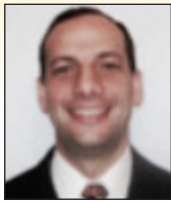


Adherence comparison of concrete with unprotected steel and hot galvanized steel

Comparativo da aderência do concreto com aço sem proteção e o aço galvanizado a quente



B.F. TUTIKIAN^a
bftutikian@unisinis.br

T. HILGERT^a
hilgert_thai@hotmail.com

J.J. HOWLAND^b
jhalbear@civil.cujae.edu.cu

Abstract

Increasing the service life of structures is of great importance for civil construction, either because of economic aspects or security ones to the users. Corrosion of reinforcement is one of the most recurring problems, especially in environments with high chloride content. One of the most effective alternatives to protect reinforcement against corrosion is the hot-dip galvanizing of steel bars, with the addition of a zinc coating that is consumed before steel entering in reaction, extending the service life of the structure. Nevertheless, this layer of zinc should not affect the adherence of rebars with concrete. In this paper, it was investigated this connection, establishing comparisons to unprotected reinforcement, with the analysis of three bar diameters, 8, 12.5 and 16mm through the bending test of beams, the procedure of Rilem, 1978 [1]. After statistical analysis, it was observed that there was no significant loss of adherence in any of the diameters, showing that the adherence between the concrete and the hot-dip galvanized steel is not lower than the steel without protection for these materials.

Keywords: corrosion of reinforcement; hot-dip galvanization; adherence; bending test.

Resumo

O aumento da vida útil de estruturas é de grande importância para a construção civil, seja por aspectos econômicos quanto de segurança aos usuários. A corrosão de armaduras é um dos problemas mais recorrentes, principalmente em ambientes com alto teor de cloretos. Uma das alternativas mais eficientes para proteger as armaduras contra a corrosão é a galvanização a quente das barras de aço, com a incorporação de uma camada de zinco que será consumida antes do aço entrar em reação, prolongando a vida útil da estrutura. Porém, esta camada de zinco não deve prejudicar a aderência das barras de aço com o concreto. Neste trabalho, foi investigada esta relação, comparativamente com a armadura sem proteção, com a análise de três diâmetros de barras, 8, 12,5 e 16mm, através de ensaio de flexão em viga, com o procedimento da Rilem, de 1978 [1]. Observou-se que não houve perda de aderência significativa em nenhum dos diâmetros, após análise estatística, mostrando que a aderência entre o concreto e o aço galvanizado a quente não é inferior do que com os aços sem proteção, para estes materiais.

Palavras-chave: corrosão de armaduras; galvanização a quente; aderência; ensaio de flexão.

^a ITT Performance, UNISINOS. São Leopoldo, RS, Brasil;

^b Instituto Superior Politécnico "Jose Antonio Echeverría", CUJAE / ISPJAE, Marianao, La Havana, Cuba.

1. Introdução

Segundo a ABNT NBR 15575:2013 [2], a vida útil de projeto de estruturas de concreto armado, para fins habitacionais, deve ser de, no mínimo, 50 anos, no nível mínimo, ou 75 anos para o nível superior. Já a BS 7543:2003 [3] estipula como 120 anos a vida útil de obras de arte, como pontes e viadutos, e 60 anos para edifícios novos e reformas de edifícios públicos. Atingir estes valores não é tarefa fácil, ainda mais se o processo de manutenção não for eficiente.

A corrosão das barras de aço é uma das manifestações patológicas mais recorrentes em estruturas de concreto armado, principalmente as expostas a agentes agressivos ao longo de sua vida útil, como cloretos e gás carbônico, encontrados em abundância em grandes cidades e na costa.

