INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VICTOR VALÉRIO LANDIM DA SILVA

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PEDRAS ORNAMENTAIS NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE GESSO SUSTENTÁVEIS

Cajazeiras
2019

VICTOR VALÉRIO LANDIM DA SILVA

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PEDRAS ORNAMENTAIS NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE GESSO SUSTENTÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Cicero Joelson Vieira Silva, M. Sc

Cajazeiras
2019

A ficha catalográfica deve ser inserida no verso da folha de rosto (2ª folha deste documento) e deve ser providenciada junto à Biblioteca.

Exemplo:

Seção de Informação e Referência

Catalogação da Publicação na Fonte. IFPB / Nome da Biblioteca

X000x

Costa, José Macedo.

Título da Dissertação / José Macedo Costa. – João Pessoa, PB, 2015.

xx f.

Orientador: Fulano de Tal.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

1. Palavra-chave1. 2. Palavra-chave2. 3. Palavra-chave3. 4. Palavra-chave4. De Tal, Fulano. Título.

VICTOR VALÉRIO LANDIM DA SILVA

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PEDRAS ORNAMENTAIS NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE GESSO SUSTENTÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 16 de abril de 2019.

BANCA EXAMINADORA

_____

Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

_____

Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

_____

Sebastião Simão da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 2

Cajazeiras,
2019.

Dedico este trabalho aos pilares da minha existência: Minha mãe (Maria Edilania), meu pai (Heleno Batista) e ao meu irmão (Vilker Renan), que sem sombra de dúvidas desempenharam papel singular na realização deste meu sonho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a mais profunda gratidão ao nosso Pai Criador, que me guia desde o início da existência no caminho da evolução.

A seguir, aos professores Gastão Coelho e Cicero Joelson, meus orientadores, amigos e companheiros, que não mediram esforços para que eu alcançasse todos os meus objetivos.

Aos técnicos do laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - *Campus* Cajazeiras, Ana Paula e Mery Ângela que me apoiaram desde o início do trabalho até a realização dos ensaios.

A todos os meus professores do curso de graduação, que me incentivaram a trilhar o caminho do fantástico universo da engenharia civil, e em especial a: Prof. Sebastião Simão, Profª. Cinthya Santos, Profª. Katharine Medeiros, Profª. Eliamara Soares e Profª. Taciana Araújo.

Aos amigos, Amanda Jéssica, Jessica Silva, Bianca Anacleto, Milena Plácido, e em especial Erijohnson Ferreira companheiro em todos os momentos, e acabou por se tornar um irmão que a graduação me presenteou.

Agradeço também a minha avó Francisca Batista (*in memorian*) e ao meu tio Cicero Landim (*in memorian*) que sem sombra de dúvidas são os meus protetores.

RESUMO

A construção é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde os primórdios da humanidade foi executada de forma artesanal, gerando como subprodutos grande quantidade de entulho mineral. Tal fato despertou a atenção dos construtores já na época da edificação das cidades do Império Romano e desta época datam os primeiros registros da reutilização dos resíduos minerais da construção civil na produção de novas obras. O reaproveitamento de resíduos de construção, acarreta a redução de custos em várias etapas do processo construtivo devido à otimização do uso da matéria prima, à agilidade que confere no processo de projeto ou compra dos componentes, ao aumento da produtividade 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 3 R's – Reduzir, Reutilizar e Reciclar, como alternativa de amenizar tais problemas, promovendo assim a substituição parcial da gipsita por resíduos de pedras ornamentais na fabricação de blocos de gesso sustentáveis, analisando as suas propriedades e características. Após a execução de todos os ensaios conclui-se que houve um acréscimo significativo nas propriedades físicas dos blocos analisados, no que se refere à: resistência à flexão, dureza e densidade. Assim sendo, torna-se relevante a utilização dos recursos disponíveis à realidade de cada região, de forma que produtos abundantes e de baixo custo de exploração possam auxiliar no desenvolvimento de novos materiais tecnicamente viáveis e ecologicamente corretos.

Palavras-Chave: Bloco de Gesso; Reciclagem; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction is one of the oldest activities that is known and since the beginnings of mankind has been executed in a handmade way, generating as by-products a large amount of mineral rubble. This fact attracted the attention of the builders already at the time of the construction of the cities of the Roman Empire and from this time the first records of the reuse of the mineral residues of the civil construction in the production of new works date. The reuse of construction waste entails the reduction of costs in several stages of the construction process due to the optimization of the use of the raw material, the agility that it gives in the design process or purchase of the components, the increase of the productivity and the reduction of the wastes and of losses. In the face of so many negative impacts caused by the accumulation of waste to the environment, we seek environmentally responsible solutions, adapting to the principle of 3 R's - Reduce, Reuse and Recycle, as an alternative to soften such problems, thus promoting the partial replacement of gypsum by waste of ornamental stones in the manufacture of sustainable gypsum blocks, analyzing their properties and characteristics. After the execution of all the tests, we concluded that there was a significant increase in the physical properties of the analyzed blocks, with respect to: Bending Strength, Hardness and Density. Therefore, it becomes relevant to use the resources available to the reality of each region, so that abundant products and low operating costs can help in the development of new technically feasible and ecologically correct materials.

Keywords: Plaster Block; Recycling; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Extração de blocos de rochas ornamentais 17
Figura 2: Polo gesseiro do Araripe 22
Figura 3: Variedade de gipsita e amostra de anidrite encontradas na região do Araripe 23
Figura 4: Beneficiamento (Polimento) da rocha 25
Figura 5: Coleta e tratamento do resíduo de pedras ornamentais 28
Figura 6: Ensaio de granulometria e massa específica 28
Figura 7: Ensaio de granulometria e massa específica 29
Figura 8: Tipos de blocos produzidos 30
Figura 9: Mistura dos componentes para produção dos blocos 31
Figura 10: Moldagem dos blocos 31
Figura 11: Desmoldagem dos blocos 31
Figura 12: Preenchimento dos vazios com espuma expansiva 33
Figura 13: Determinação do peso dos blocos 33
Figura 14: Blocos submersos 33
Figura 15: Espessura dos blocos 34
Figura 16: Comprimento dos blocos 35
Figura 17: Altura dos blocos 36
Figura 18: Espessura da superfície do vazado 37
Figura 19: Medição das faces dos blocos 38
Figura 20: Determinação da dureza dos blocos 38
Figura 21: Resistência à flexão dos blocos 39
Figura 22: Curva granulométrica do gesso 40
Figura 23: Curva granulométrica do resíduo de pedras ornamentais 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização do resíduo de pedras ornamentais 28
Tabela 2: Caracterização do gesso 29
Tabela 3: Resultado da caracterização do gesso e do resíduo de pedras ornamentais 40
Tabela 4: Resultado da absorção de água dos blocos 41
Tabela 5: Resultado da densidade dos blocos 42
Tabela 6: Resultado da resistência à flexão dos blocos 43
Tabela 7: Resultado da dureza dos blocos 44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Absorção de água 42
Gráfico 2: Densidade dos blocos 43
Gráfico 3: Resistência à flexão dos blocos 44
Gráfico 4: Dureza dos blocos 45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais

