Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

DESPLACAMENTO DO REVESTIMENTO CERÂMICO POR TENSÕES CÍCLICAS

J. UCHOA
Engenheiro Civil/ Docente
Instituto Federal de Brasília
Distrito Federal; Brasil
joao.barleta@gmail. com

L. BEZERRA
Engenheiro Civil/ Docente
Universidade de Brasília
Distrito Federal; Brasil
lmbz@unb.br

M. MENDES
Engenheiro Civil/ Docente
Instituto Federal de Goiás
Goiás; Brasil
mvasmendes.ifg@gmail.com

C. MELO JÚNIOR
Arquiteto/ Docente
Instituto Federal de Sergipe
Sergipe; Brasil
carlosmmjunior@gmail.com

RESUMO

As deformações que podem ocorrer no sistema de revestimento cerâmico, provocadas por intempéries e diferença de comportamento térmico e higrométrico dos materiais, provocam tensões entre as camadas do sistema de revestimento. As deformações somadas às restrições das ligações das interfaces entre camadas geram tensões capazes de descolar o revestimento cerâmico. Diante disso, decidiu-se utilizar uma abordagem experimental e análise numérica para o estudo do comportamento de fadiga das argamassas colantes industrializadas do tipo ACII e ACIII que compõem o sistema de revestimento cerâmico, submetendo a carregamento cíclico de tração e compressão axial. Na abordagem experimental foram realizados ensaios de fadiga por tração e compressão axial das argamassas ACII e ACIII, em que os níveis de tensão para a realização dos ensaios de fadiga foram definidos a partir dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização de resistência à tração na flexão e à compressão axial destas argamassas. Os resultados dos ensaios de fadiga permitiram traçar a Curva S-N ou Curva de Wöhler para obter o limite de resistência de ruptura à fadiga das argamassas ACII e ACIII.
Palavras-chave: desplacamento cerâmico, fadiga, argamassa.

ABSTRACT

The deformations that may occur in the ceramic tilling system caused by weathering and the difference of thermal and hygrometric materials behavior cause tensions between the layers of the ceramic tilling system. Deformations added to the restrictions of the connections of the interfaces between layers generate stresses able to take off the ceramic tilling. Therefore, it was decided to use an experimental approach and numerical analysis to study the fatigue behavior of industrialized adhesive mortar type ACII and ACIII that compose the ceramic tilling system, subjecting to tensile and compressive of cyclic loading. In the experimental approach were carried tensile fatigue tests and axial compression for ACII and ACIII mortars, where the stress levels for achievement of fatigue tests were defined from the results obtained in the tensile strength of characterization tests on bending and the axial compression of these mortars. The results of the fatigue tests were able to allow S-N curve or Wöhler curve were plotted to obtain the rupture limit of fatigue strength to ACII ACIII mortars.
Keywords: detachment ceramic tilling, fatigue, mortar.

INTRODUÇÃO

Os problemas com o sistema de revestimento cerâmico podem variar desde simples eflorescências até o completo desplacamento das peças cerâmicas. Nesse sentido, Bowman e Westgate [1] enfatizam que o surgimento de manifestações patológicas não está relacionado a uma única causa, mas a um somatório de fatores. Observa-se ainda que a qualidade e a durabilidade dos revestimentos cerâmicos estão fortemente ligadas ao planejamento, à escolha dos materiais, à qualidade da construção e à manutenção ao longo de sua vida útil.

Fiorito [2] ressalta que, de fato, deve-se usar a expressão estrutura de revestimento. Neste sistema, as camadas de suporte do revestimento têm deformações próprias, além do que, no caso do revestimento cerâmico, pode-se deformar em função da umidade e da variação térmica do ambiente, entre outros fatores. Pode ainda acontecer que, com o

aumento progressivo dos esforços, atinja-se um estado de tensão e as peças do revestimento podem-se fraturar. Em outro caso, devido à presença de tensões de compressão, instalar-se-á um processo de flambagem, ficando o revestimento irremediavelmente descolado e ocasionando, inclusive, o desplacamento do revestimento (Figura 26).



Figura 26: Desplacamento de revestimento cerâmico em fachadas [7].

Fiorito [2] cita que o desplacamento do revestimento cerâmico é bastante frequente. Esta manifestação patológica pode ser provocada por inúmeros fatores, como:

- baixa aderência entre as camadas do sistema;
- expansão, por umidade, das peças cerâmicas;
- retração excessiva das argamassas ocasionando fissuras que provocarão uma futura perda de aderência das camadas do revestimento; e
- surgimento de tensões decorrentes de efeito térmico que pode romper o sistema de revestimento cerâmico por fadiga.

Desta forma, o objetivo desta pesquisa é analisar o comportamento das tensões em amostras submetidas a solicitações de cargas cíclicas, com intuito de traçar a Curva S-N de tração e compressão de fadiga das argamassas colantes industrializadas do tipo ACII e ACIII.

