



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS DE ARAÚJO

**INFLUÊNCIA MECÂNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND POR RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA NO GRAUTE
UTILIZADO EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS**

ANGICOS-RN

2018

LUCAS DE ARAÚJO

**INFLUÊNCIA MECÂNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND POR RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA NO GRAUTE
UTILIZADO EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Klaus André de
Sousa Medeiros.

ANGICOS-RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A658i Araújo, Lucas.
INFLUÊNCIA MECÂNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
CIMENTO PORTLAND POR RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA
NO GRAUTE UTILIZADO EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE
BLOCOS CERÂMICOS / Lucas Araújo. - 2018.
70 f. : il.

Orientador: Klaus André de Sousa Medeiros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Estruturas. 2. Prisma. 3. RCV. 4.
Resistência. I. Medeiros, Klaus André de Sousa,
orient. II. Título.

LUCAS DE ARAÚJO

**INFLUÊNCIA MECÂNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND POR RCV NO GRAUTE DE PREENCHIMENTO UTILIZADO EM
ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 12 / 09 / 2018.

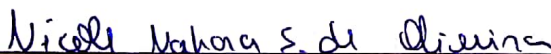
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Klaus André de Sousa Medeiros (UFERSA)
Orientador



Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral (UFERSA)
1º Membro



Eng - (a) Nicole Nahara Souza de Oliveira (UFRN)
2º Membro

Dedico este trabalho a todos os meus familiares e amigos, em especial a minha vizinha dona Luzia e minhas tias Gilena e Adalva que sempre me apoiaram e me incentivaram a estudar e crescer, com muito amor e dedicação. Dedico também a Deus que sempre me iluminou e me ajudou em minha caminhada, nas tomadas de decisões e escolhas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre me abençoar, por ter me concebido a família incrível que tenho, pelo dom da vida e por ser sempre essencial na minha vida.

Aos meus familiares, em especial minha avó Dona Luzia, minhas tias: Adalva, Jane e Gilena, e a meu tio Calebre, que sempre estiveram comigo em todos os momentos da minha vida, de uma maneira ou de outra ajudando no que fosse necessário para o meu melhor.

As minhas rainhas Adalva, Gilena e Luzia agradeço pela dedicação integral que me foi dada, pois mesmo não sendo filho, sempre fui tratado como um, com incrível cuidado e amor, a vocês tenho toda a gratidão do mundo.

A meu avô e pai Antônio Alexandre, por cuidar de mim como um filho, por me amar incondicionalmente e por sempre o meu defensor particular. Você sempre estará no meu coração.

A cerâmica do Gato que deu todo o apoio necessário para a realização do trabalho, incentivando a pesquisa com utilização de seus blocos estruturais. Isto demonstra a confiança que a empresa tem com a qualidade do seu produto.

A Adna Melo por ser a melhor técnica de laboratório do mundo. Com sua ajuda e amizade este trabalho não seria possível. Foi ela que nos momentos em que achei que daria tudo errado estava lá para me motivar a continuar e concluir a pesquisa.

A Klaus André um muito obrigado por ter me acolhido, não só como o seu orientando de pesquisa e TFG, mas sim como um verdadeiro pai. Os conselhos que recebi, as broncas e as brincadeiras levarei comigo sempre como ensinamentos.

A Kleber Cavalcanti e Cíntia por se disponibilizarem a ajudar com materiais que foram necessários para execução de ensaios e procedimentos.

A meus irmãos Matheus Carlyelton, Willamy Carlos, Emerson Martins, Luan Sousa, Mateus Oliveira, Gemmyson e Luís Eduardo por me acompanharem nessa jornada, me ajudando e incentivando nos momentos ruins e nos bons e com isso colaborarem moralmente para a conclusão deste trabalho, sempre com brincadeiras, boa companhia e palavras de força, motivação e coragem, sem vocês não teria conseguido.

A Maria Elisabete, Dona Raimunda e a Canindé por me acolherem como um filho em suas residências, pelos cuidados, carinho, aconchego e amor oferecido.

As minhas meninas: Cecília Alves, Anyele Daiane, Eduarda Duane, Italinara, Letícia Costa, Maytê Tabata e Cintia Mara um muito obrigado por todo o carinho, confiança, amor, momentos de descontração, brincadeiras, risadas e cuidados que tiveram e tem comigo, confio tudo a vocês.

Ao grupo de pesquisa dEstruturados que sempre se manteve unido em todos os momentos sempre com muita dedicação, entusiasmo e principalmente espírito de equipe, nossa união e amizade que possibilitou a conclusão deste trabalho.

A todos as outras pessoas que participaram de forma indireta da minha vida, agradeço de coração.

“O conhecimento é uma ferramenta, e como todas as ferramentas, o seu impacto está nas mãos de quem o usa. ”

(Dan Brawn)

“As pessoas são solitárias porque constroem muros ao invés de pontes. “

(Antoine de Saint-Exupéry)

RESUMO

A alvenaria estrutural é um modelo construtivo dentro da construção civil que está presente nas civilizações desde as antiguidades e sua principal característica é a de não utilizar vigas e pilares como seus elementos estruturais, de modo que os componentes que irão resistir as cargas das edificações são as próprias paredes. Quando se utiliza os blocos estruturais cerâmicos como componente modular no método construtivo se percebe que a diferença de materiais (cerâmico e cimentício) atrapalha a eficiência do conjunto bloco, argamassa e graute. Analisou-se então a oportunidade de aproximação destes materiais com incorporação do Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV) no concreto graute. Objetiva-se então com o trabalho aprofundar o conhecimento sobre a interação de dois dos elementos fundamentais da alvenaria estrutural, o bloco e o graute, verificando a resistência a compressão de prismas (corpos-de-prova da alvenaria estrutural) com substituição parcial no cimento Portland por 15% e 30% de RCV. Os métodos utilizados para realizar a pesquisa foram experimentais e todos os materiais utilizados na pesquisa foram inicialmente caracterizados para, então, se realizar o preparo dos prismas, tudo de acordo com as especificações normativas. Os resultados mostraram que os prismas com graute de 15% de RCV conseguiram atingir uma resistência a compressão semelhante aos prismas de referência, porém, os com 30% de RCV apresentaram um decaimento brusco de resistência. Conclui-se então que a utilização de resíduo de cerâmica vermelha como substituto parcial do cimento Portland na porcentagem de 15% conseguiu manter os mesmos requisitos de resistência mecânica quanto comparado ao de referência, portanto, levando em consideração o impacto ambiental que a produção do cimento Portland causa ao meio ambiente e que o RCV é um material proveniente da reciclagem da construção civil, a utilização dele como constituinte do concreto graute se torna plausível.

Palavras-chave: Estruturas; Prisma; RCV; Resistência.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Coliseu.	14
Figura 2 – Representação de arco no sistema construtivo.....	17
Figura 3 – Exemplo de blocos sobrepostos.....	19
Figura 4 – Blocos estruturais de concreto.	21
Figura 5 – Bloco estrutural cerâmico 14 cm x 19 cm x 29 cm.	21
Figura 6 – Blocos cerâmicos empilhados para secagem natural após extrusão.	22
Figura 7 – Demonstração de espessuras de juntas de assentamento.	24
Figura 8 – Demonstração do graute nos septos dos blocos.....	25
Figura 9 – Formatos de prismas mais utilizados.	27
Figura 10 – Materiais cerâmicos usados na construção civil.....	30
Figura 11 – Entulho de resíduo de cerâmica vermelha (RCV).	31
Figura 12 – Agregado miúdo.	32
Figura 13 – Curva granulométrica da Areia 1.	33
Figura 14 – Curva granulométrica da Areia 2.	33
Figura 15 – Agregado miúdo no frasco de Chapman.	34
Figura 16 – Agregado graúdo utilizado.....	35
Figura 17 – Cimento Portland utilizado na pesquisa.	36
Figura 18 – Fragmentos de RCV antes da moagem.	37
Figura 19 – Máquina de Abrasão Los Angeles.....	37
Figura 20 – Peneiramento do RCV.....	38
Figura 21 – Espectrômetro da marca Shimadzu, modelo EDX-7000.	38
Figura 22 – Difratorômetro de raios X da Shimadzu, modelo XRD-6000.	40
Figura 23 – Difratogramas de raio-x da amostra de RCV.....	41
Figura 24 – Bloco estrutural cerâmico.	41
Figura 25 – Capeamento do Bloco para regularização das faces.	43
Figura 26 – Ensaio de consistência da argamassa.	45
Figura 27 – Corpos-de-prova de argamassa.....	45
Figura 28 – Prensa mecânica.....	46
Figura 29 – corpo-de-prova de argamassa posicionado na prensa.....	47
Figura 30 – Betoneira MotoMill de 150 L.....	48
Figura 31 – Instrumentos do teste de abatimento Slump.	48
Figura 32 – Corpos-de-prova desmoldados e identificados.	49

Figura 33 – Retificadora.	50
Figura 34 – Corpo-de-prova posicionado para ensaio de compressão axial.	50
Figura 35 – Blocos cerâmicos posicionados para preparo dos prismas.	51
Figura 36 – Argamassa na face superior do bloco estrutural.	51
Figura 37 – Verificação da planicidade do prisma.	52
Figura 38 – Prisma grauteado.	52
Figura 39 – Prisma pronto para ser transportado.	53
Figura 40 – Prismas após a realização do capeamento.	54
Figura 41 – Prisma posicionado em prensa para ensaio de compressão axial.	54
Figura 42 – Abatimento de cada traço.	55
Figura 43 – Ganho de secção no prisma grauteado.	59
Figura 44 – Mecanismo de ruptura do prisma de referência.	61
Figura 45 – Modelo de ruptura dos prismas de 15% RCV.	62
Figura 46 – Modelo de ruptura dos prismas de 30% RCV.	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Requisitos para argamassa no estado fresco e endurecido.	23
Quadro 2 – Tipos de argamassas usadas em alvenaria estrutural.....	23
Quadro 3 – Relações Prisma/bloco estimadas.....	27
Quadro 4 – Caracterização do agregado miúdo.....	34
Quadro 5 – Dados da caracterização agregado graúdo.....	35
Quadro 6 – Dados referentes a qualidade de água distribuída pela CAERN.	35
Quadro 7 – Ficha da caracterização do CP V ARI RS da Mizu.	36
Quadro 8 – Resultado do ensaio de FRX.....	39
Quadro 9 – Determinação de Área Bruta do bloco estrutural cerâmico.	42
Quadro 10 – Determinação de Área Líquida do bloco estrutural cerâmico.	43
Quadro 11 – Resistência a compressão do bloco cerâmico.....	44
Quadro 12 – Traço e consistência da argamassa utilizado no trabalho.	45
Quadro 13 – Traços utilizados para confecção dos grautes.....	47
Quadro 14 – Resultado do Slump Test dos grautes.....	55
Quadro 15 – Resistência a compressão média dos corpos-de-prova.	56
Quadro 16 – Resistência a compressão dos prismas.	58
Quadro 17 – Eficiência dos prismas.	59
Quadro 18 – Eficiência dos prismas grauteados.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência a compressão dos componentes e dos prismas.	28
Gráfico 2 – Resistência a compressão dos componentes e dos prismas.	29
Gráfico 3 – Resistência a compressão dos corpos-de-prova de graute.	56
Gráfico 4 – Comportamento dos corpos-de-prova de graute quanto a resistência. .	57
Gráfico 5 – Resistência a compressão média dos prismas.	58
Gráfico 6 – Resistência a compressão média dos componentes.	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
2.1	DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA ALVENARIA ESTRUTURAL	17
2.2	ALVENARIA ESTRUTURAL MODERNA.....	18
2.2.1	Conceitos básicos	18
2.2.2	Materiais	19
2.3	PRISMAS.....	26
2.4	CERÂMICA VERMELHA: UTILIZAÇÃO, IMPACTOS E REUTILIZAÇÃO	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	MATERIAIS.....	32
3.1.1	Agregado Miúdo	32
3.1.2	Agregado Graúdo	34
3.1.3	Água de amassamento.....	35
3.1.4	Cimento Portland.....	36
3.1.5	Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV)	37
3.1.6	Blocos estruturais cerâmicos.....	41
3.2	MÉTODOS.....	44
3.2.1	Argamassa de assentamento	44
3.2.2	Graute	47
3.2.3	Prismas.....	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
4.1	SLUMP TEST	55

4.2	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	56
4.2.1	Corpos-de-prova de graute.....	56
4.2.2	Prismas.....	57
4.3	MECÂNISMO DE RUPTURA.....	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A alvenaria estrutural é um modelo construtivo que está presente nas civilizações desde a antiguidade. O modelo garante estabilidade estrutural e durabilidade, visto que várias obras antigas estão de pé e em bom estado até hoje, como exemplo tem-se o Coliseu em Roma, que sua estrutura data de 70 d.C. e sua capacidade de cinquenta mil pessoas (Figura 1).

Graças ao conhecimento empírico dos construtores da época, a alvenaria estrutural foi atravessando gerações e ocorreram várias mudanças e melhorias. Os vãos foram se tornando maiores e o método construtivo foi evoluindo e sendo cada vez mais estudado e utilizado. Entretanto, com a descoberta do concreto armado, a alvenaria estrutural ficou por um tempo esquecida e os estudos a respeito do método evoluíram cada vez de forma mais lenta.

Figura 1 – Coliseu.



