

ESTUDO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICAS VERMELHAS RECICLADAS

Edilberto Vitorino de BORJA (1); Bruno Silva MENDES (2)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, Av. Sem. Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal-RN, CEP 59015-000, Tel./Fax: +55 0(84) 4005-2638, e-mail: edilberto@cefetrn.br
(2) CEFET/RN, e-mail: brunosm85@hotmail.com

RESUMO

Os resíduos sólidos gerados pela construção civil têm seu reuso na própria indústria da construção civil, principalmente em aplicações nas argamassas e concretos. Vários estudos estão sendo desenvolvidos dentro desta temática, já que a sociedade e o setor construtivo de obras civis estão sempre procurando desenvolver novas tecnologias. Com base nesta questão, este trabalho foi desenvolvido propondo analisar as propriedades físicas e mecânicas de argamassas de revestimento de alvenaria produzidas a partir de diferentes proporções de resíduos de cerâmicas vermelhas recicladas (RCV) após processo de trituração, objetivando, assim, uma melhoria na qualidade das argamassas e indicação de um caminho para a minimização da quantidade desses resíduos no meio ambiente. Para realização da proposta estabelecida, os seguintes pontos foram destacados: determinação das proporções adequadas do “novo composto” de forma a se enquadrar nos parâmetros normativos em vigor referente às argamassas; análise do comportamento do resíduo de cerâmica vermelha reciclada como agregado miúdo em argamassa de assentamento e/ou revestimento; identificação da influência da quantidade de resíduos de cerâmicas vermelhas em quatro proporções previamente estabelecidas (5%, 10%, 15% e 20%) em substituição parcial à cal, mantendo-se o mesmo fator água / cimento. Para tanto, foram realizados ensaios no estado fresco (índice de consistência, teor de ar incorporado, densidade de massa fluida, densidade teórica de massa seca) e no estado endurecido (módulo de elasticidade e resistência à compressão). Os resultados demonstraram que a presença do RCV na argamassa aumenta o índice de consistência e o teor de ar incorporado, e consequentemente uma redução na coesão. Observou-se também diminuição do módulo de elasticidade da resistência à compressão.

Palavras-chave: argamassa, reciclagem, cerâmica vermelha, RCV.

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos da construção civil (RC) é motivo de grande preocupação para a população, no que diz a respeito à preservação ambiental, e para as construtoras, a custos para se dar um fim a esses resíduos.

De acordo com a resolução nº. 307 (2001) do CONAMA, os resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

O desenvolvimento tecnológico de processos associados à reciclagem de RC passa a ter hoje enorme relevância. O aumento no descarte de RC, bem como os problemas advindos da exaustão de matérias-primas naturais, vem impulsionando os estudos sobre o aproveitamento desses resíduos como novos materiais, reduzindo o seu impacto ambiental e viabilizando a redução de custos industriais.

A reciclagem de resíduos de construção encontra-se em estágio relativamente avançado. Muitas universidades e centros de tecnologia possuem grupos muito ativos no estudo dos resíduos de construção, seja no aspecto de redução de sua geração durante a atividade de construção, de políticas públicas para o manuseio dos resíduos e ainda de tecnologias para a reciclagem.

A indústria da Construção Civil tem um grande potencial para a solução desses problemas, pois apresenta uma enorme viabilidade de incorporação desses resíduos nos materiais de construção, possibilitando, ainda, a redução nos custos dos produtos da construção. A argamassa, depois do concreto, vem se tornando um importante aliado na reciclagem de RC.

Como definição, argamassa é a mistura íntima de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água. Além destes componentes essenciais, presentes nas argamassas podem ainda ser adicionados produtos especiais, com a finalidade de melhorar ou conferir determinadas propriedades ao conjunto, denominado aditivo. Pesquisas têm demonstrado que argamassas com cal hidratada na sua constituição melhoram a capacidade de deformação, intrinsecamente devido acréscimo de ar incorporado. Segundo BAUER e SOUSA, a utilização da cal na composição das argamassas de revestimento é considerada favorável, mais especificamente com relação as suas propriedades no estado fresco devido ao estado de coesão interna que a cal proporciona. Fato este justificado pela diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão às partículas de agregado (CINCOTTO et al., 1995).

