

ESTUDO DA ADERÊNCIA EM CONCRETOS LEVES COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS

BOND BEHAVIOR OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH RESIDUES

Kelly Rejane de Souza Oliveira

Universidade Federal Fluminense
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Rua Passo da Pátria, 156
CEP: 24210-020 Niterói, RJ Brasil
E-mail: krsoliveira@gmail.com

RESUMO

No contexto de compatibilização das atividades produtivas no qual o mundo está inserido, tornou-se notório a destinação racional dos resíduos gerados pelos diversos setores da indústria. Com efeito, o reaproveitamento de resíduos na construção civil tem sido alvo de pesquisas científicas, que visam propor soluções alternativas para utilização racional, ambientalmente e tecnologicamente seguras. Este trabalho tem por objetivo estudar o comportamento da aderência entre o aço e o concreto leve, com incorporação de resíduos de resíduos plásticos provenientes de indústria farmacêutica. Nos programas experimentais foram mensuradas as tensões de aderência seguindo-se uma formulação teórica proposta e as especificações de normas. Em seguida realizou-se um estudo comparativo entre os concretos bombeados convencional e leve quanto às tensões de aderência obtidas nos ensaios de conformação superficial e arrancamento, seguidos da análise estatística a fim de que fosse identificada a influência de diversos parâmetros no comportamento da aderência aço-concreto.

Palavras chave: Concreto leve, concreto convencional, resíduos.

ABSTRACT

It is well known that in order to make and preserve the world's present productive activities it is needed rational destination of residues from the various industrial branches. In fact the reuse of solid waste in construction has been object of scientific research, which is an attempt to propose rationally, environmentally and technologically correct answers. This research presents a study on bond behavior of lightweight concrete. Pharmacy industry plastic residues were used as aggregate to obtain lightweight concrete. Within the experimental program bond strength was measured according to the proposed theory formulation and technical requirements. Bond strength results obtained from bar friction coefficient test and pull out test on both regular and lightweight pumping concrete went through a comparative study and statistical analysis. This way the main causes that influence in the bond behavior could be identified.

Keywords: Lightweight concrete, ordinary concrete, residues.

1 – INTRODUÇÃO

A utilização do concreto armado na construção civil, só é possível graças ao trabalho conjunto entre o aço e o concreto, sendo tal comportamento, conhecido como aderência. O entendimento desse mecanismo é que permite prever a capacidade de carga das estruturas bem como as solicitações decorrentes desse processo.

Sob o foco científico, existem inúmeros estudos desenvolvidos acerca da aderência aço-concreto. Ocorre, porém, que a grande maioria é limitada aos concretos convencionalmente utilizados na construção civil, não enfatizando pois, concretos especiais tal como o concreto leve.

O estudo de alternativas nos diversos setores produtivos, imbuído da minimização dos impactos ambientais, tem merecido destaque nos últimos tempos, como, por exemplo, o estudo do comportamento da

aderência entre o aço e o concreto, tendo em vista a adição de resíduos.

Sendo assim, este estudo visa a obtenção de tensões de aderência entre barras de aço e os concretos convencional e leve, obtidas no programa experimental, a partir de formulações teóricas, além de ensaios específicos (conformação superficial e arrancamento (pull out test)), seguindo respectivamente, dedução teórica da tensão de aderência aço-concreto proposta por CASTRO[2] e preconização das normalizações pertinentes, ou seja, NBR 7477[8] e o CEB RC6[3]. Valendo salientar que se incluiu neste estudo adição de resíduos oriundos da indústria farmacêutica.

Posteriormente, a partir dos resultados dos ensaios, realizou-se estudo comparativo entre as tensões de aderência obtidas entre as barras de aço e os concretos bombeados convencional e leve, ambos os tipos acrescidos de resíduo plástico oriundo da indústria farmacêutica.

2 – CONCRETO LEVE

O concreto leve caracteriza-se principalmente, pela massa específica reduzida em relação ao concreto convencional, sendo resultante da incorporação de ar à mistura, reduzindo assim, o peso próprio das estruturas.