a.C - Antes de Cristo

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica

cm - Centímetro

CE – Ceará

°C - Graus Celsius

DMC - Dimensão Máxima Característica

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

g - Grama

h - Hora

MF - Módulo de Finura

m - Metro

PE - Pernambuco

PB - Paraíba

LISTA DE SÍMBOLOS

A_b - Absorção de Água

α - Alfa

A_m - Altura Média

β - Beta

b - Largura

C_m - Comprimento Médio

$CaSO_4$ - Sulfato de Cálcio

d - Diâmetro

E - Espessura

H_2O - Água

M - Massa

P - Carga de Ruptura

R_f - Resistência à Flexão

V_t - Volume Total

% - Porcentagem

$ - Cifrão

ρ - Massa Específica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **14**

1.1 Justificativa **15**

1.2 Objetivos **18**

1.2.1 Objetivo Geral 18

1.2.2 Objetivo Específico 18

1.3 Estrutura do Trabalho **18**

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **20**

2.1 Gesso **21**

2.2 Pedras Ornamentais **23**

2.2.1 Processo de Extração 24

2.2.2 Extração da Lavra e Beneficiamento 24

2.3 **Blocos de Gesso** **26**

2.3.1 Conceito 26

2.3.2 Propriedades dos Blocos de Gesso 26

3 METODOLOGIA **27**

3.1 Caracterização do Resíduo Reciclado **27**

3.2 Caracterização do Gesso **29**

3.3 Produção dos Blocos de Gesso Sustentáveis e Caracterização de suas Propriedade **30**

3.3.1 Produção dos Blocos de Gesso Sustentáveis 30

3.4 Caracterização dos Blocos **32**

3.5 Capacidade de Absorção dos Blocos **32**

3.6 Densidade dos Blocos **34**

3.6.1 Determinação da Densidade dos Blocos 37

3.7 Dureza **37**

3.8 Resistência à Flexão **39**

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **40**

4.1 Resultado da Caracterização do Gesso e do Resíduo de Pedras Ornamentais **40**

4.2. Resultado da Caracterização das Propriedades dos Blocos de Gesso **41**

4.2.1 Absorção de Água 41
4.2.2 Densidade 42
4.2.3 Resistência à Flexão 43
4.2.4 Dureza 44
5 CONCLUSÃO 46
REFERÊNCIAS 47

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista a necessidade do ser humano de habitar em edificações, a tecnologia tem fornecido com o passar dos séculos conforto, segurança e qualidade de vida à maioria das pessoas. A viabilidade econômica é fator preponderante para que tudo isso seja cabível a realidade das mais variadas classes sociais. Entretanto 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. Por sua vez a construção civil se utiliza dessa realidade para fluir com o auxílio da ciência.

Desenvolvimento sustentável é aquele que consegue utilizar os recursos naturais disponíveis para atender as necessidades das gerações presentes sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem as suas necessidades. Reciclagem é um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os detritos e reutilizá-los no ciclo de produção de que saíram. É o resultado de uma série de atividades, pelas quais materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos. As indústrias recicladoras são também chamadas secundárias, por processarem matéria-prima de recuperação. Na maior parte dos processos, o produto reciclado é completamente diferente do produto inicial (AGUIAR, 2007).

O crescente desenvolvimento do setor da construção civil causa graves 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, etc.) 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 mesmos são enviados para 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 (ONOFRE et al., 2016).

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 e passam ao beneficiamento de materiais e à aplicação do material na construção propriamente dita (KURESKI, et al., 2008).

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 extração até o acabamento final.

Nesse viés surge a necessidade de sanar essa problemática que está relacionada com o tratamento, reciclagem, reutilização ou processamento dos resíduos gerados em todo ciclo da construção civil que são depositados na natureza provocando sérios impactos ao meio ambiente.

O resíduo oriundo do beneficiamento de rochas ornamentais gerado na cidade de Sousa - PB, foi o objeto de estudo do presente trabalho, buscando-se dessa forma promover o aproveitamento do resíduo como material de construção na produção de blocos de gesso para vedação vertical sustentáveis.

1.1 Justificativa

A sustentabilidade é baseada em três aspectos: o ambiental, o econômico e o social, que devem coexistir em equilíbrio. Como estes aspectos representam variáveis independentes, as escolhas resultantes serão diferentes em cada situação apresentada. Portanto, não existe receita nem cálculo absoluto que determine o que deve ser feito ou não, para que um projeto caminhe na direção de uma maior sustentabilidade, sendo a proposta de cada projeto fruto de escolhas específicas, únicas e originais.

A gipsita é consumida sob as formas bruta e beneficiada. Sob a forma bruta é utilizada pelos setores cimenteiro e agrícola. Sob a forma beneficiada, denominada gesso, é utilizada predominantemente pela indústria da construção civil na forma de pré-moldados, em revestimento de paredes e como elemento de decoração arquitetônica e, subordinadamente, pelos setores ceramista, odontológico, médico e de adereços (joalharia). Desse modo, pode-se dizer que as mineradoras de gipsita operam para suprir o mercado constituído fundamentalmente pelas empresas cimenteiras e gesseiras. Nos países do chamado Primeiro Mundo o maior consumo de gipsita está ligado à produção de gesso, enquanto no Terceiro

Mundo a predominância é do segmento cimentício. No Brasil, o consumo setorial está passando por uma fase de transição (DNPM, 2001).

Entre os diferentes segmentos da cadeia produtiva da construção civil, o segmento gesseiro apresenta um grande potencial de contribuição para a sustentabilidade da indústria da construção, devido ao baixo consumo energético do processo de produção e da viabilidade de reciclagem dos resíduos gerados ao longo de sua cadeia produtiva (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Neste segmento ganha-se destaque o setor de rochas ornamentais, um dos principais fornecedores de materiais para construção, onde todas as fases de produção do produto geram resíduos, desde a extração até o acabamento final.

Rocha ornamental é a denominação empregada para designar rochas que, “após serragem, polimento e lustração, ressaltam características intrínsecas (textura, estrutura, trama dos minerais, etc.) conferindo-lhes grande beleza e permitindo seu uso em revestimentos, pisos e ornamentação” (ABREU et al, 1990). Tal nomenclatura distingue as rochas assim caracterizadas das “pedras ornamentais” termo que designa “aquelas pedras passíveis de serem utilizadas como adornos e/ou peças decorativas in natura ou então trabalhadas sob as mais variadas formas” (BRANDÃO et tal., 1991).

