

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE BLOCOS SÍLICO-CALCÁRIOS RESULTANTES DE ALTERAÇÕES NO PROCESSAMENTO DO MATERIAL

A.M.D.Sousa⁽¹⁾; J.B. Silva⁽¹⁾; J.C.S. Andrade⁽²⁾; M.L.V.N.Morais⁽³⁾;
M.C.R.M.Batista⁽⁴⁾; C. A. Paskocimas⁽⁵⁾

Rua Claudionor Figueiredo, 453 – Natal, RN – Brasil, CEP: 59075-260
alexmicael@hotmail.com

¹Departamento de Engenharia Civil, UFRN; ²Departamento de Engenharia de Materiais – UFMA; ³Diretoria Acadêmica de Construção Civil – IFRN; ⁴Engenheiro Civil - BQMIL Mossoró/RN; ⁵Departamento de Engenharia de Materiais – UFRN

RESUMO

As propriedades mecânicas dos materiais sílico-calcários estão diretamente relacionadas a dois aspectos fundamentais, sendo eles as características físico-químicas das matérias-primas e o processamento industrial utilizado na fabricação de seus produtos. Este trabalho apresenta o estudo das propriedades mecânicas obtidas de acordo com modificações no processamento das matérias-primas, bem como alterações na conformação destes. Dentre as propriedades avaliadas estão a absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, retração linear de cura e resistência mecânica à flexão. Pode-se citar, dentre as alterações no processamento estudadas, a correção da granulometria das matérias-primas por moagem e o tipo de mistura adotado. Os resultados convergem para melhores propriedades mecânicas através da moagem conjunta das matérias-primas e menores teores de umidade.

Palavras-chave: resíduos, sílico-calcário, propriedades mecânicas, processamento.

INTRODUÇÃO

Os blocos sílico-calcários (BSC's) estão normatizados no país pela NBR 14974 (ABNT, 2003), a qual define estes como blocos prismáticos para alvenaria, fabricados com cal e agregados finos de quartzo, que depois de um processo de mistura íntima são moldados em peças, por pressão e compactação, sofrendo posteriormente endurecimento sob ação de calor e pressão de vapor. Além disso, a norma ainda especifica as características técnicas que o produto deve apresentar, que serão apresentadas mais adiante, como resistência e absorção de água.

Acredita-se que o fator preponderante para o ganho de resistência mecânica dos BSC's seja a formação de fases a base de silicatos hidratados de cálcio (CSH)

na matriz da mistura proporcionado pelo ambiente de pressão de vapor e temperaturas elevadas, mas salientando-se aqui a necessidade de composição química dos materiais compatível com o produto que deseja-se produzir, por exemplo, elevado teor de sílica do material aglomerado (SOUSA,2011). Este tipo de cura recebe o nome na literatura corrente de tratamento hidrotérmico, sendo recomendado temperaturas da ordem de 200°C e pressões de vapor em torno de 18 atm (ANDRADE, 2009).

Nos trabalhos de SOUSA (2011), ANDRADE (2009) e SANTOS (1985), o foco das pesquisas consistia no estudo das propriedades mecânicas dos produtos de acordo com dosagens racionais das matérias-primas de cada região, priorizado os resultados de acordo com as proporções de cal hidratada na mistura e consequente formação de CSH para tratamentos hidrotérmicos de características fixas.

Esta pesquisa consiste no enfoque de variações do processamento das misturas, bem como na conformação física, seguido de posterior análise das propriedades mecânicas resultantes.

As alterações no processamento estudadas foram a modificação do tipo de moagem e mistura das matérias-primas, além do uso de diferentes teores de umidade pressões de compactação na conformação. Dentre as limitações deste estudo estão a não realização de testes de resistência à compressão das peças em virtude das características de conformação destas, bem como a amostragem reduzida de peças por formulação, impossibilitando a realização de estudos de desvio padrão e coeficiente de variação dos resultados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa foram utilizados o arisco e cal hidratada disponíveis em laboratório e de uso típico na região potiguar. A metodologia adotada consistiu na caracterização das matérias-primas estudadas e análise das propriedades físico-mecânicas do produto resultante. Seguiram-se ensaios em laboratório para caracterização do arisco empregado. Foram estudados traços com variações crescentes do percentual de água na mistura, além de métodos diferentes de processamento e mistura das matérias-primas.