A proposta deste trabalho se resume em analisar as influências que o resíduo de cerâmica vermelha reciclada (RCV) promove nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas para revestimento. O emprego deste novo material inserido na argamassa deve ser acompanhado de avaliações rigorosas, uma vez que teores finos em excesso podem influenciar negativamente no desempenho das argamassas. De um modo geral, o uso do resíduo de cerâmica vermelha foi conveniente até certo valor de porcentagem presente na mistura, com melhorias na trabalhabilidade e no módulo de elasticidade e sem maiores prejuízos para a propriedade de resistência à compressão.

As argamassas distinguem-se por apresentarem características plásticas e adesivas quando de sua aplicação e por tornarem-se rígidas e resistentes após certo período de tempo. Estes fatos determinam seus principais empregos na construção civil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Neste estudo, a análise experimental nas argamassas foi executada em 2 etapas distintas. Na primeira etapa, estudou-se 3 (três) traços de argamassa mista (cimento e cal), para revestimento, de usos correntes em obras de construção civil adotadas na cidade de Natal/RN e denominados traços de referência apenas para análise de forma prática (manuseio) e visual do melhor traço que oferecesse um bom desempenho com relação à trabalhabilidade e coesão dos componentes após mistura.

Tais propriedades se verificam pela necessidade da argamassa oferecer plasticidade para se deformar ao ser aplicada sobre a superfície do substrato, quando do lançamento e aplicação, fluidez para envolver a

rugosidade do substrato, e retenção de água para manter a trabalhabilidade durante a aplicação (BAUER) que foi verificado como adequada, no quesito acima especificado, a argamassa do traço denominado TR-2.

Na segunda etapa da pesquisa, foram inseridos percentuais de resíduos de cerâmica vermelha finamente pulverizados através de moinho de mandíbulas em substituições parciais a cal, nas porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20%, em massa. Na tabela 1 ilustram-se os traços e suas respectivas quantidades de materiais necessários e suficientes para a moldagem de 3 corpos-de-prova cilíndricos de 5cm x 10 cm.

Tabela 1 – Quantidade de materiais utilizados nos traços na etapa 1 e 2

ETAPA		NOMENCLATUR A	QUANTIDADE DOS MATERIAIS (em gramas)				
			cimento	cal	areia	água	Resíduo
Etapa 1		TR 1	121,0	107,0	1165,0	240,0	-
		TR 2	141,5	127,5	1165,0	240,0	-
		TR 3	1.165,00	1.165,00	1.165,0	240,0	-
Etapa 2	TR 2	ARCV 5	141,5	121,1	1165,0	240,0	6,4
		ARCV 10	141,5	114,8	1165,0	240,0	12,8
		ARCV 15	141,5	108,4	1165,0	240,0	19,1
		ARCV 20	141,5	102,0	1165,0	240,0	25,5

Etapa 1

- 0% de resíduo presente nas 3 formulações;

Etapa 2 (traço padrão TR 2)

- ARCV 5 – 5% de substituição do resíduo pela cal, em massa;
- ARCV 10 – 10% de substituição do resíduo pela cal, em massa;
- ARCV 15 – 15% de substituição do resíduo pela cal, em massa;
- ARCV 20 – 20% de substituição do resíduo pela cal, em massa;

As argamassas foram produzidas nos laboratórios de Materiais de Construção 1 e 2 do CEFET-RN, a partir da mistura, de cimento (CPII Z-32 RS), cal hidratada, areia proveniente de leito de lago do município de Igrejinha/RN e resíduo de cerâmica vermelha (proveniente da quebra ou empena de telhas de cerâmica vermelha) da fábrica de cerâmicas de Parelhas-RN, finamente pulveriza das através do moinho de mandíbulas. A caracterização dos materiais utilizados está ilustrada na tabela 2. Na figura 1 ilustram-se as análises granulométricas da areia e do resíduo de cerâmica.

