

## Estudo de teores de substituição de agregado natural por chamote de blocos estruturais cerâmicos para desenvolvimento de grautes

Grout for structural masonry: study for the use of ceramic residue mixing

Hinoel Zamis Ehrenbring<sup>1</sup>, Bernardo Fonseca Tutikian<sup>2</sup>, Daniel Reis Medeiros<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Civil, mestrando em Engenharia Civil (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS.

e-mail: hinoelzamis@hotmail.com

<sup>2</sup>Professor Dr. Programa de Pós Graduação em Engenharia civil (itt Performance / Unisinos)

e-mail: [bftutikian@unisinos.br](mailto:bftutikian@unisinos.br)

<sup>3</sup>Professor Dr. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo (Unisinos)

e-mail: [drmedeiros@unisinos.br](mailto:drmedeiros@unisinos.br)

---

### RESUMO

Este trabalho propõe-se a analisar o desenvolvimento de grautes, material largamente utilizado na construção civil brasileira, com uso de agregados cerâmicos reciclados, em diferentes teores. Para isso foram estudados os percentuais de substituição do agregado graúdo natural pelo resíduo de blocos cerâmicos, através dos resultados de perda de abatimento no estado fresco, resistência à compressão axial, módulo de elasticidade, velocidade de propagação das ondas de ultrassom e absorção por capilaridade. Os resultados mostraram queda de resistência à compressão para os grautes, com maior ênfase para os com teores de 30% e 50%. Porém, todos atingiram os parâmetros normativos para esta aplicação, mostrando a potencialidade do uso desta alternativa para a construção civil.

**Palavras-chave:** Graute. Perda de trabalhabilidade. Agregados cerâmicos reciclados.

---

### ABSTRACT

This study aims to evaluate the development of grouts, a material that is widely used in the Brazilian civil construction sector, applying recycled ceramic aggregates in different ratios. For that purpose, multiple substitution percentages of rough natural aggregates for the ceramic block residue were studied considering the results of loss of fresh state slump-flow, axial compressive strength, modulus of elasticity, ultrasonic wave transmission velocity, and capillary absorption. The results showed a compressive strength decrease of the grouts, mainly 30% and 50% ratios. On the other hand, all of them met the normative parameters for this application, indicating the potential application of this alternative material in civil construction.

**Keywords:** Grouting. Loss of workability. Recycled ceramic aggregates.

---

### 1. INTRODUÇÃO

As edificações mais tradicionais, analisando os aspectos estruturais, seguiram composições convencionais utilizando blocos de pedra e blocos cerâmicos, os quais eram simplesmente intertravados uns aos outros sem o emprego de maior tecnologia. [1]. De acordo com Izquierdo [2], a estabilidade das estruturas era garantida, exclusivamente, pela ação da gravidade. Todavia, mesmo mostrando ser uma alternativa viável para a época, estas medidas foram praticamente extintas, pois as técnicas construtivas evoluíram muito, assim como o desenvolvimento de novos materiais. [3].

As estruturas em alvenaria são exemplos claros do amadurecimento dos projetos, técnicas e materiais aplicados. [4]. A composição deste sistema é feita através da interrelação entre elementos, tais como: blocos cerâmicos, argamassa de assentamento, armaduras, entre outros. [5, 6, 7]. Para Tula *et al.* [8], um dos materi-

ais que desponta neste sistema, em relação aos outros, é o graute, pois proporciona um aumento da estabilidade e capacidade portante do sistema.

O graute é um composto amplamente aplicado em diferentes ramos da construção civil, por exemplo, como elemento de reforço e reparo de estruturas, estabilização de solos, entre outros. [9, 10, 11]. Devido a sua consistência, o graute é empregado para preenchimento dos vazios dos blocos e canaletas da alvenaria, solidarizando os elementos com a armadura e reagindo monoliticamente. [12, 13, 14].

De acordo com Ramalho e Corrêa [15], o graute é um composto à base de cimento com fluidez considerável, contemplando a mistura de aglomerantes, agregados e aditivos químicos. Prudêncio Júnior *et al.* [16] especificam características do compósito no estado fresco, salientando a importância da consistência do material. Ainda segundo os autores, o abatimento da mistura deve corresponder a  $200 \pm 30$ mm. Tais valores, para serem atingidos, exigem uma elevada relação água/cimento (a/c), todavia Anagnostopoulos [17] e Hoang *et al.* [5] demonstram o ganho na trabalhabilidade através da adição de aditivos químicos, como os superplastificantes, mantendo baixas relações a/c.

Alguns cuidados devem ser tomados para manter a qualidade do graute quando se encontra no estado fresco. [18, 19, 20]. Além de obter uma grande capacidade de preenchimento de vazios, deve possuir estabilidade de suspensão e baixa exsudação, melhorando a resistência à separação entre a fase líquida e sólida do composto. [21, 22].

De acordo com Bauer [23], a estabilidade da suspensão é importante durante a operação do grauteamento e também durante o período de início de pega, quando a floculação e a coagulação podem ocorrer entre as partículas finas. Por último, a exsudação pode ocorrer devido à elevada fluidez onde, em muitos casos, é comum se observar uma forte separação dos constituintes da mistura, quando há deficiência de materiais finos. Normalmente ocorre quando existe erro na dosagem. [24,25].

