

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INTERFACE GRAUTE/BLOCO ESTRUTURAL DE CONCRETO E CERÂMICO

Orieta Soto Izquierdo¹ & Márcio Roberto Silva Corrêa²

Resumo

Este trabalho tem como objetivo principal estudar o comportamento da interface bloco/graute, tanto para blocos de concreto como cerâmicos e com a presença ou não de armadura, submetidos a solicitações que provocam tração e compressão. Foram feitos ensaios de “push-out” (empurramento) para determinar a resistência de aderência na interface bloco/graute e ensaios de “pull-out” (arrancamento) considerando-se a presença de barras de armadura para o estudo do comportamento do conjunto graute/bloco/armadura. Os resultados mostram uma boa aderência entre as paredes dos blocos de concreto e o graute, suficiente para evitar o escorregamento, sendo possível mobilizar toda a resistência de tração das armaduras de diâmetros usuais, desde que devidamente ancoradas. Já com os blocos cerâmicos observa-se uma menor aderência entre as paredes dos blocos e o graute, podendo ocorrer o escorregamento do material de enchimento, antes que a armadura alcance sua tensão de escoamento.

Palavras-chave: Interface bloco/graute. Influência do grauteamento. Resistência à compressão. Aderência. Rugosidade.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE BLOCK/GROUT INTERFACE IN CONCRETE AND CLAY STRUCTURAL BLOCK

Abstract

This work aims to study the behavior of the block/grout interface, both for concrete and clay blocks, with and without reinforcement, submitted to tensile and compressive forces. Experimental and numerical resources were used to development of this study. The experimental program studied the masonry behavior using push-out specimens to determine the bond strength between the grout and the concrete unit, and pull-out specimens to study the behavior of the interface of the grout/block/reinforcement. The experimental results showed that there is a good bond between the concrete blocks internal faces and the grout, enough to prevent infill-slippage, and that the whole tensile strength of the usual reinforcement rebars is achieved provided they are properly anchored. Nevertheless, for clay blocks there is a low bond between the clay blocks internal faces and the grout, allowing the infill-slippage before the reinforcement bars reach their yield stress

Keywords: Block/grout interface. Influence of grouting. Compressive strength. Bond. Roughness.

¹ Doutora em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, orieta@sc.usp.br

² Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, mcorrea@sc.usp.br

1 INTRODUÇÃO

Na alvenaria o graute é usado para preencher os vazados verticais ou horizontais, aumentando a resistência e permitindo aderência da armadura. Dessa forma, o graute é um essencial componente da alvenaria armada, mas poucas pesquisas têm sido realizadas para avaliar a influência dos constituintes do graute, dos procedimentos de preenchimento do graute e das propriedades de absorção das unidades em contato com diferentes tipos de grautes.

Dois tipos de aderências podem ser considerados no desempenho da alvenaria armada: entre armadura e graute e entre bloco e graute. A aderência desenvolvida entre a armadura e o graute é um fenômeno complexo que surge pelas forças de interação que ocorrem nas nervuras e superfície da armadura e a massa do graute. A aderência entre o graute e a superfície das unidades de alvenaria, por outro lado, está principalmente limitada pela adesão que pode desenvolver-se na interface (SORIC E TULIN, 1987).

O mecanismo de deslizamento entre as superfícies de contato do bloco e do graute é semelhante ao fenômeno de aderência graute/armadura. Em ambos os casos, as resistências de aderência são influenciadas pelas irregularidades micro e macroscópicas das superfícies de contato. O preenchimento das micro ou macro cavidades formam os pontos de embricamento, imobilizam mecanicamente o deslizamento. A ruptura da aderência se dá pela ausência ou destruição desses pontos de embricamento (PEREIRA DE OLIVEIRA, 1994).

Existem poucas pesquisas realizadas sobre o estudo da interface graute/bloco na alvenaria estrutural, sendo algumas delas citadas a seguir.

Soric e Tulin (1987) estudaram a aderência entre a armadura e o graute e a aderência entre o graute e as superfícies das unidades de alvenaria. O estudo desta última foi feito através de ensaios de empurramento “push-out” em corpos de provas de blocos de concreto. Os corpos de provas consistiram em um simples meio bloco grauteado, em que a carga foi aplicada na superfície do graute pela prensa, enquanto que o bloco foi suportado apenas em torno da sua superfície inferior. A carga foi incrementada monotonicamente e a ruptura foi tipicamente caracterizada por esmagamento da parede do bloco. A resistência de aderência foi calculada dividindo a carga máxima pela área da superfície de interface entre o graute e o bloco. A média da tensão de aderência obtida nos ensaios de “push-out” foi de aproximadamente 1,52 MPa, sendo que os autores indicam a necessidade de mais ensaios para caracterização final.

Soric e Tulin (1988) estudaram a aderência na alvenaria armada através de ensaios de arrancamento “pull-out” em corpos de provas de blocos de concretos e cerâmicos, tendo em conta a presença de armaduras. Essa aderência depende fundamentalmente da textura da barra, da carga aplicada, do comprimento de ancoragem e das características do graute. Os autores variaram o tipo de material dos blocos (concreto e cerâmicos), o diâmetro das armaduras (12,5 mm e 22 mm) e o comprimento de ancoragem das armaduras. Os autores concluíram que os corpos de provas construídos com blocos cerâmicos e reforçados com armadura de 12,5 mm mostraram comportamento similar aos construídos com blocos de concreto e o mesmo diâmetro de armadura. Já os corpos de prova reforçados com armadura de 22 mm e com blocos cerâmicos atingiram uma tensão máxima equivalente a 25% da tensão de escoamento da armadura e os construídos com blocos de concreto chegaram a 50% da tensão de escoamento do aço.

Pereira de Oliveira (1998) pesquisou a relação entre a tensão de aderência na interface graute/bloco e a resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto. Para isso estudou vários tipos de grautes variando a relação água/cimento e a área específica dos agregados. O estudo mostrou que a resistência de aderência do graute é melhorada com a diminuição da relação água/cimento e que essa resistência cresce com o aumento da área específica dos agregados até um máximo para em seguida diminuir. A resistência à compressão da alvenaria aumenta com o incremento da resistência de aderência da interface graute/bloco.

