

Resíduo rochoso aplicado como carga de incorporação em gesso destinado à construção civil: um estudo sobre propriedades mecânicas**Rock waste applied as incorporation load in gypsum for civil construction: a study on mechanical properties**

Recebimento dos originais: 10/12/2019

Aceitação para publicação: 20/12/2019

Laédna Souto Neiva

Doutora em Ciência em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
 Universidade Federal do Cariri – UFCA
 Avenida Tenente Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte - CE, 63048-080
 E-mail: laedna.neiva@ufca.edu.br

Pedro Henrique Pinheiro Lima

Mestrando em Engenharia de Materiais e Metalúrgica pela Universidade Federal do Ceará – UFC
 Universidade Federal do Ceará – UFC
 Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE, 60020-181
 E-mail: pinheiro.pedroh18@gmail.com

Marcela Cristine de Alencar Lira

Granduanda em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Cariri – UFCA
 Universidade Federal do Cariri – UFCA
 Avenida Tenente Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte - CE, 63048-080
 E-mail: marcela.cristine@hotmail.com

Francisco Natanael Félix Barbosa

Granduando em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Cariri – UFCA
 Universidade Federal do Cariri – UFCA
 Avenida Tenente Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte - CE, 63048-080
 E-mail: f.natanael.felix.b@gmail.com

Maria Isabel Brasileiro

Doutora em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
 Universidade Federal do Cariri – UFCA
 Avenida Tenente Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte - CE, 63048-080
 E-mail: isabel.rodriques@ufca.edu.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar a influência do rejeito das atividades de lavra da Pedra Cariri de coloração cinzenta, como carga de incorporação, sobre as propriedades mecânicas de corpos de prova a base de gesso comum destinado à construção civil. Foram confeccionados corpos de prova, segundo a norma padrão da ABNT, contendo diferentes concentrações do resíduo rochoso da Pedra Cariri, a saber: 1, 3 e 5% em massa. Ficou concluído, portanto, que é tecnicamente viável e ambientalmente amigável incorporar até 5% em massa do resíduo da Pedra Cariri cinzenta, como carga de incorporação, em corpos de prova a base do gesso beta, destinado à construção civil, e que este valor percentual é capaz de

incrementar a microdureza e a resistência à compressão dos materiais obtidos em 2 e 16%, respectivamente, comparado ao mesmo gesso puro.

Palavras-chave: Resíduo rochoso, gesso, novos materiais, construção civil, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The aim of this work is to investigate the influence of the reject of the mining activities of the Cariri Stone of gray color, as load of incorporation, on the mechanical properties of test specimens based on common gypsum intended for civil construction. Test specimens were prepared according to the prescript ABNT standard, containing different concentrations of the rock waste of Cariri Stone, namely: 1, 3 and 5% by mass. It was concluded, therefore, that it is technically feasible and environmentally friendly to incorporate up to 5% by mass of the gray Cariri Stone waste, as incorporation load, into beta-gypsum test specimens intended for civil construction, and that this percentage value is able to increase the microhardness and compressive strength of the materials obtained in 2 and 16%, respectively, compared to the same pure gypsum.

Keywords: Rock waste, gypsum, new materials, civil construction, mechanical properties.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem destaque mundial em reservas do minério gipsita, matéria prima da indústria do gesso, com um potencial de produção estimado em 1.452.198.000 toneladas. A porção das reservas brasileiras que apresenta melhor condição de aproveitamento econômico está situada na região do Araripe, na fronteira dos estados do Piauí, Ceará e Pernambuco, com destaque para as de Pernambuco, que atualmente produzem em torno de 97% do gesso consumido no país. No Polo Gesseiro do Araripe são gerados 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos, resultantes da atuação de 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação e cerca de 750 indústrias de pré-moldados, que geram um faturamento anual na ordem de R\$ 1,4 bilhões/ano [1].

A microrregião do Cariri cearense se destaca pela abundante exploração do minério conhecido comercialmente por Pedra Cariri, vastamente empregado na construção civil para revestimento de pisos e paredes; trata-se, portanto, de um material rochoso de natureza sedimentar e composição majoritariamente calcária. O rejeito das atividades de lavra deste minério é descartado sem critérios no meio ambiente gerando entulhos e representando poluição ambiental [2,3]. Tal rejeito tem potencial para ser aplicado como matéria-prima de processos produtivos de diferentes segmentos industriais que demandem insumos constituídos por carbonato de cálcio, mineral majoritário da composição mineralógica do minério em questão. Salvo discretos traços de impurezas que não chegam a 2% da composição total, a composição mineralógica da Pedra Cariri é, via de regra, constituída de forma monofásica por CaCO_3 , calcita, que possui variadas funcionalidades em aplicações industriais [3].