METODOLOGIA

Preparo das Argamassas Colantes ACII e ACIII

Foram utilizadas argamassas colantes industrializadas do tipo ACII e ACIII, obtidas no mercado local, comercializadas em embalagens de 20 kg. Destaca-se que estas argamassas são amplamente utilizadas para assentamento de peças cerâmicas de fachadas no Distrito Federal.

O preparo das argamassas colantes industrializadas foi realizado de acordo com a ABNT NBR 14081 [3]. No processo de mistura, para a argamassa colante ACII, manteve-se a relação água/argamassa de 0,22, e para a argamassa colante ACIII a relação água/argamassa igual 0,28, dentro dos intervalos recomendados pelo fabricante.

A homogeneização foi feita para uma quantidade de 20 kg de argamassa seca, com uso de um misturador de baixa velocidade até obter uma consistência trabalhável, conforme apresentado na Figura 27. O tempo de mistura foi de 2 minutos e intervalo de tempo de 15 minutos para maturação, que representa o tempo necessário para os aditivos iniciarem sua ação, e depois mais 1 minuto para a mistura final, de acordo com a especificação recomendada pelo fabricante das argamassas colantes.



Figura 27: Misturador e etapas do processo de preparação das argamassas colantes.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Caracterização das argamassas colantes

As propriedades mecânicas foram determinadas utilizando os procedimentos da norma ABNT NBR 13279:2005 [4], que especifica os métodos de ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão axial, uma vez que não existe para este fim norma específica para as argamassas colantes.

Ensaio de resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão consiste na aplicação de uma carga centrada sobre o corpo de prova prismático bi apoiado até sua ruptura por flexão. Para esse ensaio foi utilizado uma prensa manual, como ilustrado na Figura 28.



Figura 28: Ensaio de resistência à tração na flexão.

A resistência à tração na flexão é determinada através da Equação 1.

$$R_f = \frac{1{,}5F_f L}{40^3} \quad (1)$$

Em que:

- R_f é a resistência à tração na flexão, em MPa;
- F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N; e
- L é a largura entre os suportes, em mm.

A Tabela 25 ilustra os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas colantes industrializadas ACII e ACIII no estado endurecido sobre a sua resistência à tração na flexão, cujos resultados obtidos correspondem ao desvio absoluto médio dos corpos de prova ensaiados aos 28 dias, de acordo com a norma da NBR 13279:2005.

Tabela 25: Resultado da tensão de ruptura do ensaio à tração na flexão das ACII e ACIII.

PROPRIEDADE	Resultados	
	ACII	ACIII
Resistência à tração na flexão (MPa)	3,77	3,26

Ensaio de resistência à compressão axial

Inicialmente, utilizaram-se as metades dos três corpos de prova do ensaio de resistência à tração na flexão, posicionando-as no dispositivo de apoio na prensa manual, conforme apresentada na Figura 29: Ensaio de resistência à compressão axial., de modo que a face rasada não ficasse em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga da prensa. Em seguida, aplicou-se uma carga com velocidade de (500 ± 50) N/s até ocorrer à ruptura do corpo de prova.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 29: Ensaio de resistência à compressão axial.

A resistência à compressão axial é calculada através da Equação 2.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2)$$

Em que:

- R_c é a resistência à compressão, em MPa;
- F_c é a carga máxima aplicada, em N;
- 1600 é a área da seção, considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em mm².

Na Tabela 26, estão apresentados os resultados de resistência à compressão das argamassas colantes industrializadas ACII e ACIII, aos 28 dias de idade, de acordo com a norma da NBR 13279 [4].

Tabela 26: Resultado da tensão de ruptura do ensaio à compressão das ACII e ACIII.

PROPRIEDADE	Resultados	
	ACII	ACIII
Resistência à compressão (MPa)	10,91	9,68

Ensaio dinâmico das argamassas colantes

Os ensaios dinâmicos representam os ensaios de fadiga e podem ser à tração, à compressão, ou em estados de tensão variando entre tração e compressão. Considerando que, ainda, não existem normas elaboradas para a realização do ensaio específico de fadiga de argamassas colantes, essa metodologia embasou-se nos ensaios de fadiga realizados por Cervo [5] para o concreto.

O ensaio de fadiga consiste na aplicação de carga cíclica em corpo de prova apropriado e dimensionado conforme o tipo de ensaio a ser realizado. O ensaio de fadiga é capaz de fornecer dados quantitativos relativos às características de um material ou componente ao suportar, por um longo período e sem se romper, cargas cíclicas. Os principais resultados do ensaio de fadiga são: o limite de resistência à fadiga (σ_{Rf}), que corresponde a um limite de tensão, tal que, para valores abaixo desse limite, o corpo de prova nunca sofrerá ruptura por fadiga; a resistência à fadiga (σ_f), que corresponde à tensão na qual ocorre a ruptura do corpo de prova para um número arbitrário de ciclos de aplicação de carga; e a vida em fadiga (N_f) consiste no número de ciclos que causará a ruptura para um determinado nível de tensão [6].

