AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA ENTRE O AÇO E O CONCRETO A PARTIR DA CONTAMINAÇÃO SUPERFICIAL DAS BARRAS COM AGENTE DESMOLDANTE

V. G. P. WENDT
Engenheiro Civil
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
São Leopoldo/RS; Brasil
vini.paul.wendt@gmail.com

J. O. PATZLAFF
Professor/Engenheiro Civil
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
São Leopoldo/RS; Brasil
jefersonpatzlaff@gmail.com

RESUMO

A importância das barras de aço frente às estruturas de concreto armado é de conhecimento dos profissionais da construção civil. Entretanto, as barras estão expostas à ação de intempéries, ao contato com compostos químicos deletérios e, muitas vezes, não é dada a devida atenção nas rotinas de recuperação destes materiais. Ao longo do processo executivo, aplica-se desmoldante sobre as fôrmas, com o objetivo de facilitar sua remoção após a concretagem, expandindo a vida útil do material e proporcionando melhor acabamento superficial. Porém, por conta de alguns fatores, as barras acabam contaminadas. Frente a essa circunstância, buscou-se avaliar a interferência na aderência entre o aço e o concreto quando a superfície das barras encontra-se contaminada pelo agente desmoldante. Realizou-se o ensaio através de corpos de prova prismáticos moldados com concreto de resistência à compressão de 25 MPa, barras de aço de 6,3 e 10 mm e agente desmoldante de base mineral, conforme a ABNT NBR 7477:1982. Desta forma, constatou-se redução na aderência da ordem de 19% nas barras de diâmetro nominal 6,3 mm e 25,6% nas barras de 10 mm quando com a superfície contaminada com o agente desmoldante. Por fim, conclui-se que fica justificado o cuidado na aplicação e remoção do desmoldante da superfície das barras para garantir-se adequado desempenho à estrutura executada, como forma de minorar a probabilidade de ocorrência de manifestações patológicas.
Palavras-chave: Aderência. Fissuras. Durabilidade. Concreto-armado.

ABSTRACT

The importance of the steel reinforcing bars as a constituent material of the reinforced concrete structures is of common knowledge among construction professionals. However, the reinforcing bars are exposed to natural deterioration processes, to contact with deleterious chemical compounds and usually the routines of recuperation of the material are nonexistent. In one of the stages of the construction process, demolding agent is applied on the surface of the forms with the objective of favoring its removal after the cure of the concrete, increasing its durability and providing a smother surface. Although from a number of reasons, the surface of the reinforcing bars ends up being contaminated with the product. In light of this situation, the evaluation of the prejudice in adherence between the concrete and the steel surface, when the latter was contaminated with the demolding agent, was sought. The testing occurred following the prescriptions of the ABNT NBR 7477:1982. Thus, it was found that, whenever the steel bars were contaminated, it could be measured a 19% reduction of adherence of the 6,3 mm diameter bars and a decrease of approximately 25,6% in adherence for the 10 mm bars. It can be concluded that the application of the demolding agent requires attention and care, if not so, its eventual removal is justified when a longstanding structure is sought, mostly because of the anomalies associated with insufficient adherence.
Keywords: Adherence. Cracks. Durability. Reinforced concrete.

1. INTRODUÇÃO

A partir de meados do século XX, a difusão e aplicação do concreto armado propiciou às edificações e estruturas especiais evoluções consideráveis em termos de vãos vencidos, durabilidade, altura, resistência e rigidez. Embora o Brasil seja uma referência na tecnologia, as preocupações voltadas à área de

conservação, durabilidade e o estudo amplo das manifestações patológicas no concreto armado são recentes. Verificam-se principalmente sinais de incompatibilidades de execução e projeto com as normas vigentes, como é o caso da ABNT NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto (ABNT, 2014), a NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto (ABNT, 2004), a NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação (ABNT, 2015), entre outras normas fundamentais que dão suporte para uma construção bem-sucedida. Como salientado por Araújo (2010, v.1), a negligência de projetistas e executores com as estruturas de concreto armado contribuem significativamente com a deterioração precoce das estruturas, inclusive com idades bem abaixo dos 50 anos exigidos.