Para proteger as estruturas de concreto armado, segundo Gonçalves, Andrade e Castellote (2003) [4], pode-se usar a proteção direta (sobre o aço) e a indireta (sobre o concreto). A proteção direta é mais eficiente, por proteger diretamente as barras de aço. Entre os tipos de proteção direta têm-se as catódicas por corrente impressa, a catódica tipo galvânica, a barreira física e a barreira galvânica. As duas primeiras apresentam como desvantagem a necessidade de manutenção constante, e a operação pode ser complexa, dependendo da agressividade do meio. Já a barreira física exige mão-de-obra qualificada e é usada preferencialmente em situações pontuais, devido à mão-de-obra necessária. Para usos mais amplos e com resposta mais efetiva, encontra-se a barreira galvânica, através da galvanização a quente das barras de aço. A Figura 1 mostra as opções para a proteção direta.

O aço galvanizado a quente apresenta grande durabilidade, por isso sua aplicação cresce cada vez mais no mercado. Muito utilizado em estruturas metálicas, também pode ser uma opção para as estruturas em concreto armado (Baltazar-Zamora *et al.*, 2012 [5]). A galvanização traz diversas vantagens que vão além do aumento da vida útil, tais como a redução dos riscos de fissuras causadas pela expansão do aço durante o processo corrosivo, manchas de ferrugem e desagregação do concreto, devido a uma frequência e magnitude menor de reparos no concreto. Portanto, o custo inicial para implantar esse tipo de sistema nas estruturas de concreto armado pode ser compensado pelas diversas vantagens citadas. A galvanização é o processo em que se gera uma película a base de zinco protetora ao aço, isolando a superfície da barra com rela-

ção ao ambiente. Essa película protetora atua como ânodo, com o aço realizando o papel de cátodo. Dessa forma, o zinco, por ser mais eletronegativo, se sacrifica, protegendo o aço da deterioração. As ligas formadas entre o ferro e o zinco na superfície de contato fazem com que o revestimento se integre na base de metal, de tal forma que, além de proteger o aço, o revestimento de zinco também permite o manuseio, transporte e montagem das peças galvanizadas sem causar danos à superfície (YEOMANS, 2004 [6]).

Segundo Yoo *et al.* (2011) [7], normalmente as espessuras médias de zinco são suficientes para atingir a vida útil da estrutura, sem precisar de manutenções por longos períodos. Dessa forma também, segundo Pannoni (2011) [8], é possível estimar a vida útil da estrutura com o auxílio da ISO 9223:2012 [9] a partir da espessura de galvanização, conforme tabela 1.

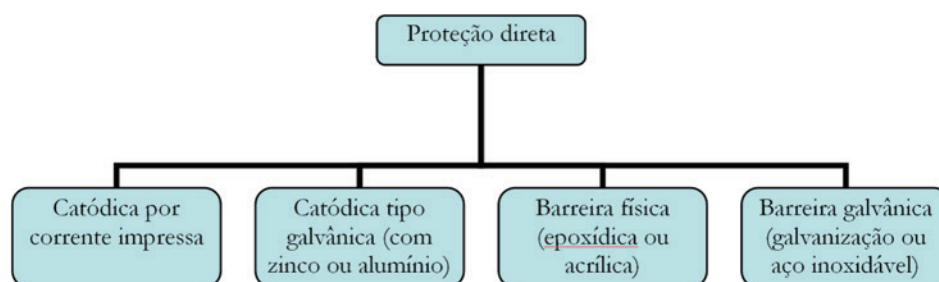
A aderência entre o aço e o concreto assegura o bom comportamento das estruturas de concreto armado, garantindo assim que os materiais trabalhem em conjunto. A galvanização das barras de aço não pode prejudicar a aderência do conjunto, e este é um ponto ainda a ser validado.

A aderência pode ser obtida de três formas: por adesão superficial, atrito e mecanicamente. Segundo Caetano (2008) [10], a aderência por atrito ocorre após o rompimento da aderência por adesão, ou seja, quando começa ocorrer o deslizamento da barra. Essa parcela se refere à ação da força de atrito entre o aço e concreto, que varia em função do coeficiente superficial da barra. Este fator pode ser prejudicado pela galvanização a quente, uma vez que a barra recebe um revestimento de zinco, tornando a barra mais lisa. Não há a comprovação do tamanho dessa perda, e se é tolerável ou não, dentro dos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 7480:2007 [11], que especifica que o aço destinado a armaduras deve ter um coeficiente (η) mínimo de 1,5.