Dentre as classificações do concreto leve, o ACI 318R [1] o identifica, conforme sua resistência à compressão e massa específica em: concreto leve de baixa massa específica (compreendida entre 300 kg/m³ e 800 kg/m³, resistência à compressão inferior a 7 MPa, para fins de isolamento térmico), com massa específica de 800 a 1440 kg/m³ e resistência à compressão entre 7 MPa a 17 MPa (característica intermediária entre o concreto de baixa massa específica e o estrutural, quando se trata de isolamento térmico) e o concreto estrutural (de resistência superior a 17 MPa, massa específica entre 1440 kg/m³ a 1850 kg/m³, para fins estruturais utilizado em sua composição agregados leves).

O comportamento do concreto leve é distinto em relação ao concreto convencional ao se tratar, por exemplo, da relação diferenciada entre a resistência à compressão e o fator A/C, uma vez que, o tipo de agregado leve que o compõe influencia diretamente nesta correlação.

A Tabela 1 mostra em termos de massa específica, concretos leves obtidos a partir de agregados leves de características distintas, bem como a finalidade para que fora projetado.

Tabela 1. Massa específica dos agregados leves.

<i>Massa unitária do agregado</i>	<i>Agregados leves</i>	<i>Massa específica do concreto (kg/ m³)</i>	<i>Utilizações</i>
160 a 320	Argila Expandida	1640 a 1800	Concreto estrutural (15 a 45 MPa)
400 a 600	Escórias	1400 a 1900	Concreto isolante e de encunhamento (5 a 15 MPa)
200 a 400	E.P.S	300 a 450	Concreto isolante (0,5 a 5,0 MPa)

Fonte: SÁNCHEZ (1999).[15]

3 – ASPECTOS SOBRE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A conscientização da sociedade brasileira sobre a importância da reciclagem para o desenvolvimento sustentável destaca-se como um dos desafios que pesquisadores, institutos de pesquisa e órgãos públicos enfrentam nos últimos tempos. É, pois, ponto comum, a contribuição de diversos estudos e pesquisas que visam o conhecimento e utilização de diversos resíduos verificando assim, sua real possibilidade de reaproveitamento e, quando não for possível, fornecer subsídios para sua correta deposição.

Sendo assim, pesquisas recentes convergem para a diversificação do aproveitamento de resíduos na construção civil. A utilização de materiais tais como, resíduos provenientes da indústria farmacêutica em concretos, tem sido enfatizada em pesquisas como objeto de estudo, no tocante a viabilidade de seu uso, em proporções adequadas. Diante do exposto, um dos focos de pesquisa da Universidade Federal Fluminense tem sido o reaproveitamento de resíduos na construção civil.

O resíduo plástico utilizado nesta pesquisa experimental é constituído por vários tipos de plásticos, com diferentes características físicas e químicas. Ele é proveniente de aparas e sobras do processo industrial de embalagens e produtos da indústria farmacêutica do Estado do Rio de Janeiro, classificado, como resíduo sólido e inerte, de classe III.(Oliveira [14]).

3.1 Caracterização do resíduo plástico



Figura 1: Aspecto dos grãos de resíduo plástico

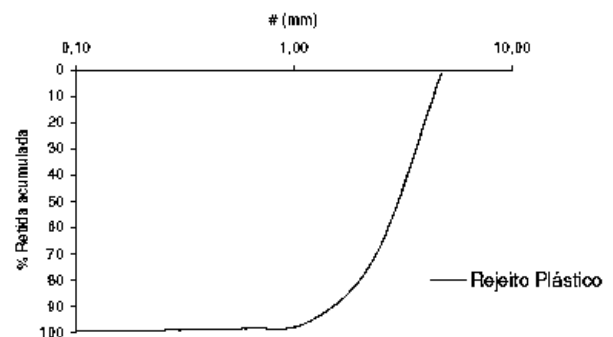


Figura 2: Curva granulométrica do resíduo plástico.

Fonte: FREITAS (2004).[11]

Tabela 2. Caracterização do resíduo plástico.

