

Estudos Sobre o Comportamento do Bloco Cerâmico “Híbrido” para Edificações em Alvenarias Estruturais

Cássio Freire Câmara^a, Uílame Umbelino Gomes^a

^a Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais – PPgCEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, RN, Brasil

*e-mail: cfcamara@infra.ufrn.br; umbelino@dfe.ufrn.br

Resumo

Este artigo apresenta um estudo sobre o comportamento microscópico do novo bloco cerâmico “híbrido” cuja utilização reside nas edificações executadas com alvenarias estruturais. Este trabalho buscou compreender os motivos que influenciaram na elevação da resistência à compressão dos blocos cerâmicos e, por conseguinte, em sua redução, sem desprezar os demais critérios Normativos vigentes. Inicialmente, foi realizada coleta dos materiais (argila e pó de brita) e, com o auxílio das técnicas laboratoriais (moagem, peneiramento e extrusão), foi realizada a confecção das amostras com percentuais que variam de 0%, 5%, 10% e 15% de substituição de pó de brita à argila. Após a sinterização à temperatura de 990°C, as amostras foram encaminhadas para a realização dos ensaios (resistência à compressão e porosidade) e avaliado a quantidade de aglomerante das amostras.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, blocos cerâmicos, bloco cerâmico híbrido.

1. Introdução

A Indústria Ceramista Brasileira ocupa uma posição de destaque no mercado econômico do país. De acordo com a ABC (Associação Brasileira de Cerâmica), a atividade tem uma participação de 1,0% no PIB – Produto Interno Bruto, valor equivalente a 6,8 bilhões/ano, com aproximadamente 5.500 fábricas registradas e outras 2.500 em operação informal e/ou sazonal, incluindo as olarias e as microempresas. Estima-se um consumo de mais de 120 milhões de toneladas de argila pelo setor oleiro brasileiro¹.

No Nordeste, a produção está localizada principalmente nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia, Pernambuco, Maranhão e Piauí. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia, a região Nordeste tem produção de 21% da marca nacional, mas consome 22%, tendo que importar produtos de outras regiões². Atualmente no Rio Grande do Norte são aproximadamente 160 empresas que produzem cerca de 90 milhões de peças por mês. O consumo de argila mensal é entorno de 174 mil toneladas³.

Nos últimos anos, a alvenaria estrutural tem experimentado um grande desenvolvimento. Devido à estabilidade econômica do país, os custos tornaram-se a principal preocupação das empresas para manterem-se competitivas, fazendo com que utilizem novos materiais e invistam em pesquisa⁴.

Cada vez mais o setor cerâmico tem sido utilizado com o objetivo de dar destino aos mais diversos tipos de resíduos, por vários fatores, tais como: redução do impacto ambiental provocado pelos mesmos, redução dos custos produtivos ao serem incorporados aos produtos, redução do uso das matérias-primas e busca da melhoria da qualidade técnicas⁵.

Dentro desta realidade, o presente trabalho vem somar-se a outras pesquisas experimentais visando estimular a execução de edificações que utilizam alvenaria estrutural (economicidade) com maior preservação dos recursos naturais (substituição da argila pelo pó-de-brita) e elevando a qualidade (maior resistência à compressão) do bloco cerâmico. O objeto do estudo apresenta grande relevância prática na atualidade, pois a cada dia a modalidade de execução das edificações em alvenaria estrutural cresce em maior escala que as edificações em estrutura de concreto armado convencional.

2. Metodologia

A argila utilizada na confecção dos corpos-de-prova foi coletada na região do município de Assu/RN e o pó de brita utilizado é de origem granítica e foi coletado nas jazidas localizadas no município de Caicó/RN, material com diâmetro máximo de 4,8 mm, módulo de finura de 2,55 e abrasão Los Angeles de 48% de desgaste, pois nesta região concentra-se a maior quantidade de olarias do estado. Tanto a argila quanto o pó de brita foram caracterizados com o auxílio e a interpretação dos resultados das análises da Mineralogia, Granulometria, Fluorescência, Difração de raio “X” e Microscopia Eletrônica de Varredura.

Inicialmente, os materiais foram colocados em um moinho de bolas, em seguida foi realizado o seu peneiramento, posteriormente os materiais foram misturados manualmente sobre superfície limpa através da utilização de ferramentas manuais, conforme os percentuais (100% de argila e 0% de pó de brita – F1, 95% de argila e 5% de pó de brita – F2, 90% de argila e 10% de pó de brita – F3 e 85% de argila e 15% de pó de brita

– F4) propostos inicialmente na pesquisa e umedecidos com um percentual de aproximadamente 18% de água, depois extrusados com dimensões de aproximadamente $7,2 \times 3,5 \times 6,5$ centímetros e, por fim, sinterizados num forno tipo MUFLA, cuja temperatura utilizada nos corpos de prova foi $990 \text{ }^\circ\text{C}$, com uma taxa de aquecimento de $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{minuto}$ e um patamar de 01 (uma) hora.