Fonte: Mundi (2018)¹.

O princípio básico da alvenaria estrutural está ligado a utilização de paredes como estrutura da edificação, estas que irão suportar todos os carregamentos provenientes do peso próprio, utilização, vento e até mesmo sismos.

Os materiais básicos que constituem o método estrutural em estudo são o bloco estrutural, argamassa de assentamento, graute e armaduras. Cada um desses tem uma função específica na estrutura final, portanto, o estudo de cada um e da interação entre eles é de grande importância para o avanço de conhecimento na área.

¹ Disponível em: <https://blog.mundi.com.br/2015/10/07/coliseu-um-passeio-pela-historia/>; Acesso em: 31 de agosto de 2018.

O graute é um concreto fluido utilizado para preenchimento dos septos dos blocos estruturais e, conseqüente, aumento de área de atuação dos esforços e diminuição, com isso, das tensões atuantes naquela região. Outra função do mesmo é a de solidarizar as armaduras com o sistema, fazendo com que o mesmo consiga resistir a esforços de tração também. Este conjunto deve funcionar monoliticamente procurando sempre usar a eficiência máxima de cada material no compósito, isso garante então a estabilidade e qualidade do sistema. Um dos problemas relacionados a utilização do bloco estrutural cerâmico como unidade modular é a diferença de materiais entre o graute, que é um material cimentício, e o bloco, que no caso em questão é um material cerâmico, que causa a diminuição da eficiência e do trabalho monolítico do sistema.

Independentemente do sistema construtivo, o resíduo está presente na maioria das obras. A indústria da construção civil é uma das principais geradoras de economia como também uma das que mais geram resíduo sólido, grande parte desse desperdício se reflete em dinheiro de grandes empresas perdido. A maioria das vezes os resíduos são descartados sem cuidado algum, causando impactos ambientais nos locais de rejeite, porém, uma melhor administração e maneiras de aproveitar esses resíduos já existem, e podem minimizar impactos ambientais e reduzir custos.

A utilização de resíduo de cerâmica vermelha já está inserida em algumas áreas da construção civil, como por exemplo para utilização como agregados em aterros e contrapisos, depois de sua britagem. Outra área que se tem estudo a respeito do RCV, é do mesmo como composto de argamassas e concretos, devido a sua atividade pozolânica, que já foi comprovada por vários autores.

A utilização de corpos-de-prova de alvenaria estrutural, os prismas, como referência para determinação da resistência da parede vem trazendo resultados com grande valor para a evolução do método construtivo, porém, pouco se tem a respeito da utilização de resíduo de cerâmica vermelha (RCV) na composição do graute

Dentro deste contexto, observa-se a oportunidade do estudo, fazendo a verificação da resistência a compressão de prismas compostos por blocos cerâmicos e grautes com utilização de substituição parcial do cimento Portland por resíduo de cerâmica vermelha.

1.2 OBJETIVOS

Teve-se como objetivo geral analisar e aprofundar o conhecimento sobre a interação de dois elementos fundamentais da alvenaria estrutural, o bloco e o graute, sendo este com incorporação de RCV. Como objetivos mais específicos, visou-se:

- Conhecer os elementos que constituem a alvenaria estrutural, como também do corpo-de-prova desse método, o prisma;
- Compreender a importância da reutilização do RCV;
- Verificar a eficiência no quesito resistência a compressão axial de prismas grauteados com distintas substituições parciais (15% e 30%) de cimento Portland por RCV no graute, quando em comparação com a utilização do graute convencional;

1.3 JUSTIFICATIVA

O bloco cerâmico possui várias vantagens quando relacionado com o seu concorrente, o bloco de concreto. Dentre essas pode-se destacar o custo inferior e menor peso, o que, conseqüentemente, gera menores cargas nas fundações e ainda facilita a sua locomoção e manuseio dentro do canteiro de obras.

A utilização desse bloco dentro da alvenaria estrutural pode ser ainda mais favorável, de maneira que seja melhorada a eficiência entre o concreto graute e o bloco cerâmico a partir da utilização do resíduo de cerâmica vermelha como substituto parcial do cimento Portland.

Visto isso, justifica-se a produção de um graute que possa atender aos requisitos mínimos de resistência de prisma e que sua produção proporcione uma economia de material cimentício, que causa impactos ao meio ambiente, e utilize algum resíduo da construção civil, que não possui fins específicos de utilização.

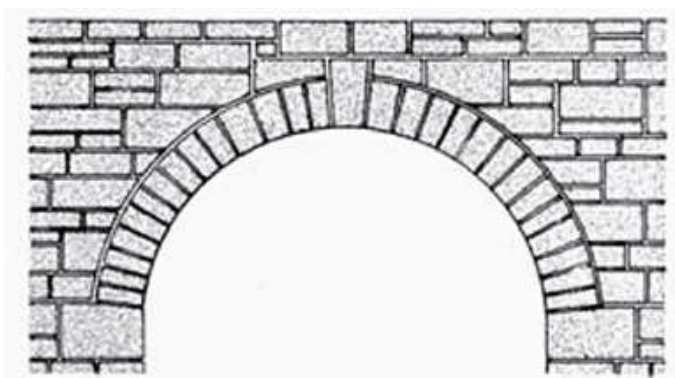
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Na antiguidade a robustez e qualidade estrutural de uma edificação só era possível por causa da disseminação do conhecimento empírico, em que a forma e a seção das estruturas era o suficiente para lhes manter de pé. Todo esse conhecimento era transmitido de geração em geração pelos construtores da época. Com a evolução do conhecimento a respeito das construções e dos materiais, pôde-se então prezar um pouco mais pela liberdade arquitetônica das edificações (SÁNCHEZ, 2013).

A evolução dos métodos construtivos possibilitou a utilização de vãos maiores, empregando como alternativa os arcos. Os vãos então eram obtidos através do arranjo das unidades de uma maneira que não existissem tensões de tração de valores significativos. O esquema apresentado na Figura 2 representa a utilização de arco na estrutura para evitar tensões altas de tração e utilizar vãos e pés direitos maiores que o convencional na época (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Figura 2 – Representação de arco no sistema construtivo.



Fonte: Ramalho e Corrêa (2003).

O conceito básico da alvenaria estrutural está diretamente ligado as construções antigas, que usavam a sobreposição de peças nas elevações das estruturas. Muitos dos edifícios antigos em alvenaria foram projetados usando o peso do próprio pavimento para evitar ações provenientes da falta de regularidade e excentricidade, ou seja, a estabilidade das edificações era garantida pela ação da gravidade (PARSEKIAN *et al.*, 2014).

Diversos materiais já foram utilizados para construir em alvenaria estrutural, geralmente aproveitavam-se os que eram encontrados nas proximidades das civilizações por causa da dificuldade de transporte dos mesmos. Alguns exemplos que

podem ser mostrados são a utilização de rochas, tijolos de barro e até mesmo gelo (PARSEKIAN *et al.*, 2014).

O marco inicial da alvenaria estrutural moderna se deu na Suíça com estudos realizados por Paul Haller que ensaiou várias paredes de alvenaria estrutural, tudo por causa da escassez de materiais como concreto e aço proporcionado pela Segunda Guerra Mundial. Os dados recolhidos dos testes realizados possibilitaram a construção de um edifício de 18 pavimentos com espessura de base de 30 cm e 38 cm, causando uma revolução no método construtivo (SÀNCHESES, 2013).

No Brasil a técnica construtiva só surgiu na década de 1960. Os blocos cerâmicos nas obras de alvenaria estrutural foram difundidos apenas em meados de 1980, com a implantação no mercado de construção de blocos com dimensões modulares e furos na vertical, facilitando a passagem de instalações elétricas sem o rasgo feito nas obras convencionais (SÀNCHESES, 2013).

2.2 ALVENARIA ESTRUTURAL MODERNA

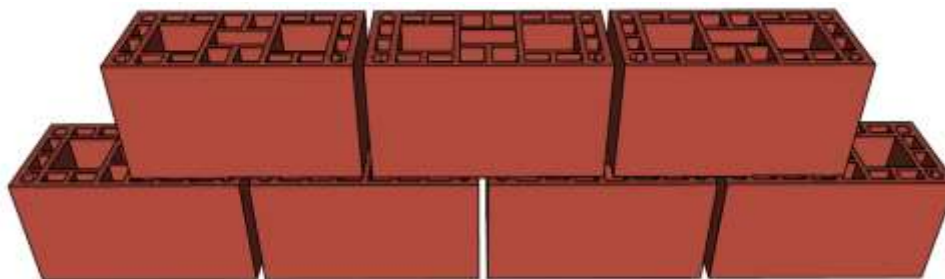
2.2.1 Conceitos básicos

Chama-se de alvenaria estrutural o conjunto de peças postas umas sobre as outras,

Figura 3, capaz de resistir a esforços provenientes da gravidade, formando um elemento vertical unido. Este serve para vedar espaços, resistir a cargas gravitacionais, promover segurança, resistir a impactos, proporcionar conforto térmico e acústico, dentre outras características. Na alvenaria estrutural não se tem a utilização de pilares e vigas, pois as paredes de alvenaria fazem a função estrutural e distribuem as cargas uniformemente até as fundações (TAUIL; NESSE, 2010).

Nesse método construtivo o elemento principal é o bloco, a unidade modular básica. A união de vários blocos se dá pela argamassa, que solidariza e forma os elementos chamados de paredes. As paredes possuem a capacidade de resistir aos esforços oriundos dos pavimentos superiores, do peso próprio da edificação, a sobrecargas, ações de vento, sismos, dentre outras solicitações (SÀNCHESES, 2013).

Figura 3 – Exemplo de blocos sobrepostos.



Fonte: Autor.

Até pouco tempo as edificações em alvenaria estrutural eram descritas como alvenaria não armada. Para introduzir no sistema paredes de espessuras menores e tamanhos de vãos maiores, foi inserido sistemas de alvenaria estrutural armada e protendida (PARSEKIAN et al., 2014).

Reforços em algumas regiões devido a exigências estruturais, são usadas na alvenaria estrutural armada. Usa-se armaduras passivas de fios, barras e telas de aço dentro dos blocos, que são posteriormente grauteados para uniformizar e possibilitar o trabalho em conjunto da parede com o aço (TAUIL; NESSE, 2010).

A alvenaria armada é realmente necessária para resistir às tensões de tração e cisalhamento presentes na edificação e essa armação permite o ganho de altura em edifícios, com paredes relativamente pouco espessas (PARSEKIAN et al., 2014).

A protensão de alvenarias pode ser feita utilizando barras rosçadas de aço e aplicando nelas a força de protensão. Os tipos de construções indicadas para utilização de protensão incluem: arrimos, galpões, vigas, paredes corta-fogo, barreira acústica, entre outras (PARSEKIAN et al., 2014).

2.2.2 Materiais

As paredes do modelo estrutural em estudo são compostas pela união de diferentes materiais, como o bloco, a argamassa e grautes. A composição de materiais com diferentes composições impõe aos projetistas certas dificuldades de especificação para os fins estruturais (SÀNCHEZ, 2013).

Um componente da alvenaria estrutural é uma entidade básica, algo que compõe um elemento, que por sua vez forma a estrutura. Os principais componentes da alvenaria são os blocos, argamassa, graute e armadura. Alguns elementos que podem ser citados são uma parte suficientemente elaborada da estrutura, formado de

pelo menos dois componentes. Exemplos de componentes são as paredes, pilares, cintas, vergas, dentre outros (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

2.2.2.1 Blocos estruturais

O componente básico da alvenaria estrutural são os blocos ou unidades. Eles são responsáveis pela característica resistente do método construtivo em questão e possuem todas as características da alvenaria convencional. Quanto aos materiais componentes são utilizados os blocos estruturais de concreto, cerâmicos e sílico calcários (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Segundo Parsekian *et al.* (2014), os blocos estruturais devem atender a características visuais, o que impede de os mesmos possuírem defeitos como quebras, deformações ou superfícies irregulares que dificulte sua utilização como componente estrutural. As tolerâncias dimensionais são baseadas em valores individuais e também na variação média de um lote.

Parsekian *et al.* (2014) afirma também que a resistência a compressão dos blocos é uma característica de extrema importância, uma vez que com este dado, aliado à especificação adequada de argamassa e graute, pode-se obter a resistência a compressão adequada para a parede.

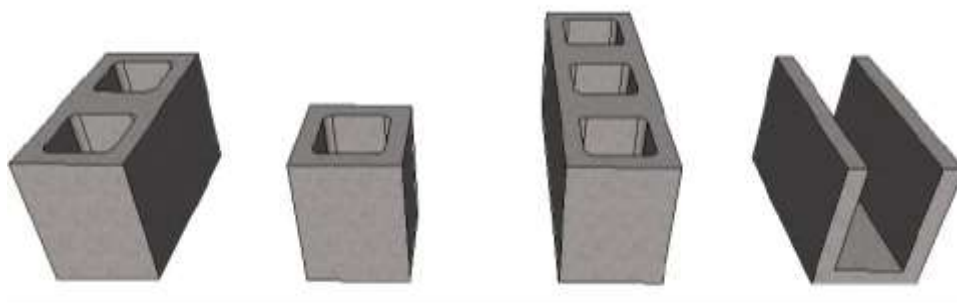
a) Blocos de concreto

Os blocos de concreto,

Figura 4, são constituídos de areia, brita, cimento, água e aditivos e são produzidos por vibrocompactação, posteriormente curados em câmaras úmidas para aceleração desta cura. Normalmente essas unidades possuem um, dois, ou três vazados e uma resistência que varia de 4,5 MPa a 20 MPa. Várias modulações são produzidas, para garantir uma mais fácil adaptação aos diversos tipos de arquiteturas (SÀNCHEZ, 2013).