Baseando-se nas dimensões dos agregados, o graute pode ser classificado diferentemente. Para agregados com dimensões abaixo de 4,8mm, classifica-se o graute como fino e, conseqüentemente, valores a cima deste classifica-se como grosso. [21;23]. Tula *et al.* [8] ainda segmentam a mistura em classes como grautes injetáveis, de argamassa, de microconcreto e de concreto. Complementando, a NBR 15812-1 [26] especifica a dimensão máxima do agregado em um terço da menor dimensão dos furos dos blocos.

No estado endurecido, a resistência característica à compressão do graute, segundo a ABNT NBR 15961-2 [27], é de, no mínimo, 15 MPa aos 28 dias e deve corresponder ao dobro da resistência à compressão do bloco. [3]. Ou seja, é uma mistura com exigências mecânicas pouco expressivas frente aos concretos estruturais. Entretanto, atualmente, existem composições que possuem comportamentos estruturais muito evoluídos, passando a ter resistências superiores a 50 MPa. [3].

Vinculando a geração de resíduos na execução de edificações com os fundamentos de reaplicação destes materiais, pode-se proporcionar melhoria nas propriedades de diferentes misturas, como o graute. [28]. Segundo Cabral *et al.* [29], a geração de resíduos de cerâmica vermelha, na construção civil, contabiliza cerca de 30% do total de resíduos gerados no Brasil. Tal valor, instiga o aumento de pesquisas nesta área e possibilita a volta deste material para a própria construção civil. Estudos neste tema já foram feitos por Figer e Tutikian [28] e Gieseler e Tutikian [21], os quais são bons exemplos para aplicação destes coprodutos em grautes, mostrando bons resultados.

O resíduo cerâmico apresenta baixa resistência mecânica, grãos de forma lamelar e alto índice de absorção, o que caracteriza este resíduo como sendo de baixa qualidade. Porém, para aplicações em grautes, que a especificação da resistência à compressão não é elevada, pode ser possível. [21, 30, 31].

Segundo Werle *et al.* [32, 33], a textura mais rugosa e a maior angulosidade dos agregados graúdos reciclados colabora com a melhoria da aderência pasta e o agregado. Além disso, o agregado reciclado promove maior absorção da pasta de cimento pelos seus poros superficiais quando comparado com o material usualmente empregado. [34].

Diferentemente dos cuidados tomados com os agregados comumente utilizados, os agregados reciclados possuem características que devem ser cuidadosamente avaliadas. Para Leite [35], a viabilidade técnica da inserção destes resíduos em compostos à base de cimento depende do conhecimento do seu comportamento na mistura, uma vez que absorvem mais água em relação aos agregados naturais, afetando o abatimento e os produtos de hidratação da pasta.

Visto que estes materiais interferem nas propriedades das matrizes cimentícias, buscou-se, neste trabalho, propor uma aplicação dos resíduos cerâmicos da construção civil em grautes. Através da substituição parcial do agregado natural por reciclado de alvenaria cerâmica em diferentes teores, permitiu-se a utilização

de um resíduo gerado em grande quantidade em obras correntes para o reforço de alvenarias, sendo vantajoso tanto no aspecto econômico quanto ambiental.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa estudou-se o comportamento reológico e mecânicos de grautes produzidos a partir da substituição em massa, sem compensação de volume, de 0, 10, 30 e 50% do agregado graúdo natural pelo chamote de blocos estruturais cerâmicos. Os ensaios no estado fresco da mistura priorizaram a influência dos materiais na alteração da consistência do composto. Já para a caracterização mecânica dos grautes utilizou-se o ensaio de compressão axial, módulo de elasticidade, propagação de onda ultrassônica e absorção de água por capilaridade. A resistência à compressão axial foi definida em diferentes idades, aos 7, 14, 28 e 63 dias, sendo ensaiadas 2 amostras por traço em cada idade. Os demais ensaios respeitaram a idade de 28 dias com duas amostras para cada ensaio.

### 2.1 Materiais utilizados

Adotou-se como aglomerante hidráulico o cimento Portland tipo CP IV 32, sendo a caracterização física do material apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1:** Propriedades do cimento

ENSAIOS	NORMA DE ENSAIO	RESULTADO
Massa específica	ABNT NBR NM 23 [36]	2,74 g/cm <sup>3</sup>
Tempo de início de pega	ABNT NBR NM 65 [37]	368 min
Tempo de fim de pega	ABNT NBR NM 65 [37]	503 min
Finura na peneira nº 200	ABNT NBR 11579 [38]	0,30%

O agregado miúdo natural utilizado é definido como areia de origem quartzosa proveniente de extração do rio Jacuí, no estado do Rio Grande do Sul. Já o agregado graúdo natural é de origem basáltica, proveniente de extração do município de Estância Velha – RS. A distribuição granulométrica dos agregados naturais foi determinada seguindo a ABNT NBR 7211 [39] e é apresentada nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2:** Distribuição granulométrica da areia NBR NM 248 [40]

PENEIRA (mm)	AREIA FINA	
	RETIDA (%)	ACUMULADA (%)
6,3	0	0
4,8	0	0
2,4	0	0
1,2	0,1	0,1
0,6	0,6	0,7
0,3	22,4	23,1
0,15	72,4	95,5
Fundo (<0,15)	4,5	100
Módulo de finura	1,2	
Dimensão máxima	0,6 mm	

**Tabela 3:** Distribuição granulométrica do pedrisco basáltico NBR NM 248 [40]

PENEIRA (mm)	BRITA 0	
	RETIDA (%)	ACUMULADA (%)
25,0	0	0
19,0	0	0
12,5	0	0
9,5	0,6	0,6
6,3	29,1	29,7
4,8	32,7	62,4
Fundo (<4,8)	37,6	100
Módulo de finura	6,3	
Dimensão máxima	9,5 mm	

A massa específica do agregado miúdo foi definida a partir dos procedimentos regidos pela ABNT NBR NM 52 [41], sendo equivalente a  $2,55 \text{ g/cm}^3$ . A massa unitária seguiu a ABNT NBR NM 45 [42], tendo valor igual a  $1,41 \text{ g/cm}^3$ . Para o agregado graúdo, utilizaram-se as ABNT NBR NM 45 [42] e ABNT NBR NM 53 [43] para determinação da massa unitária ( $1,44 \text{ g/cm}^3$ ) e específica ( $2,85 \text{ g/cm}^3$ ), respectivamente.