Em 2012 o Brasil foi classificado como o quarto maior produtor mundial de rochas ornamentais produzindo 9,3 milhões de toneladas, o sétimo maior exportador em volume físico total e o terceiro maior exportador de blocos de granitos e produtos de ardósia (ABIROCHAS, 2014).

O beneficiamento de rochas ornamentais visa basicamente a transformação dos blocos, extraídos na fase de lavra, em produtos finais ou semiacabados. Desta forma, podem se separar as fases de beneficiamento em primário, ou desdobramento, e secundário (CETEM, 2012).

O beneficiamento primário também é conhecido como serragem ou desdobramento e consiste no corte dos blocos em chapas com espessuras bastante próximas do produto acabado. Isso é feito com uso de equipamentos como teares multilâmina, tear monolâmina, talha-blocos de disco diamantado, teares multifio diamantados ou monofio diamantado (CETEM, 2012).

No beneficiamento secundário, ou final, são obtidos os diversos produtos a serem consumidos pelo setor de aplicação de rochas ornamentais nas suas diversas modalidades. Os processos envolvidos são de grande diversidade e variada complexidade, envolvendo o

tratamento superficial, que representa a fase na qual as chapas brutas são polidas, apicoadas ou flameadas e transformando-as em chapas acabadas. Os principais grupos de produtos obtidos a partir do processamento de mármores e granitos para aplicação na indústria da construção civil são: painéis para revestimento externo; ladrilhos para pavimentação; ladrilhos para revestimento; degraus e parapeitos; meios-fios, molduras e rodapés; mesas e bancadas para decoração; colunas e produtos especiais (CETEM, 2012).

O reaproveitamento do resíduo de pedras ornamentais, acarreta a redução de custos em várias etapas do processo construtivo devido à otimização do uso da matéria prima, no que se refere ao aumento da produtividade e à diminuição dos desperdícios e das perdas. A utilização de materiais reciclados no processo construtivo, sejam oriundos da construção civil ou não, reduz a demanda por insumos não renováveis, além de reduzir a pressão ambiental nas áreas destinadas ao descarte sendo uma alternativa de uso de materiais convencionais, os quais geram um impacto maior no ambiente devido a todo o seu processo de fabricação.

Durante a extração dos blocos das rochas naturais (ver Figura 1), 25% a 30% são transformados em pó, sendo que no Brasil, estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas/ano de resíduos destas rochas. Sem um direcionamento correto, este pó é depositado em locais totalmente inapropriados, gerando graves impactos ambientais (FORMIGONI, 2006).

Figura 1: Extração de blocos de rochas ornamentais.

Fonte: Granitos Mario Figueiredo, 2018.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência da substituição parcial da gipsita por resíduos de pedras ornamentais na produção de blocos de gesso sustentáveis, buscando desenvolver um novo produto ecologicamente correto e difundir o seu uso na construção civil.

1.2.2 Objetivos Específicos

Analisar a viabilidade técnica do resíduo como material alternativo, garantindo uma nova forma de destinação final para tais;

Caracterizar fisicamente os componentes da mistura para produção dos blocos (gesso e o resíduo);

Analisar as propriedades dos blocos de gesso perante os diferentes percentuais de resíduos;

Desenvolver um produto mais resistente e reduzir os impactos ambientais gerados pelo lançamento destes resíduos na natureza.

1.3 Estrutura do Trabalho

O referido trabalho foi estruturado em cinco capítulos. Sendo que o primeiro apresenta uma introdução ao tema abordado e a contextualização da pesquisa na realidade da construção civil nos dias atuais. Também é apresentado os objetivos e a justificativa do estudo em questão que fundamentam a sua relevância para construção civil no Brasil.

No capítulo dois é apresentada a fundamentação teórica acerca do tema abordado, caracterizando os elementos presentes da pesquisa, através da revisão da literatura especializada. É abordado o papel ambiental da construção civil, e sua relação direta com o meio ambiente, e o conceito, classificação e propriedades do gesso, e contextualizando com a produção de rochas ornamentais no Brasil descrevendo diretamente a sua importância, seu processo construtivo e os principais impactos causados ao meio ambiente.

Já no capítulo três é descrita a metodologia da pesquisa adotada através do detalhamento do programa experimental, caracterização dos materiais utilizados e descrição dos componentes e das etapas de execução dos ensaios realizados.

No capítulo quatro são apresentados, analisados, discutidos e relacionados os resultados obtidos a partir dos objetivos propostos.

Finaliza-se com o capítulo cinco que aponta as considerações finais acerca do referido trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Estudos arqueológicos mostram que o gesso é utilizado como material construtivo desde o período neolítico, no início do uso da pirotecnia (GOURDIN; KINGERY, 1975).

Segundo Gourdin e Kingery (1975), o uso do gesso como material construtivo remonta ao ano 7000 a.C., tendo sido identificada sua presença em amostras de materiais oriundos de ruínas na Turquia (Anatólia) e na Síria, onde eram aplicados como argamassa para pisos, suporte de afrescos e fabricação de recipientes.

Durante o século X, também se pode observar a utilização do gesso como material construtivo no Vale de M'zab na África (Argélia), onde o material era empregado na construção de barragens e canais que asseguravam a irrigação das palmeiras em torno das quais eram construídas habitações em blocos de adobe unidos com gesso (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2001).

A disseminação da utilização do gesso no Ocidente ocorreu após a invasão romana, na França, no ano 222 a.C., quando os processos construtivos com esse material passaram a ser desenvolvidos e difundidos pelos "pedreiros do gesso". A técnica utilizada nas construções constituía na associação do gesso à madeira, sendo amplamente empregado até a época merovíngia e carolíngia nos séculos V e X. Ainda nessa época o gesso foi amplamente utilizado na região parisiense em elementos decorativos de sarcófagos (ANGELERI; CARDOSO; SANTOS 1982).

A disseminação do uso do gesso na Europa, no período compreendido entre o século XII e o XVIII, é evidenciada pela presença de argamassas de gesso utilizadas em construções antigas em Portugal (SILVEIRA; VEIGA; BRITO, 2007), bem como pelo seu uso em moldes para a indústria cerâmica inglesa no ano de 1750 (GERMAN, 1977).

Os primeiros estudos científicos relacionados ao gesso remontam ao final do século XVIII e início do século XIX, quando Lavoisier, em 1798, apresentou à Academia de Ciências Francesa o primeiro estudo sobre os fenômenos relacionados à origem da preparação do gesso. Foi seguido por Vant'Hoff e Le Chatelier (1887), que elaboraram uma explicação científica sobre a desidratação da gipsita e a hidratação do gesso (JOHN; CINCOTTO, 2007).