Uma das principais características que garantem o pleno funcionamento do concreto armado a partir das exigências de carregamento é a aderência entre seus constituintes: aço e concreto. A partir de relatos de profissionais e experiências vivenciadas, na etapa de aplicação do agente desmoldante sobre as fôrmas, observa-se que o produto acaba entrando em contato com as barras de aço. O produto é aplicado na superfície das fôrmas de madeira e chapas de compensado com o intuito que diminua a aderência entre os materiais, facilitando a remoção posterior e aumentando a durabilidade. Entretanto, estando as armaduras contaminadas pelo agente desmoldante, supõem-se que o mesmo comportamento ocorra entre o aço e o concreto.

A norma American Concrete Institute/Instituto Americano do Concreto (ACI) 301-96 da American Society for Testing and Materials/Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM) (1996 apud TABER; BELARBI; RICHARDSON, 2002) indica a completa remoção de contaminantes antes da concretagem. Sendo assim, constata-se a necessidade de gastos com materiais e mão-de-obra para atender aos critérios impostos. Taber, Belarbi e Richardson (2002) questionam a real necessidade de um cuidado tão metódico e conservador. Da mesma forma, as normas nacionais relacionadas ao processo de execução e projeto das estruturas de concreto armado salientam a importância de garantir-se uma barra de aço isenta de qualquer composto que possa vir a interferir na aderência.

Seguindo uma linha similar à adotada pelos estudos de Johnston e Cox (1940) em que, a partir de ensaios e análises sistêmicas, observou-se que pequenos indícios de corrosão na superfície das barras de aço não influenciam de maneira negativa na aderência. Se determinado que a etapa executiva de limpeza de qualquer indício de agente desmoldante possa ser dispensada, o ganho aos envolvidas seria significativo.

Frente a esse contexto, o presente trabalho apresenta os resultados obtidos a partir do ensaio de tirantes descrito na NBR 7477 – Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado (ABNT, 1982). A análise realizada tem caráter comparativo entre barras contaminadas e barras limpas. Por fim, os dados são comparados com os índices mínimos de aderência apresentados na NBR 6118 (ABNT, 2014) e na NBR 7480 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado (ABNT, 2007).

2. METODOLOGIA

2.1 Corpos de prova

A moldagem do corpo de prova teve como base as orientações da própria NBR 7477 (ABNT, 1982). As características geométricas dos tirantes foram determinadas a partir das seguintes equações:

$$d = \sqrt{[(\pi.\phi.(\phi/4+7)]} \quad (1)$$

Onde:
d = lado do tirante, em cm;
ϕ = diâmetro da barra, em cm.

$$l \geq 15 \, . \, d \quad (2)$$

Onde:
l = comprimento do tirante, em cm;

d = lado do tirante, em cm.

$$L = l + 120 \quad (2)$$

Onde:
L = comprimento da barra, em cm;
l = comprimento do tirante, em cm.

Optou-se pela utilização de barras de 6,3 e 10 mm de diâmetro de categoria CA-50, de forma que fosse possível comparar os valores associados a diferentes diâmetros, aumentando a gama de resultados. A partir da aplicação das equações 1, 2 e 3, encontrou-se as seguintes dimensões:

a) 6,3 mm:
- d = 3,76 cm;
- l ≥ 56,46 cm, adotou-se 57 cm;
- L = 177 cm.

b) 10 mm:
- d = 4,77 cm;
- l ≥ 71,59 cm, adotou-se 72 cm;
- L = 192 cm.

O sistema de moldes foi executado com chapas de compensado plastificadas de 13 mm. Foram utilizadas somente ripas que não apresentavam deformações geométricas, como abaulamento ou torções. As barras foram travadas nas extremidades com auxílio de massa de calafetar.

Os corpos de prova foram desmoldados depois de cinco dias de cura. Tomou-se o cuidado para remover as ripas que compunham a fôrma com delicadeza, de forma a não imprimir-se esforços desnecessários sobre os tirantes, como utilizou-se pregos JP x LPP 15 x 18, não houve resistência significativa.

Para facilitar a identificação da abertura de fissuras durante o ensaio, pintou-se a superfície dos tirantes com cal emulsionada em água.