O agregado graúdo reciclado de blocos cerâmicos foi confeccionado em laboratório para garantir o controle das características do material. Empregaram-se blocos de cerâmica vermelha estruturais com resistência à compressão de 4 MPa, nos quais realizou-se a cominuição do material, formando o resíduo, como observa-se na Figura 1. Para a britagem do agregado de cerâmica vermelha utilizou-se um britador de mandíbulas.



**Figura 1:** Blocos cerâmicos estruturais após a britagem

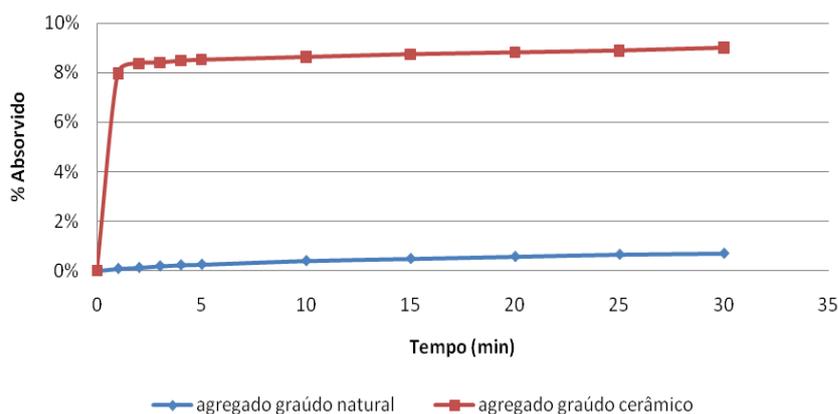
A massa específica e a massa unitária do agregado natural foram estabelecidas de acordo com a ABNT NBR NM 53 [43], resultando nos valores  $2,19 \text{ g/cm}^3$  e  $1,01 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. A distribuição granulométrica do material seguiu a ABNT NBR 7211 [39] e é apresentada na Tabela 4. A parcela de material utilizada em substituição ao agregado graúdo natural encontrava-se entre a passante pela peneira 12,5 mm e retido em peneira de abertura 4,75 mm, em função da dimensão máxima característica do agregado de referência, neste caso pedrisco.

**Tabela 4:** Distribuição granulométrica do agregado graúdo reciclado

ABERTURA DA PENEIRA	MATERIAL RETIDO (%)	MATERIAL ACUMULADO (%)
12,5 mm	55%	55%
9,5 mm	11%	66%
6,3 mm	11%	77%
4,8 mm	5%	82%
2,4 mm	7%	89%
1,2 mm	3%	92%
0,6 mm	3%	95%
0,3 mm	2%	96%
0,15 mm	2%	98%
< 0,15 mm	2%	100%

As absorções dos agregados graúdos utilizados na pesquisa também foram analisadas através do ensaio regulamentado pela ABNT NBR NM 53 [43] e pelo método proposto por Leite [35]. Os valores médios encontrados para o natural e reciclado no primeiro minuto foram 1,30% e 15,02%, respectivamente.

Após 24 horas, a taxa média de absorção para o agregado natural e cerâmico foi de 2,00% e 17,00%. Tais valores mostram-se coerentes, visto que o chamote possui maior número de vazios quando comparado ao agregado natural basáltico, o que reflete na absorção de água. No primeiro minuto, o material cerâmico absorveu cerca de 88% da água total absorvida em 24 horas.



**Figura 2:** Curva de absorção de água do agregado graúdo natural e cerâmico

## 2.2 Método de dosagem

O processo de dosagem adotado para a confecção dos grautes teve como base o método IBRACON [44] e ABNT NBR 12655 [45]. Foram determinados três traços, o rico, o intermediário e o pobre. A proporção do traço intermediário foi de 1: 2,2: 1,7 (cimento: areia: pedrisco), em volume. Já o traço rico foi de 1: 1,4: 1,3 e o traço pobre igual a 1: 3: 2,1. O teor de argamassa seca e o abatimento inicial foram fixados em, respectivamente, 65% e 200 ±30mm, utilizando como parâmetro a norma ABNT NBR NM 67 [46]. A Tabela 5 ilustra os valores característicos das misturas confeccionadas nesta pesquisa.