Caracterização das matérias-primas

Inicialmente o arisco *in natura* foi seco em estufa elétrica com termostato regulado em 110°C ± 5°C por um período de 24 horas. Após isto foram tomadas amostras representativas para caracterização granulométrica do material *in natura*, além de seus índices físicos como massa unitária e específica, de acordo com a NBR 7217 (ABNT, 1987) e NBR 9776 (ABNT, 1987), respectivamente. Finalizada esta etapa foi executado um peneiramento do mesmo na peneira ABNT 20 mesh (abertura 0,85mm) e tomado apenas o material passante para estudo.

As massas unitárias das matérias-primas foram determinadas pela razão entre a massa e o volume do material. Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos para a caracterização através dos índices físicos das matérias-primas. Percebe-se que o arisco apresenta uma granulometria fina, com percentagem retida acumulada menor que 5% na peneira ABNT 8 mesh (abertura 2,4mm).

Tabela 1 - Índices físicos do arisco *in natura*.

Módulo de Finura	Diâmetro Máximo (mm)	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)
2,08	2,4	2,38	1,67

Dosagem das formulações do sílico-calcário

De acordo com os trabalhos de Andrade (2009) e Santos (1985), adotou-se como traço padrão o referente a 90% de arisco e 10% de cal hidratada, valores relativos à massa seca. A partir disto foram feitas variações nos processamentos do arisco, bem como nos métodos de mistura, moagem e porcentagem de água de amassamento.

FANG *et al.* (2010) e CHEN *et al.* (2006) recomendam que o arisco utilizado apresente percentual mínimo de 5% de material passante na peneira ABNT 325 mesh (abertura 45µm). Desta forma, foi tomado o material passante na peneira ABNT 65 mesh (abertura 212µm) e moído em moinho de bolas excêntrico por 30 minutos para reduzir a granulometria desta fração do arisco. A seguir é apresentada na Tabela 2 a evolução da redução da granulometria da fração em função do tempo de moagem. Os valores expressos são da porcentagem retida acumulada em cada peneira.

Observa-se que o material *in natura* apresenta grande deficiência na percentagem mínima de material passante na peneira ABNT 325 mesh (abertura 45µm), o que pode ser corrigido com o tempo de moagem de 30 min, atentando que devem ser observados os valores da Tabela 2, a seguir, cujos valores tendem a ser maiores devido a impregnação de material excessivamente fino nos grãos maiores.

Tabela 2: Porcentagem retida acumulada de arisco em cada peneira em função do tempo de moagem.

Abertura (mm)	Natura (%)	15 min (%)	30 min (%)
0,212	77,0	28,0	0,4
0,150	90,47	52,8	6,9
0,075	99,08	87,9	45,0
0,045	99,73	94,3	96,9

Nesta etapa do processamento foram testados dois tipos de moagem, sendo o primeiro do arisco junto com a cal (J), a fim de proporcionar o contato íntimo destes materiais, e o segundo do arisco moído separadamente da cal (S). Após a moagem dos materiais estes foram misturados no moinho de bolas com a fração do material retido na peneira ABNT 65 mesh (abertura 212µm), por um tempo de 3 minutos.

Para cada formulação foram testados percentuais variáveis de água na mistura, sendo estes valores 7,5%, 8,5% e 9% de água em relação à massa seca. Após a mistura e homogeneização da massa úmida esta foi granulada na peneira ABNT 8 mesh (abertura 2,36mm), a fim de proporcionar características mais próximas de uma atomização da massa.

Na Tabela 3, a seguir, são apresentadas as formulações estudadas com atenção ao método de moagem e percentual de umidade na mistura.

Tabela 3: Formulações desenvolvidas.

Formulação	Moagem	Arisco (%)	Cal (%)	Água (%)
J1	Junto	90	10	7,5
J2	Junto	90	10	8,5
J3	Junto	90	10	9,0
S1	Separado	90	10	7,5
S2	Separado	90	10	8,5
S3	Separado	90	10	9,0

Moldagem dos corpos de prova

Para cada formulação foram preparados 2 corpos de prova para realização dos ensaios de resistência à flexão, absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente.

Após a granulação do material na peneira supracitada, o material foi prensado sob pressão de 40 MPa (20 toneladas), valor este tomado como ótimo a partir da análise da curva de compactação do material estudado, conforme apresentado nas Figura 1 e Figura 2, a seguir, correspondentes as misturas com 6% e 10% de umidade, respectivamente.