Tabela 2 – Características físicas dos materiais utilizados

MATERIAL	Massa Unitária NBR 7251 (g/cm ³)	Massa Específica NBR NM52 (g/cm ³)	Módulo de Finura NBR 7217	Dimensão Máxima Característica NBR 7217 (mm)
Cimento	1,25	3,00	-	-
Cal	0,46	2,02	-	-
Areia	1,55	2,62	2,37	4,8
RCV*	1,21	2,63	1,93	2,4

*RCV – Resíduo de Cerâmica Vermelha

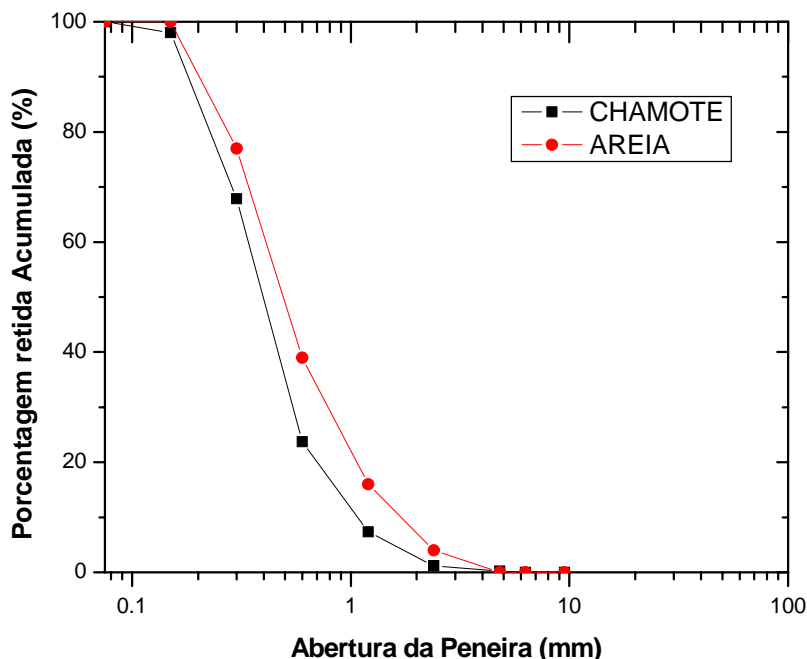


Figura 1. Curva granulométrica da Areia e do Resíduo de Cerâmica (chamote).

2.2. Métodos

Preparo das Argamassas

As argamassas foram preparadas fazendo-se a mistura, em massa, de cimento, cal hidratada, areia e água, na argamassa de traço de referência (TR-2), e, posteriormente, na produção dos outros traços foi adicionado o RCV nas proporções pré-estabelecidas (5%, m10% e 15%). A homogeneização dos materiais foi realizada em um misturador mecânico de eixo vertical, de movimento planetário, palheta única, volume de 5 litros e velocidade de 62 ± 5 rpm.

Ensaio realizado

- Índice de consistência

Este ensaio foi realizado seguindo as prescrições da norma brasileira NBR 13276:2005 em relação ao item que trata de *argamassa dosada em obra* e à base de cimento e cal hidratada, que consiste em pegar argamassa e, sob a mesa de índice de consistência umedecida, encher um molde-tronco cônico, também umedecido, em três camadas de mesma altura. Com um soquete metálico aplicar 15, 10 e 5 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos, respectivamente, na primeira, segunda e terceira camadas. Após o enchimento, rasar toda a superfície do molde com uma régua metálica em movimentos curtos em vai-e-vem, e eliminar qualquer partícula em torno do molde com um pano. Acionar a manivela da mesa, de modo que a mesa suba e caia 30 vezes dentro de um período de 30 s. Imediatamente após o fim das batidas, realizar com o auxílio de um paquímetro três medições em seu diâmetro. A média destas medidas representará o índice de consistência da argamassa. O resultado deste ensaio é apresentado por um valor unitário em milímetros, obtido através da Equação 01.