**Tabela 5:** Caracterização dos traços

TRAÇO	TEOR DE SUBSTITUIÇÃO (%)	CIM. (KG)	AREIA (KG)	BRITA (KG)	RCC (KG)	ABATIM. (MM)	A/C
Rico	0	13,40	18,76	17,42	0	190	0,45
	10	13,40	18,76	15,68	1,74	205	0,40
	30	13,40	18,76	12,19	5,22	190	0,54
	50	13,40	18,76	8,71	8,71	220	0,54
Interm.	0	10,20	22,45	17,35	0	230	0,59
	10	10,20	22,45	15,62	1,73	195	0,57
	30	10,20	22,45	12,15	5,20	215	0,65
	50	10,20	22,45	8,67	8,67	215	0,67
Pobre	0	8,24	24,72	17,30		185	0,64
	10	8,24	24,72	15,57	1,73	200	0,69
	30	8,24	24,72	12,11	5,19	205	0,78
	50	8,24	24,72	8,65	8,65	185	0,81

## 2.3 Perda de abatimento

Para todos os traços da família intermediária realizou-se o ensaio de perda de abatimento baseado na ABNT NBR 10342 [47]. A norma prescreve que, após a adição de cimento na mistura e alcançada a homogeneidade da mesma, a verificação do abatimento pelo tronco de cone deve ser realizada a cada 15 minutos até ser atingido um abatimento de 20 mm, anotando-se a umidade do ar e a temperatura ambiente. Para a pesquisa o ensaio foi realizado durante um período de 2 horas.

## 2.4 Resistência à compressão axial

O ensaio de compressão axial das amostras dos traços seguiu a ABNT NBR 5738 [48] e ABNT NBR 5739 [49], utilizando uma prensa hidráulica com capacidade de 2000 kN. A velocidade de carregamento foi de 0,45 MPa/s. As idades ensaiadas corresponderam as primeiras 24 horas, aos 7, 28 e 63 dias. Para cada idade, foram analisadas 2 amostras, correspondendo a 96 exemplares no total.

## 2.5 Propagação da onda ultrassônica

O ensaio de propagação de onda ultrassônica nos exemplares compostos pelo traço intermediário foi feito seguindo a ABNT NBR 8802 [50]. A frequência utilizada foi de 26 kHz, posicionando os transdutores no eixo dos corpos de prova. A idade de ensaio correspondeu aos 28 dias, sendo aplicado em 24 amostras.

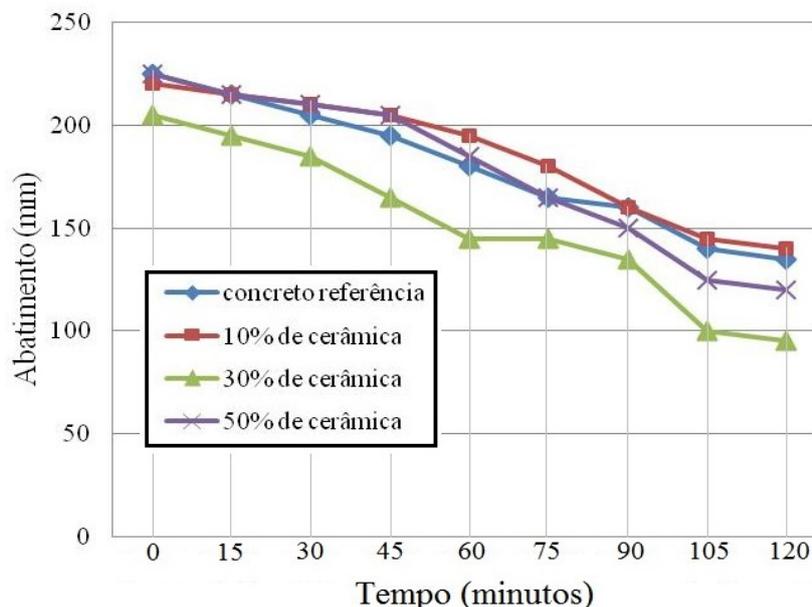
## 2.6 Absorção de água por capilaridade

Para a execução deste ensaio, seguiu-se a ABNT NBR 9779 [51] aplicando-a nas amostras do traço intermediário aos 28 dias de idade. Após esta idade, os corpos de prova foram submetidos a uma temperatura de 104°C até atingirem massa constante. Atingindo uma temperatura entre  $23\pm 2^\circ\text{C}$ , as amostras são inseridas em uma lâmina de água com altura de  $5\pm 1\text{mm}$ . As medições foram feitas em períodos de 15 minutos até chegar a 2 horas. No total foram ensaiadas 8 amostras.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Perda de abatimento e relação água/cimento

Observa-se na Figura 3 os resultados de perda de abatimento dos grautes do traço intermediário. Nota-se que, com o passar do tempo, as misturas com maiores substituições do agregado natural por resíduo cerâmico perderam mais rapidamente a trabalhabilidade, pelo fato de absorverem uma maior quantidade de água em relação ao agregado natural.



**Figura 3:** Perda de abatimento ao longo do tempo do graute com traço intermediário

Os teores que apresentaram maior perda de abatimento, de acordo com a Figura 3, foram os com 30% e 50% de coprodutos cerâmicos. Estes resultados confirmaram observação durante o processo de dosagem, quando foi possível evidenciar o aumento do consumo de água à medida que a substituição do agregado natural aumentava.

Para corrigir a perda de abatimento não se utilizou aditivos químicos, regulou-se este parâmetro através da adição de água. Na Tabela 6 pode-se notar que o consumo de água aumentou nas misturas com adição de resíduos de blocos cerâmicos, devido a maior absorção deste material, como comprovado na

caracterização dos agregados, com o cerâmico apresentando uma taxa de absorção cerca de 8 vezes maior do que a taxa do agregado natural.