Segundo a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, em 2012 a produção de resíduos sólidos urbanos (essa terminologia engloba resíduos originários de

atividades domésticas, resíduos de limpeza urbana e detritos originários de setores industriais) foi de 78,6 milhões de toneladas, o que representou para aquele ano um aumento de 3% em relação ao ano anterior, esse aumento foi superior a taxa de crescimento demográfico para o mesmo período que foi de 0,9% [4]. O Ceará coloca-se entre os estados do Nordeste com os menores desempenhos em coleta de resíduos sólidos urbanos, com uma taxa de 78,3% do total gerado, superando apenas os estados do Piauí (65,4%) e Maranhão (59,5%) [5].

Nos últimos anos, a construção civil abriu mais espaço para a incorporação de novas tecnologias que combinem velocidade, economia e sustentabilidade, visando reduzir o custo das obras e manter o padrão de qualidade. Esta situação contribuiu para o surgimento de novos materiais ou a adaptação de materiais antigos para a nova visão de mercado. Nesse contexto, o uso de blocos de gesso na divisória vertical, por não ser tão difundido no mercado brasileiro, tem sido cada vez mais estudado para encontrar vantagens que justifiquem seu uso, substituindo tecnologias consideradas tradicionais, como a alvenaria em concreto e blocos cerâmicos [6].

Existe na atualidade uma preocupação da comunidade científica no que tange o desenvolvimento de novos materiais para o setor da construção civil na tentativa de imprimir neste um caráter de sustentabilidade que leve a sério a questão da saúde pública ao mesmo tempo em que abra caminho para o fortalecimento de políticas que visem uma gestão ambientalmente amigável para os resíduos sólidos gerados por atividades tais como demolições, beneficiamento de minérios dentre outras [7-9].

Alinhado a esta tendência atualíssima e pujante da minimização do descarte de resíduos sólidos no meio ambiente e da modernização da indústria da construção civil este trabalho surge como uma alternativa tecnológica à comunidade acadêmica no que se refere ao desenvolvimento de novos materiais voltados para os revestimentos a base de gesso destinados às edificações. Desta forma, o objetivo deste trabalho é investigar a influência do rejeito das atividades de lavra da Pedra Cariri, como carga de incorporação, sobre as propriedades mecânicas de corpos de prova de gesso comum destinado à construção civil.

2 EXPERIMENTAL

Materiais

Para a execução deste trabalho foram utilizadas uma amostra de gesso e uma amostra de resíduos sólidos proveniente do rejeito da atividade de lavra da Pedra Cariri.

A amostra de gesso objeto de estudo deste trabalho é conhecida industrialmente como gesso do tipo β (beta). Os gessos do tipo β podem ser produzidos a partir do beneficiamento das seguintes espécies do minério gipsita: cocadinha, rapadura ou estrelinha; dentre os diferentes tipos de gessos disponíveis no mercado o tipo β é apontado como adequado para aplicação em revestimentos de construções civis por sua considerável pureza [10]. A amostra do gesso tipo β utilizada neste trabalho foi fornecida por

uma das indústrias pertencentes ao Polo Gesseiro do Araripe, localizada no município de Araripina, em Pernambuco, a qual a rotulou como sendo uma amostra de gesso proveniente da gipsita da espécie rapadura, calcinada na faixa de temperatura entre 150-160°C, sob pressão atmosférica e destinada para aplicação na construção civil. A fim de tornar mais objetiva a descrição deste trabalho a amostra de gesso tipo β analisada neste estudo será denominada doravante apenas por gesso.

A amostra do rejeito das atividades de lavra do minério conhecido como Pedra Cariri utilizada neste trabalho foi coletada diretamente de um dos pontos de mineração e exploração do referido minério no município de Nova Olinda, na microrregião do Cariri cearense. Estudos comprovam que existem dois tipos de Pedra Cariri, comercialmente classificadas por suas colorações em amarela e cinza. As composições mineralógicas e químicas destes dois tipos distintos são responsáveis por suas respectivas colorações [3, 11]. Amostras de resíduos de ambos os tipos de Pedra Cariri foram testados neste trabalho, porém apenas os resultados relacionados aos resíduos de Pedra Cariri de coloração cinza serão apresentados por terem sido os mais expressivos no que se refere as propriedades mecânicas dos materiais finais obtidos. A fim de tornar mais objetiva a descrição deste trabalho a amostra dos resíduos de Pedra Cariri de coloração cinza empregada neste estudo, como carga de incorporação nos corpos de prova a base de gesso, será denominada doravante pela sigla RPC (Resíduo de Pedra Cariri).

Caracterizações Químicas, Estruturais e Físicas

A amostra de gesso foi preparada para as caracterizações mencionadas a seguir por meio de maceração em pistilo de Ágata seguido por peneiramento em malha ABNT 200 *mesh*, abertura 44 μm .

A amostra RPC, por sua vez, foi preparada para mesmas caracterizações inicialmente via britagem semi manual, seguida por moagem seca em moinho de martelo e, por fim, o produto da moagem foi submetido a peneiramento em malha ABNT 200 *mesh*, abertura 44 μm .