Os blocos de concreto podem ser classificados em quatro classes (A, B, C e D), onde apenas a classe D não possui função estrutural. Esta classificação está de acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2014) que traz requisitos de dimensões, materiais, resistência, absorção e retração (PARSEKIAN *et al.*, 2014).

Figura 4 – Blocos estruturais de concreto.



Fonte: Autor.

b) Blocos cerâmicos

Os tijolos cerâmicos (Figura 5) são conhecidos por sua utilização na alvenaria de vedação, porém, podem também desempenhar funções estruturais desde que atendam aos critérios dimensionais e de resistência. O material constituinte básico para os blocos cerâmicos é a argila que é composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos (SÀNCHEZ, 2013).

Usar blocos cerâmicos (Figura 5) se tornou uma alternativa economicamente viável, visto que existem jazidas de argila em diversas regiões, que facilita o transporte desse material para o canteiro de obras das edificações. As funções estruturais são muito bem desempenhadas pela unidade em questão. O peso menor do bloco cerâmico quando se compara com o bloco de concreto facilita o manuseio, assentamento e conseqüentemente diminui o peso próprio da edificação (PARSEKIAN *et al.*, 2014).

Figura 5 – Bloco estrutural cerâmico 14 cm x 19 cm x 29 cm.



Fonte: Autor.

A produção da unidade estrutural cerâmica se dá basicamente pela preparação da argila, transformando-a em uma massa plástica, com adição de água e se necessárias adições diferentes de outros tipos de argilas, tudo isso em um misturador mecânico. O próximo passo é a extrusão da massa plástica, para formação dos blocos, que são recolhidos e empilhados para a secagem natural (Figura 6). Finalmente os blocos são levados ao forno a temperaturas que variam entre 800 °C e 1000 °C, e quando retirados são empilhados para resfriamento.

Figura 6 – Blocos cerâmicos empilhados para secagem natural após extrusão.



Fonte: Autor.

c) Bloco sílico-calcário

Os blocos sílico-calcários são produzidos a partir da mistura de cal e areia e prensados por autoclavagem, para produção de blocos de boa uniformidade, aparência e precisão dimensional. São utilizados pigmentos e tratamentos superficiais para permitir textura e coloração aos blocos. Esse bloco é dividido em classes, de acordo com sua resistência a compressão, com unidades que variam da classe A com resistência de 4,5 MPa, até a classe J com blocos de resistência de 35 MPa (PARSEKIAN *et al.*, 2014).

2.2.2.2 Argamassa de assentamento

O papel principal da argamassa de assentamento dentro da alvenaria estrutural é o de solidarizar as unidades, transmitir as tensões entre elas e absorver pequenas deformações. Sua composição se dá pela união e mistura de areia, cimento, cal e água, de forma que a trabalhabilidade, plasticidade e resistências sejam as suficientes para um bom desempenho de suas funções dentro da estrutura (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Segundo Sánchez (2014), a argamassa que é usada para alvenaria estrutural tem como principal responsabilidade a transmissão das tensões verticais por meio dos blocos, acomodando as deformações concentradas para não formar fissuras. Alguns requisitos básicos para um bom desempenho da argamassa no estado fresco e endurecido são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Requisitos para argamassa no estado fresco e endurecido.

Estado Fresco	Estado Endurecido
Consistência	Resistência a compressão
Retenção de água	Aderência superficial
Coesão da mistura	Durabilidade
Exsudação	Capacidade de acomodar deformações (resiliência).

Fonte: Sánchez (2013).

A argamassa para alvenaria estrutural, diferentemente das convencionais, deve ter uma trabalhabilidade correta, que permite que a mesma vá aderir sobre a colher de pedreiro, deslizar facilmente sobre ela e se espalhar facilmente sobre os blocos, além do poder de aderência e a capacidade de resistir ao peso da fiada superior ainda no estado fresco. A trabalhabilidade pode então ser medida em laboratório através do ensaio de consistência, descrito pela NBR 13276 (ABNT, 2002). Os valores de boa trabalhabilidade estão na faixa de 230 mm com variação de 10 mm (SÁNCHEZ, 2013).

Conforme Sánchez (2013), as argamassas utilizadas para assentamento de blocos estruturais podem ser classificadas (Quadro 2) de acordo com os materiais presentes em sua constituição, por exemplo: argamassa com adição de cal; argamassa de cimento; argamassa mista de cimento e cal; argamassas industrializadas.

Quadro 2 – Tipos de argamassas usadas em alvenaria estrutural.

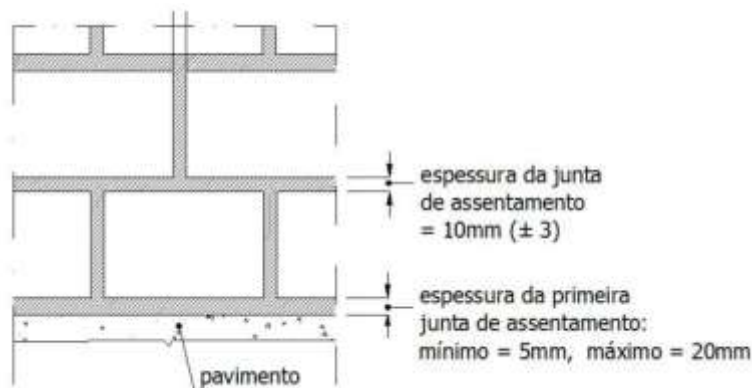
Argamassa de cal	Argamassa tradicional encontrada em construções históricas e constitui-se basicamente de cal e areia.
-------------------------	---

Argamassa de Cimento	Sua composição e de cimento Portland e areia, adquire resistência com rapidez. Mistura antieconômica e podem facilitar o aparecimento de fissuras por retração.
Argamassa mista (cimento e cal)	Argamassa constituída de cimento, cal e areia e quando corretamente dosadas possuem características de trabalhabilidade e resistência adequadas para o emprego em alvenaria estrutural.
Argamassa industrializada	Nesta argamassa a cal é substituída por aditivos plastificantes e incorporadores de ar

Fonte: Sánchez (2013).

Conforme a NBR 15961-2 (ABNT, 2011) as juntas de argamassa devem ter espessuras de 10 mm, exceto as juntas horizontais da primeira fiada. A variação máxima da espessura das juntas deve ser de ± 3 mm (Figura 7).

Figura 7 – Demonstração de espessuras de juntas de assentamento.



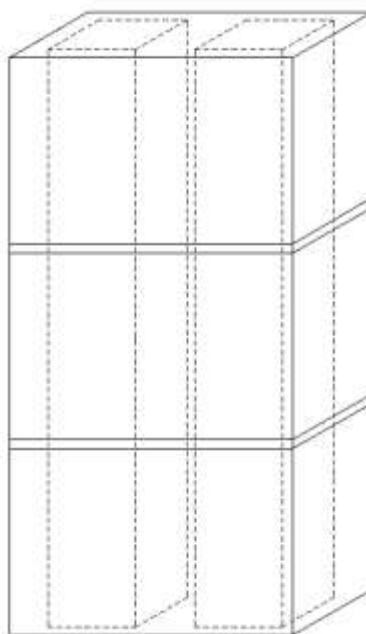
Fonte: NBR 15961-2 (ABNT, 2011).

2.2.2.3 Graute

Segundo Ramalho e Côrrea (2013), o graute é um concreto que utiliza em sua composição agregados de pequena dimensão que não ultrapassam os 9,5 mm de diâmetro. Tem função de preencher o vazio dos blocos e propiciar o aumento de seção da parede, como também solidarizar os blocos com as armaduras que estão inseridas nos septos dos blocos. Deste modo, a capacidade resistente da alvenaria se eleva, tanto a compressão (aumento da área da seção transversal) como a tração (acrécimo

de armaduras e solarização com o graute). Na Figura 8 pode-se observar em linhas tracejadas o local onde deve-se inserir o graute.

Figura 8 – Demonstração do graute nos septos dos blocos.



Fonte: Autor.

As principais diferenças do graute em relação ao concreto convencional são o alto valor de *slump* e a utilização de um fator água cimento elevado. A consistência muito fluida do graute é necessário visto que os vazados que serão grauteados são muito pequenos e também se leva em consideração a perda de água de amassamento do graute para os blocos que absorvem muito rápido a água após o lançamento (PARSEKIAN *et al.*, 2014).

As propriedades do graute no estado fresco e endurecido, são importantes para garantia de trabalhabilidade exigida e qualidade deste concreto. Algumas dessas propriedades são a consistência, a retração e a resistência a compressão. Em relação a consistência é necessário que a mistura apresente coesão e fluidez para preencher todos os furos dos blocos uniformemente, sem deixar espaços vazios. Uma propriedade muito necessária é a retração do graute, que pode atrapalhar a aderência do concreto com as paredes verticais do septo que está sendo preenchido, inabilitando a ajuda que o graute proporciona ao sistema. Já a resistência a compressão do graute deve ser combinada com as propriedades mecânicas dos blocos e da argamassa para um trabalho monolítico e uniforme, proporcionando as características à compressão da alvenaria (SÁNCHEZ, 2013).

Parsekian *et al.* (2014) recomenda que a resistência do graute não seja inferior aos 15 Mpa em pontos de armadura, para garantia de aderência. O uso de grautes com resistências muito superiores à resistência do bloco na área líquida não traz benefícios à alvenaria. Vale destacar que os valores de resistência não indicativos, usados eventualmente para dimensionamento estrutural, o que realmente interessa é o ensaio de prisma cheio, que une o bloco com a argamassa e o graute.

Sánchez (2013) cita que o graute deve ser dosado para que atinja as características físicas e mecânicas para o bom desempenho estrutural da parede, o material que irá ser usado na obra deve ser recolhido e com ele preparado prismas para ensaios, verificando com isso se as especificações de materiais irão proporcionar o resultado de resistência desejado.

2.2.2.4 Armaduras

As armaduras em alvenaria estrutural são utilizadas para resistir aos esforços de tração e cisalhamento, como também para permitir ductilidade em situações de ocorrência de sismos. Podem servir também para conectar paredes e evitar fissuração entre parede estrutural e não estrutural, com a utilização de telas de amarração. Os tipos de armaduras mais utilizadas são as barras de aço, conectores, cabos de protensão e armaduras de junta (PARSEKIAN *et al.*, 2014).

Sánchez (2013) afirma que as barras de aço que são utilizadas em alvenaria são as mesmas do concreto armado, porém, na alvenaria estrutural serão sempre envolvidas pelo graute, para garantia do trabalho monolítico de todos os materiais.

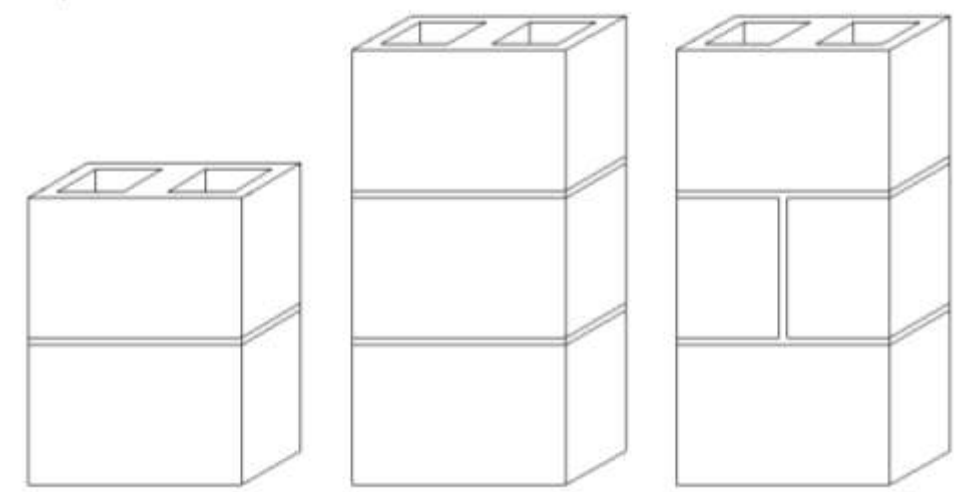
2.3 PRISMAS

A alvenaria estrutural pode ser descrita como um sistema formado por materiais distintos em sua composição básica. O comportamento monolítico da estrutura depende da qualidade de cada material e também das interações físico-químicas entre eles, dessa forma é importante entender que o desempenho estrutural de paredes de alvenaria estrutural não pode ser estimado sem a realização de ensaios com paredes ou prismas montados com os materiais que serão utilizados na obra (SÁNCHEZ, 2013).

O prisma é o corpo de prova da alvenaria estrutural e é obtido pela sobreposição de blocos ligados por argamassa, podendo ser grauteados ou não. Em concreto armado utiliza-se o corpo de prova cilíndrico para controle de obras, o mesmo ocorre em alvenaria estrutural, só que com a utilização de prismas para esse controle.

Parsekian *et al.* (2014) afirma que os prismas geralmente possuem as dimensões de um bloco pela largura e pelo comprimento, e a altura varia de acordo com a quantidade de fiadas (de duas a cinco) que serão utilizadas (Figura 9).