Biggs (2005) estudou a substituição do graute pela argamassa através de ensaios de arrancamento “pull-out” em corpos de provas de blocos de concreto com armadura embutida no material de enchimento. Modelos foram desenvolvidos para comparar o comportamento da argamassa de enchimento e o graute em prismas de dois meios blocos de concreto (406,4 mm de altura), contendo armadura. Foram estudados quatro tipos de argamassa e dois tipos de grautes. Embora os resultados mostrem que os corpos de provas preenchidos com graute apresentaram maior força de ruptura que os preenchidos com argamassa, o autor concluiu que a argamassa feita com cimento Portland e cal é uma alternativa viável. Alguns dos resultados de Biggs (2005) serão comparados posteriormente aos obtidos no presente trabalho.

Embora os resultados experimentais sejam escassos e não conclusivos, observa-se que a normalização internacional dá pouco destaque para o assunto, com exceção da brasileira [ABNT NBR 15961-1:2011 e ABNT NBR 15812-1:2010, para alvenaria de blocos de concreto e cerâmicos, respectivamente] que estabelece limite de 50% para a máxima tensão de escoamento da armadura longitudinal tracionada. Observe-se que essa solicitação é relevante nos edifícios de maior altura (no Brasil edifícios de 20 andares em alvenaria estrutural não são incomuns) e naqueles em que as ações sísmicas são de grande intensidade. Diante desse quadro é que se justifica o presente estudo, buscando principalmente verificar a necessidade de se impor tais limites.

É por isso que este trabalho tem como objetivo fundamental estudar o comportamento da interface graute/bloco em peças de alvenaria estrutural armada de blocos de concreto e cerâmicos, através de ensaios experimentais de “push-out” e “pull-out”.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido com base em programa experimental, para o estudo do comportamento da alvenaria. Foram utilizados os ensaios de “push-out” para determinar a resistência de aderência na interface graute/bloco, e o de “pull-out” para o estudo do comportamento do conjunto graute/bloco/armadura. Nesses ensaios foram variados: o tipo de material das unidades de alvenaria (concreto e cerâmico), o traço do graute (dois tipos de traço foram estudados) e o diâmetro das armaduras (12,5 mm e 16 mm). Tais testes laboratoriais foram precedidos por ensaios de caracterização dos materiais.

2.1 Ensaio de “push-out”

Os corpos de prova para o ensaio de “push-out” consistiram em um bloco grauteado em um de seus furos. O graute saliente da superfície do bloco a uma distância de 3 cm foi carregado à compressão diretamente pelo prato da prensa na superfície superior, sendo suportado apenas o perímetro do bloco na superfície inferior. A resistência de aderência foi calculada dividindo-se a carga máxima obtida pela área da superfície de contato entre o graute e a unidade de alvenaria. A Figura 1 mostra as dimensões nominais dos modelos e a Figura 2 a configuração do ensaio para ambos os blocos.

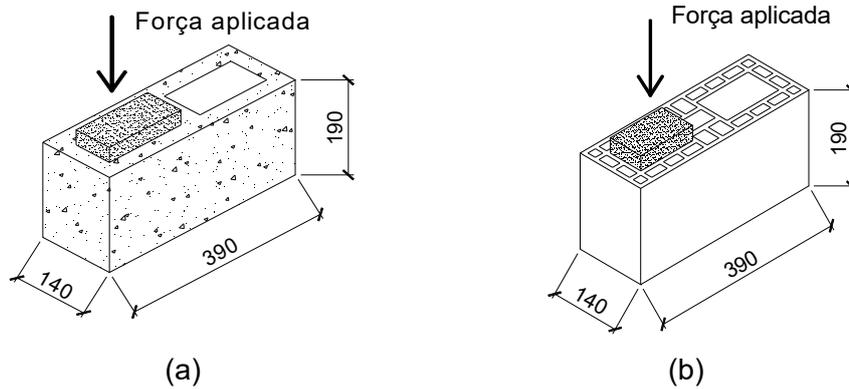


Figura 1 – Dimensões nominais do ensaio de “push-out” para os blocos de concreto (a) e blocos cerâmicos (b) (medidas em mm)