As amostras de gesso e RPC foram submetidas às mesmas técnicas de caracterizações; quais sejam: fluorescência de raios x para identificação qualitativa e semi quantitativa das suas composições químicas em um espectrômetro de fluorescência de raios X por energia dispersiva, da marca Shimadzu, modelo EDX 7000/8000 e difração de raios x para identificação e quantificação das fases presentes em suas microestruturas em um difratômetro, da marca Shimadzu, modelo XRD 7000, o qual é equipado com os seguintes parâmetros: alvo de cobre; voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA.

Além das técnicas de caracterizações já mencionadas a amostra RPC, na forma de pó, foi ainda submetida à caracterização para determinação dos valores dos seus diâmetros médios dos aglomerados de partículas unitárias em um analisador de distribuição de aglomerados com dispersão a laser CILAS 1064, fabricado pela CILAS, com os seguintes parâmetros: líquido utilizado – água; agente dispersante – HMFNa.

Confeção dos Corpos de Prova

Os corpos de prova a base de gesso foram confeccionados neste trabalho seguindo o protocolo da norma NBR 12129:2017 [12] que estabelece as técnicas para a preparação de corpos de prova de gesso e para a determinação de suas propriedades mecânicas bem como as especificações mecânicas mínimas exigidas para este tipo de material quando destinado à construção civil. Desta forma, foram confeccionados corpos de prova de gesso puro e corpos de prova de gesso contendo o material da amostra RPC, como carga de incorporação, nos seguintes valores percentuais: 1, 3 e 5%. Os corpos de prova confeccionados neste trabalho foram moldados em moldes de acrílico especialmente desenvolvidos para este experimento e o tempo necessário para a conclusão do endurecimento de todos os corpos de prova produzidos foi aferido por meio de um cronômetro digital.

Em Fig. 1 estão ilustrados os corpos de prova confeccionados neste trabalho, todos com formato cúbico e medindo 5 centímetros de aresta.

Figura 1: Corpos de prova confeccionados neste trabalho de acordo com a norma NBR 12129:2017 que estabelece as técnicas de preparação dos corpos de prova e de determinação das suas propriedades mecânicas para a construção civil.



Fonte: Autoria própria.

Caracterização Mecânica

Para a determinação das propriedades mecânicas dos corpos de prova a base de gesso confeccionados neste trabalho foram empregados os seguintes ensaios mecânicos: dureza do tipo Vickers em um durômetro de operação manual, modelo Sinowon HV-10, e compressão em uma máquina universal de ensaios mecânicos, modelo EMIC 23-100.

Os ensaios mecânicos empregados neste trabalho foram executados conforme as recomendações da norma NBR 12129:2017 [12].

Para a execução do ensaio de dureza a punção penetradora do durômetro foi aplicado na face oposta à rugosa de cada corpo de prova e em mais duas faces laterais não rugosas do mesmo, a dureza de cada corpo de prova foi a média das três penetrações. Foram ensaiados três corpos de prova para cada composição analisada. O resultado da dureza para cada composição foi, então, o valor médio das durezas apresentadas pelos três corpos de prova.

No ensaio de compressão a solicitação foi aplicada em cada corpo de prova sobre duas faces opostas, não rugosas, até a ruptura do mesmo. Foram ensaiados por compressão três corpos de prova para cada composição analisada; sendo assim, o valor da resistência à compressão considerada para cada composição analisada foi o valor médio das resistências apresentadas pelos três corpos de prova ensaiados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado das análises das composições químicas qualitativas e semiquantitativas para as amostras de gesso e RPC estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente, a seguir.

Tabela 1 - Composição química da amostra do gesso.

Analito	Concentração (%)
CaO	53,579
SO ₃	45,231
Al ₂ O ₃	0,451
SiO ₂	0,421
SrO	0,223
Fe ₂ O ₃	0,076
TiO ₂	0,010
Ce ₂ O ₃	0,005
Yb ₂ O ₃	0,003
ZrO ₂	0,001

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 - Composição química da amostra RPC.

Analito	Concentração (%)
CaO	91,33
MgO	2,42
SiO ₂	2,08
SO ₃	1,46
Fe ₂ O ₃	1,32
Al ₂ O ₃	0,60
MnO	0,45
SrO	0,22
ZnO	0,11
ZrO ₂	0,01