<i>Características</i>	<i>Resíduo plástico</i>
Massa específica aparente (kg/ m ³)	355
Diâmetro máximo (mm)	6,30
Módulo de finura	5,63
Massa específica real (kg/ m ³)	1020

4 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

No programa experimental foram realizados os ensaios de conformação superficial e arrancamento (*pull out test*), preconizados, respectivamente, pelas normas NBR 7477[8] e CEB RC6[3]; além dos ensaios de caracterização do

concreto para a verificação das resistências à compressão e tração por compressão diametral. Além disso, efetuou-se o ensaio de módulo de deformação secante, preconizado na NBR 8522[10].

4.1 Materiais Constituintes

- Cimento: Portland (CP III 40 RS);
- Agregado miúdo: areia grossa, com $D_{máx}$ equivalente a 4,80 mm;
- Agregado graúdo: com $D_{máx}$ equivalente a 9,50mm (brita zero);
- Resíduo plástico de indústria farmacêutica: de granulometria descontínua do tipo grossa;
- Aditivo plastificante: com massa específica média de 1,2 g/m³;
- Espumogen: aditivo formador de espuma: de origem inorgânica com densidade média de 0,8 g/m³;
- Barras de aço: nervurada com diâmetro nominal de 10,0 mm (sem patamar de escoamento).

4.2 Proporção dos Materiais

Foi adotado para cada traço de concreto 20% de resíduos plásticos de indústria farmacêutica e raspas de pneu substituindo parcialmente o agregado graúdo, em continuidade à pesquisa desenvolvida por MATTOS[12] na instituição.

- Traço CBBA: Concreto bombeado convencional com adição de brita zero como agregado graúdo, utilizando aditivo plastificante.
- Traço CBBE: Concreto bombeado leve com adição de brita zero como agregado graúdo, substituindo o aditivo utilizado no traço anterior por espumogen.
- Traço CBFA: Concreto bombeado convencional, com substituição de 20% da brita zero por resíduo farmacêutico em volume, utilizando aditivo plastificante.
- Traço CBFE: Concreto bombeado leve, com substituição de 20% da brita zero por resíduo farmacêutico em volume, utilizando espumogen.

Tabela 3. Composição dos traços

Traço	Composição (kg)	Fator A/C	Aditiv o plastif.	Espumo gen (%)
CBBA	1:2,094:2,795	0,61	1	--
CBBE	1:2,094:2,795	0,61	--	2
CBFA	1:2,094:2,236:0,188	0,61	1	--
CBFE	1:2,094:2,236:0,188	0,61	--	2

4.3 Ensaios

4.3.1 Ensaio de conformação superficial

O ensaio configura-se em tracionar a armadura inserida num corpo de prova prismático em concreto nos dois extremos, no intuito de determinar o coeficiente de

conformação superficial “ η ”, conforme a NBR 7477[8]. A Figura 3 a seguir, esquematiza o ensaio:

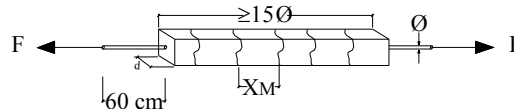


Figura 3. Esquemática do ensaio de conformação superficial.

Para a realização deste ensaio foram moldados 9 corpos de prova prismáticos, de dimensões (15x15x150)cm referente a cada traço dosado em laboratório, totalizando 36 corpos de prova. Vale salientar que esta mesma norma determina que as dimensões das peças moldadas para a realização do ensaio, variam conforme o diâmetro da armadura utilizado (Figura 3).

Em seguida determinou-se o coeficiente de conformação superficial “ η ”, obtido através da Equação 1 a seguir:

$$\eta = \frac{2,25 \times d}{X_M} \quad (1)$$

onde:

d é o lado da seção do tirante

η é o coeficiente de conformação superficial

X_M é a distância média entre as fissuras

Obtendo-se conforme a tabela 4:

Tabela 4. Coeficiente de conformação superficial

Traço	η
CBBA	1,46
CBBE	1,71
CBFA	1,42
CBFE	1,96

A NBR 7480 [9], admite em seu item 5.3.2, para barras com diâmetro igual ou superior a 10 mm, que o valor do coeficiente de conformação superficial máximo seja 1,5. É notório, diante dos dados apresentados na tabela 4 acima, que os traços CBBA e CBFA encontram-se muito próximos ao valor preconizado pela referida norma e os valores de CBBE e CBFE, encontrem-se acima deste valor.