2.1.1 Concreto

A seleção de agregados, aglutinante e procedimento de mistura teve base nas indicações de suas respectivas normas. A NBR 7477 (ABNT, 1982) impõem a utilização de um concreto de resistência à compressão de 25 MPa, com variação aceita de ± 2,5 MPa. A mesma não cita o slump necessário, somente que o concreto possua trabalhabilidade adequada para o preenchimento completo dos moldes. Optou-se por um abatimento de 100 mm ± 20 mm, sendo este valor obtido a partir dos procedimentos descritos na norma NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998a).

O aglutinante escolhido na composição consiste no cimento Portland CP-IV em virtude da facilitada obtenção na região sul do Brasil. Suas propriedades estão de acordo com a NBR 5736 – Cimento Portland pozolânico (ABNT, 1991). Embora a norma NBR 7477 (ABNT, 1982) cite a utilização de cimento Portland CP-I, o mesmo não encontra-se disponível para utilização comercial.

O agregado miúdo utilizado teve como diâmetro máximo 4,8 mm, enquanto que o agregado graúdo teve seu diâmetro limitado a 7,8 mm. Ainda, avaliou-se os materiais conforme os requisitos gerais NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação (ABNT, 2009), no qual consta “Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento [...]”.

A água utilizada é disponibilizada pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) de Portão-RS e apresenta os índices de potabilidade requisitados pelo Ministério da Saúde, dessa forma, conclui-se que seus índices de minerais e compostos dissolvidos atendem aos requisitos da NBR 15900 – Água para amassamento do concreto (ABNT, 2009).

A utilização de aditivos tornou-se prática comum em concreteiras e canteiros de obra em virtude da alteração de propriedades e ganhos recorrentes de seus usos, como por exemplo, os superplastificantes, que ao diminuírem a tensão superficial da água, garantem uma mistura mais eficiente e permitem uma redução na relação água/cimento. Entretanto, conforme salientado por Taber, Belarbi e Richardson (2002), a utilização de compostos químicos distintos aos desmoldantes pode provocar reações inesperadas que venham a comprometer os valores de aderência. Dessa forma, optou-se pela não utilização destes compostos.

Para impedir a perda dos moldes e materiais, determinou-se previamente à moldagem dos tirantes um traço de concreto que atingisse os índices supracitados. Para isso, utilizou-se corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, conforme orientações de moldagem e cura da NBR 5738 – Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015) e rompeu-se os mesmos aos 7 dias conforme especificações da norma NBR 5739 – Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 2007). O volume mínimo de 30 litros da amostragem de concreto fresco foi definido a partir do item 3.2 da NBR NM 33 – Concreto – Amostragem de concreto fresco (ABNT, 1998b).

Iniciou-se o processo de mistura do concreto adicionando-se na betoneira a massa total de agregado graúdo e miúdo, bem como metade da água calculada, sendo esta com as devidas compensações de umidade natural da areia. A betoneira foi acionada por 1 minuto. Por fim, adicionou-se o cimento e o restante da água e misturaram-se os materiais por 3 minutos.

A relação final de água/cimento utilizada foi de 0,4 para um traço de 1:3,5. Os resultados encontrados são apresentados na tabela 1, que segue:

Tabela 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão, aos 7 dias

Identificação	Tensão Máxima (MPa)
1 – 1:3,5	24,7
2 – 1:3,5	23,9
3 – 1:3,5	25,7
4 – 1:3,5	25,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na moldagem dos tirantes procurou adensar-se o concreto de forma que não houvesse vazios que viessem a interferir nos resultados do ensaio. No momento em que o concreto era depositado no interior, vibrou-se manualmente a fôrma e bateu-se levemente em suas laterais para que o ar fosse expulso. Por fim, passou-se uma desempenadeira na face superior dos corpos de prova para garantir um aspecto homogêneo em sua superfície de forma que a conferência e a marcação das fissuras fosse facilitada. Para impedir a perda de água de amassamento para o meio externo, cobriu-se as fôrmas com filme plástico.

