

**Desenvolvimento de materiais cerâmicos inovadores a base de gesso e resíduos para uso na construção civil**

**Development of innovative ceramic materials based on gypsum and waste for use in civil construction**

**Desarrollo de materiales cerámicos innovadores basados en yeso y residuos para su uso en la construcción civil**

DOI: 10.54033/cadpedv21n3-128

Originals received: 02/19/2024  
Acceptance for publication: 03/08/2024

---

**Victor Valério Landim da Silva**

Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais  
Instituição: Universidade Federal da Paraíba  
Endereço: UFPB Campus I, Lot. Cidade Universitária, João Pessoa - PB,  
CEP: 58051-900  
E-mail: victorvlandim@gmail.com

**Ricardo Peixoto Suassuna Dutra**

Pós-Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais  
Instituição: Universidade Federal da Paraíba  
Endereço: UFPB Campus I, Lot. Cidade Universitária, João Pessoa - PB,  
CEP: 58051-900  
E-mail: ricardo.dutra@academico.ufpb.br

**Marlova Piva Kulakowski**

Doutora em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais  
Instituição: Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
Endereço: Av. Unisinos, 950, Cristo Rei, São Leopoldo - RS, CEP: 93022-750  
E-mail: marlovak@unisinos.br

**Francisca Simone Pereira Fernandes**

Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais  
Instituição: Universidade Federal da Paraíba  
Endereço: UFPB Campus I, Lot. Cidade Universitária, João Pessoa - PB,  
CEP: 58051-900  
E-mail: prof.izaurafalcao@gmail.com

### Iago Cavalcanti Pontes

Graduado em Engenharia de Materiais

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: UFPB Campus I, Lot. Cidade Universitária, João Pessoa - PB,

CEP: 58051-900

E-mail: iagocpontes@gmail.com

### Maikon Moreira de Pires

Mestre em Engenharia Civil

Instituição: Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Endereço: Av. Unisinos, 950, Cristo Rei, São Leopoldo - RS, CEP: 93022-750

E-mail: maikon-mp@hotmail.com

---

## RESUMO

A construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e a escassez de recursos propicia um ambiente de inovação com o intuito de desenvolver métodos e produtos que minimizem os custos e alavanquem o sistema produtivo. O reaproveitamento de resíduos acarreta a redução de custos em várias etapas do processo construtivo devido à otimização do uso da matéria prima e à diminuição dos desperdícios e das perdas. Diante de tantos impactos negativos causados pelo acúmulo dos resíduos ao meio ambiente, buscou-se soluções ambientalmente responsáveis, adequando-se ao princípio dos 5 R's – Repensar, Recusar, Reduzir, Reutilizar e Reciclar. Como alternativa de amenizar tais problemas, promoveu-se a substituição parcial da gipsita (recurso não renovável) nas proporções de 5%, 10% e 15% por resíduos de pedras ornamentais, utilizando-os, portanto, no processo de fabricação dos blocos de gesso sustentáveis e analisando as suas propriedades e características. Após a execução de todos os ensaios físicos e mecânicos conclui-se que houve acréscimos e melhorias significativas nas propriedades mecânicas dos blocos analisados, no que tange a: resistência à flexão, dureza, densidade e a capacidade de absorção de água. Portanto, após o presente estudo, constata-se que a utilização dos resíduos de pedras ornamentais tem grande potencial para ser utilizado na fabricação de blocos de gesso e evidencia sobremaneira a sua inovação sustentável.

**Palavras-chave:** Blocos. Gesso. Resíduo. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Civil construction is one of the oldest known activities and the scarcity of resources provides an environment of innovation in order to develop methods and products that minimize costs and leverage the production system. The reuse of waste leads to cost reductions in several stages of the construction process due to the optimization of the use of raw materials and the reduction of waste and losses. Faced with so many negative impacts caused by the accumulation of waste in the environment, environmentally responsible solutions were sought, adapting to the principle of the 5 R's - Rethink, Refuse, Reduce, Reuse and Recycle. As an alternative to alleviate these problems, the partial replacement of

gypsum (a non-renewable resource) in the proportions of 5%, 10% and 15% by ornamental stone residues was promoted, using them, therefore, in the manufacturing process of blocks of sustainable plaster and analyzing its properties and characteristics. After performing all the physical and mechanical tests, it was concluded that there were significant increases and improvements in the mechanical properties of the analyzed blocks, in terms of: flexural strength, hardness, density and water absorption capacity. Therefore, after the present study, it appears that the use of waste ornamental stones has great potential to be used in the manufacture of gypsum blocks and evidences its sustainable innovation.

**Keywords:** Blocks. Plaster. Residue. Sustainability.

## RESUMEN

La construcción civil es una de las actividades más antiguas conocidas y la escasez de recursos proporciona un entorno de innovación con el fin de desarrollar métodos y productos que minimicen los costos y aprovechen el sistema de producción. La reutilización de los residuos conduce a la reducción de costes en varias etapas del proceso de construcción debido a la optimización del uso de materias primas y la reducción de residuos y pérdidas. Ante tantos impactos negativos causados por la acumulación de residuos en el medio ambiente, se buscaron soluciones ambientalmente responsables, adaptándose al principio de las 5 R's - Repensar, Rechazar, Reducir, Reutilizar y Reciclar. Como alternativa para paliar estos problemas, se promovió la sustitución parcial del yeso (recurso no renovable) en proporciones de 5%, 10% y 15% por residuos de piedra ornamental, utilizándolos, por tanto, en el proceso de fabricación de bloques de yeso sostenible y analizando sus propiedades y características. Después de realizar todas las pruebas físicas y mecánicas, se concluyó que hubo aumentos y mejoras significativas en las propiedades mecánicas de los bloques analizados, en términos de: resistencia a la flexión, dureza, densidad y capacidad de absorción de agua. Por lo tanto, tras el presente estudio, parece que el uso de piedras ornamentales de desecho tiene un gran potencial para ser utilizado en la fabricación de bloques de yeso y evidencia su innovación sostenible.