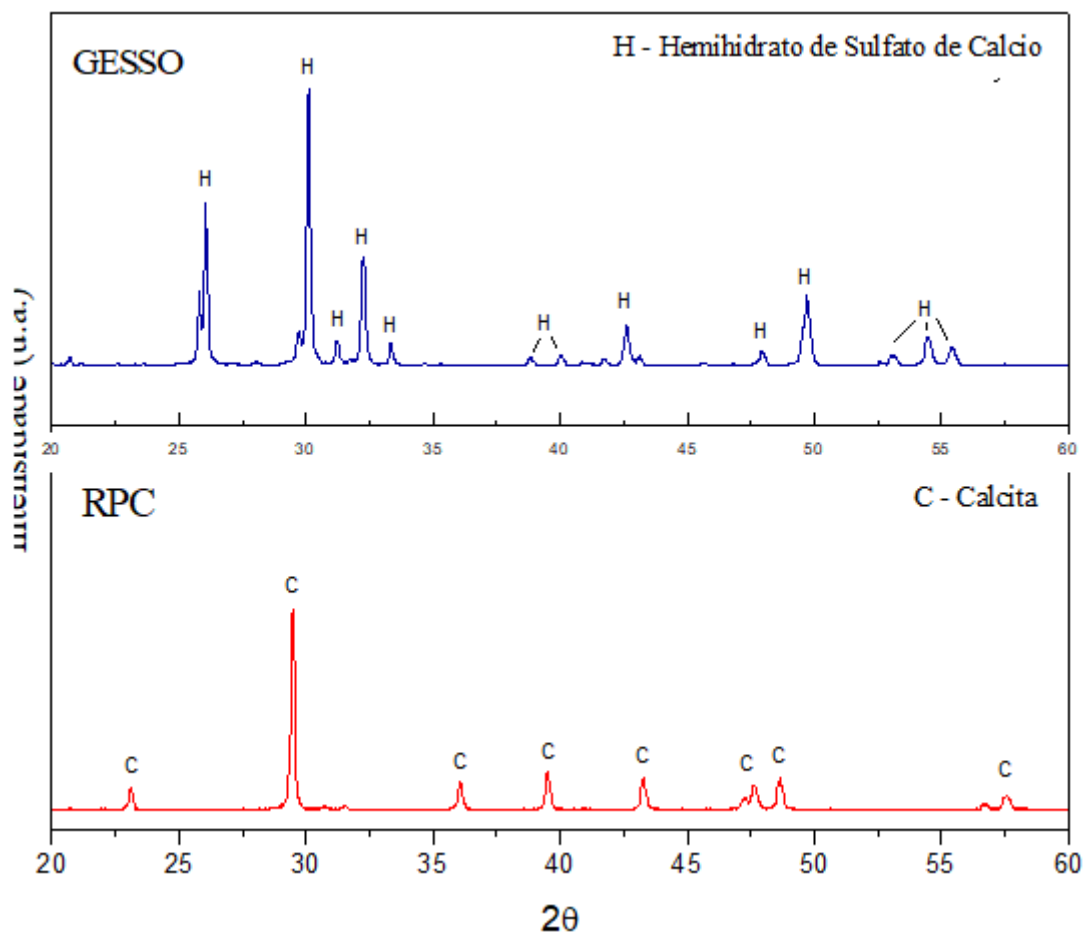
Fonte: Autoria própria.

A amostra do gesso apresentou sua composição química majoritariamente constituída pelos óxidos CaO e SO₃; contudo, também foram encontrados os óxidos SrO, Al₂O₃, Ce₂O₃, Yb₂O₃, ZrO₂, que são considerados impurezas uma vez que o minério gipsita é basicamente constituído pelo sulfato de cálcio di-hidratado – CaSO₄.2H₂O. A soma das concentrações das impurezas para esta amostra de gesso atingiu o valor percentual de 1,19%. Este resultado está em conformidade com as informações apresentadas na literatura que classificam o minério gipsita explorado na região do Araripe como de pureza expressiva apresentando, em geral, percentual de impureza inferior a 1,5% [13, 1].

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2 a amostra de RPC se apresentou composta majoritariamente por CaO, acompanhado pela presença de óxidos secundários acessórios que podem variar em função da localização da jazida. A composição química apresentada por esta amostra está totalmente em conformidade com os relatos descritos na literatura acerca do minério rochoso de natureza calcária conhecido por Pedra Cariri [3, 11 e 14].

Os perfis gráficos representativos dos dados coletados durante o ensaio de difração de raios x estão ilustrados em Fig. 2, tanto para a amostra do gesso quanto para a amostra RPC analisadas neste trabalho.

Figura 2: Perfis gráficos representativos dos dados de difração de raios x para as amostras de gesso e de RPC.



Fonte: Autoria própria.