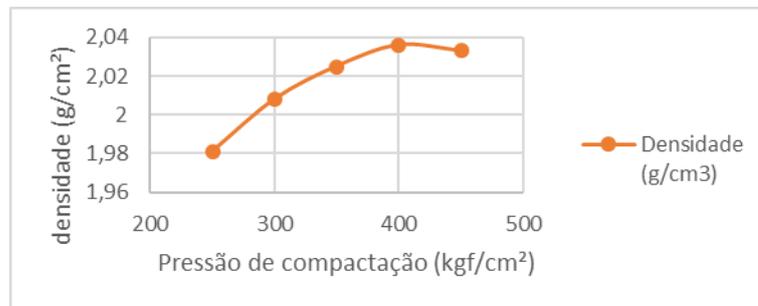


Figura 1 - Curva de compactação com 6% de umidade no material.

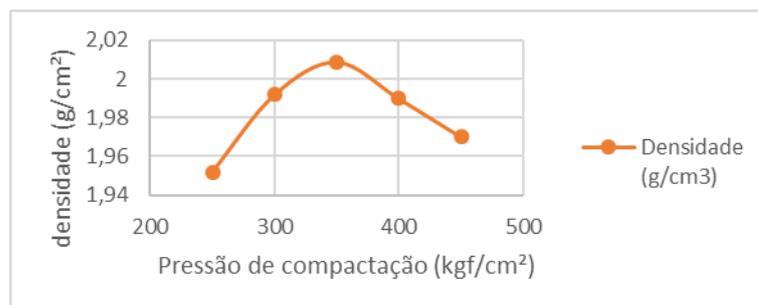


Figura 2 - Curva de compactação com 10% de umidade.

As peças foram prensadas em molde de 10 cm de comprimento por 5 cm de largura. Após a prensagem as peças foram submetidas a secagem ao ar natural por cerca de 24 horas e em seguida foram tomadas as medidas do comprimento das peças para posterior determinação da retração linear de cura.

Cura dos corpos de prova

A cura das peças deu-se através do tratamento hidrotérmico em autoclave, na qual foi estabelecida a pressão de cura no patamar mínimo de 18 atm e temperatura controlada em 200 °C. O tempo de cura hidrotérmica foi de 3 horas, a contar do instante em que foi atingida a pressão mínima de cura. A Figura 3, a seguir, ilustra a prensa utilizada na conformação das peças (Figura 3.a) e o reator hidrotérmico utilizado para cura hidrotérmica (Figura 3.b).

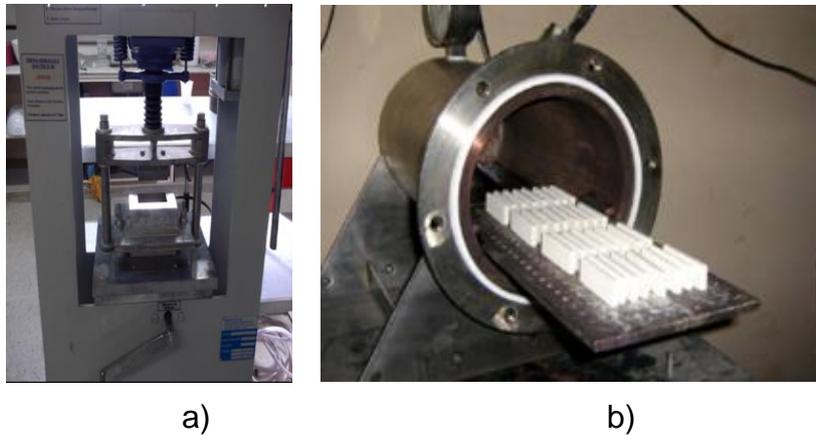


Figura 3 – a) Prensa hidráulica; b) Reator hidrotérmico (autoclave).

Fonte: ANDRADE (2009)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As propriedades escolhidas para análise das formulações de blocos sílico-calcários foram a absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência mecânica à flexão em três pontos. Para tanto, foram utilizados procedimentos e de ensaio descritos nos trabalhos de SOUSA (2011), ANDRADE (2009) e descritos na NBR 14974 (ABNT,2003).

Retração Linear de Cura

A Tabela 4, a seguir, ilustra o resultado da absorção de água (AA%) para as formulações estudadas.