No ensaio experimental de resistência à tração e à compressão, o limite de resistência do material é determinado em função da carga máxima atingida durante o ensaio de caracterização, após a qual ocorre a ruptura do material. Fica, então, estabelecido que o material não se rompa com uma carga menor que àquela submetida aos esforços estáticos. Entretanto, quando são aplicados esforços dinâmicos, repetidos ou flutuantes, em um determinado material, o mesmo pode se romper com uma carga bem inferior à carga máxima atingida durante o ensaio estático à tração ou à compressão. Nesse caso, tem-se a chamada ruptura por fadiga do material.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Para os ensaios de resistência à fadiga, utilizou-se a máquina de ensaio universal, conforme ilustrado na Figura 30, em que o ensaio pode ser operado com controle de tensão ou de deslocamento que ocorre através de um dispositivo hidráulico.



Figura 30: Máquina de ensaio universal.

Essa máquina é controlada com uso de um computador, e através deste é que se ativa a bomba e o atuador hidráulico para a realização do ensaio. As garras de fixação dos corpos de prova também são acionadas hidraulicamente, de maneira que se pode variar a pressão nas mesmas, utilizando um controlador na base da própria máquina. A máquina, ainda, possui uma célula de carga que mede em uma faixa de 1 KN a 100 KN, a força aplicada aos corpos de prova.

Nos ensaios de resistência à fadiga foram dimensionados, para o ensaio à tração, corpos de prova prismáticos, através do fator de concentração de tensão geométrico [7], conforme apresentado na Figura 31 (a). Para o ensaio à compressão utilizou-se corpos de prova cilíndricos, de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, conforme apresentado na Figura 31 (b).



(a)



(b)

Figura 31: (a) corpo de prova prismático montado para o ensaio de fadiga à tração, (b) corpo de prova cilíndrico montado pata o ensaio de fadiga à compressão.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Resultados do ensaio de fadiga à tração axial

A partir do resultado do ensaio de resistência à tração na flexão das argamassas ACII (3,77 MPa) e ACIII (3,26 MPa), que correspondem ao desvio absoluto médio dos corpos de prova ensaiados aos 28 dias, conforme a ABNT NBR 13279 [4], foram calculadas as cargas para os ensaios de fadiga à tração axial das ACII e ACIII, seguindo como referência a norma de fadiga para o aço ASTM E 468-11[8], conforme apresentado na Figura 32 e Figura 33.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

BASE = DxE		
D=Largura	12,00	[cm]
E=Espessura	12,00	[cm]
CORPO = dxE		
r/d =	0,275	adm
d = D-2r	7,74	[cm]
r =	2,13	[cm]
K_t - Ábaco	1,60	adm
A1 = BASE = Área Maior	144,00	[cm²]
A2 = CORPO = Área Menor	92,90	[cm²]
Tensão àTração-Máx-Arg. Col. ACII =	**3,77**	**MPa**
Tensão àTração-Máx-Arg. Col. ACII =	0,37	[kN/cm²]
Força à tração-Máx-Arg. Col. ACII =	34,37	[kN]
Faixa de trabalho da Máquina MTS 810		
Mín =	1,00	[kN]
Máx =	100,00	[kN]
Níveis do TESTE		
Valores Usado para o Ensaio da fadiga		
1,0*Ft	34,37	[kN]
0,9*(0,8)*Ft	24,75	[kN]
0,7*(0,8)*Ft	19,25	[kN]
0,3*(0,8)*Ft	8,25	[kN]



Figura 32: Dimensionamento das cargas para os ensaios de fadiga à tração axial da argamassa Colante ACII.

BASE = DxE		
D=Largura	12,00	[cm]
E=Espessura	12,00	[cm]
CORPO = dxE		
r/d =	0,275	adm
d = D-2r	7,74	[cm]
r =	2,13	[cm]
K_t - Ábaco	1,60	adm
A1 = BASE = Área Maior	144,00	[cm²]
A2 = CORPO = Área Menor	92,90	[cm²]
Tensão à Tração-Máx-Arg. Col. ACIII =	**3,26**	**MPa**
Tensão à Tração-Máx-Arg. Col. ACIII =	0,32	[kN/cm²]
Força à Tração-Máx-Arg. Col. ACIII =	29,73	[kN]
Faixa de trabalho da Máquina MTS 810		
Mín =	1,00	[kN]
Máx =	100,00	[kN]
Níveis do TESTE		
Valores Usado para o Ensaio da fadiga		
1,0*Ft	29,73	[kN]
0,9*(0,8)*Ft	21,40	[kN]
0,7*(0,8)*Ft	16,65	[kN]
0,3*(0,8)*Ft	7,13	[kN]



Figura 33: Dimensionamento das cargas para os ensaios de fadiga à tração axial da argamassa colante ACIII.