$$I.C. = \frac{1^a + 2^a + 3^a}{3} \quad [\text{Eq. 01}]$$

- **Teor de ar incorporado e densidade de massa**

Este ensaio é descrito pela norma brasileira NBR 13278:2005, que se resume na pesagem da amostra de argamassa acondicionada no molde cilíndrico de volume, aproximado, 400 cm³. O resultado do ensaio é expresso por um valor unitário em porcentagem, dado pela Equação 02.

$$A.I. = 100x\left(1 - \frac{A}{B}\right) \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde: A.I. – Teor de ar incorporado (%); A – densidade de massa medida (g/cm³) dado pela Equação 03; B – densidade de massa teórica (g/cm³), dado pela Equação 04.

$$A = \frac{M_c - M_v}{V_r} \quad [\text{Eq. 03}]$$

Onde: Mc – Massa do Recipiente + Argamassa (g); Mv – massa do recipiente vazio (g); Vr – volume do recipiente (cm³)

$$B = \frac{\sum M_i}{\sum \gamma_i} \quad [\text{Eq. 04}]$$

- **Determinação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade**

Para realização do ensaio de resistência à compressão, tomou-se como referência a norma NBR 13276:2005 no tocante a preparação da argamassa (item 3.2.1) e a NBR 13279:1995 pra moldagem e ruptura dos corpos-de-prova cilíndricos de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro. Após a cura das amostras em temperatura ambiente de laboratório não climatizado (28° C ± 2°C) por período de 28 dias, as amostras foram capeadas e rompidas em prensa universal com aplicação de carga de 50 kgf/segundos (valor normativo 500 N/s). Do gráfico “carga x deslocamento relativo da base móvel” obtido por meio eletrônico através da conexão máquina/computador, foram determinados os módulos de elasticidades das amostras. Na figura 2, ilustra-se artifício usado no procedimento para determinação do módulo de elasticidade. As amostras sem resíduo e as amostra com o teor de resíduo de 10% foram as que apresentaram maior módulo de elasticidade, próximos de 0,60 GPa. Já para os demais as amostras, os valores ficaram próximos de 0,20 GPa

Associa-se o módulo de elasticidade do material com a sua rigidez, que depende intrinsecamente da quantidade de cimento, quantidade de água, compacidade, massa específica entre outros fatores e que está intimamente ligada com a resistência à compressão do material, inferindo-se que com o aumento da resistência mecânica também se tem um aumento no módulo de elasticidade. Obviamente que a afirmativa trata-se de materiais com as mesmas composições de mistura.