**Palabras clave:** Bloques. Yeso. Residuos. Sostenibilidad.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento do setor da construção civil causa grave danos ao meio ambiente e pode colocar em risco a sua sustentabilidade. Tal problema se deve ao fato de que além de consumir matéria prima oriunda de fontes não renováveis (rocha, areia, argila) o setor da indústria da construção

civil apresenta muito desperdício de materiais, gerando milhões de toneladas de resíduos. Como a maioria dos países não tem um plano específico para o tratamento destes materiais, os rejeitos são enviados para lixões ou aterros em vez de serem reutilizados em novos produtos. Desta forma, é cada vez mais urgente considerar os impactos potenciais e reais associados ao ambiente construído [20].

A necessidade de adequação da indústria da construção ao novo modelo de desenvolvimento econômico mundial, onde a busca da sustentabilidade do setor é inquestionável, exige uma análise interativa de toda sua cadeia produtiva, constituída por diferentes segmentos industriais, que fornecem os insumos necessários à construção civil.

Entre eles podem ser citados os segmentos da indústria siderúrgica, da indústria cimenteira, da indústria gesseira, e afins. Em geral, suas atividades se iniciam com a extração de recursos naturais que em seguida passam pelo processo de beneficiamento e em seguida à aplicação do material na construção propriamente dita [16].

O gesso é um dos materiais de construção mais vetustos utilizados pelo homem para esta finalidade [21].

As primeiras aplicações do gesso di-hidratado, ou gesso in natura ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), foram identificadas nas pirâmides do Egito e na Turquia, por volta do IX milênio a.C., em obras de arte e de decoração [9, 12]. A partir do ano 3000 a.C., passou a ser utilizado como material de construção classificado como um aglomerante aéreo [9, 17, 18].

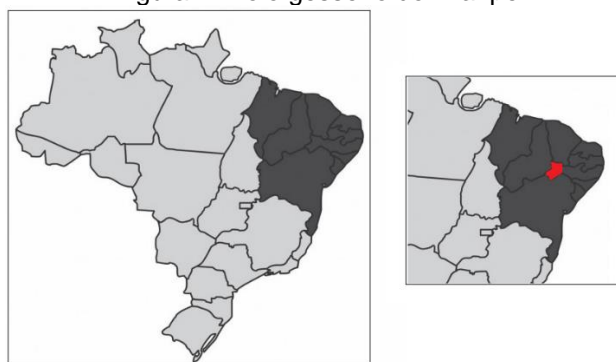
O Brasil é o maior produtor de gipsita da América do Sul e o 13º no mundo. A reserva brasileira de gipsita atinge um valor de aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas. O estado do pernambuco contém a terceira reserva nacional deste bem mineral, fornecendo cerca de 85% da gipsita consumida no país, com destaque para o Pólo Gesseiro do Araripe [10].

O Polo Gesseiro do Nordeste do Brasil, um dos maiores depósitos exploráveis de gipsita do continente americano, abrangendo vários Estados da Federação, numa área de 24.000 km<sup>2</sup> [22].

Os depósitos mais importantes de gipsita fazem parte da sequência

sedimentar cretácea, conhecida como Chapada do Araripe, situada nos limites dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, entre os paralelos 7° e 8° da latitude Sul e nos meridianos de 39° e 41° de longitude Oeste. Em Pernambuco, as principais ocorrências estão localizadas nos municípios de Araripina, Bodocó, Cedro, Dormentes, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Parnamirim, Santa Cruz, Santa Filomena, Serrita, Terra Nova e Trindade (ver Figura 1). A gipsita explorada nessa área é por muitos considerada a de melhor qualidade do mundo, com a pureza do minério variando entre 88% e 98% [9].

Figura 1- Polo gesseiro do Araripe



Fonte: Os autores (2023).

As principais formas de utilização do gesso na construção civil são [23]:

- 45% Pré-moldados (placas de gesso para tetos rebaixados, blocos de gesso e painéis);
- 51% Gesso para fundição de pré-moldados e para revestimento de paredes (aplicado manualmente com produção marginal de produtos aplicados por máquinas);
- 4% Moldes de cerâmica.

O setor de beneficiamento de rochas ornamentais é um dos principais fornecedores de materiais para construção, onde todas as fases de produção geram resíduos, desde a etapa de extração até a fase do acabamento final.

As rochas ornamentais, consoante com a Associação Brasileira de Normas Técnicas [1], pode ser definida como material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizada para exercer uma função estética. A rocha para revestimento corresponde à rocha natural

que, submetida a processos diversos de beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente para o processo de assentamento de pisos, paredes e fachadas, em obras de construção civil. A pedra de revestimento corresponde ao material rochoso natural selecionado, beneficiado e acabado em formatos e tamanhos específicos são utilizados para atender a requisitos dimensionais exigidos para fins estruturais ou arquitetônicos [8].

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais são divididas basicamente em mármore e granitos, caracterizando-se, os primeiros, como rocha carbonática passível de polimento, incluindo os calcários e os mármore propriamente ditos; e os granitos – expressão generalizada para as rochas silicáticas, que recebem polimento – como os granitos propriamente ditos, os sienitos, charnoquitos, basaltos e rochas similares, petrograficamente classificáveis como de origem ígnea [13].

O tipo de resíduo de rocha ornamental ígnea utilizado neste estudo foi o granito, pode-se observar as relações pertencentes a este grupo [15] das rochas ornamentais (vide tabela 1).

Tabela 1: Classificação do Granito.