A Tabela 27 e Tabela 28 ilustram os resultados dos ensaios de fadiga à tração axial para as argamassas ACII e ACIII, respectivamente, apresentando os valores de carga, tensão (S) à tração axial adotada e o número de ciclos (N) realizados.

Tabela 27: Ensaio de fadiga à tração axial da argamassa colante ACII.

Força kN	Área cm²	Tensão MPa	Nº de Ciclos	Situação
6,00	92,90	0,71	4.213	Rompeu
6,00	92,90	0,71	4.473	Rompeu
5,50	92,90	0,61	1.213.388	Não rompeu
5,50	92,90	0,61	1.045.456	Não rompeu
5,00	92,90	0,51	1.031.194	Não rompeu
4,88	92,90	0,51	1.022.125	Não rompeu
4,88	92,90	0,51	1.027.123	Não rompeu

Conforme a Tabela 27, foram realizados sete ensaios de fadiga à tração axial para a argamassa ACII. Em cinco dos ensaios realizados, o corpo de prova não rompeu até a quantidade de ciclos acima de 1 milhão, quando foi tomada a decisão de parar o ensaio e assumia-se que a ruptura não ocorreria mais. Esses ensaios foram realizados com uma carga de 4,88 kN, 5,00 kN e 5,50 kN e tensão de 0,51 MPa, e 0,61 MPa, respectivamente. No quinto ensaio realizado, optou-se por uma carga de 6,00 kN e tensão de 0,71 MPa. Esse valor de carga foi definido a partir do ensaio de caracterização da resistência à tração na flexão da argamassa ACII, apresentado na Figura 32 e cujo valor obtido foi de 3,77 MPa. Neste caso, houve a ruptura da argamassa ACII no ensaio de fadiga à tração axial e a ruptura ocorreu com 4.473 ciclos.

A Figura 34 ilustra a curva S-N ou de Wöhler, apresentando o comportamento da ACII quando submetida a tensões cíclicas para a obtenção da resistência à fadiga à tração axial.



Figura 34: Curva S-N da fadiga à tração da ACII.

Conforme apresentado na Tabela 28, foram realizados seis ensaios de fadiga à tração axial para a argamassa ACIII. Em três dos ensaios realizados, o corpo de prova não rompeu até a quantidade de ciclos acima de 1 milhão, quando, da mesma forma que para os ensaios realizados com a argamassa colante industrializada ACIII, optou-se por parar o ensaio e assumir que a ruptura não ocorreria mais. Esses ensaios foram realizados com uma carga de 8,50 kN e 9,00 kN e tensão de 0,92 MPa e 1,02 MPa, respectivamente. No quarto ensaio realizado, optou-se por uma carga de 10,00kN e tensão de 1,12 MPa. Esse valor de carga foi definido como sendo 34,35% da carga de ruptura à tração axial da ACIII a partir do ensaio de caracterização da sua resistência à tração na flexão, apresentado na Figura 33 e cujo valor obtido foi de 3,26 MPa. Neste caso, houve a ruptura da argamassa ACIII no ensaio de fadiga à tração axial ocorrendo com 87.526 ciclos.

Tabela 28: Ensaio de fadiga à tração axial da ACIII.

Força kN	Área (cm²)	Tensão (Mpa)	Nº de Ciclos	Situação
10,32	92,90	1,22	1.979	Rompeu
10,00	92,90	1,12	62.517	Rompeu
10,00	92,90	1,12	87.526	Rompeu
9,00	92,90	1,02	1.076.778	Não rompeu
9,00	92,90	1,02	1.062.537	Não rompeu
8,50	92,90	0,92	1.045.541	Não rompeu

A Figura 35 ilustra a curva S-N ou de Wöhler apresentando o comportamento da argamassa ACIII quando submetida a tensões cíclicas para a obtenção da resistência à fadiga à tração axial.

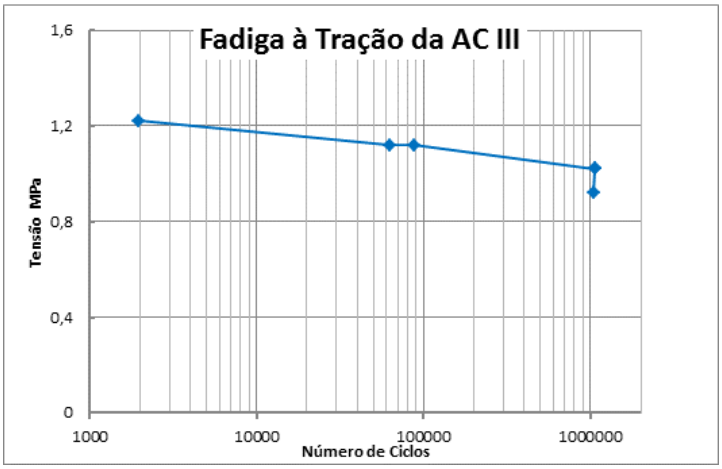


Figura 35: Curva S-N da fadiga à tração da ACIII.