Com o objetivo de otimizar o manuseio dos corpos-de-prova nos ensaios e avaliações, foram adotadas letras e números para identificá-los de modo a facilitar o desenvolvimento da pesquisa e a identificação dos mesmos, assim como o tratamento dos dados obtidos. A letra “F” acompanhada de um número que varia de 1 a 4 representam a formulação das amostras e a numeração dos corpos-de-prova, que varia de 1 a 12. A Tabela 1 abaixo apresenta um resumo da simbologia adotada para identificação das amostras.

Dando sequência a pesquisa foram realizadas as análises térmicas (dilatometria, termogravimétrica, termodiferencial e calorimetria exploratória diferencial) e os ensaios tecnológicos (resistência à compressão, absorção de água – Equação 1, retração linear – Equação 2 e porosidade – Equação 3) nos corpos-de-prova, além da avaliação da relação entre as quantidades de aglomerante e aglomerado em cada amostra.

$$AA (\%) = \frac{mu - ms}{ms} \times 100 \quad (1)$$

onde mu e ms representam a massa úmida e a massa seca de cada corpo-de-prova, respectivamente, expressas em gramas.

$$RT (\%) = \frac{Cu - Cs}{Cu} \times 100 \quad (2)$$

onde Cu e Cs representam o comprimento úmida e o comprimento seca de cada corpo-de-prova, respectivamente, expressas em centímetro.

$$PA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (3)$$

onde M_u é a massa, em gramas, do corpo-de-prova úmido (após período de imersão para absorção de água), M_s é a massa, em gramas, do corpo-de-prova seco (após 24 horas em estufa) e M_i é a massa, em gramas, do corpo-de-prova imerso em água destilada.

Tabela 1. Simbologia usada na identificação dos corpos-de-prova.

Formulações	Teores de argila	Teores de pó de brita
F1 (de 1 a 12)	100%	0%
F2 (de 1 a 12)	95%	5%
F3 (de 1 a 12)	90%	10%
F4 (de 1 a 12)	85%	15%

3. Resultados e Discussões

Os resultados apresentados buscam estabelecer correlação entre os parâmetros identificados na ABNT NBR 15270-2² e os dados obtidos através dos ensaios realizados com os corpos-de-prova, observando o quanto são significativas as variáveis na confecção dos blocos cerâmicos tratadas neste trabalho e a sua influencia na eficiência e qualidade do produto.

As análises mineralógicas através dos difratogramas de raios-X das amostras dos materiais utilizados na confecção dos corpos-de-prova resultaram nos gráficos da argila e do pó de brita granítica. Uma vez observados os resultados (Figura 1) constata-se respectivamente a predominância da fase cristalina Quartzo (SiO_2) na argila e Quartzo, Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e Microclíneo (KAlSi_3O_8) no pó de brita.

Com a fluorescência das amostras dos materiais utilizados na confecção dos corpos-de-prova foram obtidos os relatórios da argila e do pó de brita granítica respectivamente abaixo. Uma vez observados os resultados constata-se a predominância de Oxido de Silício (SiO_2), Oxido de Alumínio (Al_2O_3) e Oxido de Ferro (Fe_2O_3) para ambos os materiais, conforme ilustrado na Figura 2.

A presença e os teores dos óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3) na composição química das matérias-primas analisadas confirmam que a cerâmica é do tipo vermelha e é proveniente de rochas graníticas.

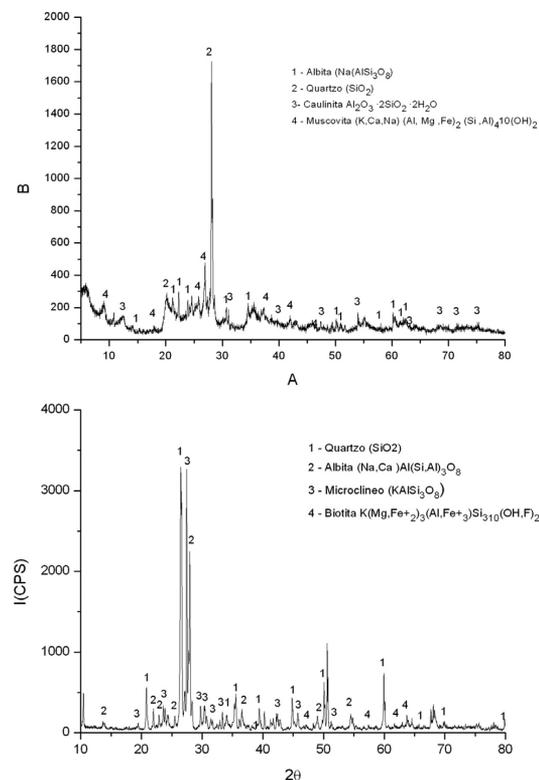


Figura 1. Análise Mineralógica da argila e do pó de brita, respectivamente.