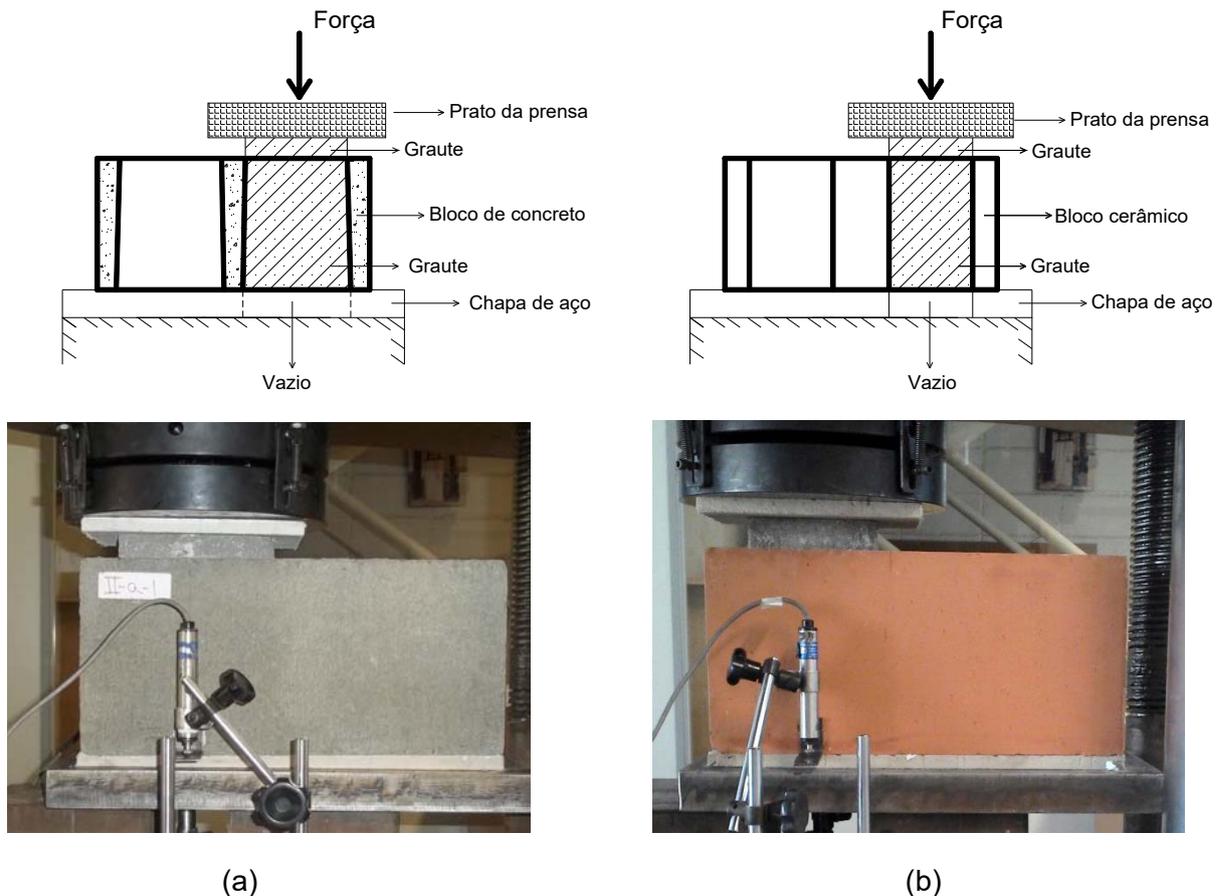


Figura 2 – Esquema de ensaio de “push-out” para os blocos de concreto (a) e cerâmicos (b)

Cabe ressaltar que os blocos estruturais de concreto apresentam conicidade no interior dos seus furos, ou seja, as paredes têm espessura variável ao longo de sua altura. Os resultados apresentados neste artigo correspondem à situação em que as espessuras maiores estão voltadas para cima, com a carga aplicada para baixo portanto, a favor da segurança.

Dois tipos de grautes foram estudados: um de menor resistência e maior fator água/cimento (graute G14) e outro de maior resistência e menor fator água/cimento (graute G30). Foram confeccionados 6 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) para cada tipo de graute, sendo um total de 12 corpos de prova para os blocos de concreto e 12 corpos de prova para os blocos cerâmicos. Foram identificadas duas séries para o ensaio de “push out”, denominadas de acordo com o tipo de graute.

2.2 Ensaio de “pull-out”

Os corpos de prova de blocos de concreto foram conformados por prismas de 5 blocos grauteados em um de seus furos e com a armadura embutida no graute. Foram grauteados os 4 primeiros blocos, deixando o último como apoio. Os corpos de prova de blocos cerâmicos foram conformados por prismas de 4 blocos, sendo todos grauteados. A armadura foi submetida a uma força de tração com o objetivo de estudar o conjunto graute/bloco/armadura. Figura 3 mostra as dimensões nominais dos modelos e a Figura 4 o esquema de ensaio.

Nesses modelos variou-se o tipo de graute (grautes G14 ou G30) e o diâmetro das armaduras (12,5 mm e 16 mm), sendo construídas quatro séries para cada tipo de bloco, cada uma com 6 corpos de prova, sendo um total de 24 espécimes de blocos de concreto e 24 de blocos cerâmicos.

As quatro séries foram denominadas da seguinte maneira:

- Série I: Graute G14 e armadura de 12,5 mm
- Série II: Graute G30 e armadura de 12,5 mm
- Série III: Graute G14 e armadura de 16 mm
- Série IV: Graute G30 e armadura de 16 mm

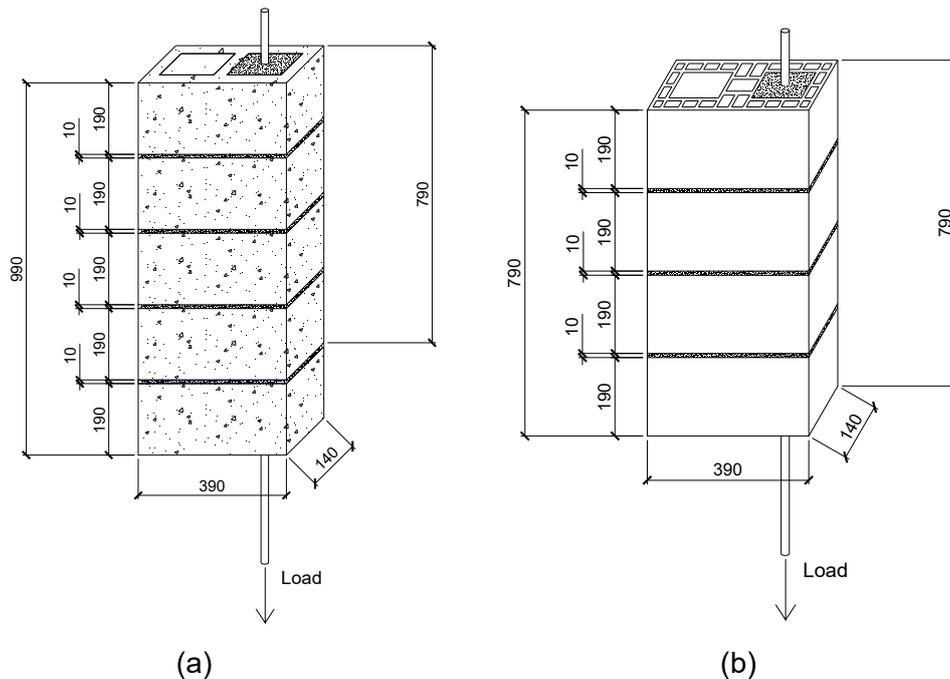


Figura 3 – Dimensões nominais do ensaio de “pull-out” para os blocos de concreto (a) e blocos cerâmicos (b) (medidas em mm)