<b>Rocha</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Cor</b>	<b>Minerais</b>	<b>Rochas Comerciais</b>
Granito	Maça	Cinza Rosa Avermelhado	qz, pl, Kf, (bi,hb)	Branco Ceará Cinza Andorinha

Fonte: Os autores (2023).

Com relação ao mármore que foi o outro resíduo constituinte do blend dos resíduos de pedras ornamentais utilizados durante a pesquisa, estas são rochas derivadas de outras preexistentes que, no decorrer dos processos geológicos, exibem mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, no estado sólido, em resposta a alterações nas condições físicas e químicas impostas em profundidades superiores àquelas da diagênese [15].

Os mármore contêm mais de 50% de calcita e/ou dolomita, formadas a partir do metamorfismo de calcários e/ou dolomitos. A cor é clara variando em branca, rosada, cinzenta, esverdeada, etc., dependendo da presença de outros minerais, tais como talco, anfibólio (tremolita), piroxênios (diopsídio), olivina



(forsterita) entre outros [15].

Na tabela 2 pode-se observar as características e relações pertencentes a este grupo das rochas ornamentais.

Tabela 2: Classificação do Mármore.

<b>Rocha</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Cor</b>	<b>Minerais</b>	<b>Rochas Comerciais</b>
Mármore	Maça	Cinza a branca (tons de verde ou rosa)	cc / do	Branco Paraná Branco Espírito Santo

Fonte: Os autores (2023).

Após o beneficiamento, quase a totalidade dos casos, as empresas lançam seus resíduos, na forma semi-sólido (lama fluida), em locais inadequados, em tanques de acúmulo diretamente no solo sem a devida impermeabilização. Não há nenhum tipo de recirculação do líquido. Ocorre eliminação de parte da água contida no resíduo, através de evaporação e infiltração no solo, permanecendo a outra parte como umidade dos resíduos acumulados no solo a céu aberto [11].

No referido município de estudo e análise do resíduo de rochas ornamentais, algumas das marmorarias despejam a lama oriunda do processo de beneficiamento nos corpos d'água o que acaba por ocasionar diretamente prejuízos a qualidade da água do corpo hídrico. O rio salgado que cruza o município está totalmente poluído devido a interferência das mais variadas ações humanas e em especial à prática descrita anteriormente.

O objetivo do estudo foi promover o reaproveitamento do resíduo oriundo do beneficiamento de rochas ornamentais gerado no município de Juazeiro do Norte-CE, e dessa forma promover o aproveitamento do resíduo como material de construção na produção de blocos de gesso para vedação vertical.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do estudo proposto, todos os insumos que foram utilizados na fabricação dos blocos de gesso, passaram por ensaios e análises específicas de acordo com os critérios estabelecidos pelas Normas técnicas

vigentes.

O procedimento experimental foi dividido em quatro etapas:

- **Etapa 1:** Coleta e aquisição dos materiais.
- **Etapa 2:** Caracterização do agregado (resíduo) e do aglomerante (gesso).
- **Etapa 3:** Produção dos blocos de gesso sustentáveis.
- **Etapa 4:** Caracterização física e análise da resistência à flexão dos blocos de gesso sustentáveis.

## 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO GESSO E DO RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Os resíduos de rochas ornamentais (pó) foram coletados em forma fluida em uma empresa (marmoraria) instalada no município de Juazeiro do Norte–Ceará. Logo após esse procedimento os rejeitos foram levados ao laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Paraíso- Juazeiro do Norte, onde se iniciou o processo de caracterização.

O material foi utilizado exatamente como coletado sem qualquer separação passando somente por um período de secagem natural, ao ar livre, e depois por 24 h na estufa em uma temperatura de 105 °C, para favorecer sua desagregação e posterior peneiramento.

Após a secagem o resíduo foi destorroado e peneirado. Para o processo de peneiramento utilizou-se um jogo de peneiras variando a abertura da malha (4,76mm – 0,074mm).

O gesso utilizado no presente estudo foi obtido da distribuidora do polo gesseiro do Araripe, na cidade de Juazeiro do Norte-CE, com as seguintes características: produto em forma de pó branco, de elevada finura (equivalente ao cimento), boa plasticidade, pega (aderência) e endurecimento rápido, além de possuir pequeno poder de retração na secagem e estabilidade volumétrica que garantem um excelente desempenho quando aplicados na construção civil, como por exemplo, aglomerante na fabricação de blocos ou aplicação como revestimento de paredes.



Para realização de todos os ensaios para caracterização do gesso foram utilizadas as metodologias de execução descritas nas normas técnicas, facilitando e assegurando dessa forma todo o seu processo de caracterização.

## 2.2 GRANULOMETRIA

A análise granulométrica visa quantificar a distribuição do tamanho das partículas de uma amostra de resíduo e tal aspecto é de fundamental importância para o entendimento de inúmeros parâmetros físicos relacionados as partículas, como: resistência e permeabilidade.

Para classificação granulométrica é amplamente utilizado o método das peneiras, que consiste basicamente na sobreposição de um jogo de peneiras variando a abertura da malha (4,76mm – 0,074mm).

Diferentemente do método de ensaio tradicional que é realizado a partir da utilização de um jogo de peneiras dispostas verticalmente e que conseqüentemente estão mais susceptíveis a erros de execução, a distribuição granulométrica por difração à laser proporciona a obtenção de distribuições rápidas e precisas referentes aos tamanhos das partículas e é baseada na análise do padrão de difração produzido quando as amostras são expostas a um feixe de luz monocromática.

Levando em consideração todas as informações mencionadas anteriormente é de extrema importância se conhecer com precisão a granulometria dos materiais estudados, visto que o tamanho das partículas apresenta influência direta em diversas outras propriedades, como: massa unitária, consistência, início e fim de pega e resistência mecânica. O método de caracterização granulométrica utilizado no estudo foi o a laser.