Os teores de Fe_2O_3 (17,19% na argila e 14,47% no pó de brita) estão acima dos valores considerados normais para os materiais analisados, o que durante a sinterização favorece a obtenção de produtos com cores avermelhadas, tendendo para o escuro. O elevado percentual de óxido alcalino K_2O (5,27% na argila e 6,31% no pó de brita) e óxido alcalino-terroso CaO (3,36% na argila e 6,29% no pó de brita) contribuem para um comportamento de elevada fundência dos materiais, uma vez que em temperaturas elevadas agem como fundentes de elevada energia.

A análise das amostras dos materiais utilizados na confecção dos corpos-de-prova por microscópio eletrônico de varredura – MEV resultou nas Fotomicrografias (Figura 3) da argila e do pó de brita granítica respectivamente abaixo:

A Figura 3 apresenta a morfologia das partículas da argila, ou seja, é formada por distribuição de tamanhos relativamente uniformes com grãos arredondados e alongados, bem como apresenta a morfologia das partículas do pó de brita, que é formada por distribuição de tamanhos não uniformes com partículas de formas e dimensões variadas (arredondadas, alongadas e prismáticas).

Com as fotomicrografias (Figura 4a-d) dos blocos cerâmicos (F1, F2, F3 e F4 respectivamente) sinterizados a temperatura de 990°C (temperatura de gresificação), se evidencia nitidamente a ocorrência de duas regiões, além da ocorrência de defeitos (poros e trincas), ou seja, a formação da fase vítrea (região “a”) envolvendo os grãos de quartzo - Qz (região “b”). Com a adição do pó de brita ocorre à diminuição da massa que envolve as fases e à medida que se eleva o percentual de pó de brita adicionado à argila na confecção dos corpos-de-prova esta massa permanece reduzindo, o que indica que os corpos-de-prova evoluíram significativamente do ponto de vista da dureza do material.

Observando a Figura 4, podemos constatar que a adição do pó de brita provoca a diminuição da massa que envolve as fases (aglomerante) e, à medida que se eleva o percentual de pó de brita, esta massa permanece reduzindo, o que indica que os corpos-de-prova evoluíram significativamente do ponto de vista da dureza do material e que será confirmado com os ensaios de resistência à compressão. Identifica-se também uma diferença

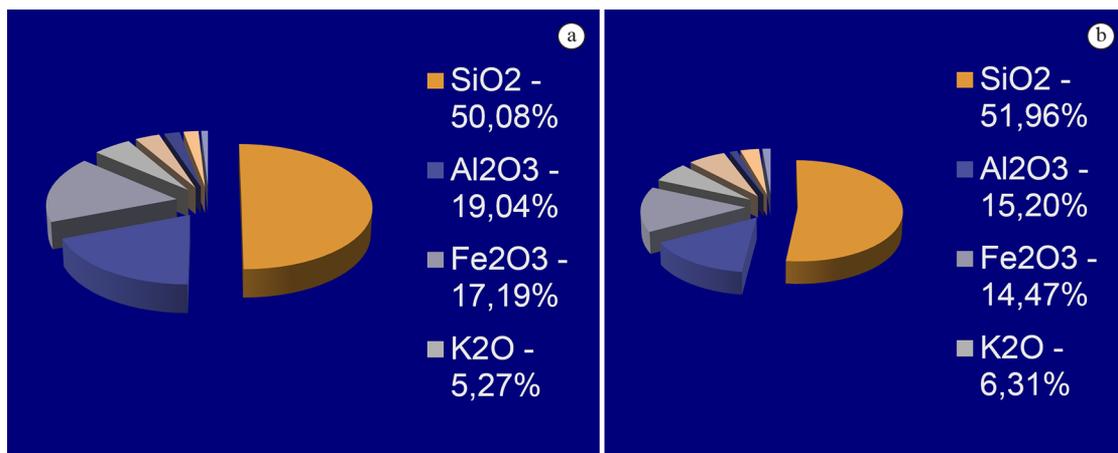


Figura 2. Composição química da argila (a) e do pó de brita (b).