Com base neste ensaio, CASTRO[2] propôs uma dedução teórica a qual, a partir do espaçamento médio entre as fissuras (X_M) obtido no ensaio supracitado, ou seja NBR 7477 [8], fossem calculadas as tensões médias de aderência segundo a Equação 2:

$$\tau_{CASTRO} = 0,375 \times \frac{f_t \times \phi}{X_M \times \rho} \quad (2)$$

onde:

f_t é a resistência à tração por compressão diametral do concreto;

ϕ é o diâmetro da barra de aço utilizada no ensaio;

X_M é o espaçamento médio entre as fissuras;

ρ é a razão entre a área de aço (A_s) e a área de concreto (A_c).

4.3.2 Ensaio de arrancamento (pull out test)

Este ensaio se constitui em medir a força de tração necessária para extrair uma barra de aço posicionada no interior de um corpo de prova em concreto. A tensão média de aderência é obtida a partir da média das tensões verificadas para deslocamentos específicos da barra de aço em 0,01mm; 0,1mm e 1mm, devidamente mensurados com auxílio de deflectômetro, posicionado na extremidade oposta da barra, submetida ao esforço de tração. A Figura 4 ilustra esquematicamente o ensaio.

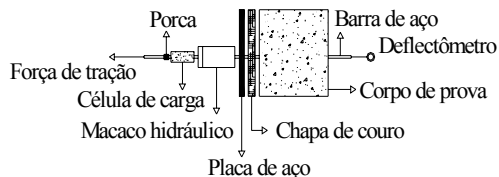


Figura 4: Esquematização do ensaio de arrancamento

Para a realização deste ensaio foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos, para cada traço, cujas dimensões são: 200mm de diâmetro e 100 mm de altura, totalizando 16 corpos de prova.

O CEB RC6[3] estabelece que a tensão de aderência para um deslocamento específico determinado pela equação 3:

$$\tau_{CEB} = \frac{P}{\pi \times \phi \times L_a} \quad (3)$$

onde:

τ_{CEB} = tensão de aderência em MPa

P = carga aplicada em kN

ϕ = diâmetro da barra, em mm

L_a = comprimento de ancoragem

Deste modo, a tensão média de aderência é obtida pela média das tensões relativas aos deslocamentos específicos de 0,01 mm; 0,1 mm e 1 mm (para o caso de não ser atingido este último deslocamento, admiti-se o àquele correspondente à tensão de ruptura), conforme a Equação 4:

$$\tau_{mCEB} = \frac{(\tau_{0,01} + \tau_{0,1} + \tau_{1,0})}{3} \quad (4)$$

onde:

τ_{mCEB} = tensão media de aderência

$\tau_{0,01}$ = tensão de aderência referente ao deslocamento de 0,01mm

$\tau_{0,1}$ = tensão de aderência referente ao deslocamento de 0,1mm

$\tau_{1,0}$ = tensão de aderência referente ao deslocamento de 1mm

4.3.3 Ensaio do módulo de deformação secante

O ensaio preconizado pela NBR 8522[10] constitui-se em aplicar um carregamento crescente num corpo de prova em concreto de dimensões (15x30) cm, à velocidade especificada, com pausas de 60s, sendo obtidas as leituras nos medidores de deformação, para as tensões: $l_0=(0,5\pm 0,1)MPa$; $l_2= 0,2f_c$; $l_3=0,3f_c$; $l_4=0,4f_c$; $l_5=0,5f_c$; $l_6=0,6f_c$; $l_7=0,7f_c$; $l_8=0,8f_c$. Para a realização deste ensaio, foram moldados 3 corpos de prova referente a cada traço, totalizando 12 corpos de prova. A Figura 5 mostra a execução do ensaio.