Figura 9 – Formatos de prismas mais utilizados.



Fonte: Autor.

A eficiência dos prismas mede-se pela relação prisma/bloco, a qual compara a resistência do prisma de alvenaria estrutural com o bloco utilizado para confecção deste prisma. Esse fator permite que se tenha conhecimento da eficiência da utilização do bloco e da argamassa como compósito.

Segundo Parsekian *et al.* (2014), os ensaios de caracterização de prismas e blocos devem ser realizados sempre no início e no término de uma construção. Relações prisma/bloco de valor até 0,3 são ditas como baixas, com utilização de blocos de baixa qualidade, já relações de até 0,6 são obtidos a partir de blocos com bons fabricantes. No Quadro 3 pode-se verificar algumas relações prisma/bloco encontradas em ensaios, levando em consideração a resistência do bloco, argamassa e graute.

Quadro 3 – Relações Prisma/bloco estimadas.

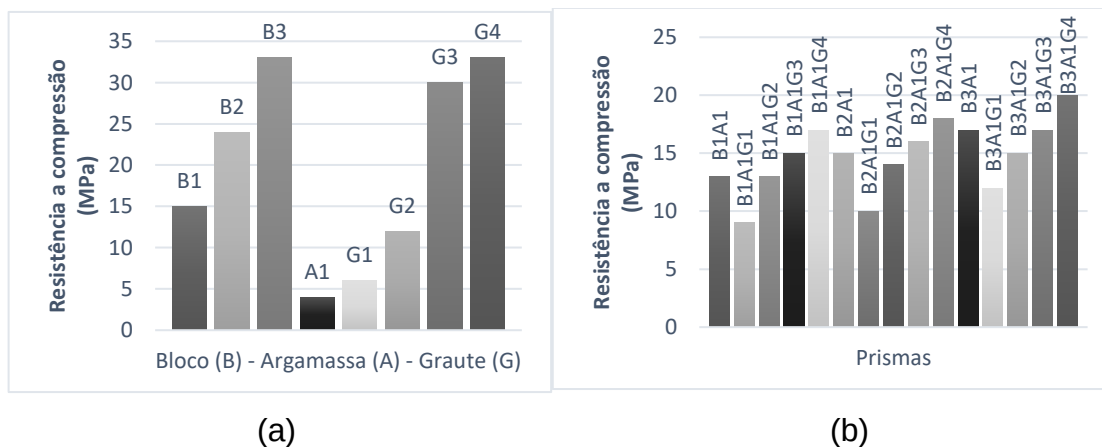
Tipo de Bloco	MPa			f_{pk}/f_{bk} (Prisma oco)	* f_{pk}/f_{bk} (Prisma grauteado)
	f_{bk}	f_a	f_{gk}		
Bloco Vazado de concreto	3,0	4,0	15,0	0,80	2,00
	4,0	4,0	15,0	0,80	2,00
	6,0	6,0	15,0	0,75	1,75

	8,0	6,0	20,0	0,75	1,75
	10,0	8,0	20,0	0,70	1,60
	12,0	8,0	25,0	0,70	1,60
	14,0	12,0	25,0	0,70	1,60
	16,0	12,0	30,0	0,70	1,60
	18,0	14,0	30,0	0,70	1,50
	20,0	14,0	30,0	0,70	1,50
Bloco cerâmico de parede vazada	3,0	4,0	15,0	0,50	1,60
	4,0	4,0	15,0	0,50	1,60
	6,0	6,0	15,0	0,50	1,60
	8,0	6,0	20,0	0,50	1,60
	10,0	8,0	25,0	0,45	1,60
	12,0	8,0	25,0	0,45	1,60

Fonte: Parsekian *et al.* (2014).

Na pesquisa realizada por Romagna (2000) diferentes composições entre os blocos de concreto, argamassa e graute foram ensaiadas a compressão axial para a avaliação da influência da resistência de cada componente, Gráfico 1(a), no conjunto prisma, Gráfico 1(b). Com os resultados obtidos verificou-se a importância de se ter uma adequada combinação na resistência entre os componentes, pois afeta diretamente os resultados de resistência a compressão do prisma.

Gráfico 1 – Resistência a compressão dos componentes e dos prismas.

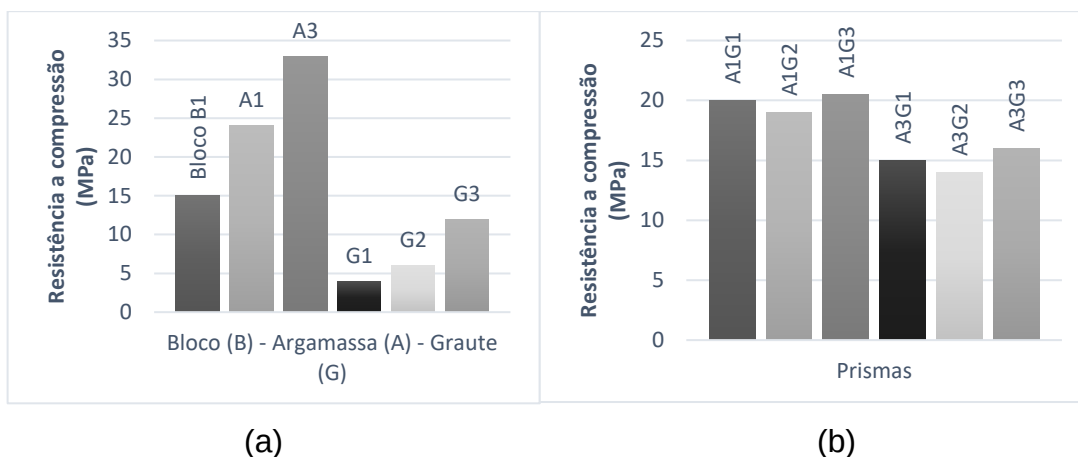


Fonte: Adaptado de Romagna (2000).

Blocos cerâmicos estruturais de paredes maciças foram ensaiados por Kuerten (1998) que utilizou no seu trabalho um bloco estrutural (B1), duas

argamassas diferentes (A1 e A2) e três grautes distintos (G1, G2 e G3). No Gráfico 2(a) encontram-se as resistências dos componentes utilizados para confecção dos prismas. Foram feitas várias combinações de argamassas e grautes com diferentes resistências e os resultados dos ensaios de compressão axial encontra-se no Gráfico 2(b).

Gráfico 2 – Resistência a compressão dos componentes e dos prismas.



Fonte: Adaptado de Kuerten (1998).

2.4 CERÂMICA VERMELHA: UTILIZAÇÃO, IMPACTOS E REUTILIZAÇÃO

Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE (2008), o uso de peças cerâmicas elaboradas com argila data de 4000 a.C., dessa mesma época tem-se o indício de utilização de tijolos nas construções, fabricados na antiga Mesopotâmia. Na Grécia, China e Japão, em torno de 430 a.C., foram encontrados indícios de utilização de telhas. Todas essas atividades foram se aprimorando e por volta do século I a.C. se inicia a evolução na qualidade produtiva dos materiais a base da queima da argila, resultando em peças de maior valor estético e monetário.

O tijolo cerâmico surgiu no século XIX e seu uso se propagou rapidamente devido à facilidade de execução de alvenarias. Ele apresenta bons resultados de conforto térmico e acústico, oferece boa resistência mecânica e uma boa adaptação geométrica. Com a evolução das técnicas construtivas e maior exigência das obras foram produzidos diversificados formatos de peças com dimensões variadas para cada tipo de exigência (OLIVEIRA, 2012).

Gomes (1998) afirma que a matéria-prima da cerâmica vermelha possui grandes quantidades de silte e areia, com variações de cor. O teor em fração argilosa é baixo, porém suficiente para permitir o desenvolvimento da plasticidade necessária

para a modelagem dos elementos cerâmicos. A plasticidade cresce de acordo com a relação (minerais argilosos/minerais não argilosos). A queima da argila se dá em atmosfera oxidante onde a temperatura não pode ser superior aos 950 °C. Após a queima o material resultante são blocos de coloração avermelhada, porém se a argila tiver origens calcárias essa tonalidade é atenuada, variando para um tom acastanhado. Os principais produtos obtidos na cerâmica vermelha para a construção civil são: tijolos; blocos; telhas; lajotas; tubos cerâmicos entre outros (Figura 10).

Figura 10 – Materiais cerâmicos usados na construção civil.



Fonte: Donadel (2013).

Segundo SINDICER (2014) os principais impactos ambientais ligados a retirada de argila de jazidas dependem do local ou região da retirada, do porte do empreendimento, de sua localização, das características ambientais e sociais do entorno e das características da jazida e tratamento utilizado. Alguns dos impactos são listados abaixo:

- Supressão da vegetação e interferência sobre a fauna;
- Modificação na estrutura do solo;
- Alteração no nível do lençol freático;
- Poluição sonora;
- Instabilidade de margens e taludes;
- Erosão e assoreamento dos rios;
- Geração de resíduos sólidos;

O material proveniente de restos de cerâmicas vermelhas é chamado de resíduo de cerâmica vermelha (RCV) e é bem limitado devido às suas características e propriedades (Figura 11). A diversidade da composição química, dificulta a reciclagem de materiais cerâmicos e outro fator que atrapalha é a maneira como se dá a coleta dos resíduos, que muitas vezes estão misturados em forma de entulho na

construção civil. No entanto a confecção de agregados através da britagem do RCV é uma solução para utilização em canteiros de obras para enchimento de valas, reforços de bases de pavimentação, cascalhamento de estradas, aterros, contrapisos, argamassas entre outros.

Figura 11 – Entulho de resíduo de cerâmica vermelha (RCV).



Fonte: IPT (2016).²

Gonçalves (2007) afirma que a utilização de materiais adicionais para a produção de materiais cimentícios minimiza a emissão de CO₂ e diminui o consumo de energia, contribuindo com isso para reduções do impacto ambiental causada pela destinação do cimento. Os resíduos da cerâmica vermelha ao serem utilizados como substitutos parciais do cimento Portland se tornam uma alternativa na produção de concretos e argamassas, em função da grande oferta deste material no território brasileiro.

Ao ser moído e peneirado adequadamente, o RCV pode colaborar com atividade pozzolânica e com isso uma consequente melhora no desempenho mecânico dos concretos (LEITE, 2001).

Em um estudo realizado por Xavier *et al.* (2008), a substituição parcial do cimento Portland por RCV aumentou a capacidade da mistura e o seu efeito pozzolânico, o que consumiu parte da portlandita que a hidratação do cimento produz. Na pesquisa em questão houve uma substituição de 15% de resíduo em massa pelo cimento, o que acarretou uma considerável economia de recursos não renováveis e redução nos custos de produção do concreto.

² IPT. **Cerâmica vermelha**. Disponível em: http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1074
Acesso em: 15 de agosto de 2018.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O atual estudo incide na análise da eficiência de prismas grauteados de alvenaria estrutural, com substituição no graute do cimento Portland em massa por 15% e 30% de resíduo de cerâmica vermelha.

A realização da pesquisa se deu em cinco laboratórios, sendo eles o Laboratório de Materiais de Construção da UFERSA, no campus de Angicos e também no campus de Mossoró, no Laboratório de Materiais de Construção do IFRN campus de Mossoró, laboratório de física da UERN em Mossoró e por fim no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN em Natal.

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a realização da pesquisa estão listados a seguir:

- Agregado Miúdo;
- Agregado Graúdo;
- Água de amassamento;
- Cimento Portland;
- Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV);
- Blocos estruturais cerâmicos;

3.1.1 Agregado Miúdo

O agregado miúdo usado para o trabalho foi a areia natural (Figura 12). Foram usados dois lotes de areias no trabalho e ambos foram recebidos e peneirados com utilização da peneira de 4,75 mm de abertura e o material passante foi seco em estufa por 24 horas, e posteriormente separado e estocado para realização dos ensaios de caracterização. Foram realizados os ensaios de granulometria, determinação de massa específica e por fim determinação da massa unitária para cada lote.

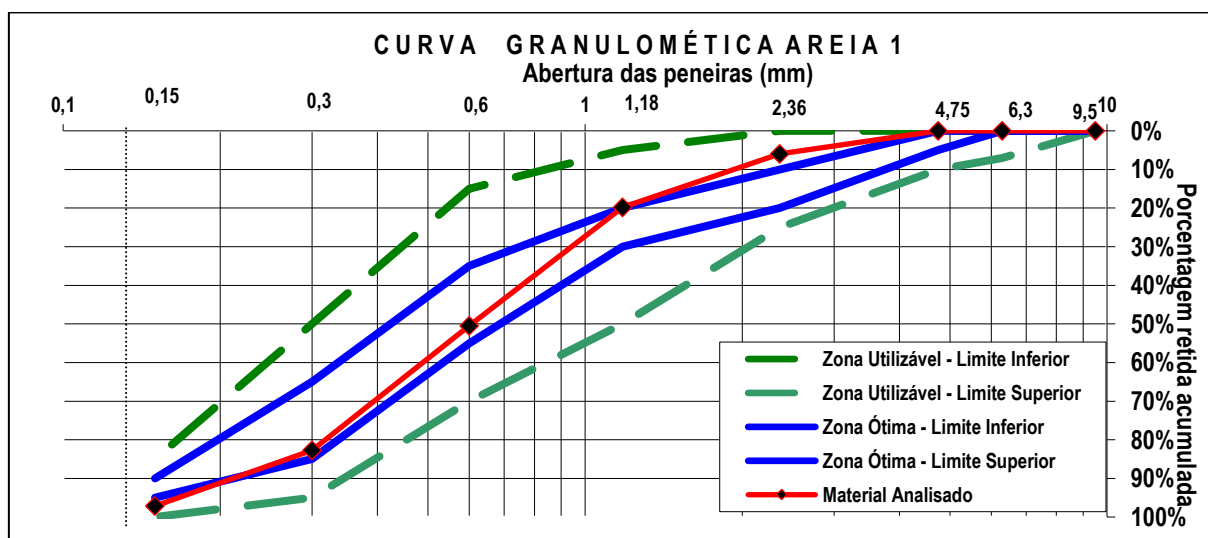
Figura 12 – Agregado miúdo.