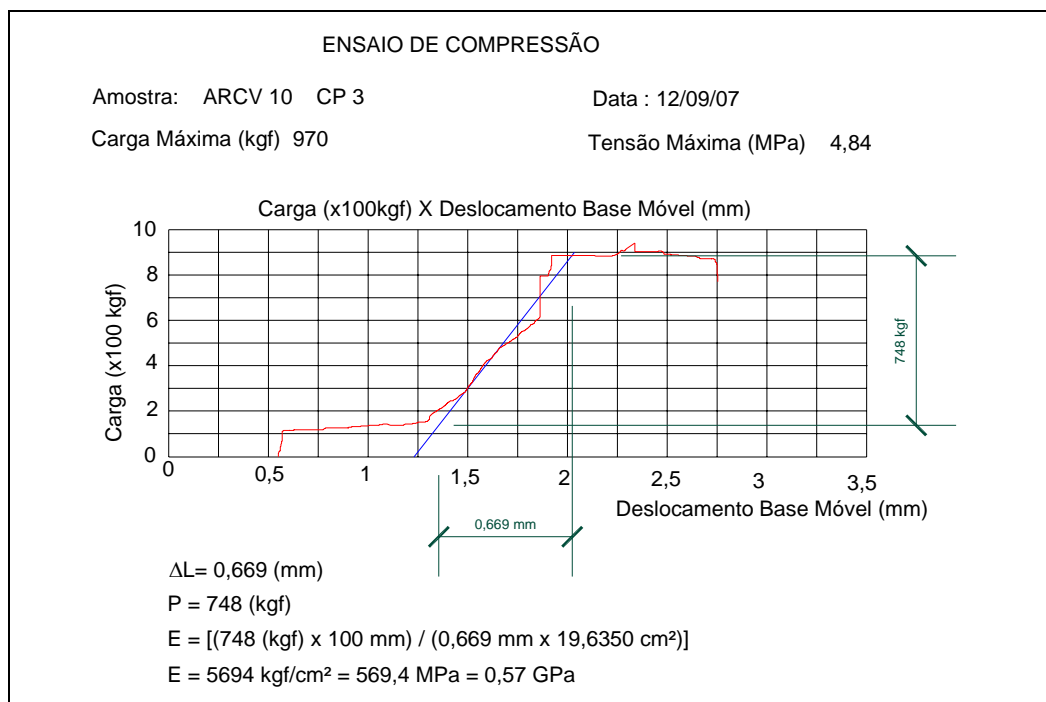


Figura 2. Metodologia adotada para aquisição do Módulo de Elasticidade através ensaio de compressão.

3. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1. Índice de consistência

Na figura 3 ilustram-se os resultados dos índices de consistências das argamassas para cada formulação estudada. Verifica-se um aumento gradativo com o aumento da porcentagem de RCV mantendo-se quase constante para as porcentagens de 10% e 15% e aumento acentuado para um teor de 20%. A consistência de uma argamassa traduz a sua trabalhabilidade: quanto maior o índice de consistência melhor a facilidade do manuseio com a argamassa; No entanto, a redução da cal com acréscimo do resíduo pode interferir na aderência final do composto.

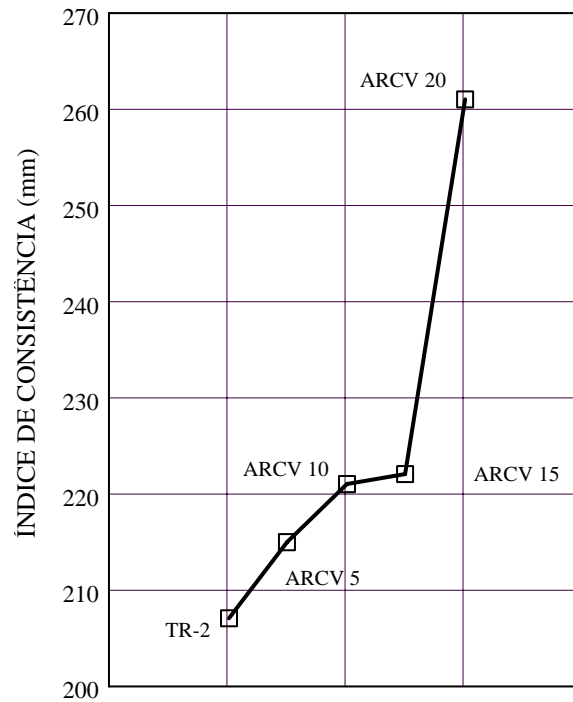


Figura 3 – Gráfico de avaliação do índice de consistência das amostras

3.2. Teor de ar incorporado

Assim como no ensaio de determinação do índice de consistência, o traço com 20% apresentou um aumento de destaque em relação ao traço de referência. Os traços de 5, 10 e 15% também apresentaram aumento de teor de ar incorporado em relação ao traço de referência. Os valores percentuais estão representados na Figura 4.