2.1.2 Barras de aço

As barras de aço de diâmetro nominal de 6,3 mm e 10 mm da categoria CA-50 foram produzidas pela Metalúrgica Gerdau S.A. e obtidas no canteiro de obras do empreendimento Zurique Haus, da Construtora Maricler, de Portão/RS. Estes elementos encontravam-se livres de substâncias classificadas como contaminantes pela norma NBR 14931 (ABNT, 2004), como por exemplo, graxas, óleos e compostos que venham a comprometer a aderência. Além disso, não possuíam indícios de corrosão em sua superfície. Resíduos de solo foram removidos com auxílio de uma esponja macia e pano seco. As barras utilizadas pertenciam ao mesmo lote.

Em virtude da limitação de abertura das garras da prensa servo-hidráulica MTS Landmark disponível no Laboratório de Engenharia Mecânica da UNISINOS, as barras tiveram comprimento máximo de 80 cm.

Para simular a pior situação possível em um canteiro de obras, as barras foram completamente envolvidas com o agente desmoldante. Optou-se pela aplicação dos mesmos com auxílio de uma trincha e um pincel com cerdas de fibra natural de duas polegadas. O desmoldante utilizado foi o Desmol da fabricante Vedacit.

2.2 Procedimento do ensaio de tração

O procedimento de tração das barras de aço utiliza como base os preceitos da NBR ISO 6892-1 – Materiais metálicos – Ensaio de tração (ABNT, 2015). Nesta norma, a indicação de velocidade de carga a ser aplicada em materiais com módulo de elasticidade maior que 210 GPa varia entre o mínimo de 6 MPa/s até 30 MPa/s. A prensa foi configurada pelo laboratorista para que deformasse o aço em cerca de 0,02 mm/s, respeitando também o intervalo de tensão supracitado. Conforme a interpretação dos valores exportados pela prensa, a velocidade variou de 7,8 MPa/s a 29,22 MPa/s.

Na figura 1, parte de um dos relatórios finais é apresentado, com os valores de deformação (Actuator), carga (Load) e tempo (Time), com suas respectivas unidades de medida de um dos tirantes ensaiados.

Figura 1 – Arquivo com os dados fornecidos pela prensa após o ensaio de um dos tirantes

File Path: F:\Test Run 170 17-05-2017 11 30 57\DAQ- Actuator; … - (Timed).txt
Test: Ensaio de Tracao Completo com Relatorio - Cilindrico
Test Run: Test Run 170
Date: 11/05/2017 15:49:41

Actuator	Load	Time
mm	kN	sec
0,00274879857897758	0,184867538452148	0,140625
0,00475887190987123	0,226720397949219	0,240234375
0,0065861268012668	0,285413421630859	0,33984375
0,00820355489850044	0,339279968261719	0,439453125
0,0112250445454265	0,380306884765625	0,5390625
0,0120661225082586	0,431279418945313	0,638671875
0,0139193607537891	0,4709072265625	0,73828125
0,016034207874327	0,525097839355469	0,837890625
0,0188361846085172	0,584133239746094	0,9375
0,0205732885660836	0,63025146484375	1,037109375
0,0231293033721158	0,677808288574219	1,13671875
0,0242233272729209	0,719135192871094	1,236328125
0,0264033678831765	0,770595886230469	1,3359375
0,0284385860140901	0,814750244140625	1,435546875
0,0305126413877588	0,86640185546875	1,53515625
0,032472704333486	0,916180480957031	1,634765625
0,0343839637935162	0,964354797363281	1,734375
0,036618766898755	1,01523175048828	1,833984375
0,0386104911740404	1,05264599609375	1,93359375
0,0413727029808797	1,09689013671875	2,033203125

Fonte: Registrada pelo autor.

A norma NBR 7477 (ABNT, 1982) orienta a aplicação de uma carga de 80% da tensão de escoamento da barra avaliada. As barras da categoria CA-50 possuem 500 MPa como tensão de escoamento mínima. Portanto, a tensão a ser aplicada será da ordem de 400 MPa. A determinação da carga deu-se a partir da equação 4:

$$F = \sigma . A \quad (4)$$

Onde:
F = força a ser aplicada;
σ = tensão;
A = área de aplicação da carga.