No século XX, com o desenvolvimento industrial, novas tecnologias foram agregadas à produção do gesso e proporcionaram a fabricação de um material com maior qualidade e desempenho adequado a novas aplicações, tais como: revestimento de paredes na forma de

argamassa e pasta, confecção de componentes pré-moldados para forros e divisórias (blocos e painéis de gesso acartonado), e elementos decorativos (CINCOTTO; AGOPYAN; FLORINDO, 1988).

Contudo, podemos inferir de maneira objetiva que à adição do pó de pedras ornamentais em substituição parcial ao aglomerante natural (gesso), poderá ocasionar vantagens nos quesitos: ambiental, econômico e tecnológico.

Ambiental: porque minimizará a exploração de gesso, sendo que esse aglomerante será substituído parcialmente pelo resíduo. Os rejeitos de pedras ornamentais terão destino adequado, evitando acúmulo de poluente no meio ambiente.

Econômico: pois reduzirá consumo de energia (já que o rejeito não passará por nenhum tipo de beneficiamento, será utilizado na sua forma natural), bem como aquisição de matérias primas.

Tecnológico: porque suas características, como granulometria fina e composição química pré-definida, poderão proporcionar ganhos nas propriedades mecânicas e durabilidade dos novos materiais.

Neste contexto o bloco enriquecido produzido com resíduos de rochas ornamentais aparece como uma ótima alternativa para obtenção de um produto ecologicamente correto, de baixo custo, durável, de fácil manuseio e que atenda às especificações técnicas.

2.1 Gesso

A gipsita é o mineral básico da matéria-prima utilizada na obtenção do gesso. É constituída principalmente de sulfato de cálcio di-hidratado ($CaSO_4 . 2H_2O$), podendo ser oriunda de fontes naturais e de fontes residuais (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Os depósitos de gipsita, matéria prima utilizada para a fabricação do gesso, têm sua origem na precipitação do sulfato de cálcio contido em águas marinhas submetidas à evaporação (PEREIRA, 1973).

Há dois tipos de gesso hemi-hidratado; Alfa e Beta, conforme. o processo de calcinação seja feito por via seca ou úmida. Se a gipsita for calcinada a seco sob pressão atmosférica, ou baixa pressão, será obtida o hemidrato β. Caso a calcinação ocorra sob pressão de vapor de água saturante, será obtido o hemidrato α. Devido ao menor tempo de pega, maior resistência mecânica e custo mais elevado, o hemidrato α tem sua maior

utilização como gesso hospitalar. Já o β, com custo de produção mais baixo, predomina no gesso de construção civil nacional (CINCOTTO et al., 1988).

No Brasil, as principais reservas de gipsita natural ocorrem associadas às bacias sedimentares: Amazônica (Amazonas e Pará); do Parnaíba (Maranhão e Tocantins); Potiguar (Rio Grande do Norte); do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco); e do Recôncavo (Bahia). As reservas minerais medidas de gipsita nacional correspondem a 1.001.031.085 toneladas, concentradas no estado da Bahia (42,7 %), no estado do Pará (30,3 %), e no estado de Pernambuco (25,1 %), as demais reservas encontram-se distribuídas em ordem decrescente entre os estados do Maranhão, Ceará, Piauí, Amazonas e Tocantins (BRASIL, 2001).

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, Exu, Ipubi, Santa Filomena e Trindade, que compõem a microrregião de Araripina (ver Figura 2). 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 % (BALTAR et al., 2005).

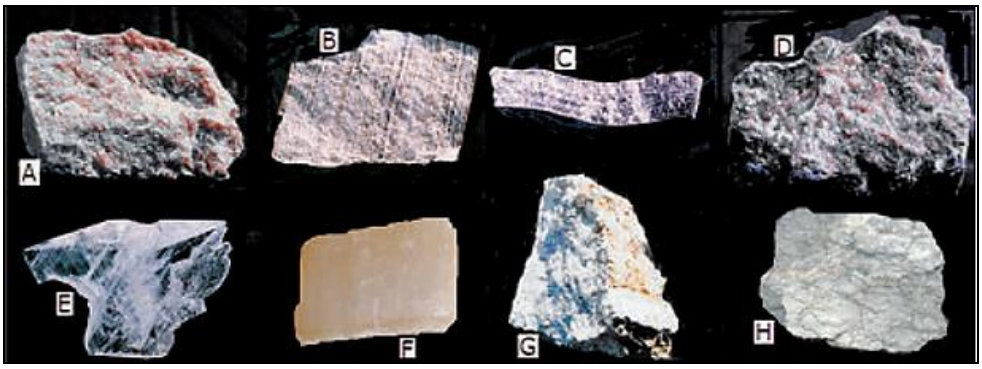
Figura 2: Polo gesseiro do Araripe.

Fonte: Fundação Araripe, 2018.

Em Araripe, é possível observar variedades de gipsita, conhecidas na região com os nomes de: cocadinha, rapadura, pedra Johnson, estrelinha, alabastro e selenite, além da

anidrite (ver Figura 3). A utilização de cada uma dessas variedades depende da utilização industrial a que se destina (BALTAR et al., 2005).

Figura 3: Variedades de gipsita e amostra de anidrite encontradas na região do Araripe, Pernambuco: (A) Johnson; (B) cocadinha; (C) rapadura; (D) estrelinha; (E) selenite; (F) alabastro; (G) boró e (H) anidrite.



Fonte: Elementos Consultoria, 2018.

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 (SINDUSGESSO, 2007).

2.2 Pedras Ornamentais

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se neste caso os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, dentre outros. (MME, 2009).

O Brasil está entre os cinco maiores produtores mundiais de rochas ornamentais. Empregadas como elemento estrutural de monumentos, na fabricação de concreto e na construção civil, o uso das rochas ornamentais teve seu início quando o homem utilizava as cavernas para abrigo e proteção. O Brasil e o Espírito Santo são grandes produtores de rochas

ornamentais. O estado é o maior exportador brasileiro, sendo responsável por 65% das exportações do país em 2006. A maior cidade da região sul do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, é conhecida nacionalmente pela produção de rochas ornamentais, destacando-se pelo pioneirismo no setor (SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA – SETEC, 2007).

2.2.1 Processo de Extração

Inicia-se com a realização de uma pesquisa de solo, onde se levanta o potencial e qualidade das rochas, dentre outras características. Essa análise é feita por profissionais qualificados, geralmente geólogos e engenheiros de minas, que baseados em critérios técnicos, condicionantes geológicas (regionais e locais) estimativas de reservas, constituintes físico-química da rocha, deliberam sobre viabilidade da lavra, ou concluem sobre a melhor forma de extração, evitando perdas e consequentemente menores impactos.(SOUSA, 2007).