## 2.3 ÍNICO E FIM DE PEGA

Pega se refere à mudança de estado fluido para o rígido. A pega é causada principalmente pelas reações de hidratação e é acompanhada pela

elevação da temperatura na pasta. O início de pega corresponde a uma rápida elevação e o fim de pega corresponde ao pico de temperatura [19].

As amostras foram separadas de acordo com as dosagens analisadas no estudo (Figura 3). O ensaio foi realizado de acordo com os critérios estabelecidos segundo a NBR 12128:2019 [2], em temperatura de 24°C, utilizando o aparelho de VICAT.

Figura 2- Preparação das amostras



Fonte: Os autores (2023).

Primeiramente foram preparadas as amostras de gesso acrescidas do resíduo nas devidas dosagens analisadas (5%, 10% e 15%), neste caso em substituição ao volume final do gesso utilizado na mistura.

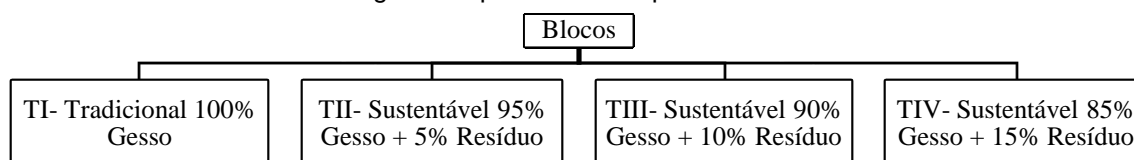
Durante o processo de homogeneização da pasta, é adicionada uma quantidade de água ideal segundo os critérios da NBR 12128:2019 [2], visando dessa maneira se obter a consistência desejável, que por sua vez tem como finalidade determinar o período útil de trabalhabilidade do gesso acrescido com o resíduo, que em fins práticos trata-se do processo de aplicação, compreendido desde a mistura (gesso + resíduo) com a água até o seu processo de endurecimento.

O intervalo de tempo considerado é a partir do momento em que o gesso entra em contato com a água, até o instante que a agulha do aparelho de VICAT não mais penetra no fundo da amostra, ficando aproximadamente 1 mm acima da base, ou seja, o fim de pega foi caracterizado no período em que a agulha não penetrou mais a pasta.

## 2.4 BLOCOS DE GESSO SUSTENTÁVEIS

Para realização deste trabalho foram produzidos 30 blocos de gessos tradicionais sem nenhum tipo de incorporação (T-I), onde foram utilizados 11 kg de gesso e 12,5 litros de água, fator água/aglomerante de 0,88, para tal. A partir destes, mais 30 blocos (por dosagem) foram produzidos, sendo respectivamente, T-II, T-III e T-IV, substituindo o gesso pelo resíduo de rochas ornamentais nas proporções de 5%, 10% e 15%, em relação a sua massa, como demonstrado na Figura 4.

Figura 3-Tipos de blocos produzidos



Fonte: Os autores (2023).

Os blocos foram moldados em uma fábrica especializada neste segmento, localizada no município de Juazeiro do Norte - CE. Para a produção da argamassa de gesso utilizada nas peças, foi inserido água na argamassadeira mecânica, onde o gesso foi pesado e adicionado a este equipamento, sendo misturado em torno de 4 minutos, até se obter uma pasta uniforme.

Após esses procedimentos a pasta é lançada em uma fôrma paralelepipedal para moldagem dos blocos com as dimensões de 66,6cm x 45,5cm x 7,5cm.

Depois do processo de moldagem os blocos foram desenformados e passaram por um processo de secagem natural.

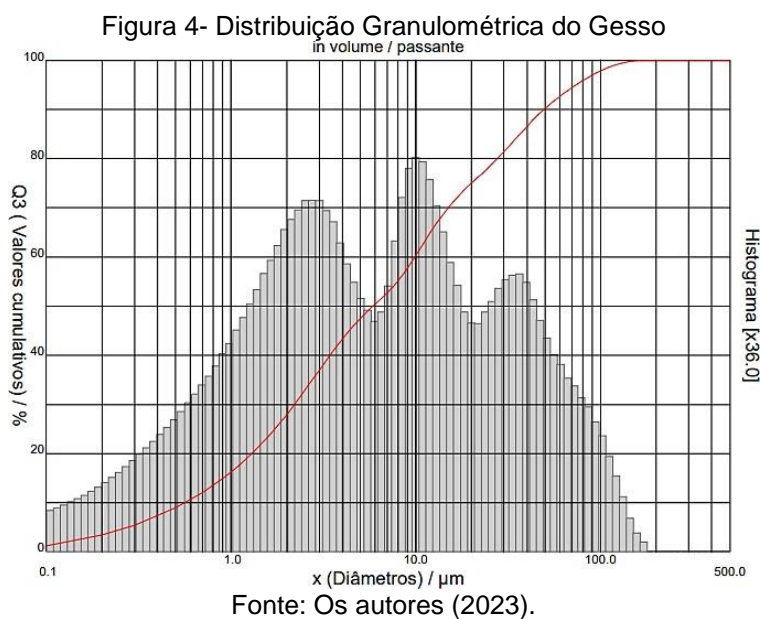
Os blocos sustentáveis foram comparados com o bloco tradicional em relação as seguintes propriedades: absorção de água, densidade, dureza e resistência na flexão. Todos os ensaios foram realizados seguindo os critérios estabelecidos na norma ABNT NBR 16495:2016: Bloco de gesso para vedação vertical – Método de ensaio [5].

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão abordados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios de todas as propriedades anteriormente apresentadas.