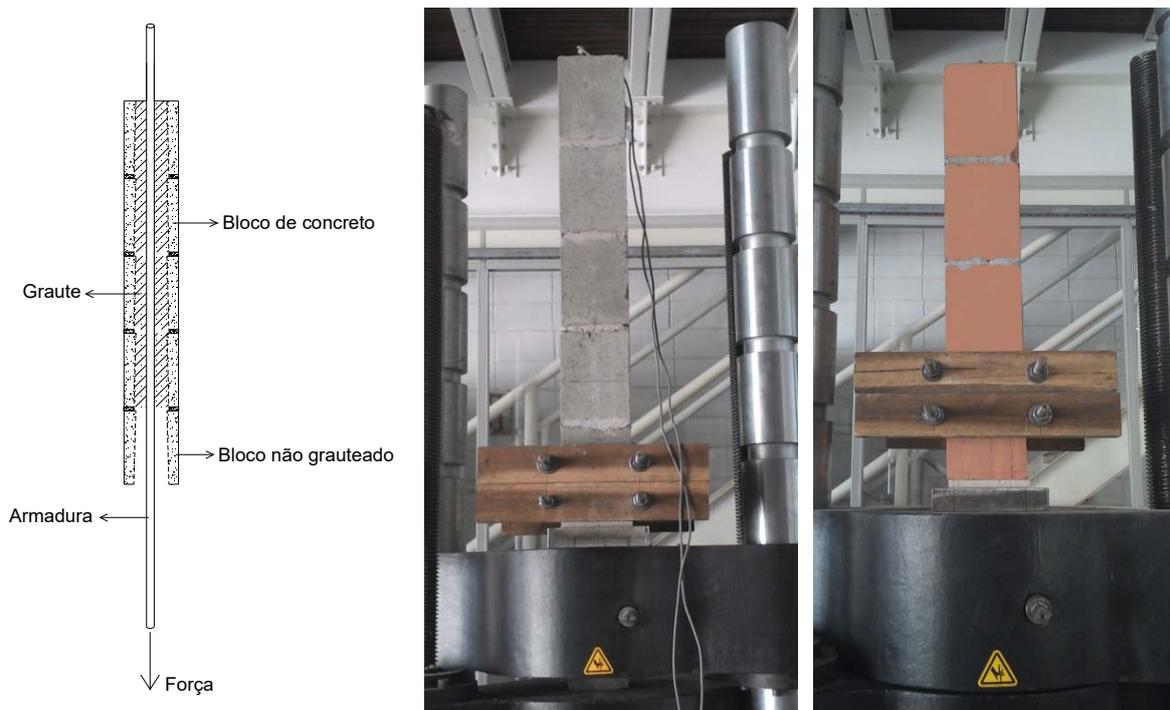


Figura 4 – Esquema de ensaio de “pull-out” para os blocos de concreto e cerâmicos

Complementarmente, objetivando a caracterização dos materiais empregados, foram feitos ensaios de resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos de argamassa (5 cm x 10 cm), de corpos de prova cilíndricos de graute (10 cm x 20 cm) e de unidades de concreto e cerâmicas. Todos os corpos de prova foram retificados para minimizar a concentração de tensões durante a realização do ensaio. Também foi feito o ensaio de resistência à tração das armaduras, para cada diâmetro utilizado. Todos esses ensaios foram feitos tanto para os blocos de concreto como para os blocos cerâmicos.

A terminologia para descrever os corpos de prova ficou da seguinte maneira. Por exemplo, a nomenclatura CoG14Ø12 significa: Co (ou Ce) = blocos de concreto (ou cerâmicos); G14 (ou G30) = graute com resistência à compressão de 14 MPa (ou 30 MPa); Ø12 (ou Ø 16) = diâmetro da barra de armadura de 12,5 mm (ou 16 mm).

3 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados experimentais obtidos divididos em dois grandes grupos, referentes aos blocos de concreto e aos blocos cerâmicos.

Quando necessário, são utilizados testes estatísticos com o intuito de avaliar as diferenças dos resultados experimentais obtidos, a um determinado nível de significância.

Os testes estatísticos foram o teste F, para a análise da homogeneidade das variâncias, e o teste T ou “t de Student” correspondente, para a análise das médias. Admitiu-se como hipótese nula, a igualdade das médias ou das variâncias dos dois conjuntos de dados, a um nível de significância de 5%.

3.1 Resistência à compressão

3.1.1 Argamassa

A Tabela 1 mostra o valor da resistência média à compressão dos 6 corpos de provas de argamassa, além dos resultados estatísticos. O traço em volume utilizado para a confecção da argamassa foi de 1:0,5:4,5.

Tabela 1 – Resistência média à compressão da argamassa utilizada

Blocos de concreto			Blocos cerâmicos		
Resistência média (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	C.V (%)	Resistência média (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	C.V (%)
4,45	0,57	12,74	4,96	0,35	7,11

Esse traço de argamassa foi selecionado nos ensaios desta pesquisa por ser desejável a utilização de argamassas menos resistentes e mais deformáveis que as unidades. As duas argamassas não apresentaram diferenças significativas.

3.1.2 Graute

Foram ensaiados seis corpos de provas para cada tipo de graute. O traço em massa do graute G14 foi de 1:3,06:2,94 com uma relação água/cimento de 0,95; e o traço em massa do graute G30 foi de 1:1,90:2,21 com uma relação a/c de 0,65. A Tabela 2 mostra os resultados médios da resistência à compressão e módulo de elasticidade do graute G14 e G30 utilizados no preenchimento dos blocos de concreto e a Tabela 3 os utilizados nos blocos cerâmicos. O módulo de elasticidade do graute G14 e G30 para os blocos cerâmicos não foi obtido.