Resultados do ensaio de fadiga à compressão

De posse dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial das argamassas ACII (10,91 MPa) e ACIII (9,68 MPa), que correspondem ao desvio absoluto médio dos corpos de prova ensaiados aos 28 dias, de acordo com a norma da ABNT NBR 13279 [4], foram calculadas as cargas para os ensaios de fadiga à compressão dessas argamassas, seguindo como referência a norma de fadiga para o aço ASTM E 468-11, conforme apresentado nas Figura 36 e Figura 37.

BASE = πr²		
r=	5,00	[cm]
π=	3,14	adm
CORPO = πr²		
Área do CP	78,54	[cm²]
Tensão à Compressão-Máx-Arg. Col. ACII =	**10,91**	**MPa**
Tensão à Compressão-Máx-Arg. Col. ACII =	1,07	[kN/cm²]
Força à Compressão-Máx-Arg. Col. ACII =	84,04	[kN]
Faixa de trabalho da Máquina da MTS 810		
Mín =	1,00	[kN]
Máx =	100,00	[kN]
Níveis do TESTE		
Valores Usado para o Ensaio da fadiga		
1,0*Ft	84,04	[kN]
0,9*(0,8)*Ft	60,51	[kN]
0,7*(0,8)*Ft	47,06	[kN]
0,3*(0,8)*Ft	20,17	[kN]

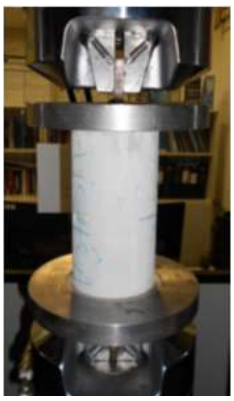


Figura 36: Dimensionamento das cargas para os ensaios de fadiga à compressão axial da argamassa colante ACII.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

BASE = πr²		
r=	5,00	[cm]
π=	3,14	adm
CORPO = πr²		
Área do CP	78,54	[cm²]
Tensão à Compressão-Máx-Arg. Col. ACIII =	**9,68**	**MPa**
Tensão à Compressão-Máx-Arg. Col. ACIII =	0,95	[kN/cm²]
Força àCompressão-Máx-Arg. Col. ACIII =	74,61	[kN]
Faixa de trabalho da Máquina MTS 810		
Mín =	1,00	[kN]
Máx =	100,00	[kN]
Níveis do TESTE		
Valores Usado para o Ensaio da fadiga		
1,0*Ft	74,61	[kN]
0,9*(0,8)*Ft	53,72	[kN]
0,7*(0,8)*Ft	41,78	[kN]
0,3*(0,8)*Ft	17,91	[kN]



Figura 37: Dimensionamento das cargas para os ensaios de fadiga à compressão axial da argamassa colante ACIII.

Aa Tabelas 5 e 6 ilustram os resultados dos ensaios de fadiga à compressão axial para as argamassas ACII e ACIII, respectivamente, apresentando os valores de carga, tensão (S) à compressão axial adotada e o número de ciclos (N) realizados.

Conforme apresentado na Tabela 5, foram ensaiadas sete amostras de fadiga à compressão axial para a argamassa ACII. Em três amostras os ensaios foram realizados com uma carga de 39,00 kN e tensão de 5,00 MPa, o corpo de prova não rompeu até a quantidade de ciclos acima de 1 milhão, quando tomava-se a decisão de parar o ensaio e assumia-se que a ruptura não ocorreria mais. Em seguida, foram realizados quatro ensaios com a carga de 45,00KN, 66,00 kN e 80,00 KN com tensões de 5,10 MPa, 8,56 MPa e 10,38 MPa respectivamente. Esse valor de carga foi definido a partir do ensaio de caracterização da resistência à compressão axial da argamassa ACII, apresentado na Figura 36 e cujo valor obtido foi de 10,91 MPa. Nestes casos, houve a ruptura da ACII no ensaio de fadiga à compressão axial e a ruptura ocorreu, respectivamente com 345.890, 283.439 e 271.581 ciclos. Além disso, foi realizado mais um ensaio com a carga de 80,00 kN e tensão de 10,38 MPa. Nesse caso, também houve a ruptura e ela ocorreu com 236.848 ciclos, que é um número menor de ciclos daquele obtido para os ensaios com carga de 66,00 kN e tensão de 8,56 MPa.