**Tabela 6:** Relação água/cimento e abatimento inicial dos grautes analisados

	RICO (%)				INTERMEDIÁRIO (%)				POBRE (%)			
	0	10	30	50	0	10	30	50	0	10	30	50
Abatimento (mm)	190	205	190	220	230	195	215	215	185	200	205	185
Relação a/c	0,45	0,40	0,54	0,54	0,59	0,57	0,65	0,67	0,64	0,69	0,78	0,81

Com relação aos resultados de perda de abatimento, verifica-se que a adição de chamote de blocos cerâmicos afeta diretamente a mistura, neste caso, obrigando a adição de uma quantidade maior de água para permanecer na faixa de abatimento estipulada. O aumento no consumo de água é reflexo da absorção de água do coproduto cerâmico, visto que é muito superior ao agregado natural, conforme ilustrado na Figura 2. Caso não sejam estabelecidas medidas para combater esta anomalia, ou adicionando o chamote saturado ou aumentando a relação a/c, o atrito entre os grãos é afetado sem haver a lubrificação das partículas.

### 3.2 Resistência à compressão axial

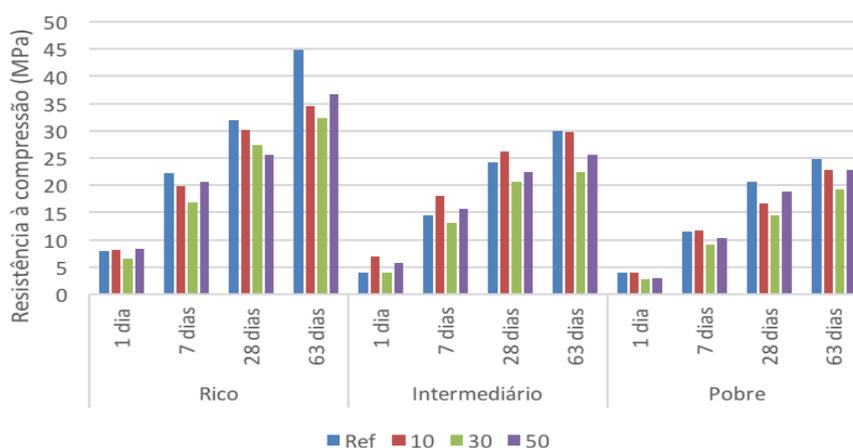
Na Tabela 7 observa-se os resultados de resistência à compressão axial dos grautes, os quais foram similares, mostrando que é possível, em termos de resistência mecânica, utilizar substituição de agregados graúdos naturais por coprodutos cerâmicos.

**Tabela 7:** Resistência à compressão axial dos grautes

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO (%)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)											
	1 DIA	7 DIAS	28 DIAS	63 DIAS	1 DIA	7 DIAS	28 DIAS	63 DIAS	1 DIA	7 DIAS	28 DIAS	63 DIAS
	RICO				INTERMEDIÁRIO				POBRE			
0	7,9	22,2	32,0	44,9	4,0	14,4	24,3	30,0	3,9	11,6	20,7	24,9
10	8,1	19,9	30,2	34,6	7,0	18,1	26,3	29,8	3,9	11,8	16,6	22,9
30	6,5	16,8	27,3	32,3	4,0	13,1	20,7	22,5	2,8	9,2	14,4	19,3
50	8,3	20,6	25,6	36,7	5,7	15,7	22,5	25,7	2,9	10,4	18,9	22,9

Como já se esperava, as amostras confeccionadas com o traço rico obtiveram melhores resultados, entretanto foram as que apresentaram maior sensibilidade para a substituição dos agregados. Já para o traço pobre, as amostras mostraram uma estabilidade nos valores obtidos nas idades ensaiadas. Analisando os 28 dias, todos os traços atenderam a NBR 15961-2 [27], a qual determina resistência à compressão mínima para os grautes de 15 MPa.

A Figura 4 mostra os valores potenciais, de cada traço e cada idade, de forma gráfica, para melhor observação.



**Figura 4:** Valores potenciais em relação à compressão axial dos grautes

Observa-se que houve redução na resistência à compressão das misturas, mostrando a possibilidade de utilizar resíduos em composições para este fim.

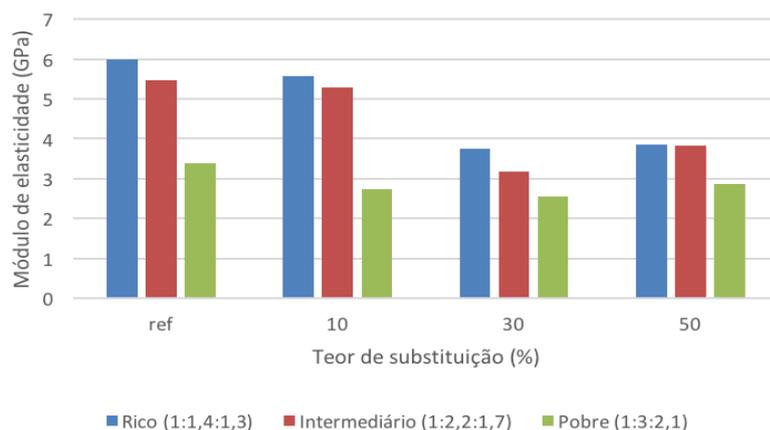
### 3.3 Módulo de elasticidade, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e absorção por capilaridade

A Tabela 8 mostra os resultados de módulo de elasticidade, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e absorção por capilaridade para cada traço e evolução com a idade, para cada teor de substituição.