Tabela 4 – Retração Linear após cura hidrotérmica.

Formulação	RL (%)
J1	0
J2	0,040
J3	0,030
S1	0
S2	-0,005
S3	0,001

A partir da análise da Tabela 4 pode-se constatar que as formulações estudadas apresentaram retrações lineares de cura bastante satisfatórias, tendo em vista a descrição dos valores encontrados. Como o material apresentou pouca variação dimensional, pode-se afirmar que o material apresentou empacotamento sob prensagem muito eficaz. Segundo ANDRADE (2009) os valores de retração linear de cura dos blocos sílico-calcários devem se situar entre 0,01% e 0,035%, de tal modo que apenas a formulação J-9,0A se enquadrou neste intervalo.

Observa-se que os valores da retração foram obtidos para os menores percentuais de água estudados, neste caso nas formulações J1 e S1, sendo que estes valores tendem a crescer com percentuais maiores de água na mistura.

A alta porcentagem de material inerte na mistura (arisco) pode ter sido determinante para a obtenção de valores muito baixos de retração linear. Deve-se considerar também que devido ao baixo teor de sílica do arisco, este pode ter inviabilizado a formação de silicato hidratado de cálcio, o qual resultou em baixo empacotamento por adensamento durante a cura.

Absorção de água

A Figura 4, a seguir, ilustra o resultado da absorção de água (AA%) para as formulações estudadas.

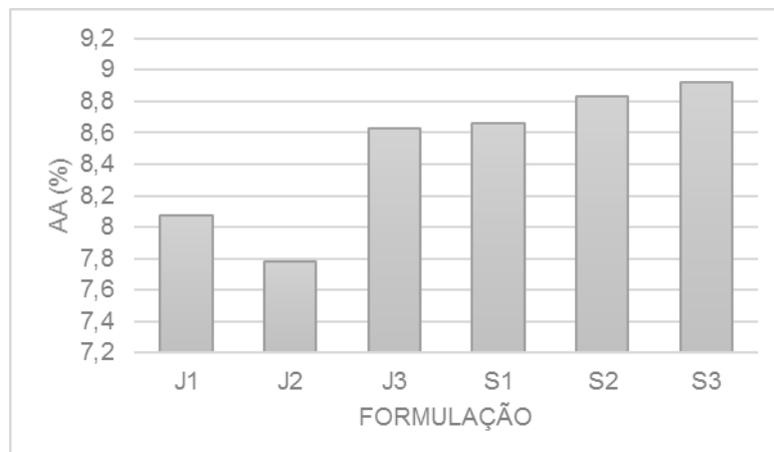


Figura 4 - Absorção de água.

Os resultados da absorção de água apresentaram valores entre 7,78% e 8,92%, respectivamente das formulações J2 e S3, estando abaixo da faixa estabelecida pela NBR 14974:1 (ABNT, 2003), em que a absorção de água deve ter valores entre 10% e 18%. Desta forma, observou-se que o grau de empacotamento da mistura resultou em materiais com teores de absorção de água abaixo dos mínimos da norma em todas as formulações estudadas, o que representaria uma dificuldade de utilização com argamassas comuns, sendo neste caso indicadas argamassas especiais com alto poder de aderência. Entretanto, teores de absorção de água baixos representam ganho de propriedade mecânica significativa em virtude da menor porosidade do material.

Porosidade Aparente

A Figura 5, a seguir, ilustra o resultado da porosidade aparente (PA%) para as formulações estudadas.

Os resultados da porosidade aparente apresentaram valores entre 16,41% e 18,34%, sendo os valores mínimos obtidos na formulação J2 e os valores máximos obtidos na formulação S3. Da análise da Figura 5 pode-se reforçar a ideia de que percentuais maiores de água na mistura tendem a aumentar os resultados da porosidade aparente, de modo que a perda de água durante a secagem dos materiais implica na maior presença de vazios na massa. Mais uma vez observa-se que a moagem do arisco juntamente com a cal produziu resultados mais significativos.