As rochas ornamentais possuem fluxos de processos produtivos diferentes uns dos outros. Cada tipo de rocha apresenta características que exigem técnicas específicas de exploração e beneficiamento, que visam ao melhor aproveitamento da jazida e à superior qualidade do produto final. Conforme as características da lavra e do beneficiamento, podem-se dividi-las em três grupos, assim como estabelecido na Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004, em ardósias, mármores e granitos, e quartzitos (GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2015).

O beneficiamento de rochas ornamentais é dividido em: extração e desdobramentos de blocos, polimento, cortes e acabamentos finais (AGUIAR, 2007).

2.2.2 Extração da Lavra e Beneficiamento

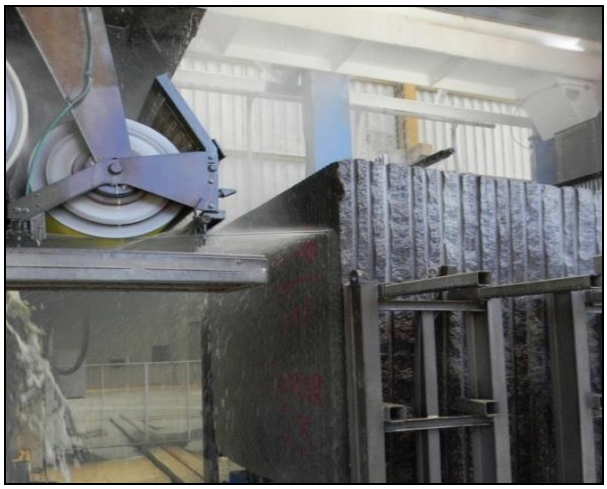
É denominado de lavra uma das primeiras etapas de beneficiamento das rochas ornamentais. As explorações de jazidas de rochas ornamentais são realizadas através da combinação de diversas técnicas disponíveis, com o intuito de otimizar os ciclos produtivos, e os resultados econômicos e financeiros (REGADAS, 2006).

Os tamanhos dos blocos extraídos neste processo variam de 5 m^3 a 10 m^3. A extração dos blocos em dimensões ideais deve ser garantida, para melhor aproveitar o material e

atender à capacidade produtiva dos equipamentos das fases posteriores (MAIA, LACERDA, 2000).

O serviço de beneficiamento das rochas ornamentais (Figura 4) divide-se em três etapas: desdobramento do bloco (serragem/corte do bloco em chapas), tratamento superficial das chapas por meio de levigamento, polimento e outros processos de acabamento e corte das chapas em peças de dimensões comerciais (AGUIAR, 2007).

Figura 4: Beneficiamento (Polimento) da Rocha.



Fonte: Guia Técnico Ambiental da Indústria de Rochas Ornamentais, 2015.

Na etapa de beneficiamento, principalmente nas operações de serragem, calibragem, aplainamento e furação das peças, é gerado um pó de fina granulometria, que, juntamente com a água de resfriamento, forma uma polpa com alto grau de turbidez. Os impactos no meio ambiente provenientes da emissão desse efluente podem estar relacionados ao assoreamento e a alteração da turbidez dos corpos d’água (GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2015).

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 (CALMON; SILVA, 2006).

Nesse aspecto à utilização desses resíduos gerados nos processos de beneficiamento de rochas ornamentais é incorporando na produção dos blocos de gesso recicláveis propostos, fazendo com que os impactos ambientais sejam minimizados.

2.3 Blocos de Gesso

2.3.1 Conceito

Segundo a norma ABNT NBR 16494 (2017), os blocos de gesso podem ser definidos como: componentes fabricados industrialmente compostos basicamente de gesso, com formato de paralelepípedo, podendo ser maciço ou vazado, possuindo duas faces planas e lisas, com encaixes macho e fêmea em lados opostos.

2.3.2 Propriedades dos Blocos de Gesso

As principais propriedades estudadas dos blocos de gesso para vedação vertical são: densidade, absorção de água, resistência a flexão e dureza. De acordo com a norma ABNT NBR 16495/2016, a densidade é a relação entre a massa e o volume do bloco e a dureza superficial é a resistência à penetração.

3 METODOLOGIA

O trabalho em questão trata-se de um estudo experimental e bibliográfico aplicado, com uma abordagem quantitativa. Todos os componentes utilizados para a produção dos blocos de gesso sustentáveis passaram por experimentos e análises em laboratórios específicos, uma vez que a qualidade destes blocos está totalmente relacionada ao resíduo e ao aglomerante utilizados na mistura, portanto, conhecer suas propriedades é de suma importância.

O procedimento experimental foi dividido nas seguintes etapas:

- Caracterização do aglomerante e do resíduo reciclado;
- Produção dos blocos de gesso alternativos e caracterização de suas propriedades.

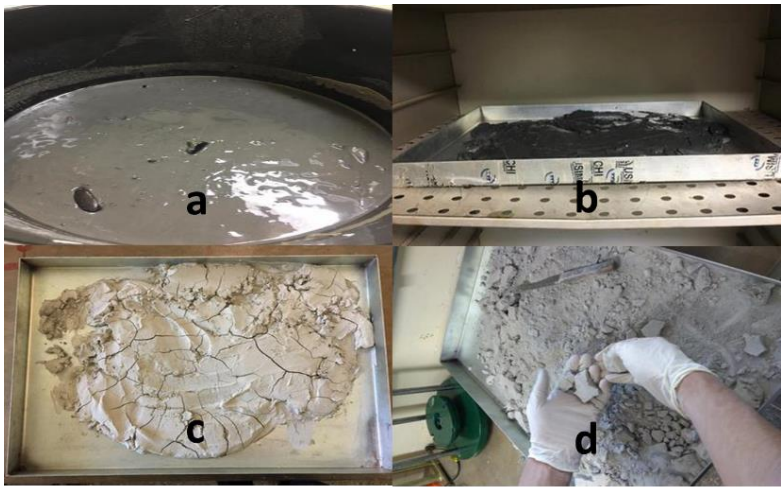
3.1 Caracterização do Resíduo Reciclado

Os resíduos de pedras ornamentais (pó) foram coletados em forma de lama em uma empresa (marmoraria) instalada no município de Sousa – PB. logo após esse procedimento os rejeitos foram levados ao laboratório de Materiais de Construção Civil do IFPB-*Campus* Cajazeiras, onde passaram por um processo de triagem.

O material foi utilizado exatamente como colhido sem qualquer separação ou tratamento (beneficiamento) 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 secagem o resíduo foi destorroado e peneirado, como podemos observar na Figura 5.

A Tabela 1 e a Figura 6 ilustram os experimentos realizados para o estudo do rejeito em questão.

Figura 5: Coleta e tratamento do resíduo de pedras ornamentais: material em forma de lama (a), material na estufa para secagem (b), material após secagem (c) e material em processo de destorroamento (d).