As etapas do ensaio determinadas pela NBR 7477 são as que seguem:

a) Fixar os tirantes no sistema de carregamento com auxílio de garras na extremidade das barras;
b) Aplicar o carregamento conforme descrito na NBR ISO 6892-1 (ABNT, 2015);
c) Observar a formação de fissuras em no mínimo cinco intervalos de carregamento distintos;
d) O ensaio será interrompido ao atingir-se 80% da tensão de escoamento (fyd) da barra ensaiada;
e) Medir a distância entre as fissuras nas quatro faces do tirante.

Conforme o item 6.3 da NBR 7477 (ABNT, 1982, p. 5), “Devem ser efetuados, no mínimo, nove ensaios para cada tipo de perfil e bitola”. Dessa forma, o trabalho exigirá a avaliação de 36 tirantes. Sendo 9 para cada diâmetro de barra moldadas da maneira correta e 9 para cada diâmetro de barra estando às mesmas com desmoldante em suas superfícies. Os tirantes foram ensaiados 7 dias após sua moldagem, passando por processo de cura similar ao empregado nos corpos de prova.

Na figura 2 parte das fôrmas dos tirantes de 10 mm de diâmetro está representada.

Figura 2 – Barras de aço de 10 mm posicionadas na fôrma



Fonte: Registrada pelo autor.

Só foram consideradas as fissuras em que sua extensão percorreu todas as faces do tirante, conforme orientação da norma.

O valor final do coeficiente de conformação superficial (η) segundo a NBR 7477 (ABNT, 1982) será determinado a partir da equação (5):

$$\eta = (2{,}25 \cdot d) / (\Delta l \text{ médio}) \quad (5)$$

Onde:
η = coeficiente de conformação superficial;
d = lado do tirante, em cm;
∆l médio = distância média entre as fissuras, considerando-se as quatro faces do elemento.

Na figura 3 ficam visíveis todos os tirantes utilizados no trabalho, já pintados com a solução de água e cal e identificados conforme a aplicação – ou não – de agente desmoldante na superfície da barra de aço.

Figura 3 – Tirantes já identificados após a secagem da tinta



Fonte: Registrada pelo autor.

A figura 4 retrata a fixação das garras da prensa servo-hidráulica durante o ensaio. Pela ausência de marcação de fissuras na superfície do concreto, o processo de tração ainda não havia sido realizado.

Figura 4 – Tirante de barra de 6,3 mm posicionado na prensa servo-hidráulica



Fonte: Registrada pelo autor.

3. RESULTADOS

São apresentados os resultados do ensaio de tirantes, dando ênfase para a quantidade de fissuras detectadas, o intervalo de medida entre as mesmas e o valor do coeficiente de conformação superficial (η) de cada cenário. Os resultados gerais são comparados de forma estatística para comprovação da qualidade dos corpos de prova e equipamentos envolvidos.

3.1 Avaliação estatística

O afastamento médio entre fissuras nos tirantes ensaiados foi avaliado por meio do artifício estatístico do coeficiente de variação (CV). Portanto, a partir da determinação do desvio-padrão (s) das amostragens, aplicou-se a fórmula do CV conforme equação (6):

$$CV = s/x \,.\, 100 \qquad (6)$$

Onde:
s = desvio-padrão;
x = distância média entre as fissuras.

Conforme Correa (2003), os valores encontrados podem ser classificados como: de baixa dispersão, quando CV ≤ 15%, de média dispersão, quando 15% < CV < 30% e de alta dispersão, quando CV ≥ 30%.

3.2 Tirantes com barra de 6,3 mm

Os resultados obtidos a partir das fissuras marcados durante o ensaio e posteriormente medidas, nos tirantes desenvolvidos com barras de diâmetro nominal de 6,3 mm, estão representados na tabela 2. Nela, os tirantes com identificação “CD” após o nome correspondem aos elementos com desmoldante aplicado na superfície da barra de aço.