Quanto à influência da parcela de aderência por atrito nas barras nervuradas, ainda há discordância entre alguns autores, se ela influi ou não. De acordo com Lutz e Gergely (1967) [12] e Cairins, Du e Law (2007) [13], essa parcela só existe em barras lisas, porém para a maioria dos pesquisadores mais recentes, a aderência por atrito influencia também nas barras nervuradas.

Há ainda a resistência mecânica, que por sua vez, é a mais agravante para uma boa aderência, estando diretamente relacionada com a dureza do material. Desta forma, vale ressaltar que a resistência mecânica do aço carbono varia de 32 a 66kg/mm².

Figura 1 - Tipo de proteção direta sobre a armadura



Fonte: Gonçalves *et al.* (2003)

Tabela 1 – Taxas indicativas de corrosão para ambientes diferentes

Categoria de corrosividade	Perda de massa por unidade de superfície/perda de espessura (após um ano de exposição)			
	Aço baixo-carbono		Zinco	
	Perda de massa (g/m ²)	Perda de espessura (µm)	Perda de massa (g/m ²)	Perda de espessura (µm)
C1 – muito baixa	≤10	≤1,3	≤0,7	≤0,1
C2 – baixa	>10 a 200	>1,3 a 25	>0,7 a 5	>0,1 a 0,7
C3 – média	>200 a 400	>25 a 50	>5 a 15	>0,7 a 2,1
C4 – alta	>400 a 650	>50 a 80	>15 a 30	>2,1 a 4,2
C5 – muito alta	>650 a 1500	>80 a 200	>30 a 60	>2,1 a 4,2

Fonte: ISO 9223:2012

Segundo Fusco (1995) [14] e ACI (2003) [15], as barras nervuradas sofrem ainda outros esforços além destes três, que seriam forças de compressão e de atrito nas nervuras, além do atrito no corpo da barra. Essas forças atuam em vários sentidos, impedindo o deslizamento da barra.

Para simular todas essas condições e verificar a aderência entre o concreto e o aço sem proteção externa e o galvanizado a quente, o método que mais se aproxima da situação real é o ensaio da viga (*Beam Test*), proposto pela Rilem (1978) [1]. Neste experimento, a viga é submetida à flexão, havendo a contribuição de outros fatores importantes na aderência aço-concreto.

Com isso, o objetivo deste artigo é comparar a aderência de barras de aço de 8,0, 12,5 e 16,0mm galvanizadas a quente e sem galvanização, tradicionalmente utilizadas na construção civil. O ensaio de aderência entre aço e concreto foi realizado através do procedimento da Rilem (1978) [1], que consiste no ensaio à flexão em vigas de concreto para identificar a aderência. Foi utilizado traço de concreto nas vigas, 1:6, em massa, para garantir a resistência à compressão de 25MPa, com tolerância de 2,5MPa, de acordo com o procedimento. Após os resultados, foi realizada uma análise estatística para identificar as propriedades significativas para este parâmetro.

2. Materiais e método

2.1 Materiais

Para dimensionar as vigas a serem ensaiadas, seguiu-se o procedimento da Rilem (1978) [1], de acordo com as especificações da Tabela 2.

Para a concretagem, utilizou-se o traço 1:6, em massa, a proporção entre o aglomerante e os agregados, com relação água/cimento de 0,6 e abatimento do tronco de cone no estado fresco de 100mm. Este traço foi definido para atingir o proposto pelo método da Rilem (1978) [1], que estipula a resistência à compressão do concreto, aos 28 dias, em 25MPa, com tolerância de 2,5MPa. Para fins de melhor conhecimento da curva de crescimento do concreto, foram ensaiados os 7 e 28 dias. O método de dosagem do concreto foi o Ibracon (2011) [16].