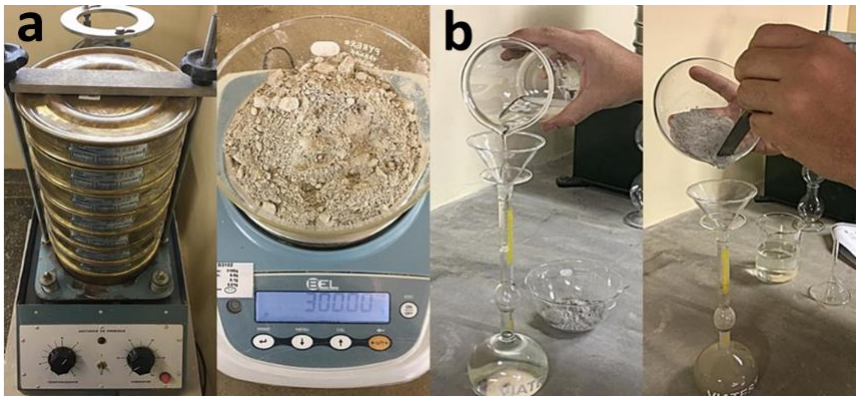
Fonte: Autor, 2019.

Tabela 1: Caracterização do resíduo de pedras ornamentais.

Ensaio	Norma
Massa Específica	ABNT NBR 16605/2017: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.
Análise Granulométrica	ABNT NM 248/2003: Agregados - Determinação da composição granulométrica.

Fonte: Autor, 2019.

Figura 6: Ensaio de granulometria (a) e massa específica (b).



Fonte: Autor, 2019.

3.2 Caracterização do Gesso

Os blocos em sua totalidade são produzidos com uma argamassa simples de gesso e este, por sua vez, é importantíssimo pois está intimamente ligado as suas propriedades como: absorção de água, densidade, dureza e resistência à flexão.

O gesso utilizado no presente trabalho foi obtido em loja de materiais de construções do mercado local, na cidade de Cajazeiras-PB, 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 pré-moldados ou aplicação como revestimento de paredes.

Para tal componente foram realizados os ensaios demonstrados na Tabela 2 e Figura 7.

Tabela 2: Caracterização do gesso.

Ensaio	Norma
Massa Específica	ABNT NBR 16605/2017: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.
Análise Granulométrica	ABNT NBR 12127/2017: Gesso para construção civil — Determinação das propriedeades físicas.

Fonte: Autor, 2019.

Para realização de todos os ensaios para caracterização do gesso foram utilizadas as metodologias descritas nas normas regulamentadoras acima, facilitando dessa forma o seu processo de caracterização.

Figura 7: Ensaio de granulometria (a) e massa específica (b).

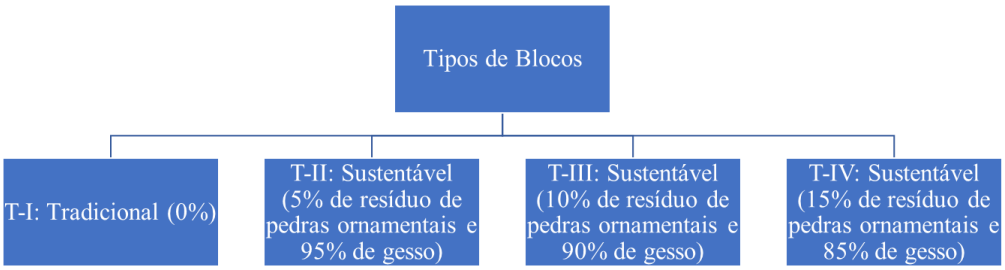
Fonte: Autor, 2019.

3.3 Produção dos Blocos de Gesso Sustentáveis e Caracterização de Suas Propriedades

3.3.1 Produção dos Blocos de Gesso Sustentáveis

Para realização da pesquisa foram produzidos blocos de gessos tradicionais sem nenhum tipo adição (T-I), onde foram utilizados 11 kg de gesso e 12,5 l de água, fator água/aglomerante de 0,88, para tal. A partir destes, mais três tipos de blocos foram produzidos, blocos sustentáveis, 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 mostrado na Figura 8.

Figura 8: Tipos de blocos produzidos.



Fonte: Autor, 2019.

Os blocos foram moldados em uma fábrica especializada neste segmento, localizada no município de Barbalha - CE. Para a produção da argamassa utilizada nas peças, foi inserida água na argamassadeira mecânica, onde o gesso foi pesado e inserido nesse equipamento, sendo misturado em torno de 4 minutos, até obter uma pasta uniforme. Após esses procedimentos a pasta é lançada em uma forma paralelepipedal para moldagem com dimensões de 66,6 cm x 45,5 cm x 7,5 cm. Vide Figuras 9,10 e 11.

Figura 9: Mistura dos componentes para produção dos blocos.

Fonte: Autor, 2019.

Figura 10: Moldagem dos blocos.

Fonte: Autor, 2019.

Figura 11: Desmoldagem dos blocos.

Fonte: Autor, 2019.

3.4 Caracterização dos Blocos

Após o processo de fabricação dos blocos, estudar as suas propriedades é de fundamental importância, uma vez que, o desempenho deste produto está ligado a suas características.

Os blocos sustentáveis foram comparados com o tradicional referente as seguintes propriedades: absorção, densidade, dureza e resistência na flexão. Todos os ensaios foram realizados seguindo a norma ABNT NBR 16495/2016: Bloco de gesso para vedação vertical – Método de ensaio.

3.5 Capacidade de Absorção dos Blocos

Para o ensaio de capacidade de absorção os blocos foram submergidos em um reservatório de água de modo que sua face inferior não entrou em contato com o fundo do reservatório e sua face superior estava com uma lâmina de água de (5 ± 1) cm.

Os blocos permaneceram 120 min em imersão, conforme estabelecido pela NBR 16495/2016.

A expressão dos resultados da capacidade de absorção é dada pela seguinte expressão:

$$A_b = \frac{(M_4 - M_3)x\ 100}{M_3}$$

Onde:

A_b é a absorção de água, expressa em porcentagem (em %);

M_3 é a massa do bloco, expressa em quilogramas (em kg);

M_4 é a massa obtida após imersão do bloco por 120 minutos, expressa em quilogramas (em kg).

É importante lembrar que antes de iniciar o ensaio de absorção, foi feito o fechamento de todos os alvéolos contidos nos blocos com uma espuma expansiva, produto selante adesivo elástico à base de poliuretano que é resistente contra a ação climática e possui secagem rápida (em torno de dez minutos), a espuma foi aplicada nos orifícios preenchendo todo os vazios.