Tabela 2 – Resistência média à compressão e módulo de elasticidade do graute G14 e graute G30 para os blocos de concreto

	Força máxima (kN)	Resistência média (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
Graute G14	112,60	14,34	20521,17
C.V (%)	5,26	5,26	7,63
Graute G30	235,92	30,04	29719,67
C.V (%)	3,16	3,16	3,50

Tabela 3 – Resistência média à compressão do graute G14 e graute G30 para os blocos cerâmicos

	Força máxima (kN)	Resistência média (MPa)
Graute G14	111,35	14,18
C.V (%)	2,97	2,96
Graute G30	246,83	31,43
C.V (%)	2,83	2,84

Como já explicado anteriormente, o traço do graute G14 foi feito para obter uma resistência média à compressão menor que a do graute G30. Também o graute G30 apresentou maior módulo de elasticidade que o graute G14, coerentemente com a sua maior resistência.

A análise estatística mostrou que os valores de resistência e módulo de elasticidade dos grautes G14 e G30 são significativamente diferentes, tanto para os blocos cerâmicos como para os

blocos de concreto. Estatisticamente os valores obtidos para um mesmo tipo de graute, correspondentes a ensaios de blocos de diferentes materiais, não mostraram diferenças significativas.

Isso mostra que o controle na confecção dos dois tipos de grautes para cada tipo de bloco foi rigoroso, repetindo-se o mesmo padrão de execução em cada betonada para não obter grandes variações nos resultados. Considerou-se desnecessária a obtenção do módulo de elasticidade dos grautes G14 e G30 para os blocos cerâmicos, devido à semelhança dos resultados de resistência à compressão com os grautes G14 e G30 dos blocos de concreto.

3.1.3 Bloco

Foram ensaiados seis blocos de concreto e seis blocos cerâmicos à compressão. A Tabela 4 mostra os resultados da resistência média à compressão e o módulo de elasticidade referido à área bruta.

Tabela 4 – Resistência média à compressão e módulo de elasticidade dos blocos de concreto e cerâmicos na área bruta

	Blocos de concreto			Blocos cerâmicos		
	Força máxima (kN)	Resistência média (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Força máxima (kN)	Resistência média (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
Média	557,03	10,21	9914,01	586,58	10,89	3476,50
C.V (%)	5,03	4,78	7,54	13,70	13,94	11,65

Observando os resultados da Tabela 4 pode-se concluir que a resistência média à compressão dos blocos de concretos e cerâmicos foi similar. Estatisticamente esses valores não podem ser considerados diferentes para um nível de significância de 5%.

3.1.4 Resistência à tração da armadura

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos no ensaio à tração realizado em três corpos de prova das armaduras de 12,5 mm e 16 mm de diâmetro, utilizadas na confecção dos corpos de prova de blocos de concreto e cerâmicos para o ensaio de “pull-out”. A tensão de escoamento foi calculada de acordo com a ABNT NBR 7480:2007.

Tabela 5 - Resultados do ensaio à tração das armaduras para os blocos de concreto e cerâmicos

Diâmetros		Blocos de concreto		Blocos cerâmicos	
		Força de ruptura (kN)	Tensão de escoamento (MPa)	Força de ruptura (kN)	Tensão de escoamento (MPa)
12,5 mm	Média	98,95	556,24	93,32	534,15
	C.V (%)	0,82	2,18	1,39	2,95
16 mm	Média	141,97	588,60	159,85	583,52
	C.V (%)	1,29	2,02	1,20	2,79

3.2 Ensaio de “push-out”

3.2.1 Tensão de aderência

A tensão média de aderência neste modelo de ensaio foi calculada dividindo a força máxima aplicada pela área de contato entre o graute e as paredes do furo do bloco. O valor da área calculada para um furo de bloco de concreto foi de 813,2 cm² e para um furo de bloco cerâmico foi de 722,0 cm².

A Tabela 6 mostra os resultados médios da carga última de ruptura e a resistência de aderência do ensaio de “push-out” para os blocos de concreto e cerâmicos.

Importante esclarecer que no caso dos blocos de concreto, a razão “força máxima/área interna do furo” não é a própria resistência de aderência e sim um limite inferior desta propriedade, uma vez que a ruptura é tipicamente causada pela resistência à tração das unidades, como será descrito a seguir.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de “push-out” para os blocos de concreto e cerâmicos

	Blocos de concreto		Blocos cerâmicos	
	Força máxima (kN)	Limite inferior de aderência (MPa)	Força máxima (kN)	Resistência de aderência (MPa)
G14	38,40	0,47	11,64	0,16
C.V(%)	11,38	11,36	11,31	11,31
G30	53,65	0,66	14,02	0,19
C.V(%)	9,47	9,47	8,87	8,87

Fazendo-se uma análise em relação ao tipo de graute, pode-se dizer que a resistência de aderência que se cria na interface graute/bloco é maior para aqueles blocos grauteados com o graute G30, o de maior resistência e menor fator água/cimento. Já para o graute de menor resistência (G14) essa interface é menos resistente. Estatisticamente esses valores mostraram diferenças significativas. Esse fato ocorreu tanto para os blocos de concreto como para os blocos cerâmicos. Portanto, o tipo de graute influencia a aderência que se cria entre o graute e as paredes dos blocos, sendo essa influência mais perceptível no caso dos blocos de concreto.

Pereira de Oliveira (1998) concluiu que com a diminuição da relação água/cimento a resistência de aderência na interface graute/bloco de concreto é melhorada. Essa conclusão coincide com os resultados obtidos no ensaio de “push-out” desta pesquisa, em que o graute G30 foi feito com uma relação água/cimento inferior à do graute G14, apesar de terem traços diferentes.

Já Soric e Tulin (1987) obtiveram uma resistência média de aderência em torno de 1,52 MPa para um graute com resistência média à compressão de 19 MPa e bloco de concreto de 15,61 MPa. Eles observaram o mesmo modo de ruptura apresentado nesta pesquisa e chamaram de tensão de aderência da interface a razão entre a força máxima aplicada e a área interna do furo.

Fazendo-se uma análise em relação ao tipo de bloco, os resultados da Tabela 6 revelam que os blocos de concreto apresentaram uma resistência de aderência superior à dos blocos cerâmicos. A análise estatística comprovou que esses dois grupos de resistência de aderência são significativamente diferentes, ou seja, o tipo de material do bloco influencia a resistência de aderência que se cria entre o graute e as paredes dos blocos.