Tabela 29: Resultado do ensaio de fadiga à compressão da ACII.

Força kN	Área (cm²)	Tensão (Mpa)	Nº de Ciclos	Situação
80,00	78,54	10,38	236.848	Rompeu
66,00	78,54	8,56	271.581	Rompeu
66,00	78,54	8,56	283.439	Rompeu
45.00	78,54	5,10	345.890	Rompeu
39,00	78,54	5,00	1.051.637	Não Rompeu
39,00	78,54	5,00	1.086.048	Não Rompeu
39,00	78,54	5,00	1.092.080	Não Rompeu

A Figura 38 ilustra a curva S-N ou de Wöhler apresentando o comportamento da argamassa ACII quando submetida a tensões cíclicas para a obtenção da resistência à fadiga à compressão axial.



Figura 38: Curva S-N da fadiga à compressão da argamassa ACII.

Conforme apresentado na Tabela 30, foram realizados sete ensaios de fadiga à compressão axial para a argamassa ACIII. Em três dos ensaios realizados com as cargas de 55,00 KN e 60,00 kN com tensões de 7,13 MPa e 7,75 MPa respectivamente, o corpo de prova não rompeu até a quantidade de ciclos acima de 1 milhão, quando tomava-se a decisão de parar o ensaio e assumia-se que a ruptura não ocorreria mais. Em seguida, foi realizado um ensaio com a carga de 65,00 kN e tensão de 8,46 MPa onde houve a ruptura da argamassa ACIII e esta ocorreu com 328.604 ciclos. Esse valor de carga de 65,00 kN foi definido a partir do ensaio de caracterização da resistência à compressão axial da ACIII, apresentado na Figura 39 e cujo valor obtido foi de 9,68 MPa. Por fim, foram realizados dois ensaios com a carga de 70,00 kN e tensão de 9,07 MPa. Nesses casos, houve a ruptura da ACIII no ensaio de fadiga à compressão axial e a ruptura ocorreu com 36.968 e 62.660 ciclos.

Tabela 30: Resultado do ensaio de fadiga à compressão da argamassa ACIII.

Força kN	Área (cm²)	Tensão (Mpa)	Nº de Ciclos	Situação
70,00	78,54	9,07	36.968	Rompeu
70,00	78,54	9,07	62.660	Rompeu
65,00	78,54	8,46	298.632	Rompeu
65,00	78,54	8,46	328.604	Rompeu
60,00	78,54	7,75	1.018.584	Não Rompeu
60,00	78,54	7,75	1.056.984	Não Rompeu
55,00	78,54	7,13	1.040.196	Não Rompeu

A Figura 39 apresenta a curva S-N ou de Wöhler apresentando o comportamento da ACIII quando submetida a tensões cíclicas para a obtenção da resistência à fadiga à compressão axial.

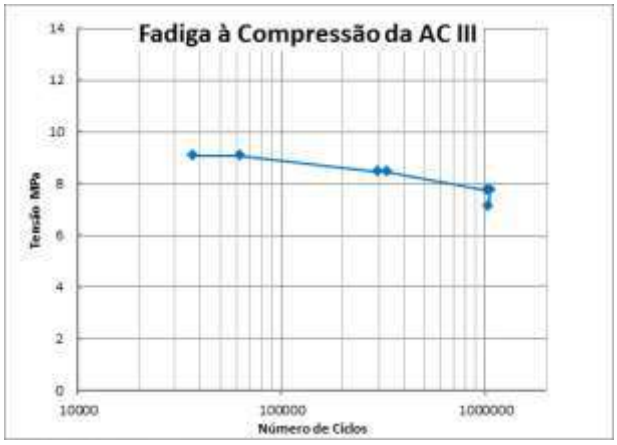


Figura 39: Curva S-N da fadiga à compressão da ACIII.

CURVAS S-N OU DE WÖHLER PARA AS ACII E ACIII

Para determinar a capacidade das argamassas colantes industrializadas ACII e ACIII em resistir a um conjunto de esforços repetitivos de compressão e tração, adotou-se como base a metodologia trabalhada por Cervo [5] que identificou as curvas S-N de fadiga à compressão e à tração para o concreto. Assim sendo, utilizou-se a Equação 3 apresentada por Cervo [5] e Tepfers e Kutti [9] e os dados dos ensaios experimentais apresentados no subitem 3 para determinar a curva S-N (ou de Wöhler) de fadiga à compressão e à tração para as argamassas colantes industrializadas ACII e ACIII.

$$\frac{S}{f} = 1 - 0{,}0685(1 - R)logN \qquad (3)$$

Curvas S-N de fadiga à compressão e à tração para ACII

A Figura 40 apresenta as curvas S-N de fadiga à compressão e à tração para a argamassa colante industrializada ACII, geradas a partir dos dados dos ensaios experimentais (Tabela 27 e Tabela 29) e conforme já representadas na Figura 32 e Figura 34.