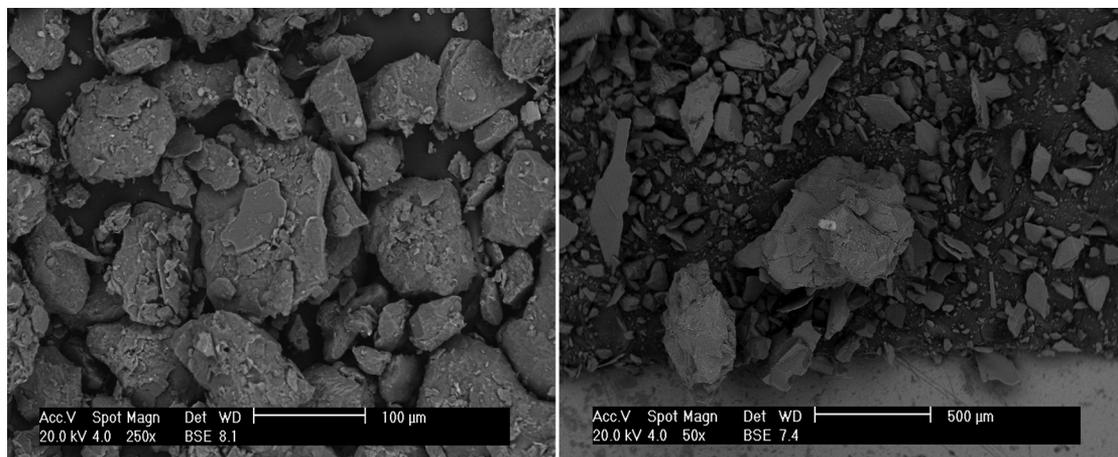


Figura 3. Fotomicrografia da argila e do pó de brita (MEV-250x e 50x).