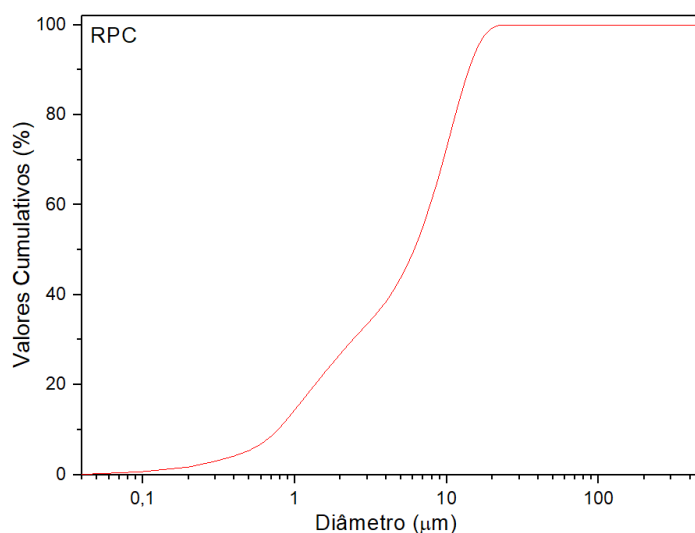
Segundo a ficha JCPDS 101-0918 o perfil gráfico representativo do difratograma da amostra do gesso revela que a referida amostra possui composição mineralógica monofásica formada pelo hemihidrato de sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), com estrutura cristalina de simetria hexagonal, identificado nos picos do difratograma por H. As maiores concentrações da fase identificada, representadas pelos picos de alta intensidade, foram detectadas em $2\theta = 25,95^\circ$, $30,05^\circ$ e $31,93^\circ$, associadas, respectivamente, aos planos cristalográficos $(\bar{2} \ 1 \ 0)$, $(\bar{2} \ 0 \ 0)$ e $(\bar{1} \ 0 \ 4)$. Contudo, foram também detectados picos com menores intensidades, todos atribuídos à mesma fase do hemidrato; isto é, houve a detecção da mesma fase do hemidrato em concentrações menos expressivas, em $2\theta = 31,89^\circ$, $33,27^\circ$, $42,60^\circ$, $49,69^\circ$ e $54,50^\circ$, correspondentes aos seguintes planos cristalográficos $(\bar{2} \ 0 \ 1)$, $(\bar{2} \ 0 \ 2)$, $(\bar{2} \ 0 \ 4)$, $(\bar{3} \ 0 \ 2)$ e $(\bar{3} \ 1 \ 5)$, respectivamente. A presença predominante da fase deste hemihidrato na composição da amostra do gesso confirma a elevada pureza da mesma, evidenciando a viabilidade da aplicação deste tipo de gesso como insumo da construção civil. A elevada pureza desta amostra é,

inclusive, ratificada pela ausência da detecção da fase Anidrita, visto que essa fase é o principal e mais comum contaminante do produto da calcinação controlada da gipsita para obtenção do hemihidrato de sulfato de cálcio, também conhecido como gesso [15].

Por meio do difratograma relacionado à amostra RPC foi possível constatar que esta amostra de resíduo rochoso se apresenta também com uma microestrutura monofásica, uma vez que a única fase identificada no ensaio de difração foi a calcita - CaCO_3 (JCPDS 05-0586). Segundo a literatura, a calcita é comumente encontrada como a fase predominante ou majoritária das microestruturas constituintes das rochas calcárias, de natureza sedimentar, como é o caso da Pedra Cariri; podendo estar associada à presença de traços de fases segregadas ou não a depender da detecção de contaminantes [16, 17].

Está apresentado em Fig. 3 o perfil representativo da distribuição granulométrica da amostra RPC. Os valores medianos e os diâmetros cumulativos estão apresentados na Tabela 1.

Figura 3: Perfil gráfico representativo da distribuição granulométrica da amostra RPC.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 - Distribuição Granulométrica da amostra RPC.

Diâmetros Relevantes	Amostra RPC
Diâmetro a 10%	0,77 μ m
Diâmetro a 50%	6,09 μ m
Diâmetro a 90%	13,99 μ m
Média	6,70 μ m

Fonte: Autoria própria.

A partir da observação do perfil gráfico exibido em Fig. 3 e dos dados apresentados na Tabela 3 é possível perceber que o resíduo rochoso carbonático da amostra RPC apresenta uma distribuição de tamanho de aglomerados de partículas unitárias com diâmetro mediano de 6,09 μ m. Para Sampaio e Almeida (2008) [14] o controle da granulometria de cargas de reforço de natureza calcárias deve ser rigoroso sobretudo quando se trata de aplicações nobres como fabricação de tintas, papéis e compósitos de matriz polimérica. Ainda segundo este estudo as aplicações industriais consideradas nobres para resíduos de calcários exigem que a granulometria deste tipo de carga variem na estreita faixa de dimensão entre 0,5 e 10 μ m.