Figura 40: Curvas S-N de Fadiga à Compressão e à Tração da ACII

As curvas S-N apresentadas na Figura 41 podem, ainda, ser linearizadas, em que a coordenada "y" é a tensão alternada em MPa; a abcissa "x" é o logaritmo decimal do número de ciclos N (log(N)); e, S_{rc} e S_{rt} são, respectivamente, a resistência à fadiga num ensaio à compressão e à tração.



Figura 41: Curvas S-N de Fadiga à Compressão e à Tração Linearizadas para ACII

Considerando as curvas linearizadas da Figura 41 e a Equação 3 sugerida por Cervo [5] e Tepfers e Kutti [9], pode-se associar as variáveis "x" e "y" nas equações linearizadas da Figura 41 como "$\log(N)$" e "S", respectivamente. Para N > 106 o corpo de prova não se rompe, conforme apresentado nos resultados de ensaio do subitem 3. Na Equação 3, caso se considere $R = 0$ e 'tensão mínima é igual"0" no ensaio, têm-se as seguintes equações para a argamassa colante industrializada ACII.

Sob compressão:

Para $N < 10^6 \rightarrow S = 11{,}049 - 1{,}0361 \log(N)$

Para $N > 10^6 \rightarrow S = 4{,}83\ MPa$

Sob tração:

Para $N < 10^6 \rightarrow S = 0{,}7529 - 0{,}0393 \log(N)$

Para $N > 10^6 \rightarrow S = 0{,}51\ MPa$

De forma similar ao que foi sugerido por Cervo [5] e Tepfers e Kutti [9] para o concreto, na Equação 3, uma relação R diferente de zero entre a tensão mínima e a máxima, têm-se as Equações 4 e 5 para o ensaio de fadiga à compressão e à tração da argamassa colante industrializada ACII, respectivamente.

$$S = 11{,}049 - 1{,}0361(1 - R)\log(N) \quad (4)$$

$$S = 0{,}7529 - 0{,}0393(1 - R)\log(N) \quad (5)$$

Para chegar em uma equação mais genérica para a fadiga à compressão e à tração da argamassa colante industrializada ACII, sem depender de valores das tensões de compressão (f_{ck}) e de tração (f_{tk}), deve-se dividir as Equações 4 e 5, respectivamente por valores de f_{ck} e de f_{tk} da argamassa colante ACII. Estes valores estão apresentados na Figura 32 e Figura 34, as quais são 10,91 MPa e 3,77 MPa. Assim, têm-se as Equações 6 e 7:

$$\frac{S}{f_{ck}} = 1{,}0127 - 0{,}0949(1 - R)\log(N) \quad (6)$$

$$\frac{S}{f_{tk}} = 0{,}1997 - 0{,}0104(1 - R)\log(N) \quad (7)$$

Curvas S-N de fadiga à compressão e à tração para ACIII

A Figura 42 apresenta as curvas S-N de fadiga à compressão e à tração para a argamassa colante industrializada ACIII, geradas a partir dos dados dos ensaios experimentais (Tabela 28 e Tabela 30) e conforme já representadas na Figura 33 e Figura 35.



Figura 42: Curvas S-N de Fadiga à Compressão e Tração da ACIII

As curvas S-N apresentadas na Figura 42 podem, ainda, ser linearizadas conforme mostrado na Figura 43, onde a coordenada "y" é a tensão alternada em MPa; a abcissa "x" é o logaritmo decimal do número de ciclos N (log(N)); e, S_{rc} e S_{rt} são, respectivamente, a resistência à fadiga num ensaio à compressão e à tração.

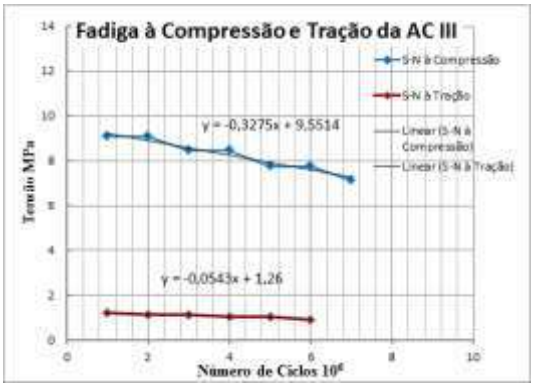


Figura 43: Curvas S-N de Fadiga à Compressão e à Tração Linearizadas para ACIII

Considerando as curvas linearizadas da Figura 43 e a Equação 3 sugerida por Cervo [5] e Tepfers e Kutti [9], pode-se associar as variáveis "x" e "y" nas equações linearizadas da Figura 43 como sendo "$\log(N)$" e "S", respectivamente. Sabendo-se que para N > 106 o corpo de prova não se rompe, conforme apresentado nos resultados de ensaio do subitem 3 e, ainda, na Equação 3, se for considerado $R = 0$, já que no ensaio a tensão mínima é "0", tem-se as seguintes equações para a argamassa colante industrializada ACIII.

