comportamento de vigas protendidas pré-moldadas com ligações semi-rígidas, São Carlos, 2007, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, 215 p.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. ABNT NBR 9062. Rio de Janeiro, 2017.
- [26] ORDOÑEZ, J.A.F. et al. Prefabrication teoría y práctica. V.2. Barcelona, Spain, 1974.
- [27] CHEOK, G.S.; LEW, H.S. Performance of precast concrete beam-t-column connections subject to cyclic loading. PCI Journal. V.36, n.3, 1991, 56-57 pp.
- [28] HABER, Z.B.; SAIIDI, M.S.; SANDERS, D.H. Emulative column footing connections for seismic designs in a accelerate bridge construction. 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 2013, 8 p.
- [29] YU, C.O.; ALRASYID H.; ZACHARY B. H.; HUNG J.L. Cyclic Behavior of Precast High-Strength Reinforced Concrete Columns. ACI Structural Journal Novembro/Dezembro, 12 p., 2015, 839-850 pp.
- [30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7480 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação, Rio de Janeiro, 2007
- [31] DEUTSHES INSTITUT FUR BAUTECHNIK DIN 1045 - Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion, 2008, 15 p.
- [32] AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE - ÖNORM B 4700 - Stahlbetontragwerke-EUROCODE-nahe Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung, 2000, 20 p.
- [33] FRENCH STANDARD - NF A 35-020-2-1:2011, Steel products — Mechanical splices and mechanical anchorages for ribbed or indented reinforcing steel — Part 2-1: Test methods for mechanical splices, 2011, 11 p.
- [34] NATIONALE BEOORDELINGSSRICHTLIJIN, BRL-0504 - Mechanische verbindingen van betonstaal, 2000, 31 p.
- [35] BRITISH STANDARD – BS 8110 – Appendix TA1-B, Requirements for mechanical splices, 2011, 16 p.
- [36] ELETROBRÁS ELETRONUCLEAR - Documento n° DS-G-6647-029202 [11], 2000, 25 p.
- [37] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 11561 – Qualificação, execução e controle em emendas mecânicas de topo com luvas, destinadas a armações de concreto para centrais nucleoeletricas, Rio de Janeiro, 1990
- [38] LENTON Taper Threaded Rebar Splicing Systems, Cleveland, USA, 2011, 20 p.
- [39] LENTON LOCK Especificação Técnica Cleveland, USA, 2011, 1 p.
- [40] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6152 – Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente, Rio de Janeiro, 2002.
- [41] INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARIZATION (ISO). Steel for the reinforcement and prestressing of concrete - Test methods - Part 1: Reinforcing bars, wire bar and wire. ISO 15630-1. Geneva, Switzerland, 2009.
- [42] ARCELORMITTAL. Catálogo Técnico, São Paulo, 2015, 24 p.