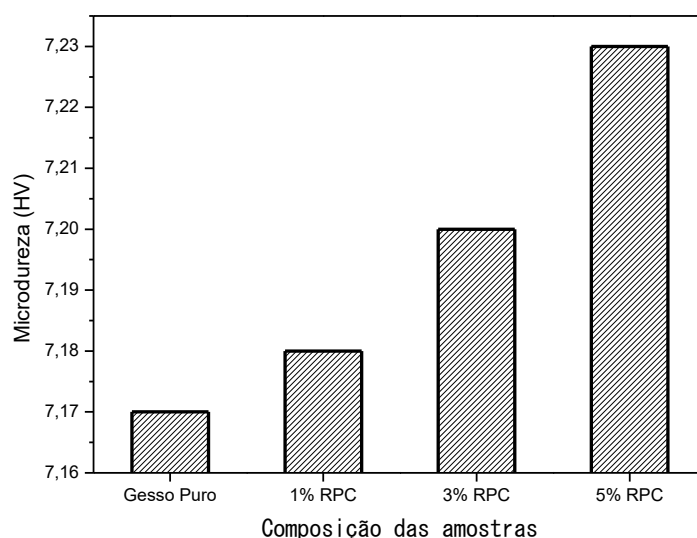
Estudos relacionados ao desenvolvimento de materiais compósitos reforçados com fases em formatos particulados concluíram que o valor médio da dimensão das partículas da fase de reforço, bem como a densidade e a concentração incorporada das mesmas afetaram significativamente as propriedades térmicas, físicas e mecânicas dos compósitos produzidos [18, 19]. De forma a corroborar com esta mesma linha de entendimento um grupo de pesquisadores, especialistas neste assunto, afirmam que o tamanho da partícula ou do aglomerado de partículas unitárias da fase de reforço é um parâmetro de grande relevância no que se refere à determinação da influência da referida fase em materiais compósitos a base de cimento uma vez que em seus estudos ficou constatado que quanto maior o valor da dimensão das partículas da fase de reforço incorporada menor é a sua área superficial específica e, assim, maior será o efeito do cisalhamento ocasionado pela presença destas partículas no retículo cristalino da fase matriz; logo, ficou concluído neste estudo que o incremento nas propriedades mecânicas que a fase de reforço pode agregar ao material poderá se apresentar com efeito inverso se as dimensões da fase de reforço excederem um determinado tamanho ideal [20].

Os resultados coletados no ensaio mecânico de microdureza estão apresentados, em forma de gráfico, em Fig. 4. De acordo com estes resultados foi possível observar que a incorporação do resíduo RPC exerceu uma influência positiva nos corpos de prova a base de gesso quando comparados ao corpo

de prova de gesso puro; uma vez que o intento da incorporação deste resíduo foi de aumentar as propriedades mecânicas do material a base de gesso, tornando-o mais resistente. Os valores apresentados para as microdurezas dos corpos de prova a base de gesso aumentaram progressivamente a medida em que o valor percentual da carga de RPC incorporada foi aumentando; sendo assim, dentre todas as composições ensaiadas a que apresentou o melhor valor de microdureza foi a que continha a concentração de 5% de RPC, apresentando uma elevação de 2% no valor da microdureza, em comparação ao corpo de prova de gesso puro. Uma possível explicação para este aumento ascendente na microdureza dos corpos de prova a base de gesso pode estar no fato de que a presença do resíduo, como carga de incorporação, provavelmente introduziu tensões de cisalhamento no retículo cristalino da fase matriz de gesso gerando com isso perturbações cristalinas ou discordâncias na estrutura do material final obtido, implicando como consequência em um aumento das propriedades mecânicas.

Durante o processo de confecção dos corpos de prova foi observado que a concentração incorporada de RPC exerceu uma influência inversamente proporcional sobre o tempo de endurecimento dos corpos de prova a base de gesso; isto é, o tempo necessário para o endurecimento dos corpos de prova produzidos foi diminuindo a medida em que a concentração de RPC aumentou. O fato do tempo necessário para a conclusão do processo de endurecimento dos corpos de prova ter sido progressivamente reduzido com o aumento da concentração da carga de incorporação, RPC, pode explicar o aumento da microdureza dos materiais obtidos; pois a redução no tempo de endurecimento fatalmente pode ter comprometido o processo de cristalização do retículo da fase do gesso. Desta forma, é possível deduzir que esta redução no tempo de endurecimento dos corpos de prova tenha levado à produção de materiais inorgânicos que apresentam, provavelmente, retículos cristalinos com distorções expressivas, carregados de tensões residuais internas quando comparados às estruturas cristalinas dos corpos de prova confeccionados com o gesso puro.