Sob compressão:

Para $N < 10^6 \rightarrow S = 9{,}5514 - 0{,}3275 \log(N)$
Para $N > 10^6 \rightarrow S = 7{,}58\ MPa$

Sob tração:

Para $N < 10^6 \rightarrow S = 1{,}2600 - 0{,}0543 \log(N)$
Para $N > 10^6 \rightarrow S = 0{,}93\ MPa$

De forma similar ao que foi sugerido por Cervo [5] e Tepfers e Kutti [9] para o concreto (Equação 3) e considerando uma relação R diferente de zero entre a tensão mínima e a máxima, têm-se as Equações 8 e 9 para o ensaio de fadiga à compressão e à tração da argamassa colante industrializada ACIII, respectivamente.

$$S = 9{,}5514 - 0{,}3275(1 - R)\log(N) \quad (8)$$

$$S = 1{,}2600 - 0{,}0543\ (1 - R)\log(N) \quad (9)$$

Para chegar a uma equação mais genérica para a fadiga à compressão e à tração da argamassa colante industrializada ACIII e não depender de valores das tensões de compressão (f_{ck}) e de tração (f_{tk}), dividiu-se as Equações 8 e 9, respectivamente, por f_{ck} e f_{tk} da ACIII apresentados nasTabela 28 e Tabela 30, ou seja, 9,68 e 3,26 MPa. Assim, têm-se as Equações 10 e 11:

$$\frac{S}{f_{ck}} = 0{,}9867 - 0{,}0338(1 - R)\log(N) \quad (10)$$

$$\frac{S}{f_{tk}} = 0{,}3865 - 0{,}0166(1 - R)\log(N) \quad (11)$$

CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, constatou-se que a resistência à fadiga ou limite de fadiga (σ_f) na tração axial da argamassa colante tipo ACII foi de 0,61 MPa. Este valor corresponde a 16,18% do valor da resistência à tração na flexão da ACII da resistência de ruptura à tração na flexão de 3,77 MPa.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

A resistência à fadiga ou limite de fadiga (σ_f) na tração axial da argamassa colante ACIII ensaiada foi de 1,02 MPa. Isso corresponde a 31,00% do valor da resistência à tração na flexão da ACIII da resistência de ruptura à tração na flexão de 3,29 MPa.

A resistência à fadiga ou limite de fadiga (σ_f) na compressão axial da ACII foi de 5,00 MPa. Isso corresponde a 45,83% do valor da resistência à compressão axial da argamassa colante ACII da resistência de ruptura à compressão de 10,91 MPa.

A resistência à fadiga ou limite de fadiga (σ_f) na compressão axial da ACIII foi de 7,75 MPa. Isso significa 80,06% do valor da resistência à compressão axial da argamassa colante ACIII da resistência de ruptura à compressão de 9,68 MPa.

REFERÊNCIAS

[1] BOWMAN, R. and WESTGATE, P. (1992). Natural Moisture Behaviour of Typical Australian Ceramic Tiles. Ceramic, Adding the Value: AUSTCERAM 92, Editora M. J. Bannister, CSIRO Publications.
[2] FIORITO, A. J. S. I. Manual de Argamassa e Revestimento – Estudo e Procedimento de Execução. Editora Pini. São Paulo, SP, 1994.
[3] ABNT NBR 14081, Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Rio de Janeiro, 2012.
[4] ABNT NBR 13529, Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
[5] CERVO, T. C. (2004). Estudo da Resistência à Fadiga de Concreto de Cimento Portaland para Pavimentação. Tese de Doutorado. EP-USP, Brasil.
[6] GARCIA, A. ; SPIM, J. A. ; DOS SANTOS, C. A. Ensaio dos Materiais. 1ª ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2000.
[7] UCHÔA, J. C. B.;BEZERRA, L. M.; BAUER, E; DAS CHAGAS, S. V. M.; ARAÚJO, J. Análise Experimental da Resistencia à Fadiga de Sistema de Revestimento. In: Anais do 50° Congresso Brasileiro do Concreto. Salvador: IBRACON, 2008.
[8] ASTM, E 468-11. Standard Practice for Presentation of Constant Amplitude Fatigue Test Results for Metallic Materials.
[9] TEPFERS, R. e KUTTI, T. (1979). Fatigue Strength of Plain, Ordinary and Lightweight Concrete. ACI journal, v 76, n° 29, pp 635-652.