#### 3.1 GRANULOMETRIA

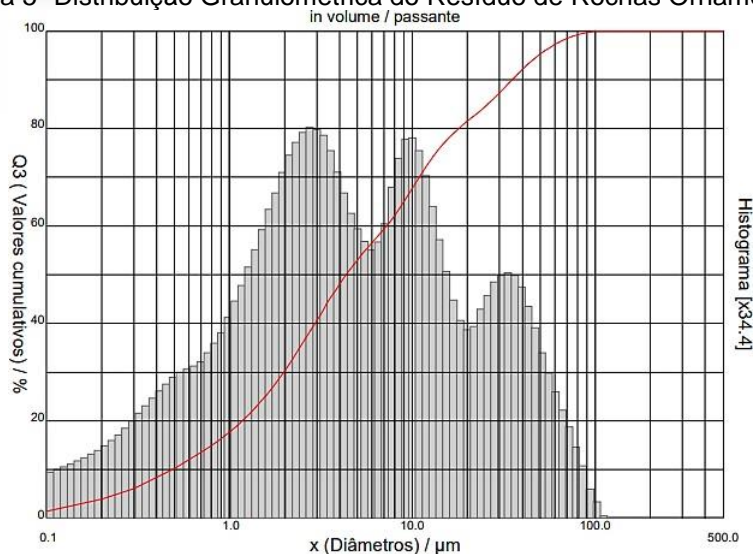
Com relação ao gesso a partir dos resultados obtidos no ensaio de granulometria a laser pode-se inferir que o diâmetro médio das partículas analisadas na amostra é de 16,86  $\mu\text{m}$ . De acordo com a Figura 5 observa-se a distribuição granulométrica do gesso gerada a partir do ensaio.



Já o resíduo de rochas ornamentais apresentou um diâmetro médio das partículas de aproximadamente 11,66  $\mu\text{m}$ . Através da Figura 6 observa-se a distribuição granulométrica do resíduo reciclado.

O módulo de finura do gesso e do resíduo de rochas ornamentais foram na ordem de 0,72 e 0,52 respectivamente.

Figura 5- Distribuição Granulométrica do Resíduo de Rochas Ornamentais



Fonte: Os autores (2023).

### 3.2 ÍNICIO E FIM DE PEGA

O método de ensaio foi realizado segundo as orientações fundamentadas na ABNT NBR 12128:2019 [2]. Primeiramente se produziu uma pasta gesso com uma consistência que permitisse a sua trabalhabilidade, ou seja, a quantidade de água adicionada a mistura ideal para manuseá-la.

O início e o fim de pega é uma propriedade de fundamental importância, pois tem como finalidade determinar o período útil (início e fim) que se tem para proceder o processo de aplicação de um determinado material, ou seja, é o intervalo de tempo compreendido desde a mistura da água com o gesso até o seu endurecimento ou acabamento final.

O tempo de início e fim de pega foi analisado para todas as dosagens estudadas (TI- 100% gesso, TII- 5% resíduo + 95% gesso, TIII- 10% resíduo + 90% gesso e TIV- 15% resíduo + 85% gesso). Abaixo pode-se observar os resultados do ensaio (vide tabela 3).

Tabela 3- Ensaio de tempo de pega

Dosagem	Início de Pega (min)	Fim de Pega (min)
TI	8	15
TII	10	18
TIII	14	22
TIV	16	26

Fonte: Os autores (2023).

Ao final do experimento constatou-se que o início de pega do gesso sem incorporação do resíduo de rochas ornamentais ocorre com aproximadamente 8 minutos e o fim de pega acontece por volta dos 15 minutos em contato com a água.

Após a incorporação do resíduo de rochas ornamentais nas dosagens de TII, TIII e TIV, se constatou um retardo no início e no fim de pega da pasta de gesso.

O retardo no tempo de pega das amostras de gesso com a presença do resíduo sustentável é explicado devido ao fato do resíduo de rochas ornamentais ser inerte o que por sua vez corrobora com as interfaces formadas pelos materiais presentes na composição e impede que as reações químicas da mistura aconteçam rapidamente, influenciando, portanto, na trabalhabilidade da mistura e aumentando assim o seu tempo de maleabilidade e usabilidade.

### 3.3 BLOCOS DE GESSO SUSTENTÁVEIS

#### 3.3.1 Capacidade de Absorção de Água

Com relação a capacidade de absorção de água dos blocos pode-se observar de acordo com a Tabela 4, uma diminuição da absorção dos blocos sustentáveis em relação ao bloco tradicional.



Tabela 4- Absorção de água dos blocos

Traço	Absorção (%)
TI	57,96 ± 0,54
TII	56,76 ± 0,10
TIII	55,45 ± 0,12
TIV	50,67 ± 0,20

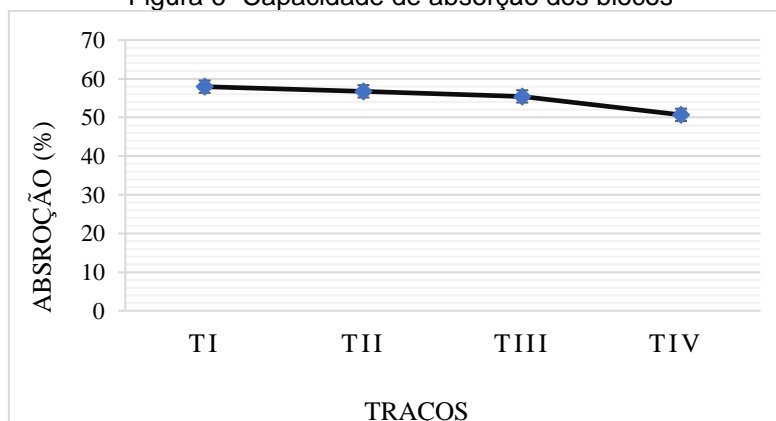
Fonte: Os autores (2023).

Verifica-se que quanto maior a substituição do resíduo sustentável, menor é a absorção de água dos blocos convencionais.