**Tabela 8:** Módulo de elasticidade, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e absorção por capilaridade dos grautes

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO (%)	EC (GPa)	V (m/s)	C (g/cm <sup>2</sup> )	EC (GPa)	V (m/s)	C (g/cm <sup>2</sup> )	EC (GPa)	V (m/s)	C (g/cm <sup>2</sup> )
	RICO			INTERMEDIÁRIO			POBRE		
0	6,00	4348	0,72	5,48	4255	0,85	3,40	4184	0,90
10	5,58	4219	0,70	5,28	4211	0,81	2,73	4124	0,95
30	3,74	4107	0,79	3,18	4049	0,89	2,56	3945	0,95
50	3,85	4049	0,66	3,82	4057	0,84	2,88	3884	0,99

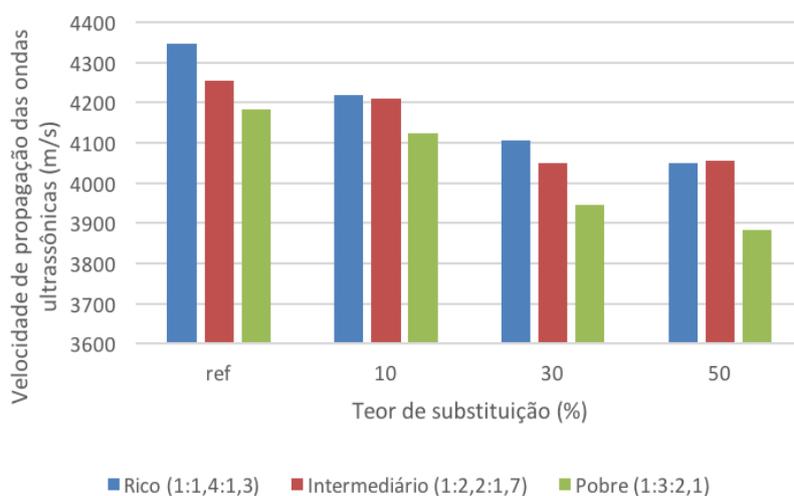
Analisando os resultados referentes ao módulo de elasticidade de cada traço, nota-se que a substituição do agregado graúdo natural pelo coproduto cerâmico trouxe uma diminuição desta propriedade. O resultado pode ser explicado pelo fato da cerâmica apresentar uma rigidez inferior a do agregado basáltico. A Figura 5 ilustra graficamente os valores do módulo de elasticidade.



**Figura 5:** Módulo de elasticidade das misturas

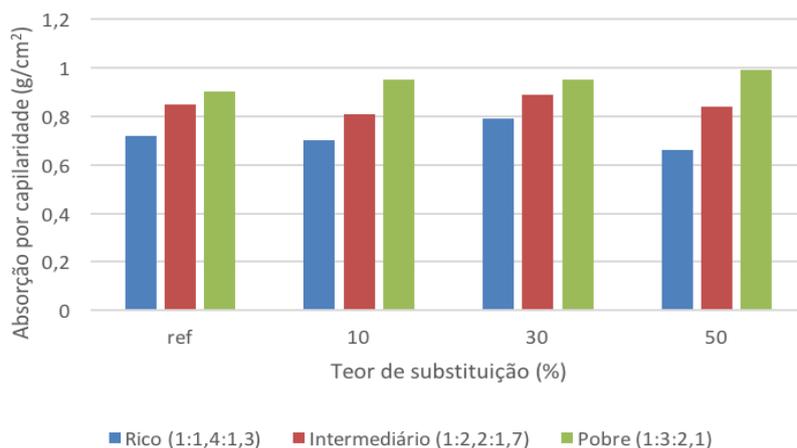
Observa-se que a queda foi mais intensa para os maiores teores de substituição, e em maior escala para os traços rico e intermediário.

A velocidade de propagação de ondas ultrassônicas também foi influenciada quando alterou-se a proporção dos agregados naturais e reciclados. Notou-se que com o aumento dos teores de substituição do agregado gráudo cerâmico nos traços rico, intermediário e pobre diminuiu a velocidade das ondas ultrassônicas. Determinado resultado pode ser explicado pelo aumento da porosidade da mistura com a inclusão do agregado reciclado, o que dificultou a propagação da onda pelos seus vazios. A porosidade da matriz também influenciou nos resultados obtidos, já que a relação  $a/c$  foi elevada. A Figura 6 apresenta graficamente os resultados obtidos em relação a velocidade das ondas ultrassônicas.



**Figura 6:** Resultados da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas nas misturas analisadas

Para a absorção de água por capilaridade, observa-se que a adição de agregados cerâmicos aumentou a taxa de absorção das misturas. A medida que elevou-se os teores de substituição, aumentou a quantidade de água absorvida pelos poros do graute. Tais resultados também podem ser justificados pela alta porosidade do coproduto cerâmico. Além dos vazios presentes nestes agregados, as misturas apresentaram elevadas relações  $a/c$ , o que tende a aumentar a porosidade do composto. A Figura 7 representa os valores de absorção capilar dos grautes ensaiados.



**Figura 7:** Valores de absorção capilar dos grautes ensaiados

Observou-se, nos resultados, que sempre houve uma diminuição das propriedades para os grautes com agregados reciclados. Esta diminuição foi pequena para os teores de 10% e ainda não elevada para os teores de 30%. Porém, a substituição de 50% de agregado naturais por reciclado não se mostrou viável tecnicamente.