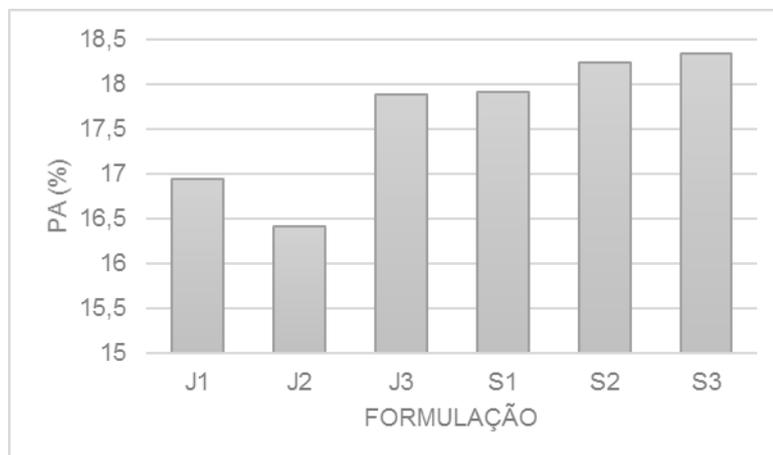


Figura 5 - Porosidade Aparente.

Massa Específica Aparente

A Figura 6, a seguir, ilustra o resultado da massa específica aparente (PA%) para as formulações estudadas.



Figura 6 - Massa Específica Aparente.

Os resultados da massa específica aparente apresentaram valores entre 2,06 g/cm³ e 2,11 g/cm³, sendo os valores mínimos obtidos nas formulações S2 e S3, e os valores máximos obtidos na formulação J2. Da análise da Figura 6 pode-se reforçar a ideia de que percentuais maiores de água na mistura tendem a aumentar o teor de vazios na massa das peças, provavelmente devido a perda de água durante a secagem das peças. Novamente é observado que a moagem do arisco juntamente com a cal produziu resultados mais significativos.

Em geral os resultados obtidos foram satisfatórios, tendo em vista que na literatura corrente, como em SANTOS (1985), apresenta-se a variação da massa específica aparente dos materiais sílico-calcários entre 1,6 g/cm³ e 2,1 g/cm³. Logo, o empacotamento dos materiais foi satisfatório. No estudo de SOUSA (2011), por exemplo, os resultados quanto à esta propriedade ficaram em torno de 1,75 g/cm³ à 1,80 g/cm³, o que corrobora a necessidade de melhorias contínuas no processamento dos materiais sílico-calcários com vistas a melhoria de suas propriedades mecânicas.

Resistência Mecânica à Flexão

A Figura 7, a seguir, ilustra o resultado da resistência mecânica à flexão em três pontos (RMF) para as formulações estudadas.

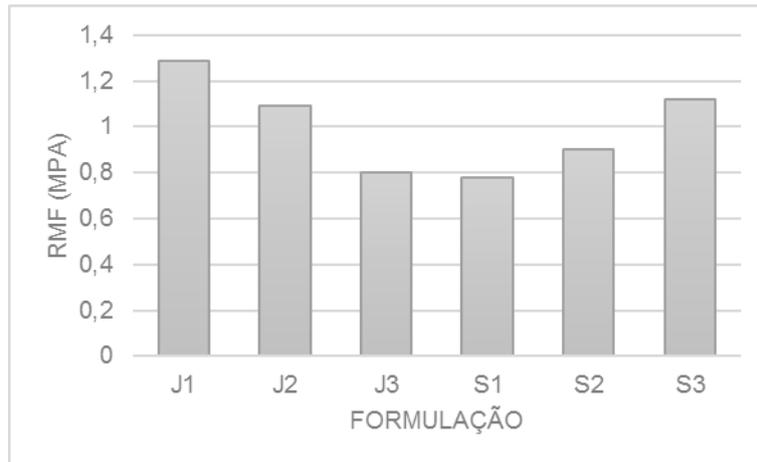


Figura 7 - Resistência Mecânica à Flexão em três pontos

As medidas de resistência mecânica à flexão apresentaram resultados entre 0,78 MPa e 1,29 MPa, sendo os valores máximos obtidos na formulação J2 e os valores mínimos obtidos na formulação S1.

Na Figura 7 observa-se um comportamento inverso de acordo com o processamento das misturas, tendo em vista que na moagem do arisco juntamente com a cal a resistência mecânica à flexão tende a diminuir com o aumento progressivo da água na mistura, enquanto que nas formulações com moagem separada esta resistência tende a aumentar.

É importante ressaltar que os resultados da resistência a flexão são bastante significativos, visto que a principal função destas peças é a resistência aos esforços de compressão simples.