Todos os blocos sustentáveis obtiveram redução de absorção de água em relação ao bloco tradicional. Os valores de redução foram de respectivamente, 2,07%, 4,33% e 12,57%, para os blocos TII, TIII e TIV, vide Figura 7.

Esse fenômeno se justifica devido ao fato de que os materiais utilizados na produção dos blocos sustentáveis (gesso e resíduo) possuem granulometrias distintas, o que por sua vez colaborou para o preenchimento dos vazios que existiam entre as partículas de gesso, que ocorreu, portanto, através da inserção dos resíduos de rochas ornamentais na mistura. Tal fato corroborou com a redução da capacidade de absorção de água dos blocos sustentáveis.

Figura 6- Capacidade de absorção dos blocos



Fonte: Os autores (2023).

### 3.3.2 Densidade dos Blocos

De acordo com a Tabela 5 e a Figura 8, observa-se que quanto maior a substituição do resíduo de rochas ornamentais, maior será a densidade do bloco.

Tal fator está diretamente relacionado a maior compacidade da pasta oriunda do processo de preenchimento dos vazios entre as partículas de gesso devido a inserção do resíduo reciclado nas devidas proporções.

O acréscimo das densidades nos traços II, III e IV foi na ordem de 1,69%, 1,89% e 2,18%, em comparação ao bloco I (tradicional). Foram ensaiados 6 blocos de gesso para cada dosagem analisada.

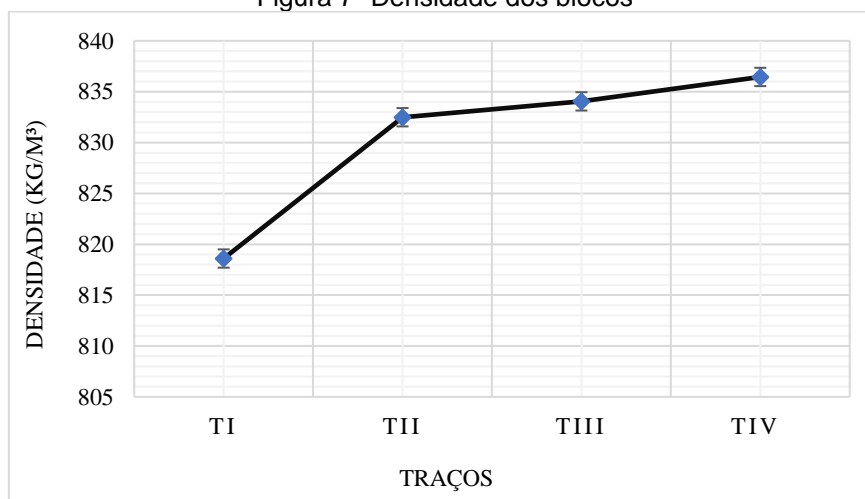
Todos os blocos são classificados como sendo de densidade média e de cor branca, por possuírem valores entre 800 kg/m<sup>3</sup> e 1.100 kg/m<sup>3</sup>, segundo critérios especificados na ABNT NBR 16494:2017 - Bloco de gesso para vedação vertical – Requisitos [4].

Tabela 5- Massa específica dos blocos

Traço	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )
TI	818,60 ± 1,08
TII	832,49 ± 2,31
TIII	834,05 ± 2,77
TIV	836,45 ± 2,99

Fonte: Os autores (2023).

Figura 7- Densidade dos blocos



Fonte: Os autores (2023).

### 3.3.3 Resistência à Flexão dos Blocos

Os blocos sustentáveis (TII, TIII e TIV), obtiveram acréscimos de, 18,21%, 30,25% e 39,20% em relação ao bloco convencional (TI), vide Tabela 6 e Figura 9. O aumento da densidade colaborou diretamente para potencializar o comportamento mecânico dos blocos sustentáveis com relação a sua resistência à flexão. Foram ensaiados 12 blocos de gesso para cada dosagem analisada.

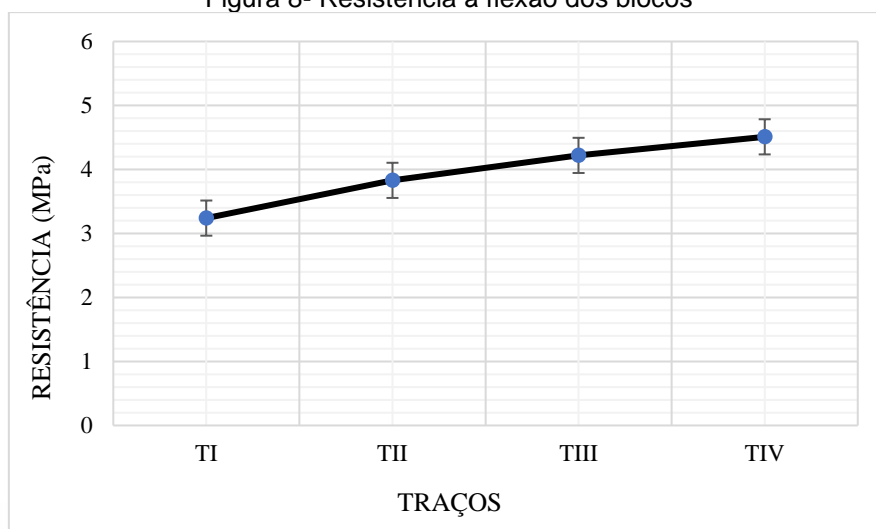
Tal fator ocorreu provavelmente devido ao fato do resíduo de rochas ornamentais ser mais pulverulento que o gesso, agindo portanto como um fíler e contribuindo dessa forma na compactidade do conjunto, influenciando portanto no comportamento mecânico do bloco. Na Figura 10 os vazios deixados pelas partículas de gesso (cor cinza) são preenchidas pelas partículas do resíduo de rochas ornamentais (cor azul).