2.2 Método

Após definidos os parâmetros das vigas e materiais foram moldados três conjuntos para cada diâmetro estudado (8mm, 12,5mm e 16mm) e para cada condição (referência e galvanizado a quente),

Tabela 2 – Parâmetros para verificação da aderência entre o concreto e barras de aço

Propriedades e dimensões	Tipo A	Tipo B
Diâmetro das barras (mm)	<16	≥16
Comprimento de aderência (ld)	10 ∅	10 ∅
Espessura dos blocos de concreto (cm)	18	24
Altura dos blocos de concreto (cm)	37,5	60
Distância entre os blocos de concreto (cm)	5	6
Largura total da viga (cm)	80	126
Largura das barras de ensaio (cm)	100	150
Distância entre o eixo da barra e o eixo da rótula (cm)	10	15
Distância entre o eixo da barra e o eixo da face inferior da viga (cm)	5	5
Distância entre cargas (cm)	15	20
Distância entre apoios (cm)	65	110

Fonte: Adaptada de Rilem, 1978

Figura 2 - concretagem de conjunto de vigas para ensaio de aderência entre a barra e o concreto



totalizando 18 conjuntos, composto por 36 partes. A Figura 2 ilustra uma das concretagens e seis conjuntos moldados.

Após isto, os conjuntos foram curados em câmara úmida durante 28 dias. As vigas foram instrumentadas nas suas extremidades, com relógios comparadores digitais, para medir as deformações das barras, que tendem a escorregar durante o ensaio. Foram medidos os pontos de 1mm, 0,1mm e 0,01mm, especificados no procedimento.

O critério adotado foi a média aritmética dos resultados obtidos nas duas extremidades, momentos antes da ruptura da viga. Para a última leitura (1mm) considerou-se a carga que atingia primeiro

este limite. A velocidade de aplicação da carga para as barras de diâmetro 8,00mm, 12,5mm e 16,0mm foi obtida segundo a equação 1:

$$v_b = \frac{5 \times d^2}{10_0} \quad (1)$$

Onde:

v_b = velocidade de aplicação da carga

Figura 3 - Execução do ensaio da viga



Tabela 3 – resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias

Diâmetro da barra (mm)	Traço em massa	Relação a/c	fc 7 dias (MPa)	fc 28 dias (MPa)
8	1:6	0,6	16,7	26,4
12,5	1:6	0,6	15,5	23,2
16	1:6	0,6	14,5	22,5

d = diâmetro da barra de ensaio em cm

Em seguida as vigas eram posicionadas e submetidas ao ensaio de flexão estando biapoiadas e recebendo a aplicação de carga distribuída em dois pontos, conforme é possível observar na figura 3.

2.3 Método de análise dos resultados

Para análise dos resultados obtidos no ensaio das vigas, adotou-se o método de análise de variância (ANOVA), que busca a verificação da existência de diferença significativa, com base numa análise estatística, entre as médias dos valores obtidos. Além dis-

so, o método verifica se os valores aplicados influenciam na variável dependente. Esta análise foi realizada utilizando o software STATISTICA, versão 10, da empresa StarSoft.

3. Resultados e discussão

3.1 Resistência à compressão

Os resultados dos 7 e 28 dias da resistência à compressão do concreto estão expressos na Tabela 3.

Observa-se que os concretos obtiveram resistências à compres-

Figura 4 – comportamento da carga versus deformação para cada diâmetro de barra em cada condição, sendo 3 vigas ensaiadas para cada caso