Tabela 2 – Resultado do ensaio de tirantes em barras de 6,3 mm

Identificação CP	Quantidade de Fissuras	Distância Média Entre Fissuras (Δl)
1 – CD	5	10,05
2	5	7,875
3 – CD	4	11
4	4	11,13
5 – CD	5	10,05
6 – CD	4	10,567
7	6	7,44
8 – CD	3	13,05
9 – CD	4	9,80
10 – CD	4	9,70
11 – CD	4	11,667
12 – CD	4	11,333
13	5	8,125
14	6	8,18
15	7	6,62
16	5	8,575
17	4	11
18	4	10

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos tirantes moldados de maneira ideal foram geradas, em média, 5,1 fissuras, cujo espaçamento médio entre as mesmas foi de 8,772 cm. Neste cenário, o coeficiente de variação encontrado foi de 18,221, portanto, classificando-se como de média dispersão. Na figura 5 constam os nove tirantes considerados nesta avaliação, adicionou-se a indicação da quantidade de fissuras.

Figura 5 – Tirantes com barras de 6,3 mm, moldados corretamente, após o ensaio de tração



Fonte: Registrada pelo autor.

Já no ensaio de tirantes em cuja superfície aplicou-se propositalmente o agente desmoldante, foram geradas, em média, 4,1 fissuras por elemento. Seu espaçamento médio foi de 10,769 cm, portanto, um aumento de 23,47% em relação a situação ideal, indicando uma menor interação entre os materiais. O coeficiente de variação, nesta configuração, foi de 10,323, o que permite classificar os corpos de prova como confiáveis e com dados homogêneos.

3.3 Tirantes com barra de 10 mm

O procedimento de tração nos tirantes contendo barras de diâmetro nominal de 10 mm gerou uma quantidade maior de fissuras sobre o concreto em comparação aos tirantes moldados com barras de 6,3 mm. Similar ao adotado na tabela 2, na tabela 3 estão expostos os resultados do ensaio e os elementos com identificação “CD” correspondem aos tirantes onde aplicou-se agente desmoldante na barra de aço.

Tabela 3 – Resultado do ensaio de tirantes em barras de 10 mm

Identificação CP	Quantidade de Fissuras	Distância Média Entre Fissuras (ΔI)
1 – CD	6	10,12
2	8	8,286
3 – CD	5	12,93
4	7	8,583
5	8	7,143
6	8	7,357
7 – CD	6	9,26
8 – CD	6	9,82
9 – CD	6	9,82
10 – CD	5	10,53
11	8	7,50
12	8	7,714
13 – CD	5	11,68
14	7	7,250
15 – CD	6	9,48
16	6	8,90
17	7	8,33
18 – CD	5	11,95

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos tirantes em que a barra esteve livre de contaminantes, a média de espaçamento entre fissuras (ΔI) foi de 7,896 cm, enquanto que a de quantidade de fissuras foi de 7,44 cm por tirante. Nesta situação, o coeficiente de variação (CV) encontrado foi de 8,119 sinalizando que os corpos de prova foram moldados com qualidade.

Nos tirantes com barras de diâmetro nominal de 10 mm em que aplicou-se propositalmente o agente desmoldante em sua superfície, a média de espaçamento entre fissuras (ΔI) foi de 10,619 cm, enquanto que a de quantidade de fissuras foi de 5,55 por tirante. O CV destes tirantes foi de 11,595, portanto, também classifica-se como corpos de prova de qualidade. Na figura 6 estão retratados os nove tirantes considerados nesta avaliação, com a respectiva quantidade de fissuras observadas.

Figura 6 – Tirantes com barras de 10 mm, com superfície contaminada, após o ensaio de tração



Fonte: Registrada pelo autor.

3.4 Avaliação normativa dos resultados

Ao aplicar-se a equação 5, descrita anteriormente, para a determinação do coeficiente de conformação superficial (η) nos tirantes moldados com barras de 6,3 mm, obteve-se o valor de 0,98 para as barras sem contaminantes e 0,79 para as barras com agente desmoldante em sua superfície.

Se comparado com o índice mínimo exigido na NBR 7480 (ABNT, 2007) de 1,0 para barras da categoria CA-50 com diâmetro menor que 10 mm, as barras estariam reprovadas, entretanto, tal consideração pode ser dispensada já que buscou-se somente uma avaliação entre os elementos ensaiados. Constata-se, portanto, que o valor do coeficiente de conformação superficial (η) foi 19,39% menor e dessa forma, permite-se supor que houve prejuízo na aderência.