Tabela 6- Resistência à flexão dos blocos

Traço	Resistência (MPa)
TI	3,24 ± 0,25
TII	3,83 ± 0,11
TIII	4,22 ± 0,17
TIV	4,51 ± 0,20

Fonte: Os autores (2023).

Figura 8- Resistência à flexão dos blocos

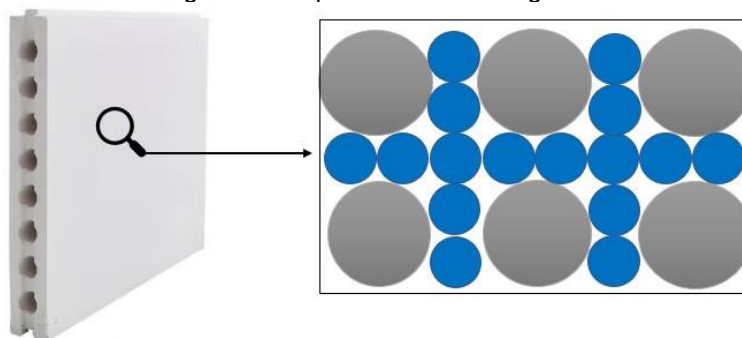


Fonte: Os autores (2023).

Tanto os blocos convencionais (TI) como os sustentáveis (TII, TIII e TIV),

enquadram-se na classe de espessuras de 50 e com relação à sua forma e espessura dos alvéolos são classificadas como pertencentes a classe 70 com formato cônico, por possuírem resistências maiores que 1,2 MPa, segundo os critérios descritos na ABNT NBR 16494 :2017 - Bloco de gesso para vedação vertical – Requisitos [4].

Figura 9- Empacotamento dos grãos



Fonte: Os autores (2023).

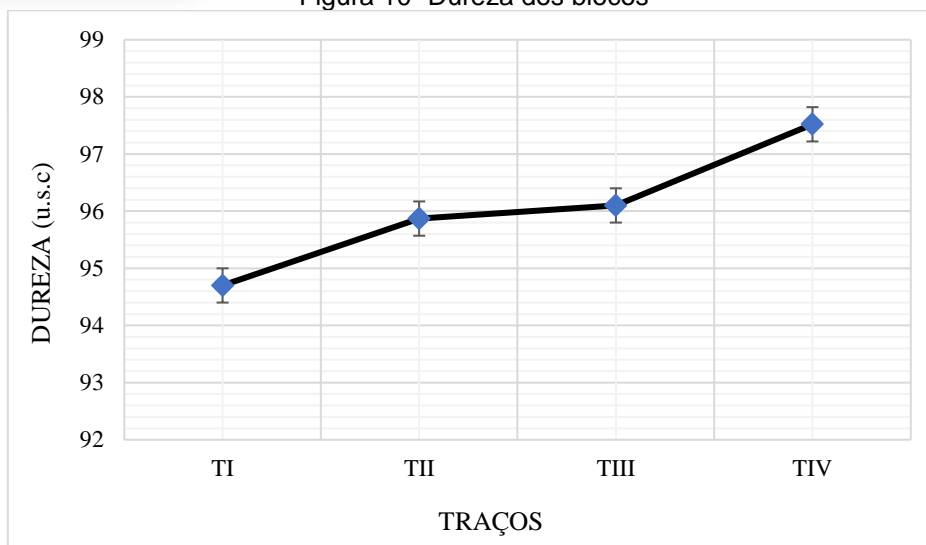
### 3.3.4 Dureza dos Blocos

Em comparação ao bloco tradicional, ou seja, com 100% de gesso na sua composição (TI), os blocos sustentáveis (TII, TIII e TIV) apresentaram ganhos na sua dureza final, respectivamente nas proporções de 1,23%, 1,48% e 2,98%, vide Tabela 7 e Figura 11.

Tabela 7- Dureza dos blocos	
Traço	Dureza (u.s.c)
TI	94,70 ± 0,94
TII	95,87 ± 0,61
TIII	96,10 ± 0,41
TIV	97,52 ± 0,45

Fonte: Os autores (2023).

Figura 10- Dureza dos blocos



Fonte: Os autores (2023).

Como o resíduo de rochas ornemanteis é constituido basicamente por feldspato e quartzo cuja dureza na escala de mohs é de respectivamente 6 e 7, a incoporação do resíduo na matriz do bloco colaborou diretamente para que houvesse uma elevação na dureza dos blocos de gesso produzidos com a incorporação do pó de rochas.

Conforme critérios da ABNT NBR 16494:2017- Bloco de gesso para vedação vertical – Requisitos [4], os blocos analisados são de alta dureza por apresentarem resultados maiores que 80 unidades Shore C (u.s.c.).

#### 4 CONCLUSÕES

A incorporação do resíduo reciclado na produção dos blocos sustentáveis contribuiu para a melhoria de todas as propriedades estudadas.

Pode-se concluir que a adição do resíduo reciclado no processo produtivo dos blocos promoveu uma diminuição consideravel na capacidade de absorção de água no traço TIV (15% resíduo de rochas ornamentais) em comparação ao bloco tradicional (TI).

Em relação as demais propriedades analisadas pode-se inferir que houveram aumentos consideraveis na dureza, densidade e na resistência

mecânica dos blocos sustentáveis (TII , TIII e TIV) quando comparados ao bloco tradicional (TI) sem adição do resíduo reciclado.

Tais melhorias nas propriedades analisadas podem ser justificadas devido ao fato do resíduo de rochas ornamentais ser inerte e extremamente fino o que acabou por vir a agir como um fíler preenchendo os vazios existentes entre as partículas de gesso nos blocos e favorecendo portanto para que houvesse um maior empacotamento dos grãos.