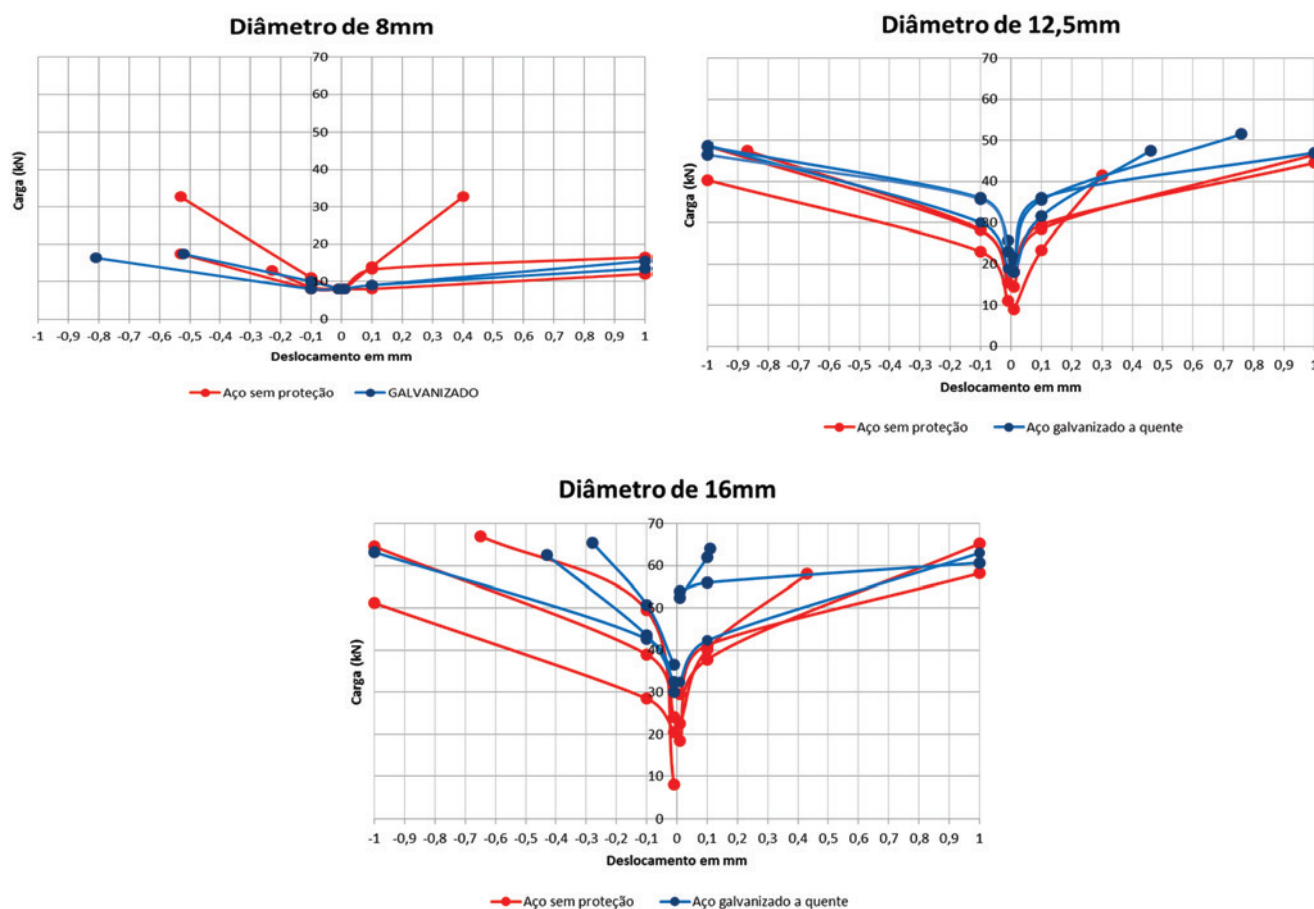


Tabela 4 – Valores obtidos nos ensaios de aderência

Tipo e diâmetro da barra	Medida à esquerda		Medida à direita		Resistência à aderência (τ - bu - em MPa)	Resistência à aderência média (τ - bu - em MPa)
	Deslocamento (mm)	Carga (kN)	Deslocamento (mm)	Carga (kN)		
8mm referência	0,01	8	0,01	8	7,77	-
	0,10	11	0,10	14		
	0,53*	32	0,40*	32		
8mm referência	0,01	8	0,01	8	7,46	8,50
	0,10	8,5	0,10	8		
	0,23*	-	1,00	12		
8mm referência	0,01	8	0,01	8	10,26	-
	0,10	8	0,10	13,2		
	0,53*	-	1,00	16,5		
8mm galvanizado a quente	0,01	8	0,01	8	9,64	-
	0,10	10	0,10	9		
	0,52*	-	1,00	15,5		
8mm galvanizado a quente	0,01	8	0,01	8	5,28 (resultado desprezado)	9,01
	0,10	8,5	0,07**	-		
	1,00	8,5	-	-		
8mm galvanizado a quente	0,01	8	0,01	8	8,39	-
	0,10	8	0,10	9		
	0,81*	16,3	1,00	13,5		
12,5mm referência	0,01	11	0,01	9	10,26	-
	0,10	23	0,10	23,3		
	1,00	40,3	0,30*	-		
12,5mm referência	0,01	17	0,01	14,5	11,84	11,14
	0,10	28	0,10	28,5		
	0,98*	-	1,00	46,5		
12,5mm referência	0,01	15,5	0,01	18	11,33	-
	0,10	28,3	0,10	29,5		
	0,87*	-	1,00	44,5		
12,5mm galvanizado a quente	0,01	19	0,01	21	12,43	-
	0,10	30	0,10	35,5		
	1,00	48,8	0,76*	-		
12,5mm galvanizado a quente	0,01	25,8	0,01	21,5	11,97	12,08
	0,10	36	0,10	36		
	1,00	47	1,00	47		
12,5mm galvanizado a quente	0,01	23	0,01	18	11,84	-
	0,10	35,7	0,10	31,5		
	1,00	46,5	0,46*	-		
16mm referência	0,01	24	0,01	29,5	11,44	-
	0,10	39	0,10	41,2		
	1,00	64,5	1,00	58,2		
16mm referência	0,01	8,0	0,01	18,5	12,16	11,05
	0,10	49,5	0,10	37,8		
	0,65*	67,0	1,00	65,2		
16mm referência	0,01	20,5	0,01	22,5	9,55	-
	0,10	28,5	0,10	40,2		
	1,00	51,2	0,43*	58,0		