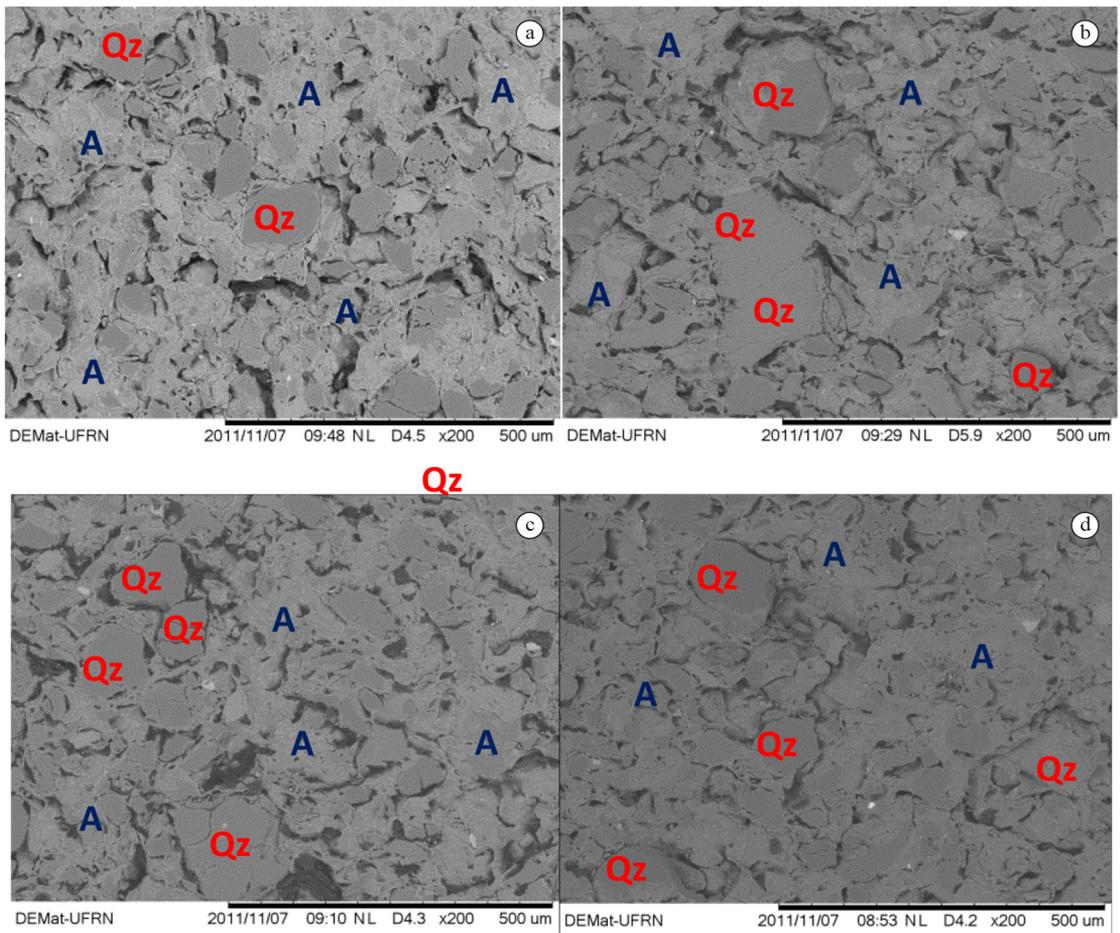


Figura 4. Fotomicrografia a, b, c e d dos blocos F1, F2, F3 e F4 (MEV-200x).

marcante entre as microestruturas das amostras, ou seja, a Fotomicrografia “a” apresenta uma estrutura formada por grãos com pouca interligação e contornos de grão mais bem definidos, enquanto que as Fotomicrografia “b” e “c” apresentam partículas parcialmente definidas, com interligação parcial entre as mesmas e uma redução na quantidade de vazio (poros), e finalmente a Fotomicrografia “d” apresenta um menor distanciamento entre os grãos e com superfícies mais arredondadas, o que caracteriza um maior “empacotamento” entre os grãos e a formação de fases recristalizadas em torno dos grãos, formadas durante o processo de sinterização por fase líquida dos componentes presentes nas matérias-primas com características fundentes, resultados que serão confirmados com os ensaios de porosidade aparente.

Após observar os resultados, pode-se constatar que inicialmente, com o acréscimo do pó de brita, ocorreu uma redução na retração linear dos corpos-de-prova (de 1,14% para 0,78%) e, posteriormente, quanto mais se acrescentou pó de brita ocorreu uma elevação da retração linear (de 0,78% até 1,49%), conforme percentuais médios ilustrados no gráfico da Figura 5 abaixo:

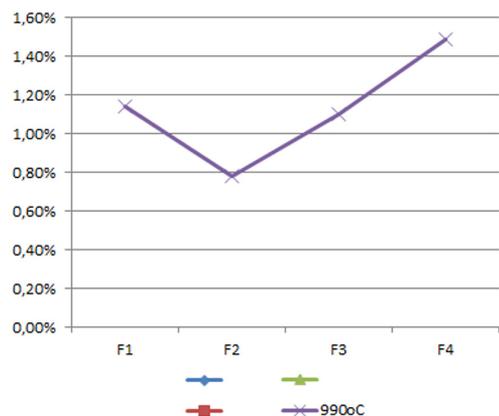


Figura 5. Retrações lineares médias em função das temperaturas de sinterização.

No tocante ao ensaio de absorção de água, viu-se que as quatro formulações utilizadas (F1, F2, F3 e F4) encontram-se dentro do intervalo exigido pela Norma ABNT NBR 15270-2⁶, ou seja, entre 8% e 22%.

Após comparar os resultados obtidos, observou-se que o percentual de absorção de água dos corpos-de-prova da formulação F2 se eleva inicialmente quando comparado com a formulação F1 e, em seguida, observa-se sua diminuição com a sucessiva adição de pó de brita, ou seja, sem a adição do pó de brita na argila (F1) o percentual de absorção médio é de 12,18%, com a adição de 5% de pó de brita na argila (F2) o percentual de absorção médio é de 12,90%, com a adição 10% de pó de brita na argila (F3) o percentual de absorção médio é de 12,19% e, finalmente, com a adição 15% de pó de brita na argila (F4) o percentual de absorção média é de 11,13% - demonstrando uma tendência de queda na absorção de água com a adição do pó de brita, conforme gráfico ilustrado na Figura 6 abaixo:

Após uma análise minuciosa acerca dos resultados obtidos através do ensaio de compressão destaca-se que: a adição 5% de pó de brita na argila eleva a resistência à compressão em média 12,73%, a adição 10% de pó de brita na argila eleva a resistência à compressão em média 26,41% e a adição 15% de pó de brita na argila

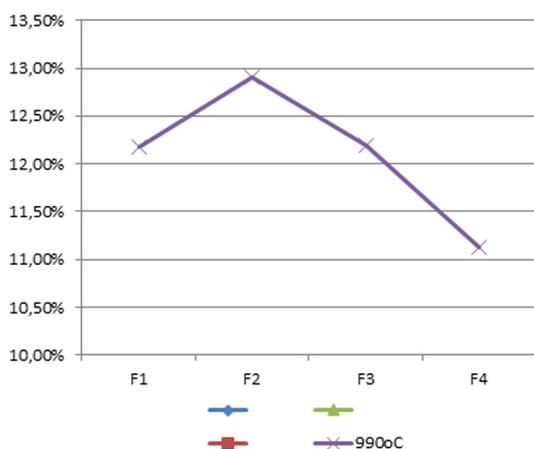


Figura 6. Absorção de água média em função das formulações.