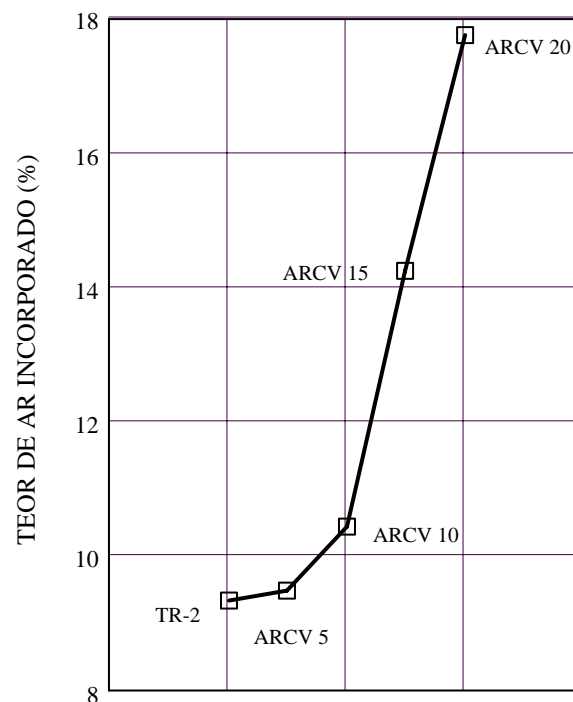


Figura 4 – Gráfico da Avaliação do teor de ar incorporado das amostras

3.3. Densidade de massa

Apesar da substituição da cal por um material de maior densidade (RCV), este fato não traduziu em aumento da densidade de massa, pois a adição do resíduo provocou um aumento no teor de ar incorporado e este fenômeno acabou por reduzir a densidade das formulações à medida que se aumentava a proporção de resíduo presente nas formulações, como pode ser observado na figura 5. Por conseguinte, o traço ARCV 5 teve uma ligeira alta na sua densidade de massa em relação ao traço de referência.

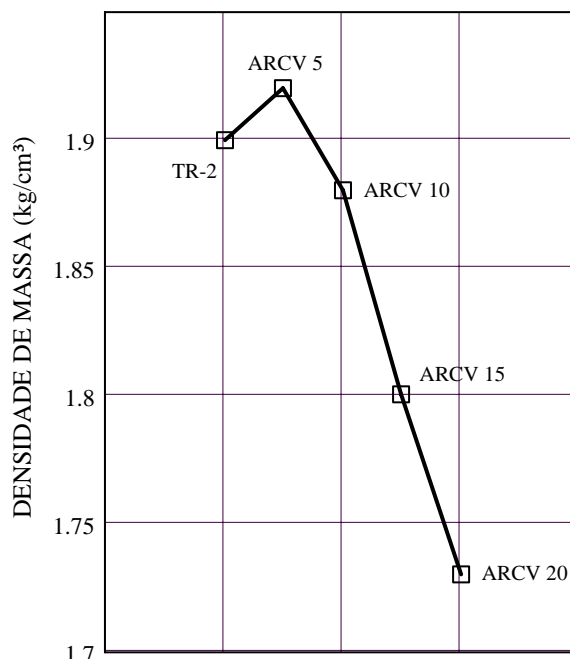


Figura 5 – Gráfico da Avaliação da densidade de massa das amostras

3.4. Resistência à compressão

Na figura 6 visualiza-se o comportamento das formulações no tocante à resistência à compressão. Em relação ao traço de referência, houve um aumento significativo na resistência à compressão para a formulação com 10% (ARCV 10) de resíduo e para as demais formulações, houve uma queda, com valores acentuados nas formulações com 15% e 20% de resíduo (ARCV 15 e ARCV 20). Este comportamento demonstra comportamento pozolânico do resíduo até um valor de 10%, e para porcentagens acima deste valor o resíduo acaba prejudicando a resistência à compressão.