16mm galvanizado a quente	0,01	36,5	0,01	32,5	11,75	-
	0,10	50,8	0,10	42,3		
	0,28*	-	1,00	63,0		
16mm galvanizado a quente	0,01	30,0	0,01	52,5	11,79	11,62
	0,10	42,7	0,10	62,0		
	1,00	63,2	0,11*	64,0		
16mm galvanizado a quente	0,01	32,5	0,01	54	11,32	-
	0,10	43,5	0,10	56		
	0,43*	62,5	1,00	60,7		

* Rompimento da viga ocorreu antes de completar 1,00mm de deformação

** Rompimento da viga ocorreu antes de completar 0,10mm de deformação

*** Viga com problema no ensaio - resultado desprezado

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de aderência

Parâmetros	SQ	GL	MQ	Fcal	P
Intercepção	1855,494	1	1855,494	1900,878	0,000000
Diâmetro da barra (mm)	25,557	2	12,779	13,091	0,001233
Tipo de barra	1,884	1	1,884	1,931	0,192179
Diâmetro da barra (mm) e tipo de barra	0,146	2	0,073	0,075	0,928198

Sendo – SQ – soma dos quadrados; GL – grau de liberdade; MQ – média quadrada; Fcal – parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos

são dentro do intervalo recomendado pela Rilem (1978) [1], possibilitando a realização dos ensaios dentro do especificado.

3.2 Aderência entre o concreto e barras de aço galvanizadas a quente e sem proteção

Para cada tipo diâmetro de barra (8mm, 12,5mm e 16mm) e com cada condição (referência e galvanizada a quente) foi ensaiada no método proposto pela Rilem (1978) [1], medindo a carga necessária, em kN, para as barras deformarem 0,01mm, 0,1mm e 1mm, tanto à esquerda quanto à direita da aplicação da carga, quando considera-se encerrado o ensaio. A Figura 4 ilustra as curvas carga versus deformação para cada diâmetro e condição, com 3 medidas para cada situação.