Para a realização deste ensaio, os corpos de prova foram previamente moldados e armazenados seguindo as recomendações da NBR 5738[4].



Figura 5: Execução do ensaio do módulo de deformação

5 - RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Caracterização do concreto

Para os referidos traços foram apresentadas as resistências à compressão e à tração, respectivamente, em conformidade com a NBR 5739[5] e NBR 7222[7]. As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados de caracterização dos traços.

Tabela 5. Caracterização do concreto

Traço	Resistência à Compressão (f_c) (MPa)	Resistência à Tração (f_t) (MPa)	Módulo de Deformação Secante (GPa) E (GPa)
CBBA	39,06	3,51	26,2
CBBE	6,57	0,47	7,2
CBFA	28,21	2,72	20,6
CBFE	4,67	0,40	4,9

Tabela 6. Caracterização do concreto quanto à massa específica

Traço	Massa específica (kg/m ³)
CBBA	2323,19
CBBE	1778,91
CBFA	2079,74
CBFE	1700,97

5.2 Tensões médias de aderência

A tabela 7, apresenta os valores das tensões médias de aderência obtidas pela dedução teórica proposta por CASTRO[2] e modelo preconizado pelo CEB RC6[3].

Tabela 7. Tensões médias de aderência

Traço	τ_m CASTRO (MPa)	τ_m CEB RC6 (MPa)
CBBA	5,45	7,73
CBBE	0,85	0,40
CBFA	4,11	11,54
CBFE	0,83	0,76

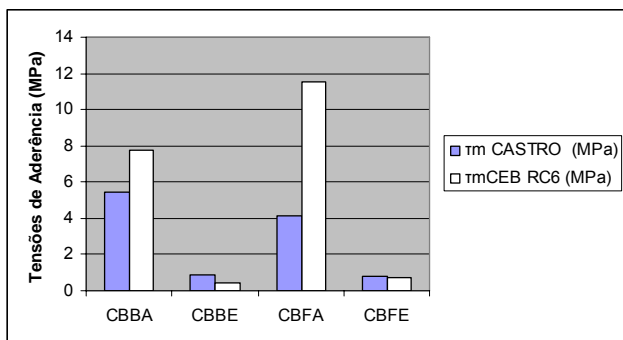


Figura 6: Histograma comparativo entre as tensões de aderência

O histograma comparativo da Figura 6, mostra os valores obtidos nos dois métodos de cálculo das tensões de aderência.

5.3 Análises

As análises estatísticas direcionadas à observação do comportamento dos traços do programa experimental, mostraram, dentre outros aspectos:

- Por meio da ferramenta anova: fator único verificou-se a influência do tipo de aditivo (plastificante ou espumogen) nos resultados da resistência a compressão e tração, conforme a Tabela 8, na qual o fator F calculado se mostrou superior ao tabelado.

Tabela 8. Análise de variância

F (fator)	Calculado	Tabelado
f_c	25,874	18,51
f_t	45,675	18,51

- A tabela 9 remete os resultados da análise de regressão realizada entre os valores da tensão de aderência de

acordo com a dedução teórica proposta por CASTRO[2] e a resistência à compressão e à tração, bem como CEB RC6[3] e os valores das resistências à compressão e à tração com a finalidade de constatar a mera casualidade ou não da curva obtida através desta análise, ou seja, para verificação da interferência entre os parâmetros utilizados na análise estatística.

Tabela 9. Análise de regressão

F (fator)	Calculado	Tabelado
$f_c \times \tau_m$ CASTRO	711,7670	0,00140
$f_t \times \tau_m$ CASTRO	1747,527	0,00057
$f_c \times \tau_m$ CEB RC6	5,06280	0,15334
$f_t \times \tau_m$ CEB RC6	6,80830	0,12082

Mediante o exposto, verificou-se a existência de correlação entre parâmetros mencionados, tendo em vista que os valores de F calculados são maiores que os valores tabelados.