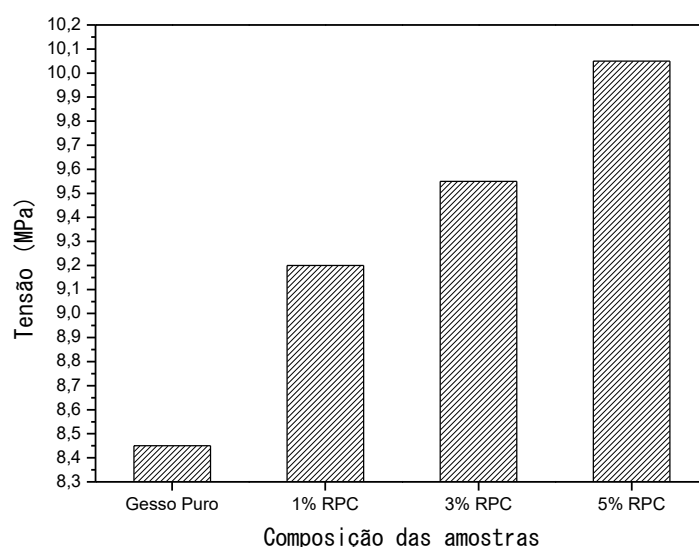
Figura 4: Perfis gráficos representativos da microdureza (HV) apresentada pelos corpos de prova a base de gesso, contendo resíduo RPC como carga de incorporação, produzidos e caracterizados neste trabalho.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados coletados no ensaio mecânico para aferição da resistência à compressão dos corpos de prova produzidos neste trabalho estão apresentados, em forma de gráfico, em Fig. 5. Assim como nos resultados do ensaio para determinação da microdureza os resultados coletados durante o ensaio para a determinação da resistência à compressão também mostraram que a influência exercida pelo resíduo RPC, com diâmetro mediano de aglomerados igual a 6,09 μm , foi benéfica no que se refere ao incremento das propriedades mecânicas dos corpos de prova a base de gesso produzidos neste trabalho. De acordo com os perfis gráficos, ilustrados em Fig. 5, os valores da resistência mecânica à compressão foram aumentando progressivamente a medida em que as concentrações incorporadas da carga do resíduo RPC foi aumentando. Foi possível constatar, portanto, que a composição que continha a incorporação da concentração de 5% de RPC foi capaz de elevar o valor da resistência à compressão do corpo de prova em 16% comparado ao corpo de prova confeccionado com o gesso puro. Em conformidade com as discussões apresentadas para o resultado da distribuição granulométrica da amostra RPC, ilustrado graficamente em Fig. 3, fica subentendido que muito provavelmente o comportamento mecânico de resistência à compressão dos corpos de prova que receberam o resíduo RPC, como carga de incorporação, seria diferente caso o valor mediano dos diâmetros dos aglomerados de partículas unitárias fosse distinto do valor utilizado neste trabalho.

Figura 5: Perfis gráficos representativos da resistência à compressão apresentada pelos corpos de prova a base de gesso, contendo resíduo RPC como carga de incorporação, produzidos e caracterizados neste trabalho.



Fonte: Autoria própria.

Os valores coletados neste trabalho para a resistência à compressão, tanto para os corpos de prova de gesso puro quanto para os corpos de gesso contendo diferentes concentrações de RPC, como carga de incorporação, estão dentro das especificações estabelecidas pela norma NBR 12129:2017 [12] para o gesso destinado à construção civil; inclusive, ressalte-se que os resultados coletados neste trabalho, para todas as composições analisadas, estão acima dos valores médios estipulados como mínimos exigidos pelo referido órgão normativo para a aplicação mencionada. Sendo assim, pode-se afirmar que os resultados deste trabalho mostraram que é viável a produção de um material que tem como base o gesso comum destinado à construção civil, porém, reforçado com o resíduo rochoso RPC, na forma de pó com a granulometria mediana de aglomerados igual a 6,09 μm , e que o referido material está adequado para aplicação em obras de edificações, inclusive, apresentando propriedades mecânicas mais expressivas em relação ao gesso puro destinado à mesma aplicação.

É importante registrar que a incorporação do resíduo RPC com concentração de até 5% em massa, aparentemente, não exerceu influência perceptível sobre a coloração dos corpos de prova a base de gesso produzidos neste trabalho; esta observação se faz relevante uma vez que o gesso beta, destinado à construção civil, tem por vezes aplicações estéticas para revestimentos de tetos ou paredes.

Há registros na literatura de estudos que comprovam ser possível reforçar as propriedades mecânicas do gesso, destinado à construção civil, por meio da utilização de cargas de reforço de diferentes tipos, alguns exemplos são: fibras de vidro, resíduos de demolições, pó residual de madeira,

fibras de sisal e até rejeitos de atividades da agroindústria como tronco de dendê e casca de arroz [21-24].

4 CONCLUSÕES

O processo de fabricação de materiais a base de gesso destinado à construção civil, contendo resíduos de Pedra Cariri cinzenta como carga de incorporação mostrou-se tecnicamente possível, ambientalmente recomendável e economicamente atrativo; contudo, frise-se que a principal vantagem do processo de fabricação em questão está na influência positiva que este tipo de carga de incorporação exerceu sobre as propriedades mecânicas dos materiais obtidos a base de gesso.

De acordo com os resultados deste trabalho ficou constatado que é viável o emprego de até 5% do resíduo da Pedra Cariri cinzenta, com dimensão mediana de aglomerados de 6,09 μm , como carga de incorporação, em relação à massa total da peça a base de gesso destinado à construção civil; uma vez que este valor percentual da carga de incorporação foi capaz de incrementar os valores das propriedades mecânicas de microdureza e de resistência à compressão dos corpos de prova em, aproximadamente, 2 e 16%, respectivamente, sem comprometer a coloração, ou seja o caráter estético, dos corpos de prova obtidos, comparado ao gesso puro.