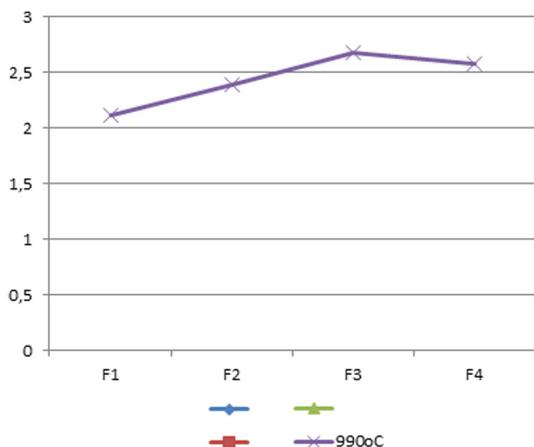


Figura 7. Resistência à compressão média em função das formulações.

eleva a resistência à compressão em média 21,69%, mostrando uma tendência de diminuição da resistência à compressão, caso continue sendo elevado o percentual de pó de brita nas amostras, conforme gráfico ilustrado na Figura 7 abaixo:

Após comparar os resultados obtidos com os ensaios de Porosidade, observou-se que os percentuais de porosidade aparente dos corpos-de-prova revelaram um comportamento de permanente redução, ou seja, diminuição da sua porosidade com a sucessiva adição de pó de brita em substituição a argila na confecção das amostras.

Sem a adição do pó de brita na argila (F1) o percentual de porosidade médio é de 23,95%, com a adição de 5% de pó de brita na argila (F2) o percentual de porosidade médio é de 23,78%, com a adição de 10% de pó de brita na argila (F3) o percentual de porosidade médio é de 22,96% e, finalmente, com a adição de 15% de pó de brita na argila (F4) cujo percentual de porosidade média é de 21,29% - demonstrando uma tendência de queda da porosidade aparente com a adição do pó de brita, conforme gráfico demonstrado na Figura 8 abaixo:

A obtenção dos percentuais de aglomerantes (e conseqüentemente dos percentuais de aglomerados) foi utilizada uma ferramenta eletrônica (*ImageJ*) para tratamento das imagens microscópicas das amostras, cujos resultados para as formulações F1 (imagem "a") é de 78,63% de aglomerante e 21,37% de aglomerado, F2 (imagem "b") é de 75,58% de aglomerante e 24,42% de aglomerado, F3 (imagem "c") é de 72,36% de aglomerante e 27,64% de aglomerado e F4 (imagem "d") é de 62,40% de aglomerante e 37,60% de aglomerado, conforme imagens reveladas na Figura 9 abaixo:

Após a obtenção deste resultado, constatou-se que a adição do pó de brita nas amostras proporciona uma gradativa redução na quantidade de aglomerante (na cor marrom) e conseqüentemente uma menor distância entre os seus grãos, ou seja, a substituição do pó de brita (reduzindo a quantidade de argila) nos corpos-de-prova prejudica a "ligação" entre os seus agregados. Como na formulação F4 a quantidade de aglomerante (menos de 2/3 do material) não é suficiente para envolver seus grãos, quando submetidos aos esforços verticais favorece uma maior movimentação entre os grãos, interferindo negativamente na sua resistência à compressão.

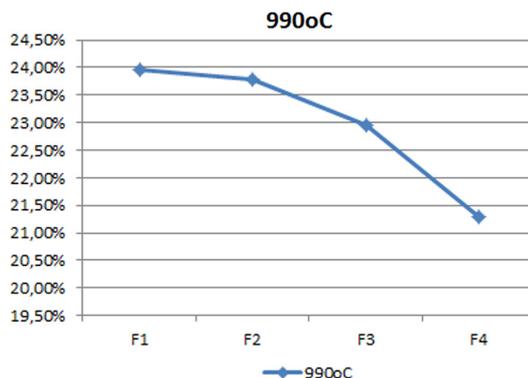


Figura 8. Porosidade Aparente média em função das formulações.