Fonte: Autor.

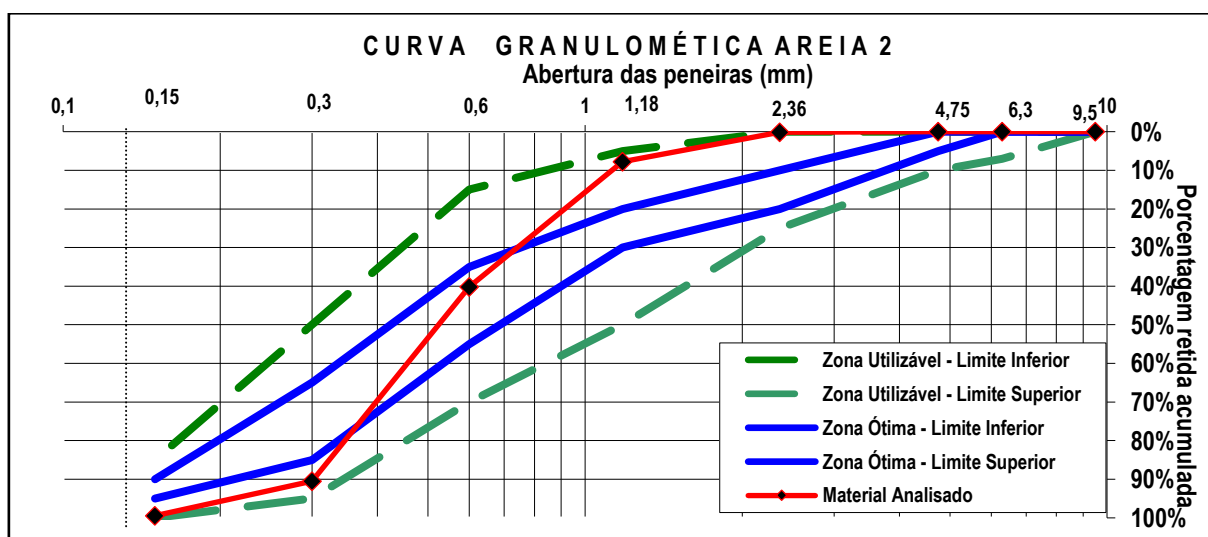
O ensaio de granulometria foi realizado segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) com utilização da série normal de peneiras, obtendo-se a fração dos grãos e a curva granulométrica da areia utilizada. Com as curvas granulométricas traçadas (Figura 13) e (Figura 14) observou-se que os agregados miúdos ensaiados estão dentro da zona utilizável. As areias foram então nomeadas em Areia 1 e Areia 2, sendo a primeira usada para confecção da argamassa e a segunda do graute.

Figura 13 – Curva granulométrica da Areia 1.



Fonte: Autor.

Figura 14 – Curva granulométrica da Areia 2.



Fonte: Autor.

Para o ensaio de massa específica real seguiu-se a NBR NM 52 (ABNT, 2003). A realização se procedeu com a utilização do frasco de Chapman (Figura 15), no qual foi adicionado primeiramente 200 ml de água e logo depois 500 g de areia evitando

sempre a formação de bolhas de ar no interior do frasco. Com os valores de massa e volume obtidos foi possível calcular o valor da massa específica do agregado miúdo.

Figura 15 – Agregado miúdo no frasco de Chapman.



Fonte: Autor.

A determinação da massa unitária do agregado miúdo foi obtida segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Obteve-se então os valores da caracterização do agregado miúdo, que estão expressos na Quadro 4.

Quadro 4 – Caracterização do agregado miúdo.

Agregado Miúdo	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de Finura	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)
Areia 1	4,75	2,40	2,55	1,52
Areia 2	4,75	2,56	2,62	1,52

Fonte: Autor.

3.1.2 Agregado Graúdo

O agregado graúdo usado para o trabalho foi a brita 0 (Figura 16), com as dimensões máximas de 9,5 mm. O material em questão foi adquirido em uma loja de materiais de construção da cidade de Angicos. O agregado graúdo foi lavado, para retirada de finos, logo após foi seco em estufa por 24 horas e posteriormente estocado para execução dos ensaios de caracterização. Foram realizados com a brita os ensaios de determinação de massa específica e por fim determinação da massa unitária.

Figura 16 – Agregado graúdo utilizado.

Fonte: Autor.

O primeiro ensaio de caracterização realizado no agregado graúdo foi o de determinação de massa específica, com referência normativa da NBR NM 53 (ABNT, 2009). A massa unitária foi obtida a partir da NM 45 (ABNT, 2006). Os resultados dos ensaios são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Dados da caracterização agregado graúdo.

Diâmetro máximo (mm)	Massa Específica Seca (g/cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)
9,5	2,65	1,40

Fonte: Autor.

3.1.3 Água de amassamento

A água de amassamento utilizada no trabalho foi a fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN, estando dentro de todos os parâmetros de qualidade mínimas, como pode-se observar no Quadro 6.

Quadro 6 – Dados referentes a qualidade de água distribuída pela CAERN.

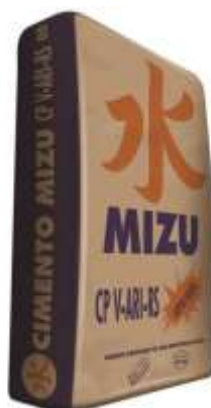
Parâmetro	Cloro Resid. Livre	Coliformes totais	Nitratos	pH	Turbidez
Unidade	MgCl/L	UFC/100ml	MgN/L	-	µT
Padrão (1)	0,2 – 5,0	95% ausente	10,0	6,0 – 9,5	5,0
Valor obtido	0,3	100,00		6,42	1,73

Fonte: CAERN (2018).

3.1.4 Cimento Portland

O cimento Portland usado na pesquisa foi o CP V ARI RS da marca Mizu, Figura 17. O cimento em questão é fabricado na região e não contém adições pozolânicas em sua composição, o que poderia afetar nos resultados da pesquisa.

Figura 17 – Cimento Portland utilizado na pesquisa.



Fonte: Mizu (2018).³

A ficha técnica da caracterização do cimento Portland foi solicitada para a empresa fabricante e encontra-se disponível no Quadro 7.

Quadro 7 – Ficha da caracterização do CP V ARI RS da Mizu.

Ficha técnica Cimento Portland			
Composição Química	RI	(%)	0,7
	SO_3		2,45
	CaO livre		1,24
Resistência a Compressão	01 dias	Mpa	18,65
	03 dias		28,56
	07 dias		37,46
	28 dias		49,07
Finura	Massa específica	g/cm ³	3,15
	#200	(%)	0,95
	#300		0,15

Fonte: Mizu (2018).

³ Mizu. Disponível em: <http://mizu.com.br/>; Acesso em 30 de agosto de 2018.

3.1.5 Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV)

O resíduo da cerâmica vermelha (RCV) usado no trabalho foi proveniente de restos de tijolos e blocos doados pela Cerâmica do Gato, da cidade de Itajá/RN. O material já veio em forma de fragmentos pequenos, como mostra a Figura 18.

Figura 18 – Fragmentos de RCV antes da moagem.



Fonte: Autor.

O resíduo foi recebido e logo após moído com a utilização da máquina de abrasão Los Angeles (Figura 19) da marca AMC do Laboratório de Materiais de Construção da UFERSA – Angicos. O ensaio se iniciou com a adição de 8 kg do resíduo cerâmico no aparelho e 12 esferas de aço. Na primeira rodagem foi escolhida a opção de 1000 rotações, porém ao término desta notou-se que muito do resíduo não estava na granulometria desejada para o peneiramento, com isso foi preciso mais dois ciclos de 1000 rotações, totalizando 3000 rotações para cada amostra de 8 kg.

Figura 19 – Máquina de Abrasão Los Angeles.



Fonte: Autor.

Após a moagem se iniciou o processo de peneiramento do RCV com a peneira 200 (Figura 20) de abertura de 0,074 mm, garantindo com isso a granulometria adequada para utilização do resíduo cerâmico em substituição parcial do cimento Portland.

Figura 20 – Peneiramento do RCV.



Fonte: Autor.

Foram realizados para caracterização química do resíduo de cerâmica vermelha os ensaios de Espectroscopia de Fluorescência de Raios X (FRX) e de Difração de Raio-x, por meio do difratômetro de raios X (DRX).

a) Técnica de Fluorescência de Raios X (FRX)

O ensaio de FRX foi realizado no laboratório de física da UERN, em Mossoró, pelo espectrômetro de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX), da marca Shimadzu, modelo EDX-7000 em atmosfera de ar, que pode ser visto na Figura 21. O ensaio em questão é um método analítico e não destrutivo para determinação da composição química de materiais.

Figura 21 – Espectrômetro da marca Shimadzu, modelo EDX-7000.



Fonte: Autor.

Algumas especificações técnicas do ensaio são a utilização de um colinador a 10 mm de distância da amostra, com uma taça de polipropileno e a atmosfera utilizada foi o ar. O resultado quantitativo dos elementos químicos encontrados na amostra pode ser observado no Quadro 8.

Quadro 8 – Resultado do ensaio de FRX.

Elemento	Resultado
Si	55,994%
Al	26,584%
Fe	9,736%
K	4,316%
Ca	1,970%
Ti	1,024%
Mn	0,159%
Outros	0,214%

Fonte: Autor.

De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014) pode-se ter uma estimativa a respeito da pozolanicidade do material ensaiado. De acordo com o (Quadro 8) nota-se que os elementos Si (Silício), Al (Alumínio) e Fe (Ferro) estão em predominância na amostra com 92,314% do total e de acordo com a norma o resíduo de cerâmica vermelha ensaiado está dentro dos parâmetros indicados para material pozolânico de classe N, em que este total deve ser ≥ 70 , esta classe são a das argilas calcinadas. Deve ser realizado o ensaio de resistência pozolânica para comprovação final.

b) Técnica de Difração de Raios X (DRX)

O ensaio de Difração de Raio-X (DRX) foi realizado no Laboratório de Engenharia dos Materiais da UFERSA de Mossoró por meio do difratômetro de raios X da Shimadzu, modelo XRD-6000 (Figura 22), com radiação $K\alpha$ de Cu (40kV/30mA), velocidade do goniômetro de 1,2 °C/min, passo de 0,02° e varredura angular de 2 θ entre 5° a 40° que é normal para argilas.

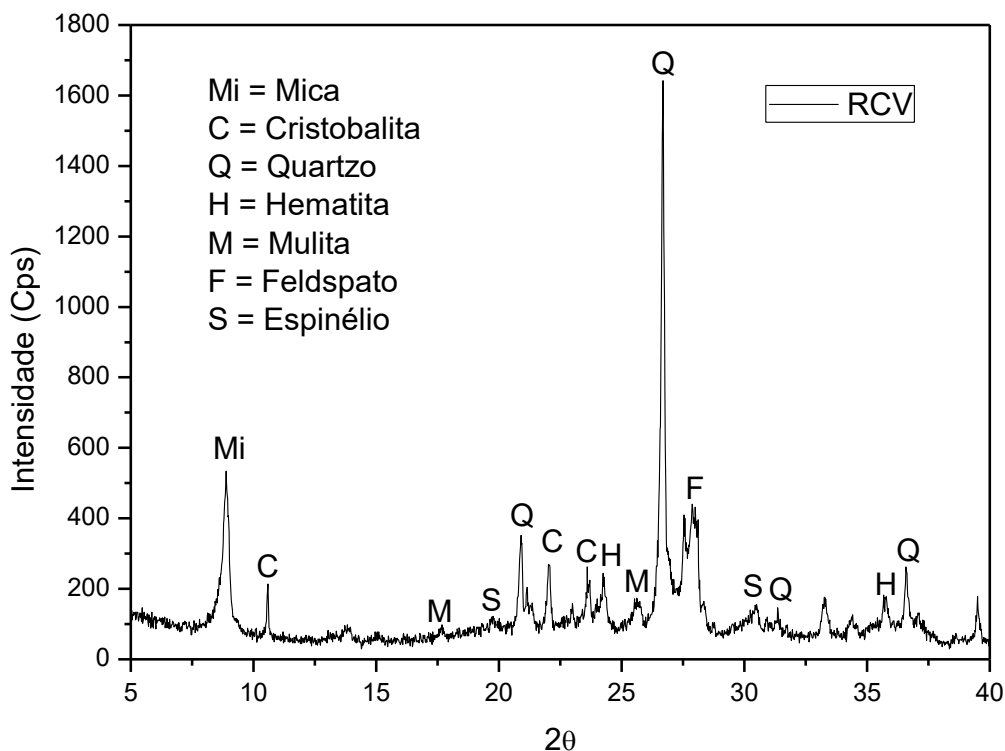
Figura 22 – Difratorômetro de raios X da Shimadzu, modelo XRD-6000.