- A mesma análise foi realizada entre as tensões de aderência proposta nos dois modelos, conforme a Tabela 10:

Tabela 10. Análise de regressão

F (fator)	Calculado	Tabelado
τ_m CASTRO X τ_m CEB RC6	5,933	0,1351

Como o valor do fator F calculado sobrepõe ao F tabelado, há correlação entre as tensões médias de aderência.

6 – CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios de caracterização dos concretos em que foram utilizados resíduos plásticos de indústria farmacêutica, quanto ao comportamento da aderência, em geral, mostraram-se inferiores ao serem comparados ao traço de concreto “convencional”, neste trabalho tratado como CBBA.

Acrescenta-se a este fato que, embora a massa específica dos concretos com adição de resíduos e espumogen, os caracterizassem como leves, comparáveis aos concretos leves com argila expandida e escória citados na tabela de SÁNCHEZ [15], as respectivas resistências à compressão apresentaram-se inferiores, sendo comparadas ao concreto com adição de E.P.S, com finalidade isolante.

No ensaio de caracterização do traço CBFA (Concreto bombeado convencional, com substituição de 20% da brita zero por resíduo farmacêutico em volume, utilizando aditivo plastificante), é notório que sua resistência à compressão aos 28 dias, foi satisfatória, atendendo aos requisitos na NBR 6118[6]. Salienta-se que embora atingisse tal resultado satisfatório, houve perda de 27% no valor da resistência à compressão em comparação ao traço CBBA, fato não constatado para o traço em que a adição de espumogen demandou redução em 88% no mesmo parâmetro.

A observação quanto ao comportamento do concreto nos traços constituídos por resíduo farmacêutico faz-se preponderante em relação ao módulo de deformação, apresentando uma redução de 21% em comparação ao traço de controle CBBA. Observou-se que a presença de espumogen elevou significativamente o valor do coeficiente de conformação superficial preconizado na NBR 7477[8].

Embora não fosse possível garantir a viabilidade e/ou possibilidade de aplicação de concretos celulares com adição de resíduos, para utilização estrutural, este estudo se propôs enfatizar e fortalecer as pesquisas sobre desenvolvimento sustentável na construção civil. Torna-se imperativo verificar a reprodutibilidade e repetitividade dos resultados obtidos e compará-los a outros resultados, onde sejam utilizadas diferentes porcentagens de resíduos.

REFERÊNCIAS

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318 R – “Building code requirements for structural concrete and commentary”, 1995, 365 p.
- [2] CASTRO, Protasio F., “Notas sobre o estudo da aderência aço-concreto”, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2000.
- [3] COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETON. CEB. “Recommendation RC 6: Bond test for reinforcement steel – Pull Out Test”
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 – “Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – procedimento”, Rio de Janeiro, 1994, 9p.
- [5] _____. NBR 5739 - “Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos”; Rio de Janeiro, 1994, 4p.
- [6] _____. NBR 6118 – “Projeto de estruturas de concreto – procedimento”, Rio de Janeiro, 2003, 170p.
- [7] _____. NBR 7222 – “Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos”, Rio de Janeiro, 1993, 3p.
- [8] _____. NBR 7477 “Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado - Método de ensaio”, Rio de Janeiro, 1982, 5p.
- [9] _____. NBR 7480 “Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado”, Rio de Janeiro, 1996, 7p.
- [10] _____. NBR 8522 – “Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação”, Rio de Janeiro, 2003, 9p.
- [11] FREITAS, Itamar messias de, “Produção e propriedades físicas e mecânicas do concreto celular espumoso”. Niterói, 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.
- [12] MATTOS, Marcos Paulo C., “Aplicação sustentável de materiais alternativos em blocos de concreto celular”. Niterói, 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.
- [13] OLIVEIRA, Kelly Rejane de Souza. “Aderência da armadura ao concreto leve com adição de resíduos”. Niterói, 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.
- [14] OLIVEIRA, Thaís Mayra de. “Rejeito em plásticos: Um estudo do potencial de aplicação na construção”. Niterói, 2002. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.
- [15] SÁNCHEZ, Emil. “Nova normalização brasileira para o concreto estrutural”. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1999. 331p.