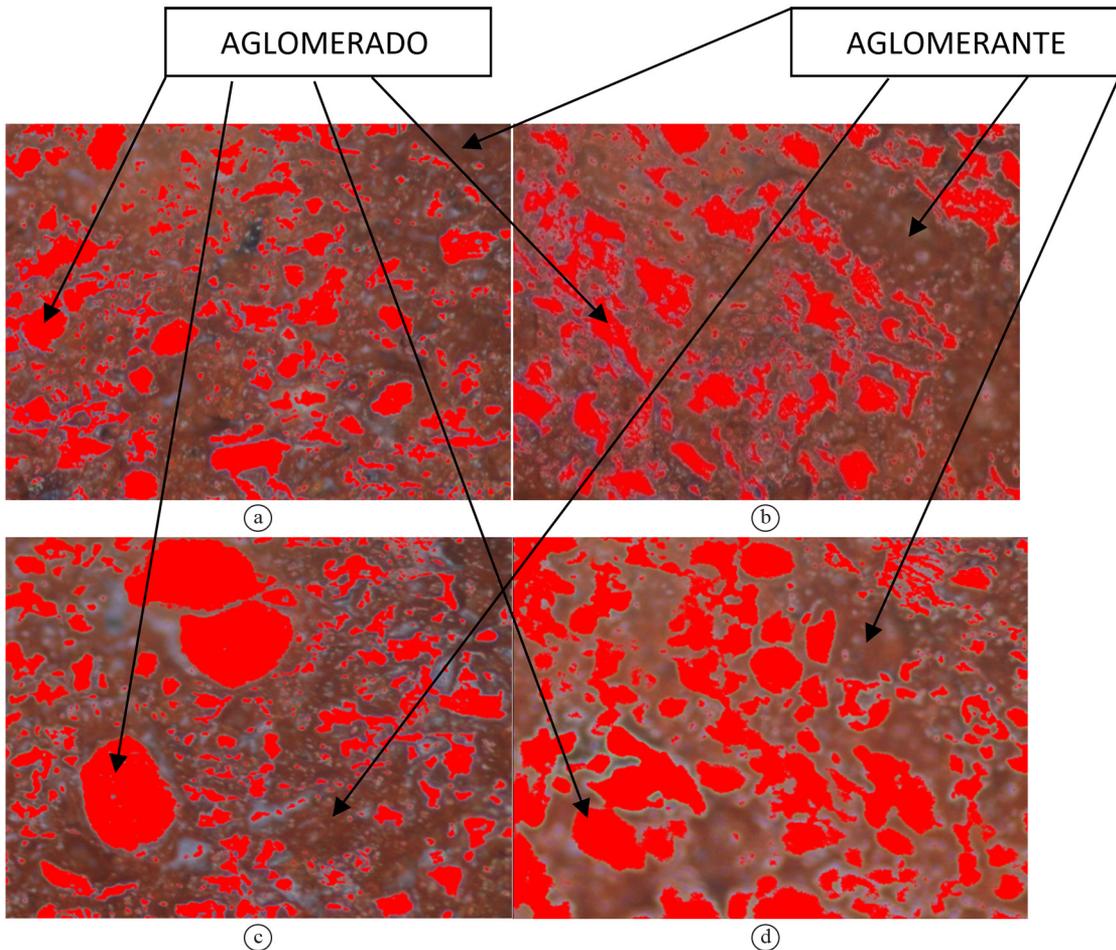


Figura 9. Resultado do “ImageJ” para as Formulações F1 (a), F2 (b), F3 (c) e F4 (d).

4. Conclusão

Nesta pesquisa estudou-se a influência da adição de pó de brita (granítica) à argila na confecção de blocos cerâmicos, utilizando a temperatura de gresificação (990 °C) para sinterizar o bloco híbrido e as possíveis influências que justificam o comportamento de suas resistências à compressão. De acordo com os resultados obtidos nos experimentos, apresentam-se as conclusões a seguir expostas.

A retração linear dos corpos-de-prova se manteve relativamente constante com as diferentes temperaturas de sinterização, cujas variações excederam em média 40%, sendo que entre a formulação F1 e F4 a retração foi elevada em 30%. A retração linear inicialmente (entre as formulações F1 e F2) mostrou-se inversamente proporcional à quantidade de pó de brita adicionada a argila na confecção de blocos cerâmicos híbridos, entretanto, posteriormente, a formulação F2 obteve um comportamento divergente (diretamente proporcional).