#### 4. DISCUSSÃO

A substituição de agregados naturais pelos reciclados cerâmicos tornou-se objeto de estudo de inúmeras linhas de pesquisa, tais como dosagem de argamassas, concretos e grautes. No caso dos grautes, torna-se viável a incorporação coprodutos cerâmicos para substituição dos agregados graúdos naturais. Tomando como base a resistência à compressão destes compostos, nota-se através desta pesquisa e das feitas por Werle [32], Oliveira [10] e Gieseler e Tutikian [21], que a adição destes agregados proporciona leves alterações, muitas vezes aumentando a capacidade resistente deste material. Mulinari [20] reforça que, o teor de agregados reciclados influi diretamente nestas características das matrizes, visto que se substitui um material íntegro e nobre por um coproduto já processado.

Associada ao módulo de elasticidade e a velocidade de propagação da onda ultrassônica está a porosidade da mistura com o uso de agregados cerâmicos. Tula *et al.* [8] enfatizam a alteração do módulo de elasticidade, assim como ilustram os resultados da pesquisa, em detrimento do agregado cerâmico, o qual possui maior número de vazios quando comparado ao agregado natural basáltico. Em razão deste fato, o agregado é mais deformável em função do basáltico e, como resultado, a matriz tem seu módulo afetado. Da mesma maneira, a propagação da onda ultrassônica é afetada, já que a velocidade para grautes com agregado cerâmico é menor em função dos grautes agregado natural. [3, 34]. Na pesquisa evidenciou-se a diminuição da onda e do módulo com o aumento do teor de substituição dos materiais, o que se associa ao aumento do número de vazios da mistura.

Já no quesito de absorção de água por capilaridade, assim como já contataram Hansen [6], Pedrozo [34] e Lovato [33], a presença de agregados cerâmicos eleva a absorção de água, pelo fato de proporcionar o aumento da porosidade do composto. Aliada ao suporte da literatura, a pesquisa constatou resultados semelhantes aos existentes, na qual, com o aumento do teor de resíduo, a capacidade de absorção de água pelos poros capilares da mistura também se intensifica.

#### 5. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados pode-se apontar as seguintes conclusões:

- A perda de abatimento foi maior nos grautes com chamote cerâmico, principalmente nos teores de 30% e 50%, em 22% maior que o referência e 16%, respectivamente;
- Quanto aos resultados de compressão axial para os diferentes teores de agregados cerâmicos, todos os resultados foram superiores ao especificado pela ABNT NBR 15961-2 [27] para grautes utilizados em blocos estruturais;
- Os resultados de módulo de elasticidade, velocidade de propagação da onda ultrassônica e absorção por capilaridade mostraram um decréscimo das propriedades dos grautes com resíduos, a partir do teor de

substituição do agregado natural pelo reciclado de 30%. Para o teor de 10% de substituição, a perda foi menor do que para os demais teores.

Por fim, conclui-se como promissor o uso de coprodutos cerâmicos para substituição de agregados naturais, por ser uma solução com aproveitamento de resíduos, econômica e, dependendo dos teores de uso, com pequena perda de propriedades, e sempre acima dos limites normativos para esta aplicação.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J., *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*, 1. ed., São Paulo, Pini, 1994.
- [2] IZQUIERDO, O. S., *Estudo da interface bloco/graute em elementos de alvenaria estrutural*, Tese de D. Sc., PPGEE/EESC, São Carlos, SP, Brasil, 2015.
- [3] PARSEKIAN, G. A., HAMID, A. A., DRYSDALE, R. G., *Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural*, 1. ed., São Carlos, EdUFSCar, 2012.
- [4] CORRÊA, M. R. S., *Alvenaria estrutural: Interação de paredes e eficiência do grauteamento sob solicitações combinada*, Dissertação de M.Sc., PPGEE/EESC, São Carlos, SP, Brasil, 2012.
- [5] HOANG, Q. G., KACI, A., KADRI, E., *et al.*, “A new methodology for characterizing segregation of cement frouts durind rheological tests”, *Construction and Building Materials*, v. 96, n. 1, pp. 119-126, Aug. 2015.
- [6] HANSEN, T. C., *Recycling of demolished concrete and mansory*, In: RILEM Report 6, London, Chapman & Hall, 1992.
- [7] KALIL, S. B., LEGGERINI, M. R., *Estruturas mistas – concreto armado x alvenaria estrutural*, Curso de Graduação, PUCRS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2007.
- [8] TULA, L., OLIVEIRA, P. S. F., HELENE, P., “Grautes para reparo”, In: *VII Congreso LatinoAmericano de Patología de la Construcción*, pp.139 – 152, Madrid, Set. 2003.
- [9] KOGBARA, R. B., AL-TABBAA, A., YI, Y., STEGEMANN, J. A., “Cement–fly ash stabilisation/solidification of contaminated soil: performance properties and initiation of operating envelopes”, *Applied Geochemistry*, v. 33, n. 1, pp. 64–75, Feb. 2013.
- [10] OLIVEIRA, L. A., *Estudo do desempenho dos grautes com adições para enchimento de blocos de alvenaria estrutural*, Dissertação de M.Sc., EP/USP, São Paulo, SP, Brasil, 1986.
- [11] PINTO, T. P., “Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana”, Tese de D.Sc., EP/USP, São Paulo, SP, Brasil, 1999.
- [12] NICHELE, B. P., *Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos: controle na execução para evitar manifestações patológica*, Curso de Graduação, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2014.
- [13] BARRA, M. “Dosagem de concretos com agregados reciclados: aspectos particulares”, In: *Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para proteção ambiental*, pp.39-43, São Paulo, Out. 1997.
- [14] BRITO, J. A., “Cidade versus entulho”, In: *Seminário de desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil*, pp. 56-67, São Paulo, Abril 1999.
- [15] RAMALHO, M. A., CORRÊA, M. R. S., *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*, 1 ed, São Paulo, Pini, 2003.
- [16] PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R., OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C. A., *Alvenaria estrutural de blocos de concreto*, 1 ed, Florianópolis, Pallotti, 2002.
- [17] ANAGNOSTOPOULOS, C. A. “Effect of diferente superplasticisers on the physical and mechanical properties of cement grouts”, *Construction and Building Materials*, v. 50, n. 6, pp. 162-168, Nov. 2014.
- [18] BOURAS, B., KACI, A., CHAOUICHE, M., “Influence of viscosity modifying admixtures on the rheological behavior of cement and mortar pastes”, *Korea-Australia Rheology. J*, v. 24, n. 3, pp. 35–44, Jul. 2012.
- [19] MIRANDA, L. F. R., *Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado*, Dissertação de M.Sc., EP/USP, São Paulo, SP, Brasil, 2000.
- [20] MULINARI, G., “Estudo da influencia da pré-molhagem nas propriedades do concreto com RCD cerâmico”, Curso de Graduação, UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil, 2009.