Nota-se que para as vigas de diâmetro 8,0mm o limite de 1,0mm ocorreu sempre à direita da viga, recebendo pequeno carregamento para a maioria delas, com uma viga tendo um comportamento diferenciado das demais. Nas vigas com barras de 12,5mm de diâmetros, as cargas atingidas foram maiores que nas vigas anteriores, como era de se esperar. Tanto nas barras de 8mm quanto nas de 12mm, a aderência nas entre o concreto e o aço foi superior nas vigas com armaduras galvanizadas a quente. O mesmo comportamento foi observado nas vigas com barras de 16mm, mostrando que para os diâmetros maiores a aderência entre o concreto e o aço galvanizado a quente também foi superior. É importante ressaltar que os parâmetros das vigas com barras de 16mm é diferente das anteriores, segundo procedimento da Rilem (1978).

Com base nos dados coletados, calculou-se aos valores de resistência de aderência, expressos na Tabela 4.

Com base nas tensões de aderência, utilizou análise estatística (ANOVA), no software STATISTIC, para verificar a relação entre a aderência e o tipo e diâmetro das barras. Os resultados estão expressos na Tabela 5.

Se Fcal for maior que o valor de F tabelado, a hipótese nula é rejeitada. Sendo assim, significa que há diferença significativa entre as médias dos grupos e consequentemente a variável de estudo influencia na variável de resposta. O valor de “P”, apresentado na tabela 5, demonstra o nível de significância do grupo analisado. Desta forma, percebe-se que tipo de barra (galvanizada ou não) não tem um nível significância, pois P é maior que 0,5, comumente aplicado na engenharia civil, ao contrário do diâmetro da barra, que tem um nível de significância. Portanto, observa-se que o diâmetro da barra influi na resistência de aderência entre o concreto e o aço, porém, se a barra é ou não galvanizada a quente não interfere na aderência final, para os resultados obtidos neste trabalho.

Por fim, Figura 5 mostra os valores da média aritmética entre os 3 resultados de resistência de aderência para cada diâmetro e tipo de barra.

Observa-se que a resistência à aderência aumenta consideravelmente, em 31% para o aço sem proteção e 34% para o aço galvanizado a quente, entre os diâmetros de 8,0 e 12,5mm. Já para o diâmetro de 16mm houve uma redução, de 1% para o aço comum e 4% para o galvanizado a quente, mostrando uma certa estabilização nos diâmetros maiores.

Mas ao comparar as resistências à aderência entre os diferentes tipos de aço, observa-se que as barras galvanizadas a quente sempre obtiveram valores superiores às sem proteção, em 6% para o diâmetro de 8mm, 8,4% para o diâmetro de 12,5mm e 5,2% para o 16mm. Portanto, a camada de zinco que protege as armaduras contra a corrosão não prejudicam a aderência entre o aço e o concreto, e até pode haver um pequeno ganho em determinadas situações.

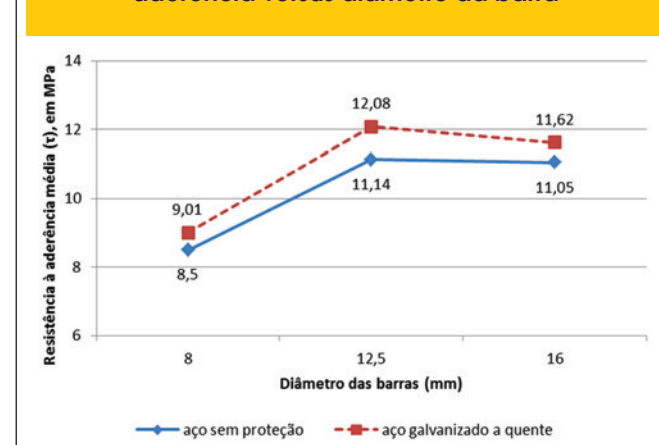
4. Conclusões

Após o trabalho experimental realizado, conclui-se que:

- o diâmetro das barras exerce influência significativa na resistência à aderência entre o concreto e o aço;
- o tipo de aço, galvanizado a quente ou sem proteção, não exerce influência significativa na resistência à aderência entre o concreto e o aço;
- as barras galvanizadas a quente apresentaram resistência à aderência entre o concreto e o aço superiores às barras sem proteção, em 6, 8,4 e 5,2%, para os diâmetros de 8, 12,5 e 16mm, respectivamente.

Portanto, para estes materiais com estas condições, é possível a especificação do aço galvanizado a quente sem preocupação quanto à resistência à aderência entre o concreto e o aço.

Figura 5 – Gráfico da resistência de aderência versus diâmetro da barra



5. Referências bibliográficas

- [01] RILEM, FIP; CEB. Essai portanto sur l' adherence des armatures du béton. 1. Essai per flexion (7-II-28D). Recommendation Provisoires. Matériaux et Constructions. Paris, v. 6, n. 32, p. 96-101, 1978.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Edificações habitacionais - desempenho. NBR 15575, Rio de Janeiro, 2013.
- [03] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Guide to durability of buildings and building elements, products and components. BS 7543, London, 2003.
- [04] GONÇALVES, A.; ANDRADE, C.; CASTELLOTE, M. Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado. Red Durar, CYTED Program, Rio de Janeiro, 1997.
- [05] BALTAZAR-ZAMORA, M.A.; BANDALA, E.M.; TELLO, M.U.; HURTADO, G.S.; COCA, F.J.; CEDANO, A.O.; BARRIOS, C.P.; NUÑEZ, R.E.; ZAMBRANO, P.; TIBURCIO, C.; CALDERÓN, F. Efficiency of galvanized steel embedded in concrete previously contaminated with 2, 3 and 4% of NaCl. In: International Journal of Electrochemical Science, n°7, p. 2997-3007, 2012.
- [06] YEOMENS, S.R. Galvanized steel reinforcement in concrete: an overview. Elsevier, 2004.
- [07] YOO, Y.; NAM, T.; CHOI, Y.; KIM, J.; CHUNG, L. A galvanic sensor system for detecting the corrosion damage of the steel embedded in concrete structures: laboratory tests to determine the cathodic protection and stray-current. In: Metals and Materials International, v.17, issue 4, p.623-629, 2011.
- [08] PANNONI, F. D. Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio. In: Coletânea do uso do aço. Gerdau, 2011.
- [09] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Corrosion of metals and alloys – corrosivity of atmospheres – classification, determination and estimation. ISO 9223:2012, Genève, Switzerland.
- [10] CAETANO, L.F. Estudo do comportamento da aderência em elementos de concreto armado submetidos à corrosão e elevadas temperaturas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (dissertação de mestrado). Porto Alegre, 2008.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. NBR 7480, Rio de Janeiro, 2007.
- [12] LUTZ, L.A.; GERGELY, P. Mechanics of bond and slip of de formed bars in concrete. ACI Journal Proceedings, v.64, n.11, p.711-721, nov. 1967.
- [13] CAIRINS, J.; DU, Y.; LAW, D. Influence of corrosion on the friction characteristics of the steel / concrete interface. In: Construction and Buildings Materials. Vol. 21, n°1, p. 190-197, 2007.
- [14] FUSCO, P.B. Técnicas de armar as estruturas de concreto. 1ªEd. São Paulo: PINI, 1995.
- [15] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI. Bond and development of straight reinforcing bars in tension. Comitê 408, 2003.
- [16] TUTIKIAN, B; HELENE, P. Dosagem de concretos de cimento Portland. In: Concreto: Ciência e Tecnologia. G.C. Isaia. 1ªed. São Paulo, IBRACON, 2011. 2v.