Quanto à absorção de água, confirmou-se que a adição de 5% de pó de brita à argila, na confecção de blocos

cerâmicos híbridos, eleva a sua absorção em 5,91%, comportamento este que não se manteve para os demais percentuais de adição de pó de brita, ou seja, a adição de 10% de pó de brita à argila na confecção de blocos cerâmicos híbridos diminui a sua absorção em 5,50% e a adição de 15% de pó de brita à argila na confecção de blocos cerâmicos híbridos novamente diminui a sua absorção em 8,69%.

No tocante à resistência à compressão dos corpos-de-prova, constatou-se que até a formulação F3 seu comportamento é diretamente proporcional ao acréscimo de pó de brita na argila e que a Formulação F3 é a que obteve maior elevação da resistência, pois na adição de 15% de pó de brita observou-se a redução da sua resistência à compressão, ou seja, os blocos com a adição de 10% de pó de brita obtiveram resistências à compressão mais satisfatórias, elevando a resistência à compressão dos blocos híbridos em média 26,41% e atingindo um acréscimo máximo da resistência de 58%.

Considerando os resultados apresentados até esta fase da pesquisa, viu-se a necessidade de avaliar a(s) possível(is) justificativa(s) para o comportamento dos

blocos cerâmicos híbridos no tocante às suas resistências a compressões, pois os demais parâmetros da ABNT NBR 15270 (parte 2)⁶ obtiveram resultados satisfatórios, entretanto o comportamento da formulação F4 ainda era uma incógnita até aquele momento. Portanto, foram analisadas as porosidades das amostras e a quantidade de aglomerante das amostras.

Após os resultados obtidos através dos ensaios de porosidade aparente nos corpos-de-prova, constatou-se uma redução da porosidade nas amostras em todas as formulações utilizadas, ou seja, a substituição da argila pelo pó de brita na confecção dos corpos-de-prova proporcionou uma redução na quantidade de vazios das amostras. Mantiveram-se as expectativas até a formulação F3 (de 23,95% até 22,96%), entretanto se contrariou o esperado para formulação F4 (21,29%), pois, com a redução da resistência à compressão, nesta formulação era aguardada uma elevação da sua porosidade aparente.

Tendo em vista que os resultados do ensaio de porosidade não possibilitaram a interpretação dos resultados obtidos na resistência à compressão dos corpos-de-prova, viu-se a necessidade de quantificar a relação entre o aglomerante e aglomerado das amostras, analisando a influência deste resultado na movimentação dos seus grãos quando submetidos ao esforço vertical. Com o tratamento das imagens obtidas através da microscopia ótica das amostras pelo “ImageJ”, observou-se que entre as formulações F1 e F2 ocorreu uma redução de 3,88% do aglomerante, entre as formulações F2 e F3 ocorreu uma redução de 4,26%, enquanto que entre as formulações F3 e F4 ocorreu uma redução de 13,76% do aglomerante, acumulando uma redução do aglomerante de 21,90% entre a formulação F1 (4/5 da amostra) e F4 (2/3 da amostra).

Finalmente, após compilação dos resultados obtidos experimentalmente, constata-se que o uso do pó de pedra na confecção dos blocos cerâmicos é uma tendência cada vez maior pela dificuldade da matéria prima (elevação da vida útil das jazidas de argila), controle dos órgãos ambientais (eliminação dos resíduos dos britadores) e exigências comerciais (sustentabilidade e conscientização

ecológica). Porém, foi evidenciado neste trabalho que a utilização do pó de brita tem o inconveniente de ser um material pulverulento, que até o acréscimo de 10% na confecção dos blocos cerâmicos híbridos é desejável, pois colabora com o arranjo dos grãos dos materiais, preenchendo parte dos seus vazios e, conseqüentemente, elevando a sua resistência à compressão em até 58%, mas, acima deste percentual, compromete a sua resistência mecânica, pois, embora possibilite maior compacidade nas amostras, reduz significativamente a sua quantidade de aglomerante (20,62%).

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da UFRN, aos meus familiares e em especial ao Professor Dr. Uílame Umbelino Gomes.

Referências

1. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA – ANICER. Rio de Janeiro: ANICER, 2009. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br>>.
2. BANCO DO NORDESTE – BNB. **Pesquisa do setor de Cerâmica Vermelha no Nordeste**. Vitória da Conquista: BNB, 2010.
3. MACHADO, T. G. **Estudos da adição de resíduo de sheelita em matriz cerâmica**. 2012. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2012.
4. RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Editora Pini, 2003.
5. PIAUÍ. GOVERNO. SECRETARIA DA FAZENDA – SEFAZ. Núcleo de informações fazendárias. Teresina: SEFAZ, 2009. Disponível em: <<http://www.sefaz.pi.gov.br>>.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-15270-2**: componentes cerâmicos parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.