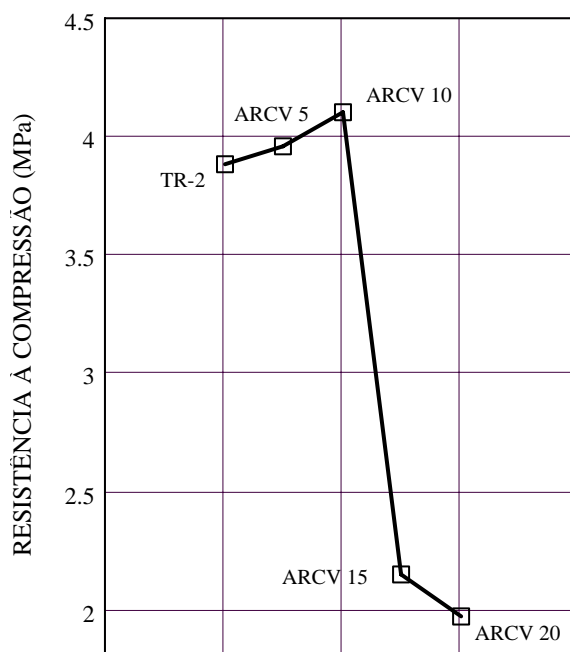


Figura 6 – Gráfico da Avaliação da resistência à compressão das amostras

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido através de experimentos e ensaios realizados em laboratório e investigaram o potencial de uso de resíduos de cerâmicas vermelhas recicladas provenientes da quebra ou empena de telhas de cerâmica vermelha como material de substituição parcial da cal na confecção de argamassas, visando avaliar as possibilidades de seu aproveitamento na construção civil. Dentro do escopo deste trabalho, as seguintes conclusões puderam ser extraídas a partir dos resultados obtidos:

- Todos os traços com adição de resíduos de cerâmicas vermelhas recicladas apresentaram um aumento no resultado do índice de consistência em comparação com o traço de referência;
- O teor de ar incorporado aumentou nos traços com 5%, 10%, 15% e 20% de resíduos, provocando uma redução na densidade de massa, com exceção do traço ARCV 5;
- Os resíduos de cerâmicas vermelhas recicladas exerceram influência significativa na redução da densidade de massa no traço de 20%, ou seja, a tendência é que quanto maior a adição de resíduos menor a densidade de massa da argamassa e após secagem tornará a argamassa mais porosa, prejudicando sua durabilidade devido facilidade de ataque de agentes agressivos.
- O aumento do teor de resíduo em substituição à cal melhorou a trabalhabilidade do composto no estado fresco. Fato este evidenciado pelo aumento do índice de consistência conforme figura 3. Observou-se, de forma visual, uma melhoria na coesão da argamassa até o teor de 10% e uma redução desta propriedade para o teor de 20%;
- Houve um ligeiro aumento da resistência à compressão nas formulações com teores de 5% e 10% e uma queda acentuada de resistência para teores de 15% e 20%;

Por apresentarem valores de teor de ar incorporado próximo aos valores das argamassas convencionais e uma densidade de massa baixa e valores de resistência à compressão dentro das exigências normativas, a argamassa estudada pode ser utilizada no mercado sem causar danos ou prejuízos à obra ou à construção.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6474 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7217: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2002.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. Anais. São Paulo, 2001.

Coletânea Habitare - vol. 4 - **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Aproveitamento de resíduos na construção. 2004.

VIEIRA, A.A.P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos**. João Pessoa, PB. UFPB. Dissertação de mestrado. 2002.

COIMBRA, M. A.; DOS SANTOS, W. N.; MORELLI, M. R. **Recuperação de resíduos inorgânicos para a construção civil (Recovery of inorganic waste for civil construction)**. Universidade Federal de S. Carlos – UFSCar. Departamento de Engenharia de Materiais – DEMa. Artigo. 2005

6. AGRADECIMENTOS

- Ao Cimento POTY, na pessoa do Eng. Carlos Magno de Farias, pela doação do cimento usado em toda a pesquisa;