Ainda que os valores de resistência mecânica à compressão obtidos indiretamente sejam relativamente baixos comparados à outros materiais, vale ressaltar que o baixo teor de sílica no arisco estudado não inviabiliza sua utilização, uma vez que já foram obtidos em estudos anteriores resultados satisfatórios em materiais semelhantes. Exemplo disso é mostrado no estudo de FANG et al (2010), no qual mesmo com baixos teores de sílica foram obtidos resultados significativos de resistência em ladrilhos cerâmicos de sílico-calcários a partir de resíduos de uma mina de cobre. Estudos semelhantes já foram conduzidos também por CHEN (2006) e ZHU (2007), ambos abordando a produção de artefatos sílico-calcários com baixo teor de sílica, nos quais foram obtidos valores de resistência a compressão superiores a 16 MPa.

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que o processamento das peças com a moagem do arisco juntamente com a cal, proporcionando um contato íntimo dos materiais reagentes, permite aumentar a formação de fases ligantes de silicato hidratado de cálcio na mistura quando curada, explicando assim os melhores resultados quanto a todas as propriedades físico-mecânicas.

Observa-se ainda que em geral, o aumento do teor de água nas formulações tende a prejudicar as propriedades físico-mecânicas das peças, devido à perda de água quando secas, que intrinsecamente proporciona o aumento do índice de vazios na massa, justificando o maior índice de absorção de água, maior porosidade aparente e menor massa específica aparente.

No que diz respeito a resistência mecânica à flexão das peças, as alterações no processamento dos materiais confirmaram que a introdução de uma etapa adicional de processamento, visando a obtenção de misturas mais reativas, proporcionam reduções dos tempos de reação sob condições hidrotérmicas.

REFERÊNCIAS

- [1].ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14947-1. Bloco sílico-calcário para alvenaria - Parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, Ago/2003.
- [2].SOUSA, A.M.D., MOURA, D.S.S., PASKOCIMAS, C.A., MORAIS, M.L.V.N. PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE BLOCOS SÍLICO-CALCÁRIOS INCORPORANDO RESÍDUO CALCÁRIO. Holos (Natal, online). , v.3, p.41-55, 2011.
- [3].ANDRADE, J.C.S.; Estudo e caracterização de matérias-primas para o desenvolvimento de blocos sílico-calcários. 107f. Natal, UFRN, 2009, Dissertação de Mestrado.
- [4].SANTOS, J.C.P.; Viabilidade Técnica da Produção de Blocos Sílico - Calcários na Região de Santa Maria, no Rio Grande do Sul. 200f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 1985.
- [5].ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217. Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, Ago/1987.
- [6].ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776. Agregados Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, Mar/1987.
- [7].SEFF, L.; LABRINCHA, J.A.; FERREIRA, V.M.; HOTZA, D.; REPETTE, W. Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars. Construction and Building Materials. V. 23, p. 2487-2491. 2009.
- [8].FANG, Y.; PANG, E.; WANG, R.; XUAN, W. Autoclaved sand-lime bricks from copper mine tailing low SiO₂ content. Journal of the Chinese Ceramic Society. 2010.
- [9].CHEN, J.; ZHAO, L.; CAO, S.; ZHANG, Z.; DENG, J.; WANG.; X. Study on making autoclaved brick using low silicone tailings. New Building Materials. 2006.
- [10].ZHU, M.; ZHU, S.; XIA, R.; Li, J. Experimental study on making autoclaved brick using mill tailings. New Building Materials, 2007.
- [11].BEAUDOIN, J.J.; FELDMAN, R.F. A study of mechanical properties of autoclaved calcium silicate systems. Cement and Concrete Research. Vol. 5, p. 103-118, March, 1975.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro do CNPq, CAPES, FINEP, SENAI-RN, FIERN e CNI.

ABSTRACT

The mechanical properties of sand-lime materials are directly relations two fundamental aspects, namely the physical and chemical characteristics of the raw materials and the manufacturing process used in the manufacture of its products. This work, experimental character, presents results concerning mechanical properties according to changes in the processing of raw materials, as well as changes in the conformation of these. Among the properties examined are water absorption, apparent porosity, bulk density, linear shrinkage and mechanical strength of healing flexion. Can mention among the changes in processing studied the correction of particle size of raw materials by grinding and mixing type adopted. The results converge to better mechanical properties through joint grinding of raw materials and lower moisture.

KEY-WORDS: residues, sand-lime, mechanical properties, processing.