Esse fato evidencia-se também qualitativamente. A Figura 5 mostra a textura do graute para cada tipo de bloco, podendo-se perceber que o graute inserido nos blocos de concreto exibe uma superfície mais rugosa, já aquele inserido nos blocos cerâmicos apresenta uma superfície mais lisa, o que favorece o deslizamento, gerando uma interface de baixa aderência entre o graute e as paredes dos blocos. Observe-se que a rugosidade é consistente com a própria natureza da superfície do material do bloco em que o graute é inserido.

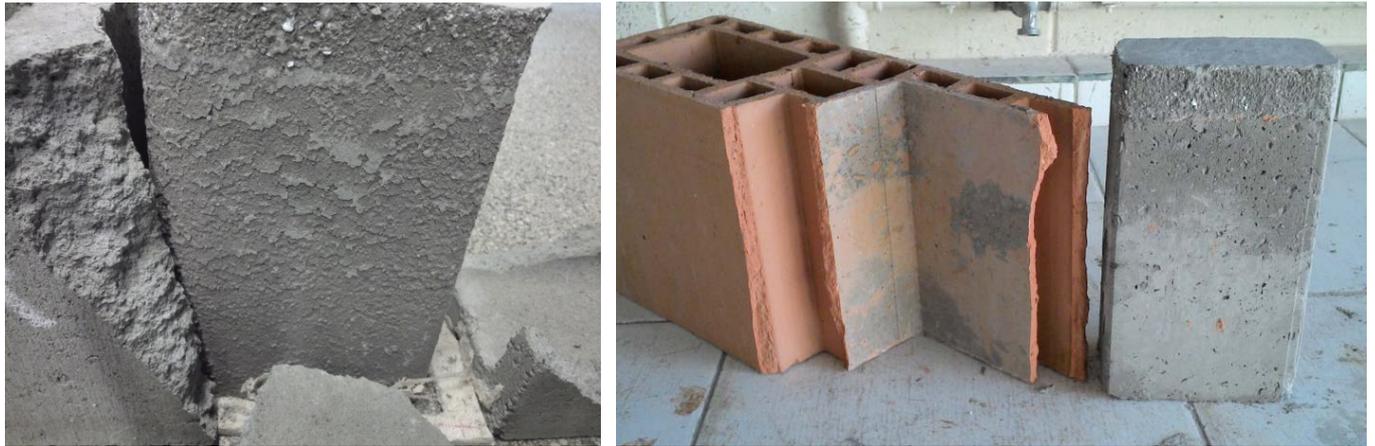


Figura 5 – Superfícies entre o graute e os blocos de concreto e cerâmico

3.2.2 Modo de ruptura

Observou-se nos ensaios de “push-out” uma boa aderência entre o graute e as paredes dos blocos de concreto, já que não houve escorregamento para as duas séries ensaiadas (ver Figura 6). Já nos blocos cerâmicos houve escorregamento para os dois tipos de graute. A Figura 7 mostra o bloco antes e depois do ensaio.



Figura 6 – Ruptura típica do ensaio de “push-out” para os blocos de concreto



Figura 7 – Ruptura típica do ensaio de “push-out” para os blocos cerâmicos antes (a) e depois (b) do ensaio

A ruptura no caso dos blocos de concreto foi tipicamente caracterizada pela fratura das paredes dos blocos em ambas as séries, como mostra a Figura 6. Essa ruptura foi produto da transferência de tensões do graute para as paredes dos blocos através da interface, indicando uma boa adesão. Justifica-se esse comportamento pela similaridade entre os materiais que conformam o

graute e o concreto dos blocos, além da já citada rugosidade das superfícies em contato. Embora não tenha ocorrido o deslizamento, com a ruptura do bloco rompe-se a aderência, estabelecendo, portanto, limite para essa propriedade.

Já nos blocos cerâmicos houve escorregamento do graute, como ilustrado na Figura 7, demonstrando uma fraca transferência de tensões do graute para as paredes dos blocos cerâmicos através da interface, o que evidencia baixa adesão nessa interface.

3.3 Ensaio de “pull-out”

Como citado anteriormente, o ensaio de “pull-out” considera a presença de barras de armaduras nos corpos de prova. Neste estudo o comprimento de ancoragem foi calculado segundo a norma brasileira de concreto a ABNT NBR 6118:2007, por ser o cálculo da tensão de aderência graute/aço mais detalhado do que o da norma de alvenaria ABNT NBR 15961-1:2011 que não considera a influência da resistência do graute.

Segundo as características dos materiais empregados nesta pesquisa, o comprimento de ancoragem calculado é mostrado na Tabela 7, válido tanto para os blocos cerâmicos como para os de concreto.

Tabela 7 – Comprimento de ancoragem calculado

Série	Ø da barra (mm)	Graute	Comprimento de ancoragem (lb) (cm)
I	12,5	G14	57
II	12,5	G30	35
III	16	G14	73
IV	16	G30	44

Os valores do comprimento de ancoragem mostrados na tabela para as diferentes séries encontram-se dentro do limite de comprimento máximo deixado nas armaduras embutidas nos corpos de provas desta pesquisa, como mostrado na Tabela 7.

Os diâmetros escolhidos para esta pesquisa foram 12,5 mm e 16 mm, por serem os mais utilizados na alvenaria armada no Brasil, nos edifícios de maior altura. Observe-se que as normas brasileiras de alvenaria para blocos de concreto e cerâmicos [ABNT NBR 15961-1:2011 e ABNT NBR 15812-1:2010] não permitem que as armaduras alojadas em um mesmo espaço grauteado tenham área da seção transversal superior a 8% da correspondente área da seção do graute envolvente, considerando-se eventuais regiões de traspasse. Em termos práticos isso significa utilizar barras de diâmetro máximo de 20 mm, sendo usual limitar o diâmetro a 16 mm.