A utilização de uma nova tecnologia que estabeleça uma aplicação industrial concretamente real para um tipo de resíduo sólido urbano, descartado sem critérios no meio ambiente, deve ser vista como uma inovação de caráter sustentável para a indústria da construção civil não apenas pela contribuição que poderá ser oferecida à preservação do meio ambiente mas, também, pela otimização agregada nas propriedades mecânicas do produto final obtido por tal tecnologia; além, é claro, da economia que isto pode gerar para o consumo da matéria prima do gesso.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Cariri pelo suporte financeiro e infraestrutural dispensados em favor do desenvolvimento deste trabalho bem como à indústria do Polo Gesseiro do Araripe que disponibilizou as amostras do gesso tipo beta.

REFERÊNCIAS

[1] SINDUSGESSO (Sindicato das Indústrias do Gesso do Estado de Pernambuco) (2014). Disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp. Acesso em: abril de 2019.

- [2] I. da S. Queiroz, M. S. da Cunha, Rev. de Geog. (UFPE) 31 (2014) 149.
- [3] P.H.P. Lima, G.R.A. da Silva, F.N.F. Barbosa, M. I. Brasileiro, L.S. Neiva. “Investigação das potencialidades de aplicações dos resíduos da Pedra Cariri provenientes da Chapada do Araripe”. Capítulo 42. In: *Gestão Integrada de Resíduos: Universidade & Comunidade*, EPIGRAF, Campina Grande 1 (2018) 185.
- [4] ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014*. São Paulo: Abrelpe (2014).
- [5] ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015*. São Paulo: Abrelpe (2015).
- [6] C. V. de Santana, Y. V. Póvoas, D. G. C. Da Silva, F. de A. M. Neto, Amb. Const. 19 (2019) 45.
- [7] B. B. Matuti, G. P. Santana, Scientia Amaz. 8 (2019) 1.
- [8] J. C. de Oliveira, A. C. de Faria, Rev. Bras. de Gest. Urb. 11 (2019) 1.
- [9] J. Krejsová, R. Schneiderová Heralová, M. Doleželová, A. Vimmrová, J. Mat.: Des. and App. 233 (2019) 258.
- [10] C. A. M. Baltar, F. F. Bastos, A. B. Luz, Bol. Geo. y Min., 117 (2006) 695.
- [11] L. S. Neiva, G. R. A. da Silva, P. H. P. Lima, F. N. F. Barbosa, M. I. Brasileiro. “Investigação das Potencialidades de Aplicação Industrial Para o Resíduo da Pedra Cariri: Uma Reflexão Sobre Esta Problemática Ambiental e Social”. Capítulo 11, n. 2. In: *Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação*, EPIGRAF, Campina Grande 1 (2018) 102.
- [12] ABNT NBR 12129 de 01/2017: “Gesso para Construção Civil - Determinação das propriedades mecânicas”. MB-3470, Rio de Janeiro (2017).

- [13] V. A. Granja, C. P. Cavalcante, E. Piedade, H.C. Filho, M. S. Siqueira, W. do Nascimento, *Rev. Mult. e de Psic.* 11 (2017) 239.
- [14] J. A. Sampaio, S. L. M. de Almeida. “Calcário e Dolomito”. Capítulo 16. *In: Rochas e Minerais Industriais*. 2. ed.: Cetem, R. de Janeiro (2008) 363.
- [15] A. A. Barbosa, A.V. Ferraz, G. A. Santos, G. A. Cerâmica 60 (2014) 501.
- [16] W. A. Moura; M. B. Leite, A. J. O. Bastos, *Amb. Const.* 13 (2013) 7.
- [17] S. A. Terra. *Geol. Usp: Sér. Cient.* 16 (2016) 61.
- [18] C. Homkhiew, S. Rawangwong, W. Boonchouytan, W. Thongruang, T. Ratanawilai, *Int. J. Pol. Sci.*, 1 (2018) 1.
- [19] M.A. Pedreño-Rojas, M.J. Morales-Conde, F. Pérez-Gálvez, P. Rubio-de-Hita, *J. Clean Prod.* 218 (2019) 21.
- [20] Z. Lu, B. Chen, C.K.Y. Leung, Z. Li, G. Sun, *Cem. and Conc. Comp.* 100 (2019) 85.
- [21] K. Alagusankareswari, G. Jenitha, S.S.A. Pandi, *Ind. J. Sci. Res.* 17 (2018) 217.
- [22] M. del Rio Merino, P.V. Sáez, I. Longobardi, J. S. C. Astorqui, C. Porras-Amores, *J. Clean Prod.* 220 (2019) 144.
- [23] C. del P. C. Pinto, A. S. Cunha, R. F. Carvalho. “Evaluation of the thermal performance of gypsum composites reinforced with sisal fibers”. *In: 4th Braz. Conf. on Comp. Mat.* R. de Janeiro (2018). <https://doi.org/10.21452/bccm4.2018.10.03>
- [24] M. E. Selamat, R. Hashim, O. Sulaiman, M. H. M. Kassim, N. I. Saharudin, O. F. A. Taiwo, *Const. and Build. Mat.* 197 (2019) 526.