Fonte: Autor.

O gráfico da Figura 23 foi plotado com utilização do software Origin Pro 8.0 e com base nos resultados foram observadas as reflexões mineralógicas características da mulita (JCPDS 79-1276), mica (JCPDS: 83-1808), espinélio (JCPDS 82-2424), feldspato (JCPDS 89-8574), hematita (JCPDS 87-1164), quartzo (JCPDS 46-1045), cristobalita (JCPDS 82-0512) nas amostras. A reflexão principal foi observada no intervalo de $25^\circ < 2\theta < 30^\circ$ que se refere a maior presença de quartzo nas amostras. Este resultado confirma com os valores elementares evidenciados na composição química. Como o quartzo é constituído por tetraedros de sílica em sua estrutura cristalina (dióxido de silício, SiO_2) justifica-se o maior teor de silício nas amostras, conforme mostrado no Quadro 12. A reflexão característica do feldspato potássico (KSiAl_4O_8) que está localizado entre $27^\circ < 2\theta < 30^\circ$ justifica os teores de alumínio e potássio presente nas amostras. Os demais componentes das amostras de Resíduo de Cerâmica Vermelha apresentam-se com teores inferiores a 4%.

Figura 23 – Difratomogramas de raio-x da amostra de RCV.



Fonte: Autor.

3.1.6 Blocos estruturais cerâmicos

Os blocos estruturais cerâmicos utilizados na pesquisa foram produzidos e doados pela Cerâmica do Gato, localizada na cidade de Itajá/RN. O lote recebido foi empilhado com cuidado para que não houvesse a danificação geométrica dos mesmos, para realização de posteriores ensaios de caracterização. Na Figura 24 pode-se verificar a geometria de um dos blocos recebidos no lote.

Figura 24 – Bloco estrutural cerâmico.



Fonte: Autor.

A determinação da área bruta dos blocos foi realizada seguindo os parâmetros da NBR 15270-2 (ABNT, 2017), e para tal foram utilizados oito blocos do lote recebido para o ensaio, que consiste na medição das dimensões de largura e comprimento dos blocos cerâmicos. O cálculo se dá pelo produto da largura pelo comprimento e os resultados podem ser observados no Quadro 9.

Quadro 9 – Determinação de Área Bruta do bloco estrutural cerâmico.

Amostra	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Área Bruta (cm²)
1	13,80	29,30	404,34
2	13,90	29,20	405,88
3	13,90	29,00	403,10
4	13,90	29,00	403,10
5	13,80	28,90	398,82
6	13,90	29,00	403,10
7	13,80	29,10	401,58
8	13,70	29,00	397,30
Média			402,15

Fonte: Autor.

A área líquida dos blocos foi obtida segundo a NBR 15270-2 (ABNT, 2017) e consiste na área transversal do bloco desconsiderando os vazios. O ensaio de área líquida foi feito com a mesma quantidade de blocos do ensaio de área bruta.

Houve inicialmente a imersão dos blocos em água por 24 horas para saturação, logo depois foi feita a pesagem hidrostática, obtendo-se a massa aparente (m_a), os blocos foram então retirados e enxugados superficialmente com um pano úmido para serem pesados imediatamente, obtendo-se a massa saturada (m_u). Utilizou-se a Equação 1 para obtenção dos resultados de área líquida (A_{liq}), que são expressos no Quadro 10.

$$A_{liq} = \frac{m_u - m_a}{\gamma * H} \quad \text{Equação (1)}$$

γ = massa específica da água;

H = Altura do bloco ensaiado.

Quadro 10 – Determinação de Área Líquida do bloco estrutural cerâmico.

Amostra	Peso saturado (g)	Peso submerso (g)	Altura (mm)	Área Líquida (cm ²)
1	6815,00	3100,00	192,00	193,49
2	6760,00	3000,00	192,00	195,83
3	6560,00	3000,00	190,00	187,37
4	6570,00	3000,00	191,00	186,91
5	6650,00	3100,00	190,00	186,84
6	6565,00	3000,00	190,00	187,63
7	6695,00	3000,00	191,50	192,95
8	6680,00	3000,00	190,50	193,18
Média				190,53

Fonte: Autor.

A quantidade de vazios média dos blocos estruturais do lote foi obtida pela razão da área líquida pela área bruta. O valor obtido foi de 0,47, o que indica que existe uma quantidade sólida de 47% nos blocos ensaiados e 53% de vazios.

O ensaio de compressão axial dos blocos cerâmicos foi efetuado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN de acordo com a NBR 15270-2 (ABNT, 2017). O capeamento foi feito com utilização de uma argamassa de alta resistência para regularização das faces (Figura 25). Após a regularização, os blocos foram imersos em água para serem então rompidos na condição de saturados, os resultados do ensaio encontram-se no Quadro 11 e equivalem a resistência do bloco na área bruta.

Figura 25 – Capeamento do Bloco para regularização das faces.

Fonte: Autor.

Quadro 11 – Resistência a compressão do bloco cerâmico.

Amostra	Carga (Kgf)	Área (cm²)	Resistência (Mpa)
1	28500	402,10	7,07
2	32000	404,34	7,91
3	37000	403,10	9,18
4	40500	397,30	10,19
5	41500	405,88	10,22
6	42500	403,10	10,54
7	50500	398,82	12,66
8	52000	401,58	12,95

Fonte: Autor.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Argamassa de assentamento

a) Determinação de consistência

Foram testados vários traços com distintas relações água/cimento para verificação de uma consistência que estivesse em um valor aproximado a 230 mm que é o utilizável para alvenaria estrutural, de acordo com Parsekian *et.al* (2014). Para o ensaio de consistência da argamassa seguiu-se as recomendações normativas da NBR 13276 (ABNT, 2016).

As argamassas foram preparadas de acordo com a NBR 16541 (ABNT, 2016), com utilização da argamassadeira do Laboratório de Materiais de Construção da UFERSA – Angicos. A mesa para índice de consistência e o molde troncônico foram limpos com um pano, logo depois o molde foi posicionado de maneira centralizada na mesa e segurado firmemente para enche-lo em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais. Em cada uma das camadas foi aplicada respectivamente quinze, dez e cinco golpes com o soquete metálico. Foi feito o rasamento da argamassa e logo após retirado o molde troncônico. A manivela da mesa foi acionada de modo que a mesa subiu e caiu 30 vezes em 30 segundos. Finalizado esse processo foi medido o espalhamento da argamassa (Figura 26) na mesa para índice de consistência e três medidas foram registradas para verificação da consistência que está expressa no Quadro 12.

Figura 26 – Ensaio de consistência da argamassa.



Fonte: Autor.

Com o fator água cimento especificado para a consistência que se desejava pode-se, então, obter o traço de argamassa que foi utilizado no preparo dos prismas. O traço pode ser observado no Quadro 12.

Quadro 12 – Traço e consistência da argamassa utilizado no trabalho.

Traço (kg) (cimento:areia:água)	Consistência média (mm)
1:3:0,62	220

Fonte: Autor.

b) Preparo dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova de argamassa foram preparados seguindo as especificações da NBR 13279 (ABNT, 2005). A argamassa foi preparada com utilização da argamassadeira e colocada nos moldes prismáticos de 4x4x16 cm³, Figura 27(a), nos quais foi aplicado desmoldante anteriormente. O adensamento se deu por 30 golpes de queda na mesa de índice de consistência e com 24 horas houve a desmoldagem dos corpos de prova da argamassa, Figura 27(b).

Figura 27 – Corpos-de-prova de argamassa.



(a) Molde prismático



(b) corpos-de-prova desmoldados

Fonte: Autor.

c) Resistência a compressão

A resistência a compressão da argamassa foi verificada no Laboratório de Materiais do IFRN, campus Mossoró, seguindo as especificações da NBR 13279 (ABNT, 2005). Foi utilizada a prensa mecânica modelo PC200CS fabricada pela EMIC com capacidade máxima de 200 toneladas de aplicação de força (Figura 28).

Figura 28 – Prensa mecânica.



Fonte: Autor.

O dispositivo de carga típico para ensaio de resistência a compressão de argamassa foi posicionado e logo depois o corpo-de-prova (Figura 29), de modo que a face rasada não ficou em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga. A carga foi então aplicada de (500 ± 50) N/s até a ruptura do corpo-de-prova. A resistência a compressão é calculada seguindo a equação 2.

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

R_c = Resistência a compressão em MPa;

F_c = Carga máxima aplicada em N.

1600 = Área da seção considerada no dispositivo de carga 40 mm x 40 mm.

A argamassa usada para preparo dos prismas teve uma resistência a compressão axial média de 15,84 Mpa, influenciada pelo fator água/cimento utilizado para garantia da consistência desejada.

Figura 29 – corpo-de-prova de argamassa posicionado na prensa.



Fonte: Autor.

3.2.2 Graute

a) Traços utilizados

O traço utilizado para o graute de referência em massa foi de 1:2,58:2,21 (cimento, areia e brita) com um fator água/cimento de 0,74. A utilização do resíduo de cerâmica vermelha se deu em proporções de 15% e 30% em substituição do cimento, estando os traços finais, em massa, no Quadro 13.

Quadro 13 – Traços utilizados para confecção dos grautes.

	Cimento	RCV	Areia	Brita	Água
Referência	1	0,00	2,58	2,21	0,74
15% RCV	0,85	0,15	2,58	2,21	0,74
30% RCV	0,70	0,30	2,58	2,21	0,74

Fonte: Autor.

b) Moldagem e cura

O preparo dos corpos-de-prova de graute foram executados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016). O primeiro passo nessa etapa foi o cálculo das quantidades de materiais que seriam gastos para cada betonada. Após o cálculo, os materiais foram pesados e separados em recipientes para iniciar a mistura na betoneira.

A betoneira utilizada foi da marca MotoMill de 150 L (Figura 30). A mistura dos materiais seguiu a ordem: primeiramente a adição do agregado graúdo; metade da água de amassamento; adição do agregado miúdo; adição do cimento Portland e o restante da água. Nos traços com o resíduo cerâmico, o mesmo foi adicionado após o cimento, e logo depois o restante da água.

Figura 30 – Betoneira MotoMill de 150 L.



Fonte: Autor.

A consistência do graute produzido foi obtido com o auxílio normativo da NBR NM 67 (ABNT, 1998). Os instrumentos utilizados para realização do ensaio de Slump Test (Figura 31) foram do laboratório de matérias de construção da UFERSA – Angicos, são eles: o molde metálico cônico; o complemento tronco-cônico de enchimento; a placa metálica de base; haste metálica; trena; concha. Após o preparo do concreto o primeiro passo do ensaio foi centralizar o molde na placa metálica de base, com isso foi adicionada três camadas de concreto e cada uma foi adensada com 25 golpes da haste metálica, foi feito então o rasamento do concreto e logo depois a retirada do molde para, por fim, se verificar o abatimento do graute.

Figura 31 – Instrumentos do teste de abatimento Slump.



Fonte: Autor.

O ensaio foi realizado tanto para o traço de referência quanto para os traços de 15% e 30% de substituição do RCV, para observação da mudança ou não de trabalhabilidade, de acordo com o acréscimo de resíduo cerâmico.

Foram separados três moldes cilíndricos para cada traço. Os moldes tinham dimensões de 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura). Primeiramente, ocorreu a aplicação do desmoldante para depois ocorrer a moldagem. Os moldes foram preenchidos em duas camadas e cada camada foi adensada com uma haste metálica com aplicação de 12 golpes. Por fim, o rasamento foi feito na parte superior do molde.

Após 24 horas da moldagem ocorreu a desmoldagem e identificação dos corpos-de-prova (Figura 32). A cura foi feita de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), na qual os CPs foram totalmente imersos em água até o dia de rompimento.

Figura 32 – Corpos-de-prova desmoldados e identificados.



Fonte: Autor.

c) Resistência a compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018). O local do ensaio foi o Laboratório de Materiais do IFRN – Mossoró. A prensa mecânica utilizada foi a mesma do ensaio de compressão da argamassa (Figura 28).

Antes da realização do ensaio foi feita a regularização da face superior do corpo-de-prova com a técnica de retificação. Para isso utilizou-se a retificadora da Contenco, como pode-se ver na (Figura 33).

O corpo-de-prova foi então inserido na prensa e se iniciou o ensaio (Figura 34) com utilização de uma taxa de carregamento constante de 0,36 MPa/s, que está dentro dos limites estabelecidos pela NBR 5739 (ABNT, 2018) para aplicação de carregamento.

Figura 33 – Retificadora.



Fonte: Autor.

Figura 34 – Corpo-de-prova posicionado para ensaio de compressão axial.



Fonte: Autor.

3.2.3 Prismas

a) Preparo

Os prismas, corpos-de-prova da alvenaria estrutural, foram preparados de acordo com a NBR 15812 – 2 (ABNT, 2010), sendo o primeiro passo o assentamento. Nesta etapa usou-se prumo, nível, colher de pedreiro, marreta de borracha e uma haste metálica.

A base onde o prisma foi assentado foi verificada quanto ao nível, para garantia da planicidade da peça, então todos os blocos que iriam ser usados foram organizados nas bancadas para agilizar a etapa de assentamento (Figura 35).