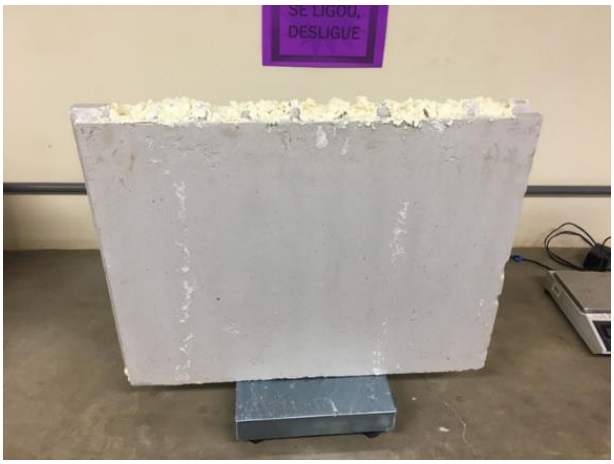
Antes da aplicação todos os alvéolos foram limpos e livres de qualquer resíduo, foram necessários cerca de seis tubos para completa vedação de todas as placas utilizadas no ensaio.

Nas Figuras 12, 13 e 14 podemos observar as etapas do referido ensaio.

Figura 12: Preenchimento dos vazios com espuma expansiva.

Fonte: Autor, 2019.

Figura 13: Determinação do peso dos blocos.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 14: Blocos submersos.

Fonte: Autor, 2019.

3.6 Densidade dos Blocos

A densidade do bloco deve ser determinada dividindo-se sua massa (M) pelo seu volume total (V_t), sendo o resultado dado em kg/m³.

Os blocos devem ser colocados na balança para obtenção da massa (M), expressa em quilogramas (kg).

A determinação do volume do bloco deve ser calculada a partir da equação seguinte:

$$V_t = E_m \times C_m \times A_m$$

Onde:

V_t é o volume total do bloco, expresso em metros cúbicos (m³);

E_m é a espessura média, expressa em metros (m);

C_m é o comprimento médio, expresso em metros (m);

A_m é a altura média, expressa em metros (m).

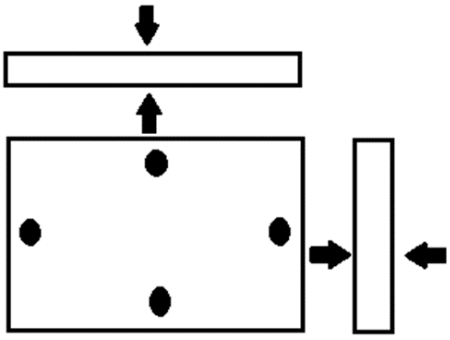
Para se calcular a densidade dos blocos é necessário possuir os valores correspondentes a todas as suas medidas. De acordo com a NBR 16495/2016 podemos obter esses valores da seguinte maneira:

a) Determinação da espessura do bloco

A espessura do bloco deve ser determinada a partir da média aritmética das medidas das espessuras das quatro arestas.

As medidas das espessuras devem ser tomadas no centro conforme indicado na Figura 15.

Figura 15: Espessura dos blocos.



Fonte: ABNT NBR 16495:2016.

A espessura deve ser expressa em milímetros, resultante da média aritmética de quatro medidas efetuadas por bloco, sendo:

$$E_m = \frac{(E_1 + E_2 + E_3 + E_4)}{4}$$

Onde:

E_m: é a espessura média, expressa em milímetros (mm);

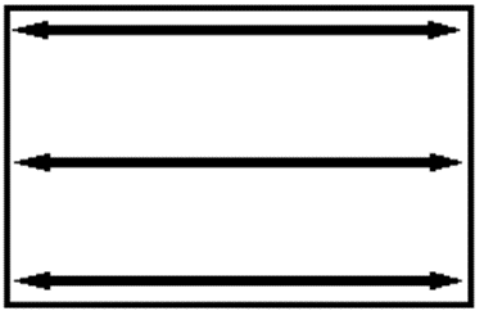
E_1, E_2, E_3 e E_4 são as espessuras medidas nas quatro arestas.

b) Determinação do comprimento do bloco

O comprimento do bloco deve ser determinado a partir da média aritmética de três medidas efetuadas sobre uma das faces lisas na direção da maior dimensão, conforme demostrado na Figura 16.

A primeira medida é efetuada passando no centro da superfície e as outras duas paralelas à primeira, a 5,0 cm das bordas.

Figura 16: Comprimento dos Blocos.



Fonte: ABNT NBR 16495:2016.

O comprimento deve ser expresso em milímetros (mm), resultante da média aritmética de três medidas efetuadas por bloco.

$$C_m = \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{3}$$

Onde:

C_m é o comprimento médio, expresso em milímetros (mm);

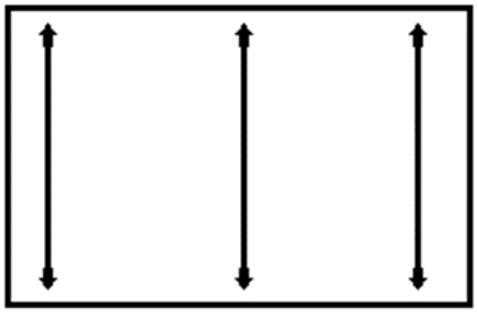
C_1, C_2 e C_3 são os comprimentos medidos na face lisa do bloco.

c) Determinação da altura do bloco

A altura do bloco deve ser determinada a partir da média aritmética de três medidas efetuadas sobre uma das faces lisas na direção da menor dimensão, conforme demonstrada na Figura 17.

A primeira medida é efetuada passando no centro da superfície e as outras medidas paralelas à primeira, a 5,0 cm das bordas.

Figura 17: Altura dos blocos.



Fonte: ABNT NBR 16495:2016.

A altura deve ser expressa em milímetros (mm), resultante da média aritmética de três medidas efetuadas por bloco.

$$A_m = \frac{(A_1 + A_2 + A_3)}{3}$$

Onde:

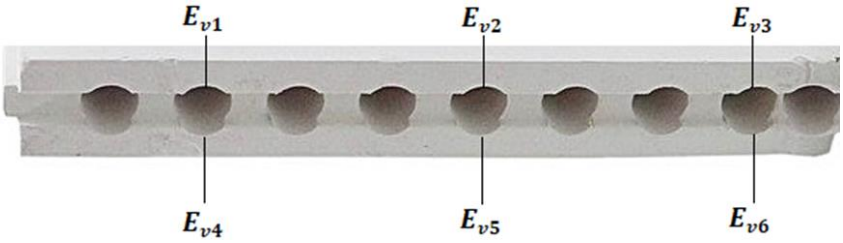
A_m é a altura média, expressa em milímetros (mm).

A_1, A_2 e A_3 são as alturas medidas na face lisa do bloco.

d) Medida da espessura da superfície do vazado

Foram aferidas as medidas das espessuras da superfície do vazado em três furos, conforme demostrado na Figura 18.