Destarte, após o presente estudo, conclui-se que a utilização do resíduo de rochas ornamentais tem grande potencial para ser inserido na fabricação de blocos de gesso, mitigando os diversos impactos ambientais provocados pela geração de tais resíduos e garantindo, assim, uma destinação mais adequada e sustentável para tais . O presente estudo corrobora com a diminuição do processo de extração dos recursos naturais não renováveis o que por sua vez impacta positivamente toda a sociedade.

Recomenda-se para trabalhos futuros analisar novas dosagens de adição do resíduo reciclado na produção dos blocos de gesso e analisar a durabilidade dos blocos de gesso sustentáveis frente as variadas solicitações como: força do vento, ação da chuva e a insolação.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES e a FAPESQ-PB pelo incentivo financeiro que foram de extrema importância para efetiva execução deste estudo.



## REFERÊNCIAS

- [1]. ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15012 – Rochas para revestimentos de edificações - Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.
- [2]. ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.128: Gesso para Construção - Determinação das propriedades físicas da pasta: Rio de Janeiro, 2019.
- [3]. ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15012: Rochas para Revestimentos de Edificações – Terminologia: Rio de Janeiro, 2013.
- [4]. ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16494: Bloco de gesso para vedação vertical — Requisitos: Rio de Janeiro, 2017.
- [5]. ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16495: Bloco de gesso para vedação vertical – Método de ensaio: Rio de Janeiro, 2016.
- [6]. ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica: Rio de Janeiro, 2003
- [7]. AGUIAR, L. R. Avaliação da ecoeficiência de programas e projetos ambientais voltados às micros e pequenas empresas do pólo gesseiro do Araripe, estado de Pernambuco. 2007. 156 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão e Políticas Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- [8]. ALENCAR, Carlos Rubens Araujo; Instituto Euvaldo Lodi (Espírito santo). Manual de Caracterização, Aplicação, Uso e Manutenção das Principais Rochas Comerciais no Espírito Santo. 1. ed. Cachoeiro de Itapemirim - ES: Link Editoração, 2013. 244 p. Disponível em: <https://www.sindirochas.com/arquivos/manual-rochas.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- [9]. BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Gipsita. IN: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2005. p. 505-526.
- [10]. BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Polo Gesseiro do Araripe discute o desenvolvimento do setor. 2017. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Polo-Gesseiro-do-Araripe-discute-o-desenvolvimento-do-setor-4664.html>. Acesso em: 05 mar. 2022.
- [11]. CALMON, J.L; SILVA, S.A.C. (2006) Mármore e Granito no Espírito Santo: Problemas Ambientais e Soluções. In: Domingues, A.F.; Boson, P.H.G.; Alípez, S. A gestão de recursos hídricos e a mineração. Brasília: Agência Nacional das Águas-ANA, Instituto Brasileiro de Mineração-IBRAM, 2006. Pág. 199-231.
- [12]. CANUT, Mariana Moreira Cavalcanti. Estudo da Viabilidade do Uso do Resíduo Fosfogesso como Material de Construção. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Construção Civil,

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-6X6R77/1/disserta\\_\\_o\\_final1.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-6X6R77/1/disserta__o_final1.pdf). Acesso em: 12 abr. 2022.

[13]. CAVALCANTI, L. F. M., OLIVEIRA, F. M. C., MELO, E. B., et al., “Granito Azul Sucuru: caracterização tecnológica por meio do aproveitamento do material”, Revista Principia, n. 33 pp. 11-20, Mai. 2017.

[14]. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-6X6R77/1/disserta\\_\\_o\\_final1.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-6X6R77/1/disserta__o_final1.pdf). Acesso em: 12 abr. 2022.

[15]. FRASCÁ, M. H. B. O. Rocha como Material de Construção. In: Ibracon: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2ª ed. São Paulo: G.C. Isaia, 2010 v.1 p. 439 – 48

[16]. KURESKI, Ricardo; RODRIGUES, Rossana Lott; MORETTO, Antônio Carlos; SESSOFILHO, Umberto Antonio; HARDT, Letícia Peret Antunes. O macrosetor da construção civil na economia brasileira em 2004. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 7-19, mar. 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3791/2187>. Acesso em: 07 mar. 2022.

[17]. LIMA, Monalisa Toledo de. Influência da Incorporação de gesso e fosfogesso no tempo de pega do cimento Portland. Universidade Federal da Paraíba. 2019.

[18]. METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades, e Materiais 3º ed. São Paulo: Pini. 2008 p. 259-287.

[19]. NEVILLE, Adam; Brooks, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. Porto Alegre: Editora Bookman – 2013.

[20]. ONOFRE, S. B.; ABATTI, D.; REFOSCO, D.; FOQUESATTO, C. F.; SILVA, M. Utilização de resíduos de mármore e granitos na produção de argamassas e resíduos da construção e demolição na produção de concretos. In: 10º 51 Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2016, Porto Alegre/RS.

[21]. PADILHA NETO, Lucas Gomes. Desenvolvimento de Metodologia para Reciclagem do Resíduo de Gesso gerado nas Práticas de Processos Inorgânicos Experimentais. Projeto de Final de Curso (Graduação em química industrial) - UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2019. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/12507/1/LGPadilhaNeto.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2022.

[22]. SINDUSGESSO- Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco, Informações Técnicas, Recife, 2016.

[23]. TESKE, S., GONÇALVES, P. F. A., NAGALLI, A., “Development of a conceptual model of an ecologic tile using building gypsums waste”, *Ceramics*, v. 61, n.358.2015.

[24]. Utilização de resíduos de mármore e granitos na produção de argamassas e resíduos da construção e demolição na produção de concretos. In: 10° SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2016, Porto Alegre/RS.