Figura 35 – Blocos cerâmicos posicionados para preparo dos prismas.



Fonte: Autor.

A etapa seguinte foi o preparo da argamassa de assentamento com o traço especificado anteriormente. A argamassa foi então posicionada na face superior do bloco cerâmico de maneira que ficasse com $3 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ de altura (Figura 36), pois quando o outro bloco fosse posto sobre o de base pudesse haver a regularização e garantia de nível, prumo e esquadro.

Utilizou-se a marreta de borracha para a regularização do prisma e com leves batidas foi possível ajustar a superfície superior do prisma, como também garantir uma junta de argamassa de $10 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ em todos os prismas confeccionados, como sugere a norma utilizada como referência, a NBR 15812 – 2 (ABNT, 2010). Foi removido também o acúmulo de argamassa no fundo dos furos que serão preenchidos pelo graute.

Figura 36 – Argamassa na face superior do bloco estrutural.



Fonte: Autor.

Após o preparo do prisma foi utilizado a régua de nível e um esquadro para verificação de planicidade da peça (Figura 37).

Figura 37 – Verificação da planicidade do prisma.



Fonte: Autor.

Após 24 horas do assentamento dos prismas foi iniciado o processo de grauteamento, onde a base inferior foi vedada com material plástico e o graute foi então inserido nos furos dos blocos. A inserção do graute se deu em duas camadas iguais e cada camada foi adensada com 15 golpes da haste metálica, sempre com cuidado para que os golpes da segunda camada nunca ultrapassem para a primeira camada que foi adensada. Após o grauteamento, a superfície superior foi rasada e alisada com a colher de pedreiro. O prisma grauteado pode ser observado na Figura 38. Foi realizado o mesmo procedimento para todos os prismas da pesquisa, incluindo os com graute de 15% e 30% de RCV.

Figura 38 – Prisma grauteado.



Fonte: Autor.

A cura do prisma se deu no laboratório onde foi mantido as mesmas características de umidade e temperatura do dia que aconteceu o assentamento até o dia do ensaio de compressão axial.

b) Transporte

O transporte dos prismas aconteceu de acordo com as diretrizes da NBR 15812 – 2 (ABNT, 2010), na semana anterior ao ensaio de compressão axial (que aconteceu aos 28 dias após o grauteamento) e todos os prismas foram imobilizados com madeira na base inferior e superior. A única alteração da norma foi que ao invés de utilizar arame para amarrar os blocos nas placas de madeira, usou-se fita de arquear e uma fivela plástica para garantir mais ainda a segurança do fechamento dos prismas e um transporte mais seguro como pode ser observado na Figura 39 (a).

O transporte dos prismas aconteceu da cidade de Angicos/RN até Natal/RN e após a acomodação destes na cabine traseira do veículo houve também a vedação dos espaços vazios com utilização de papelão como pode-se ver na Figura 39 (b).

Figura 39 – Prisma pronto para ser transportado.



a) Prisma preparado para transporte



b) Prismas posicionados no veículo

Fonte: Autor.

c) Resistência a compressão

O ensaio de resistência a compressão axial dos prismas de alvenaria estrutural foi realizado no Laboratório de Materiais de construção da UFRN em Natal usando como referência normativa a NBR 15812 – 2 (ABNT, 2010).

O primeiro passo para o ensaio é a realização do capeamento nas duas faces dos prismas para regularização das superfícies que estarão em contato com a prensa, pois devem ser o mais plano possível. Foi utilizado nesse processo uma argamassa com resistência superior à dos blocos na área líquida, e a espessura da camada de argamassa não foi superior a 3 mm (Figura 40).

Figura 40 – Prismas após a realização do capeamento.



Fonte: Autor.

Após a garantia de planicidade das peças o próximo passo foi inserir o prisma na prensa e coincidir o centro de gravidade da prensa com o do corpo-de-prova (Figura 41). O incremento de carga se deu de acordo com a NBR 15812 – 2 (ABNT, 2010) iniciando com 10% do valor da possível ruptura calculado a cada 3 min até os primeiras 50% da carga total.

Figura 41 – Prisma posicionado em prensa para ensaio de compressão axial.



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão expostos e discutidos os resultados obtidos através dos ensaios experimentais dos corpos-de-prova de graute e prismas de alvenaria estrutural e, por meio de análises, serão comparados entre si de modo a verificar se existem ou não diferenças significativas entre eles.

A eficiência foi determinada a partir da relação entre os resultados obtidos, usando para isso comparações da resistência a compressão axial dos corpos-de-prova, incluindo suas variações quanto ao tipo de graute utilizado. As eficiências obtidas servem como parâmetro para comparação dos prismas que contêm RCV com o prisma de referência e com o prisma oco.

4.1 SLUMP TEST

Como dito na metodologia, a cada traço de graute foi realizado o ensaio de consistência segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998) e os resultados são expostos na Figura 42 **Figura 30** e no Quadro 14.

Figura 42 – Abatimento de cada traço.



a) Traço de Referência; b) Traço de 15% de RCV; c) Traço de 30% de RCV.

Fonte: Autor.

Quadro 14 – Resultado do Slump Test dos grautes.

Traço	Abatimento (mm)
Referência	100
15% RCV	110
30% RCV	110

Fonte: Autor.

Segundo Parsekian *et al.* (2014), o abatimento médio do graute deve ser em torno de 200 mm, o que não ocorreu nos grautes utilizados no trabalho, que foram em

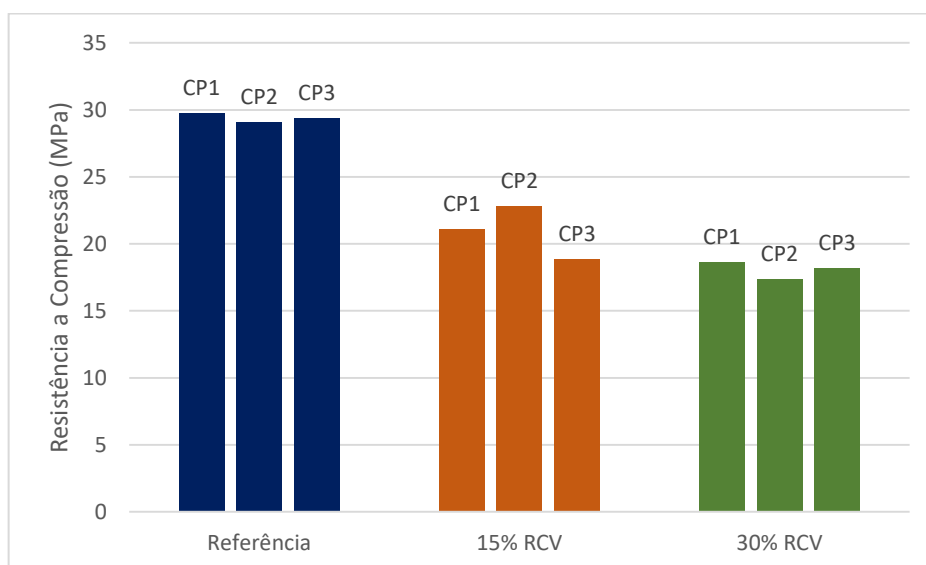
média 105 mm, não havendo diferenças significativas entre os abatimentos verificados. Isto se deu pela escolha de não utilizar a cal na composição do concreto, que melhoraria bastante a trabalhabilidade. A cal foi retirada dos traços para que não houvesse nenhum tipo de interferência no estudo, de modo que o resíduo de cerâmica vermelha fosse estudado levando em consideração apenas a sua eficiência no graute produzido.

4.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

4.2.1 Corpos-de-prova de graute

Os corpos-de-prova do graute produzido foram ensaiados a compressão axial de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018) e os resultados podem ser observados no Gráfico 3 e Quadro 15.

Gráfico 3 – Resistência a compressão dos corpos-de-prova de graute.



Fonte: Autor.

Quadro 15 – Resistência a compressão média dos corpos-de-prova.

Traço	Resistência a Compressão Média (MPa)	Desvio padrão	Eficiência (%)
Referência	29,40	0,3360	100
15% RCV	20,91	1,975	71,12
30% RCV	18,05	0,6429	61,39

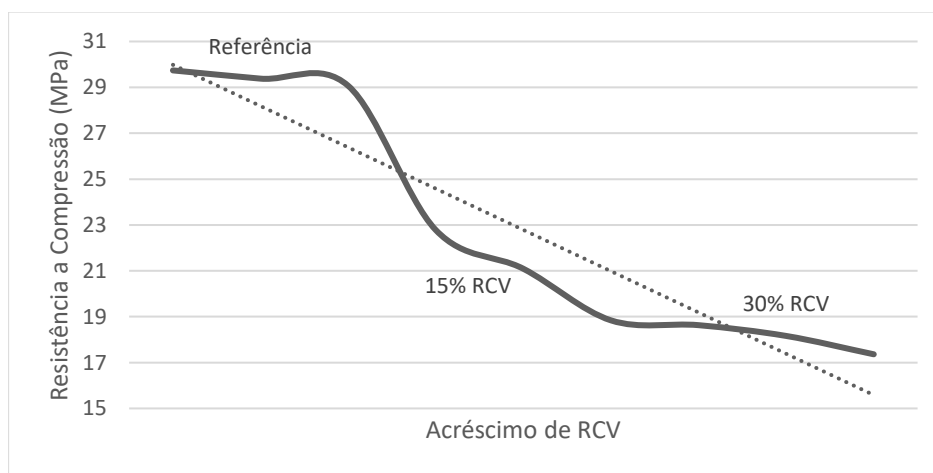
Fonte: Autor.

Observa-se um decaimento da resistência a compressão axial de acordo com o acréscimo de RCV no traço. A eficiência foi calculada comparando os traços com resíduo cerâmico ao de referência, logo a substituição parcial de resíduo de cerâmica vermelha pelo cimento Portland causou um decréscimo de 28,88% de resistência a compressão no traço de 15% de RCV e 38,61% no traço de 30% de RCV. Isto se deu pela retirada do material aglomerante e com sua falta houveram menos reações cimentícias, provocando consecutivamente uma menor união entre os materiais constituintes e gerando, portanto, uma menor resistência.

Parsekian *et.al* (2014) recomenda que a resistência do graute não seja inferior a 15 MPa, sendo este o valor mínimo obrigatório em pontos de armadura para garantir aderência. Os grautes produzidos no trabalho não foram inferiores ao valor mínimo especificado, correspondendo as recomendações do autor.

No Gráfico 4 observa-se a variação de resistência a compressão obtida pelo acréscimo de resíduo de cerâmica vermelha nos corpos-de-prova de graute.

Gráfico 4 – Comportamento dos corpos-de-prova de graute quanto a resistência.



Fonte: Autor.

A variação de eficiência entre os dois traços com resíduo cerâmico (15% e 30%) foi de apenas 9,73%, segundo o Quadro 15, enquanto que o de referência para o de 15% de RCV foi de 28,88%, o que mostra um comportamento não linear da resistência a compressão com acréscimos de RCV na composição do graute.

4.2.2 Prismas

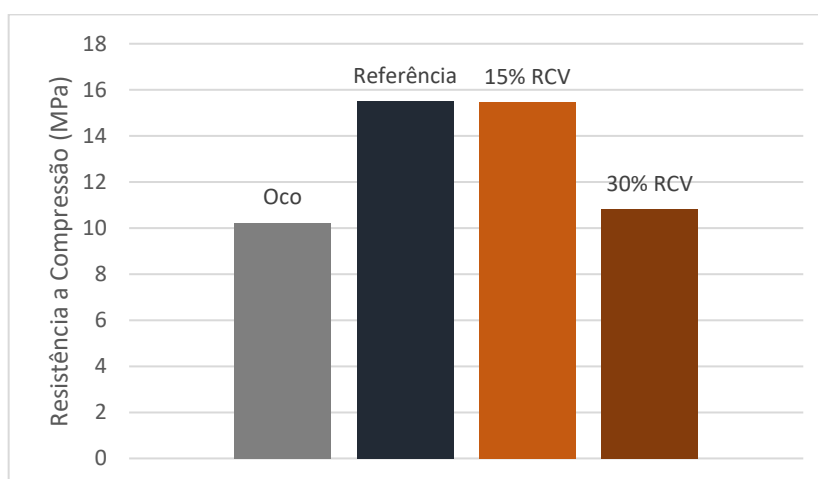
Os prismas ocos e os grauteados foram ensaiados a compressão axial seguindo a metodologia, os resultados obtidos podem ser vistos no Quadro 16.

Quadro 16 – Resistência a compressão dos prismas.

Corpo-de-prova	Resistência a Compressão (MPa)			
	Prisma Oco	Prisma Grauteado (Referência)	15% RCV	30% RCV
CP1	11,04	11,78	16,74	11,53
CP2	8,13	14,32	17,07	12,23
CP3	10,88	18,31	7,71	10,22
CP4	12,11	12,24	16,18	10,73
CP5	9,95	17,17	13,58	14,42
CP6	9,07	18,78	15,40	10,81
Média	10,23	15,51	15,47	10,82

Fonte: Autor.