3.3.1 Ensaio de “pull-out” para os blocos de concreto

A Tabela 8 mostra os resultados médios da força última e da tensão máxima obtidos no ensaio de “pull-out” para os blocos de concreto para as quatro séries.

Tabela 8 – Resultados médios do ensaio de “pull-out” para os blocos de concreto

Série	Média da Força Última (kN)	Média da Tensão Última (Mpa)
CoG14S12	96,33	784,93
CoG30S12	98,17	799,98
CoG14S16	155,78	774,79
CoG30S16	159,02	790,93

A Figura 8 apresenta os valores médios da força última do ensaio de “pull-out” para os blocos de concreto das quatro séries ensaiadas e como referência foi plotado o valor da força de escoamento e a força última das armaduras, ambos no ensaio de tração simples, para um melhor entendimento dos resultados.

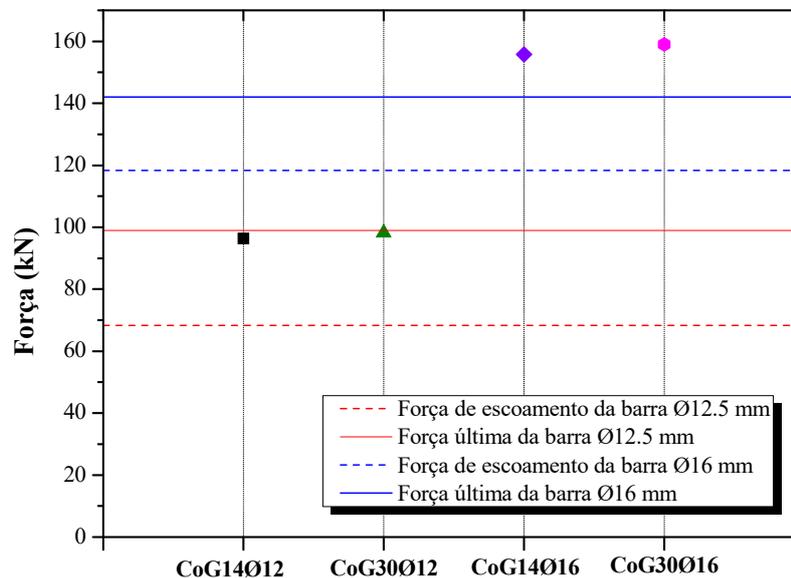


Figura 8 – Resultados do ensaio de “pull-out” para os blocos de concreto: com a força de escoamento das armaduras e com a força última das armaduras

Analisando-se os resultados da Figura 8, pode-se dizer que as armaduras embutidas na alvenaria ultrapassaram sua tensão de escoamento sem escorregar. Nota-se, também, que a capacidade de carga foi definida pela tração no aço, não havendo deslizamento deste em relação ao graute ou do graute em relação ao bloco. Isso se nota facilmente pela observação dos resultados apresentados na Tabela 8, em que os limites são praticamente iguais para barras de mesmo diâmetro. Os corpos de prova com armadura de diâmetro 16 mm alcançaram uma carga de ruptura superior à caracterizada pelo mesmo aço, pelo o que houve uma excelente distribuição e transferência de tensão entre o aço e o graute. Já naqueles com armadura de 12,5 mm a força de ruptura ficou bem próxima à caracterizada pela armadura, demonstrando que também houve um bom comportamento. Os resultados da Figura 8 demonstram claramente que quem comandou a ruptura dos corpos de provas foi o tipo de aço e não o tipo de graute.

Como já foi dito anteriormente, a norma brasileira de alvenaria estrutural de blocos de concreto considera para o cálculo das armaduras o limite de metade da sua tensão de escoamento. De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se dizer que o limite de 50% da tensão de escoamento do aço, prescrito pela norma brasileira de alvenaria estrutural de blocos de concreto (ABNT NBR 15961-1:2011), é muito conservador.

3.3.2 Ensaio de “pull-out” para os blocos cerâmicos

A Tabela 9 mostra os resultados médios da força última e da tensão máxima obtidos nos corpos de blocos cerâmicos para as quatro séries.

Tabela 9 – Resultados médios do ensaio de “pull-out” para os blocos cerâmicos

Série	Média da Força Última (kN)	Média da Tensão Última (Mpa)
CeG14S12	48,47	394,95
CeG30S12	59,26	482,91
CeG14S16	48,96	243,49
CeG30S16	60,11	298,94

A Figura 9 representa os valores médios da força última das quatro séries para os blocos cerâmicos e como referência foi plotado o valor da força de escoamento a força última das armaduras, ambos no ensaio de tração simples, para um melhor entendimento dos resultados.

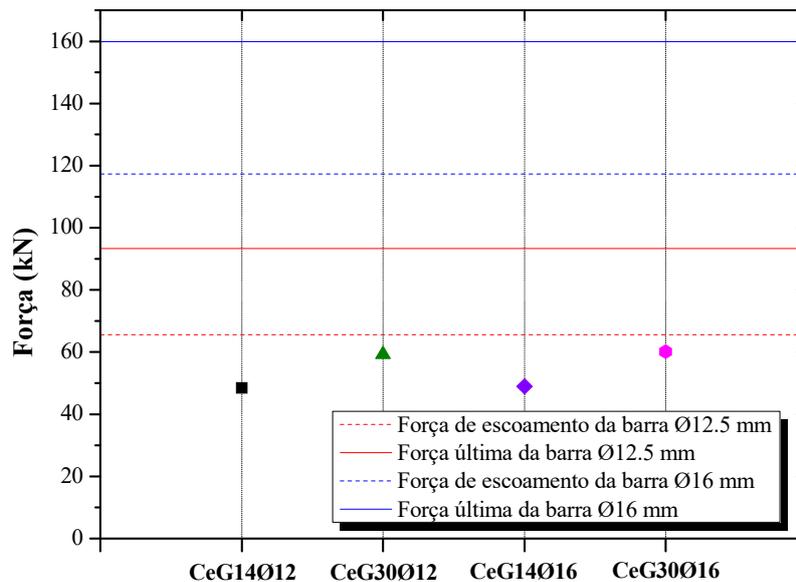


Figura 9 – Resultados do ensaio de “pull-out” para os blocos cerâmicos: com a força de escoamento das armaduras e com a força última das armaduras