- [21] GIESELER, S., TUTIKIAN, B., “Estudo de grautes produzidos com agregado reciclado de resíduo de bloco cerâmico incorporando teores de cal hidratada”, *Ambiente Construído*, v. 13, n. 3, pp. 303-315, Set.. 2013.
- [22] OHY, C. G., *Influência da pré-molhagem em agregados em agregados reciclados de cerâmica vermelha nas propriedades do concreto no fresco e endurecido*, Curso de Graduação, UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil, 2008.
- [23] BAUER, F., *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*, 2 ed, São Paulo, Ibracon, 2005.
- [24] NGUYEN, V. H., REMOND, S., GALLIAS, J. L., “Influence of cement grouts composition on the rheological behavior”, *Cement and Concrete Research*, v. 41, n. 2, pp. 292–300, Aug. 2011.
- [25] HELENE, P., TERZIAN, P., *Manual de dosagem e controle do concreto*, 1 ed, São Paulo, Pini, 2001.
- [26] ABNT (2010), NBR 15812-1: alvenaria estrutural – blocos cerâmicos. Parte 1: projeto. Rio de Janeiro.
- [27] ABNT (2011), NBR 15961-2: alvenaria estrutural – blocos de concreto. Parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro.
- [28] FINGER, F., TUTIKIAN, B., “Graute Para Alvenaria Estrutural: descrição, análise e proposta de melhorias para o processo de uma empresa construtora”, *In: Congresso brasileiro do concreto*, pp. 46-57, Salvador, Out. 2012.
- [29] CABRAL, A. E. B., “Mechanical Properties Modeling of Recycled Aggregate Concrete”, *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 4, pp. 421-430, Out. 2010.
- [30] KAZMIERCZAK, C. S., KULAKOWSKI, M. P., BOITO, D., “Estudo comparativo da geração de resíduos de construção e demolição em São Leopoldo e Novo Hamburgo”, *In: Encontro nacional de tecnologia no ambiente construído (entac)*, pp. 103-111, Florianópolis, Nov. 2006.
- [31] LIMA, J. A. R., Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos, Dissertação de M.Sc., EESC/USP, São Carlos, SP, Brasil, 1999.
- [32] WERLE, A. P., “Análise de metodologias utilizadas para a caracterização da absorção de água de concreto reciclado como agregado”, *In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído*, pp. 1-11, Porto Alegre, Jun. 2011.
- [33] LOVATO, P. S., *Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto*, Dissertação de M.Sc., PPGEE/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2007.
- [34] PEDROZO, R. F. E., *Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos*, Dissertação de M.Sc., PPGEC/UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 2008.
- [35] LEITE, M. B., *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduo de construção e demolição*, Tese de D.Sc., PPGEE/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2001.
- [36] ABNT (2001), NBR NM 23: cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro.
- [37] ABNT (2003), NBR NM 65: cimento Portland: determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro.
- [38] ABNT (2012), NBR 11579: cimento portland: determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200): método de ensaio. Rio de Janeiro.
- [39] ABNT (2009), NBR 7211: *agregados para concreto: especificação*. Rio de Janeiro.
- [40] ABNT (2003), NBR NM 248: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.
- [41] ABNT (2009), NBR NM 52: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro.
- [42] ABNT (2006), NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro.
- [43] ABNT (2009), NBR NM 53: agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro.

- [44] TUTIKIAN, B. F., HELENE, P., “Dosagem dos Concretos de Cimento Portland”, *Concreto: Ciência e Tecnologia*, v. 1, n. 1927, pp. 439–471, Jul. 2011.
- [45] ABNT (2015), NBR 12655: concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento. Rio de Janeiro.
- [46] ABNT (1998), NBR NM 67: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro.
- [47] ABNT (2012), NBR 10342: concreto: perda de abatimento: método de ensaio. Rio de Janeiro.
- [48] ABNT (2015), NBR 5738: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro.
- [49] ABNT (2007), NBR 5739: concreto: ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.
- [50] ABNT (2013), NBR 8802: concreto endurecido: determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro.
- [51] ABNT (2012), NBR 9779: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção da água por capilaridade: método de ensaio. Rio de Janeiro.