De forma similar, nos tirantes com barra de 10 mm sem agente desmoldante em sua superfície encontrou-se o valor de 1,386. A mesma situação das barras de diâmetro nominal de 6,3 mm foi identificada, ou seja, seu valor não é compatível com a normatização brasileira que indicaria como valor mínimo 1,5, entretanto, tal afirmação pode não ser conclusiva em virtude da alteração do comprimento final da barra utilizada. O coeficiente de conformação superficial (η) encontrado para os tirantes moldados da maneira inadequada teve um valor de 1,017. Portanto, o valor do coeficiente de conformação superficial (η) foi 26,62% menor. Ao utilizar-se esse parâmetro como base para avaliação do prejuízo de aderência a partir da interferência do agente desmoldante, observa-se que a redução foi maior nas barras de 10 mm.

4. CONCLUSÕES

A partir dos ensaios de tirantes realizados constatou-se uma redução no valor do coeficiente de conformação superficial (η) quando as barras foram expostas à ação do agente desmoldante. Nos elementos moldados com barras de 6,3 mm houve decréscimo de 19,39%, enquanto que nos moldados com barras de 10 mm o coeficiente foi 26,62% menor. Esta perda está associada ao aumento na distância média entre fissuras (Δl). Nos tirantes com barras de 6,3 mm a distância média na situação ideal de moldagem foi de 8,77 cm, enquanto que, ao contaminar-se as barras, a distância foi de 10,77 cm. O mesmo comportamento foi observado nos tirantes com barras de 10 mm, cujos valores variaram de 7,9 cm para 10,62 cm quando aplicou-se o agente desmoldante na superfície das barras de aço.

O valor do coeficiente de conformação superficial (η) encontrado, tanto nas barras de 6,3 mm quanto nas de 10 mm de diâmetro, não atingiu os índices mínimos apresentados na NBR 7480 (ABNT, 2007) e listados na tabela 2. Observa-se, que tanto na situação onde a barra encontrava-se livre de contaminantes quanto no cenário em que aplicou-se agente desmoldante em sua superfície, o valor médio foi 35,1% maior nas barras de 10 mm, confirma a hipótese das nervuras mais acentuadas garantirem uma maior aderência mecânica.

Portanto, a preocupação com a remoção de contaminantes na superfície das barras prévia à concretagem mostra-se bem fundamentada por parte das normas NBR 6118 (ABNT, 2014) e da NBR 14931 (ABNT, 2004). As manifestações patológicas relacionadas à insuficiência de aderência, como a propagação de fissuras de fendilhamento e o risco de escorregamento iminente da barra representam um risco quanto ao atendimento dos quesitos de durabilidade e de segurança de uma estrutura. Dessa forma, os profissionais envolvidos com a execução de estruturas de concreto armado devem manter-se atentos e exigir o cuidado com a aplicação do agente desmoldante.

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. v. 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 12655:** concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 14931:** execução de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15900:** água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 5736:** Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 5738:** concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 5739:** concreto: ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 6118:** projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 7211:** agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 7477:** determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 7480:** aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado: especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 6892-1:** materiais metálicos: ensaio de tração: parte 1: método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR NM 33:** concreto: amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR NM 67:** concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998a.

CORREA, Sonia Maria Barros Barbosa. **Probabilidade e estatística**. 2. ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/LIVROS/LIVROS/livro_probabilidade_estatistica_2a_ed.pdf>. Acesso em: 31 maio 2017.

JOHNSTON, Bruce; COX, Kenneth. The bond strength of rusted deformed bars. Journal Proceedings, Bethlehem, p. 1-15, Jan. 9, 1940. Disponível em: <http://digital.lib.lehigh.edu/fritz/pdf/184_3.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2016.

TABER, Lawrente Homer; BELARBI, Abdeldjelil; RICHARDSON, David. Effect of reinforcing bar contamination on steel-concrete bond during concrete construction. **American Concrete Institute,** Farmington Hills, MI, 2002.