Para o cálculo das médias das resistências, expressas no Gráfico 5, foram desconsiderados o maior e o menor valor de cada tipo de prisma, isto para levar em consideração possíveis erros causados no processo de moldagem, movimentação e ensaios. Foi feito também, a partir dos resultados obtidos de resistência a compressão média dos prismas, a análise da eficiência da utilização do resíduo de cerâmica vermelha no graute comparando os prismas grauteados com os prismas vazios (ocos), como pode ser observado no Quadro 17.

Gráfico 5 – Resistência a compressão média dos prismas.

Fonte: Autor.

Quadro 17 – Eficiência dos prismas.

Prisma	Resistência média a Compressão (MPa)	Desvio padrão	Eficiência (%)
Prisma Oco	10,23	0,91	100
Referência	15,51	2,75	151,61
15% RCV	15,47	1,38	151,22
30% RCV	10,82	0,54	105,77

Fonte: Autor.

Quando comparado com o prisma oco, todos os prismas grauteados obtiveram eficiências superiores a 100%, com variações de 51,61% dos prismas de referência, 51,22% dos prismas de 15% de RCV e 5,77% dos prismas de 30% de RCV no quesito resistência a compressão axial. O traço com 15% de RCV obteve um resultado muito próximo ao de referência, mostrando com isto que a substituição parcial de resíduo de cerâmica vermelha pelo cimento Portland no concreto graute auxiliou o conjunto bloco, argamassa e graute a trabalharem monoliticamente. Porém, quando a substituição foi de 30% a eficiência não foi significativa, por causa da grande quantidade de aglomerante que se foi retirado do traço e consecutivamente inviabilizando a sua utilização, pois não agrega ganho de resistência quando comparado com o prisma oco.

Ao ser realizado o grauteamento dos prismas, que inicialmente tem uma área líquida de 190,53 cm², ocorre um aumento de seção de 91 cm² na área de atuação dos esforços como é mostrado na Figura 43, obtendo-se com isso um ganho percentual de 47,8% na área e uma área final de atuação da tensão de 281,53 cm².

Figura 43 – Ganho de secção no prisma grauteado.

Fonte: Autor.

Com o ganho de 47,8% de seção utilizando o graute, houve um ganho de 51,66% de resistência a compressão no prisma de referência, 51,22% no prisma de 15% de RCV e 5,77% no prisma de 30 % de RCV. Observa-se com este resultado que o grauteamento dos prismas foi realmente efetivo para ganho de resistência, exceto no prisma com maior substituição de RCV, que obteve eficiência muito baixa,

comparado com o prisma oco. Constatase, portanto, que o ganho de resistência depende da interação dos materiais e não somente do aumento de área.

Outra forma de análise de eficiência da resistência a compressão foi a comparação do prisma de 15% e 30% de RCV com os prismas de referência. Os resultados da comparação estão descritos no Quadro 18.

Quadro 18 – Eficiência dos prismas grauteados.

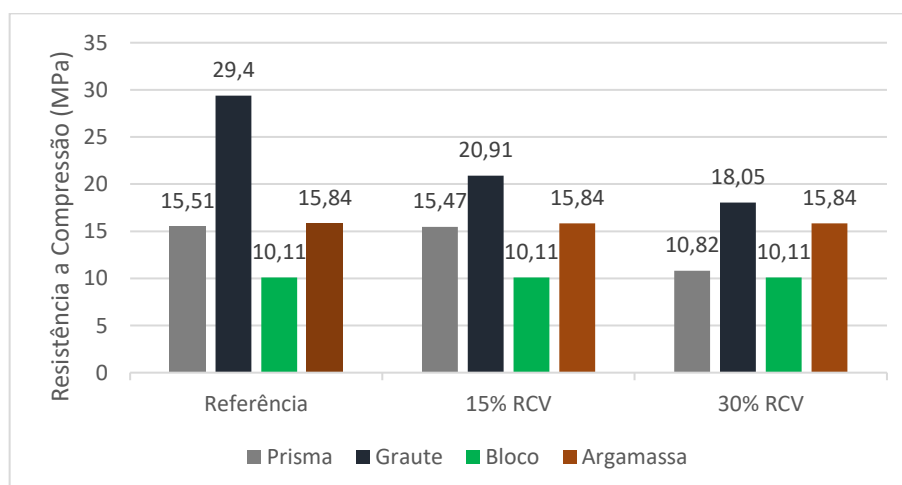
Prisma	Resistência a Compressão (MPa)	Eficiência (%)
Referência	15,51	100
15% RCV	15,47	99,74
30% RCV	10,82	69,76

Fonte: Autor.

Os prismas confeccionados com graute de 15% de RCV obtiveram um comportamento semelhante aos prismas grauteados de referência no quesito resistência a compressão axial. Porém, os prismas com graute produzidos com substituição de 30% de resíduo de cerâmica vermelha obteve uma eficiência baixa, verificando-se com isto que grandes quantidades de RCV substituídos como aglomerante na composição do concreto graute não auxiliam no ganho de resistência a compressão axial de prismas de alvenaria estrutural.

A comparação da resistência a compressão dos prismas grauteados com a resistência a compressão de todos os materiais constituintes do prisma (bloco estrutural, argamassa de assentamento, graute) pode ser vista no (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Resistência a compressão média dos componentes.



Fonte: Autor.

A partir da comparação dos resultados de compressão axial de todos os elementos constituintes do prisma, sendo eles o bloco, a argamassa e o graute, pode-se verificar que o prisma mais eficiente foi o com 15% de RCV, que conseguiu atingir uma resistência a compressão média de 15,47 MPa com um graute de 20,91 MPa. Já o prisma de referência atingiu uma resistência média de 15,51 MPa com um graute de 29,4 MPa, obtendo uma resistência de prisma um pouco superior ao com 15% de RCV, enquanto que o prisma com 30% de RCV atingiu uma resistência a compressão média de 10,82 MPa utilizando um graute de 18,05 MPa. Ou seja, pode-se então confirmar a afirmativa de Parsekian *et.al* (2014) que o uso de grautes com resistência muito superior à resistência do bloco não traz benefícios proporcionais para a alvenaria.

4.3 MECÂNISMO DE RUPTURA

Na Figura 44 mostra-se o mecanismo de ruptura dos prismas grauteados de referência, que foram produzidos com as argamassas mais rígidas que o bloco.

Figura 44 – Mecanismo de ruptura do prisma de referência.



Fonte: Autor.

Durante o ensaio de compressão destes prismas a excessiva rigidez da argamassa, comparada à dos blocos, fez aparecer tensões laterais de tração na argamassa (que deveria trabalhar apenas no estado triaxial de compressão) e compressão no bloco. Ao mesmo tempo que ocorria a expansão lateral do graute devido a sua deformação, que causou tensões laterais de tração nas paredes do bloco. A ruptura ocorreu de forma demasiadamente frágil, no momento em que ocorreu o esmagamento à compressão dos blocos as faces dos mesmos foram lançadas para longe da prensa, sem um aviso prévio.

Na Figura 45 observa-se o modelo de ruptura dos prismas de 15% de RCV que também possuíam uma argamassa mais rígida que o bloco estrutural.

Figura 45 – Modelo de ruptura dos prismas de 15% RCV.



(a) Ruptura da maioria dos prismas deste tipo



(b) ruptura causada pelo acúmulo de tensões em uma das laterais.

Fonte: Autor.

O mecanismo de ruptura destes prismas foi semelhante ao dos prismas grauteados de referência, com ruptura de forma excessivamente frágil e sem aviso prévio, porém, com menor índice destrutivo quando comparado com o de referência. O caso da Figura 45(a) ocorreu para cinco dos seis prismas ensaiados e o caso da Figura 45(b) ocorreu apenas a um prisma de 15% de RCV devido a acumulo de tensões causadas por uma deformação dimensional dos blocos usados na sua confecção.

Na Figura 46 observa-se o mecanismo de ruptura dos prismas grauteados de 30% de RCV, que também utilizou uma argamassa mais resistente que o bloco.

Figura 46 – Modelo de ruptura dos prismas de 30% RCV.



Fonte: Autor.

O mecanismo de ruptura dos prismas de 30% de RCV ocorreram da mesma maneira dos outros, com ruptura de forma frágil e sem aviso prévio, distinguindo-se apenas por apresentar uma ruptura com menor índice destrutivo e com destacamento parcial de algumas faces, algumas delas mantiveram-se fixas ao bloco. Isto se deu devido a menor resistência que o prisma conseguiu suportar em relação aos outros.

Os resultados de mecanismos de ruptura condizem com o que é afirmado por Parsekian *et al.* (2014), que quando se utiliza uma argamassa mais resistente que o bloco, ocorre a ruptura por esmagamento a compressão do mesmo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou analisar a resistência a compressão de prismas de alvenaria estrutural ocos e grauteados, para investigação da influência da substituição parcial do cimento Portland por resíduo de cerâmica vermelha no graute, visando com isto obter um material que possua características menos distintas ao bloco estrutural cerâmico.

Verificou-se com a pesquisa que a utilização de 15% de resíduo de cerâmica vermelha como substituto parcial do cimento Portland ocasionou uma eficiência equivalente, quanto a resistência a compressão axial, a um prisma convencional, e que mesmo com utilização de um graute com resistência bem menor pode-se chegar a uma resistência equivalente de prisma com graute de resistência superior.

O prisma com graute de 30% de RCV apresentou resistência quase equivalente ao prisma oco, observando-se com isso que grandes substituições de cimento Portland por RCV causam um decaimento de resistência do graute e, conseqüentemente do prisma, tornando este percentual de substituição inviável de ser utilizado.

O ganho de resistência do prisma pelo grauteamento não é somente relacionado ao ganho de área que ele provoca, mas também a composição e interação entre os materiais que formam o compósito. Isto se comprova visto que com o mesmo aumento de área dos demais o prisma de 30% de RCV obteve uma eficiência muito baixa quando comparado com o prisma de referência e o prisma de 15% de RCV.

Levando em consideração o impacto ambiental que a produção do cimento Portland causa no meio ambiente, e que o RCV é um material proveniente da reciclagem da construção civil, a utilização deste se torna plausível na composição do graute para alvenaria estrutural. Portanto, conclui-se bastante proveitoso utilizar um material que antes não teria utilidade, o RCV, e economizar em outro que traria mais gastos na obra e causaria um maior impacto ambiental, o cimento Portland.

Como sugestão para trabalhos futuros, visando dar continuidade ao estudo aqui realizado, propõe-se desenvolver ensaios de resistência a compressão de prismas de alvenaria estrutural com utilização simultânea de resíduo de cerâmica vermelha na composição do concreto graute e da argamassa de assentamento, aproximando ainda mais os materiais que compõe a parede. Poderia também ser utilizadas porcentagens

de adição de RCV ao invés de substituição parcial do cimento Portland, para comparação com o trabalho em questão.

Pesquisas com substituição ou adição de RCV no graute com utilização de prismas com três blocos ou até mesmo mini paredes são também sugestões para trabalhos futuros na área de estudo, fora a realização de outros ensaios além do de compressão axial. Com estes resultados poderá, então, se ter uma maior magnitude do estudo a respeito do comportamento dos prismas de alvenaria estrutural com incorporação de RCV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-2: Alvenaria estrutural - Blocos de Concreto Parte 2: Execução e controle de obras**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2011. 35 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 54: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2009. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2017. 29 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2016. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2016. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos determinação da resistência a tração na flexão e a compressão**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1998. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2016. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-2: Alvenaria estrutural — Blocos cerâmicos Parte 2: Execução e controle de obras**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2010. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653: Materiais pozolânicos — Requisitos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 5 p.

GOMES, M.V. e GOMES, R.V. (1998) – **Cerâmicas, dos séculos XV a XVII, da Praça Cristóvão Colombo no Funchal**. In 2.as Jornadas de Cerâmica Medieval e Pós-Medieval – métodos e resultados para o seu estudo. Tondela: Câmara Municipal de Tondela, p. 315-348

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo da indústria cerâmica para produção de concretos**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 60, n. 4, p. 639-644, 2007.

KUERTEN, R. J. **Resistência a compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

OLIVEIRA, Angelina do Nascimento. **Estudo da substituição parcial do cimento Portland por resíduo de cerâmica vermelha**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. UFERSA, MOSSORÓ – RN. 2012.

PARSEKIAN, Guilherme A.; HAMID, Ahmad A.; DRYSDALE, Robert G.. **Comportamento e dimensionamento de Alvenaria estrutural**. 2. ed. São Carlos: Edufscar, 2014. 625 p.

RAMALHO, Mareio A.; CORRÊA, Márcio R. S.. **PROJETO DE EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL**. São Paulo: Pini, 2003.

ROMAGNA, R. H. **Resistência a compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**. 2000. 195f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SÁNCHEZ, Emil (Org.). **Nova normalização brasileira para alvenaria estrutural**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2013. 403 p.

SEBRAE. **Cerâmica vermelha: estudo de mercado SEBRAE/ESPM 2008**. Relatório completo. [S.l.], 2008.

SINDICER. **Cerâmica vermelha**. 2014. Disponível em: <<http://www.sindicermf.com.br/>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

TAUIL, Carlos Alberto; NESE, Flávio José Martins. **Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2010.

XAVIER, G. C.; BAHIANSE, A. V.; MANHÃES, R. T.; ALEXANDRE, J.; MONTEIRO, S.N.; VIEIRA, C. M. F. **Utilização do planejamento experimental na incorporação do resíduo da indústria cerâmica em argamassas para obtenção da capacidade de retenção de água.** Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2008. 9 p.