A Figura 9 evidencia que a ruptura dos corpos de prova de blocos cerâmicos foi comandada pelo tipo de graute. As séries preenchidas com o graute G14, de menor resistência e maior fator a/c , alcançaram praticamente o mesmo valor de força de ruptura, independentemente do diâmetro da armadura. O mesmo aconteceu com as séries preenchidas com o graute G30, de maior resistência e menor fator a/c . Esses valores não foram significativamente diferentes para um nível de significância de 5%. Também se observa que as séries com o graute G30 foram mais resistentes que as do graute G14. Esses resultados ratificam o visto nos ensaios de “push-out” em que a interface do graute G30 com as paredes dos blocos apresentaram maior resistência de aderência que com o graute G14, embora tal influência seja menos pronunciada no caso dos blocos cerâmicos, provavelmente devido à sua superfície mais lisa.

3.3.3 Comportamento da interface graute/bloco

Outro aspecto analisado foi o comportamento da interface graute/bloco. No ensaio de “pull-out”, para os blocos de concreto, ao aplicar uma força de tração na armadura embutida no material de enchimento não foi observado, em nenhum corpo de prova das quatro séries, escorregamento do graute em relação às paredes dos furos dos blocos, o que mostra que houve aderência suficiente nessa interface, como ilustrado na Figura 10a. Já nos blocos cerâmicos foi evidenciado um

escorregamento da coluna do graute, o que ratifica a fragilidade da interface graute/bloco (ver Figura 10b).



Figura 10 – Posição do graute depois de ensaiados os corpos de prova de blocos de concreto sem escorregamento do graute (a) e blocos cerâmicos com escorregamento do graute (b)

O comportamento dos blocos cerâmicos no ensaio de “pull-out” não foi semelhante ao dos blocos de concreto. No primeiro caso houve um escorregamento da coluna do graute no interior dos blocos cerâmicos para os dois tipos de grautes. Apesar de ser o comprimento de ancoragem adequado, as armaduras não alcançaram sua tensão de escoamento porque o graute escorregou antes. A aderência criada entre as paredes dos blocos cerâmicos e o graute foi pequena, como já apreciado no ensaio de “push-out”. Deste modo, quanto aos limites estabelecidos para a tensão de escoamento das armaduras, observa-se que no caso de blocos cerâmicos esses limites ficam comprometidos porque a medida que se aumenta o diâmetro das armaduras vai predominando o limite regido pela força de aderência na interface graute/bloco cerâmico. Assim, percebe-se que o problema é mais complexo, devendo ser estudado com diferentes diâmetros de barras.

4 CONCLUSÕES

Os ensaios de “push-out” mostraram que para os materiais utilizados na presente pesquisa, existe uma boa aderência entre as paredes dos blocos de concreto e os dois tipos de graute, suficiente para não permitir o seu escorregamento. Justifica-se esse comportamento pela similaridade entre ambos os materiais (graute e concreto dos blocos) e a natural rugosidade das faces internas dos furos dos blocos de concreto. Já no caso dos blocos cerâmicos houve escorregamento do graute, demonstrando que houve uma aderência insuficiente entre as paredes dos blocos cerâmicos e os dois tipos de graute. Justifica-se esse comportamento pela superfície lisa que caracteriza os blocos cerâmicos e a diferença entre os dois materiais (concreto e argila).

O graute de maior resistência à compressão e menor fator água/cimento (graute G30) apresentou maior resistência de aderência em relação ao graute mais fraco (graute G14) e de maior fator água/cimento. Este fato foi evidenciado tanto para os blocos cerâmicos como para os blocos de concreto, sendo mais pronunciado para esses últimos.

Os ensaios de “pull-out” realizados nos blocos de concreto mostraram, para todos os casos estudados, que as armaduras embutidas no graute ao serem submetidas a uma força de tração alcançaram sua tensão de escoamento sem escorregar, o que demonstra que o comprimento de ancoragem adotado foi adequado. O graute tampouco escorregou em relação às paredes dos blocos de concreto. Já nos blocos cerâmicos houve um escorregamento da coluna do graute antes da

armadura alcançar sua tensão de escoamento, sendo a ruptura governada pela interface graute/bloco cerâmico.

Quanto aos limites estabelecidos para a tensão de escoamento das armaduras, observa-se que, no caso de blocos de concreto, não deve haver restrição. Em contraposição, quanto aos blocos cerâmicos, o problema é mais complexo, cabendo a realização de mais ensaios para a confirmação de limites, com a variação de blocos e grautes.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa do doutorado.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-1**: Alvenaria estrutural — Blocos cerâmicos - Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1**: Alvenaria estrutural — Blocos de concreto - Parte 1: Projetos, Rio de Janeiro, 2011.

BIGGS, D.T. Grouting Masonry using Portland Cement-Lime Mortars. In: INTERNATIONAL BUILDING LIME SYMPOSIUM, Orlando, Florida, 2005, p. 2-15.

PEREIRA DE OLIVEIRA, L.A. Resistência de aderência como parâmetro de compatibilidade entre o graute de enchimentos e as unidades da alvenaria estrutural. In: 5th INTERNACIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, Florianópolis, Brasil, 1994. p. 214-227.

PEREIRA DE OLIVEIRA, L.A. The micro-concrete infill strength's influence on the compressive masonry strength. In: PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN READY MIX ORGANIZATION CONGRESS - ERMCO 98, Lisboa, Portugal, 1998. v. 2, p. 691-700.

SORIC, Z.; TULIN, L.G. Bond in reinforced concrete masonry. In: 4th NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 1987, Los Angeles, California, 1987. p.47.1-47.16.

SORIC, Z.; TULIN, L.G. Bond stress/deformation in pull-out masonry specimens. **Journal of Structural Engineering**, v.115, n.10, p. 2588-2602, 1988.