Figura 18: Espessura da superfície do vazado.



Fonte: Autor, 2019.

A espessura da superfície do vazado deve ser expressa em milímetros (mm).

3.6.1 Determinação da Densidade dos Blocos

A densidade do bloco deve ser determinada dividindo-se sua massa (M) pelo seu volume total (V_t), sendo o resultado dado em kg/m³.

Os blocos devem ser colocados na balança para obtenção da massa (M), expressa em quilogramas (kg).

A determinação do volume do bloco deve ser calculada a partir da equação seguinte:

$$\mathbf{V_t = E_m \ x \ C_m \ x \ A_m}$$

Onde:

V_t é *o volume total do bloco, expresso em metros cúbicos* (m^3);

E_m é *a espessura média, expressa em metros* (m);

C_m é *o comprimento médio, expresso em metros* (m);

A_m é *a altura média, expressa em metros* (m).

3.7 Dureza

Para determinação da dureza dos blocos foram realizadas seis medidas por face em locais alternados, resultando em um total de 12 medidas por bloco e dosagem estudada.

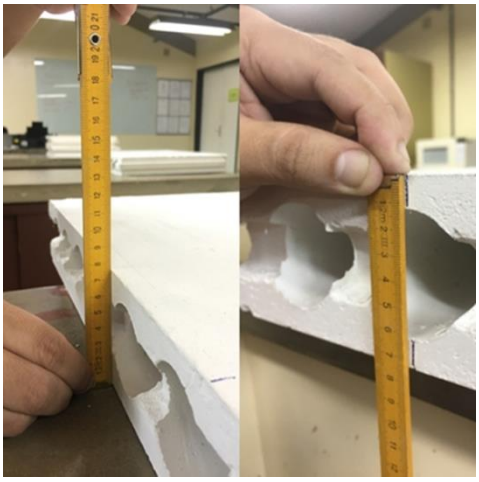
O aparelho utilizado nas medições foi o durômetro Shore C, conforme especificado na ABNT NBR 16495/2016.

O durômetro é um instrumento exclusivo, utilizado para medir a dureza materiais desde os mais rígidos até os mais frágeis. O processo de manuseio do instrumento é bastante simples, sendo o material submetido a uma pressão definida aplicada através de uma mola calibrada, onde o valor da dureza é dado pela profundidade da penetração no material analisado.

A dureza superficial é a média aritmética dos valores encontrados para cada bloco, expressa em unidade Shore C (u.s.c).

Nas Figuras 19 e 20 podemos observar todas as etapas do ensaio.

Figura 19: Medição das faces dos blocos.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 20: Determinação da dureza do bloco.

Fonte: Autor, 2019.

3.8 Resistência à flexão

Para o ensaio de flexão os blocos maciços foram cortados no sentido do comprimento e sem apresentar encaixes conforme preconizado pela NBR 16495/2016.

Os blocos vazados foram cortados no sentido paralelo aos vazios e sem apresentar encaixes, de modo que o corpo de prova apresentou dois furos. O corte longitudinal foi realizado no sentido de obter-se a maior espessura do furo para a realização do ensaio.

Na realização do ensaio de tração, o corpo de prova foi disposto horizontalmente sobre os cutelos de apoio e o cutelo superior foi posicionado no centro do corpo de prova.

Gradativamente foi-se ocorrendo o acréscimo de carga até a ruptura dos blocos.

O módulo de resistência à flexão para blocos maciços é determinado pela seguinte fórmula:

$$R_f = \frac{(3\ x\ P\ x\ L\ x\ h)}{[2\ x\ (b\ x\ h^3 - d^4)]}$$

Onde:

R_f é o modulo de resistência à flexão, expressa em MegaPascal (MPa);

P é a carga de ruptura registrada na prensa, expressa em Newton (N);

L é a distância entre os eixos dos cutelos inferiores (L=250mm);

h é a altura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

b é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

d é o diâmetro dos vazios, expressa em milímetros (mm).

Na Figura 21 podemos observar o método de ensaio empregado na determinação da resistência à flexão.

Figura 21 – Resistência à flexão dos blocos.

Fonte: Autor, 2019.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capitulo serão abordados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios de todos os materiais anteriormente estudados. Os dados serão apresentados em dois grupos: resultado da caracterização do gesso juntamente com o de resíduo de pedras ornamentais e propriedades dos blocos de gesso.

4.1 Resultado da Caracterização do Gesso e do Resíduo de Pedras Ornamentais

Tanto o gesso quanto o resíduo são materiais pulverulentos, pois, possuem módulo de finura 1,59 e 1,36, respectivamente. Isso já era esperado pelo fato de os dois componentes serem resultantes de britagem de rochas.

As massas específicas foram de ordem 2,63 g/cm³ para o gesso e 2,69 g/cm³ para o pó de mármores.

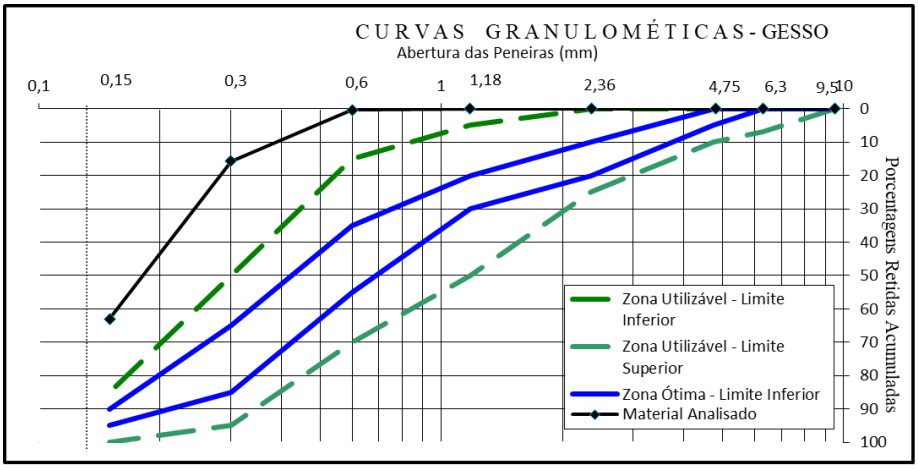
A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos na caracterização do gesso e do resíduo reciclado. As Figuras 22 e 23 ilustram as curvas granulométricas dos materiais analisados.

Tabela 3: Resultado da caraterização do gesso e do resíduo de pedras ornamentais.

Ensaio		Gesso	Resíduo de Pedras Ornamentais
Massa Específica (d_3)		2,63 g/cm³	2,69 g/cm³
Granulometria	Módulo de Finura	1,59	1,36
	Dimensão Máxima Característica	0,6 mm	0,6 mm

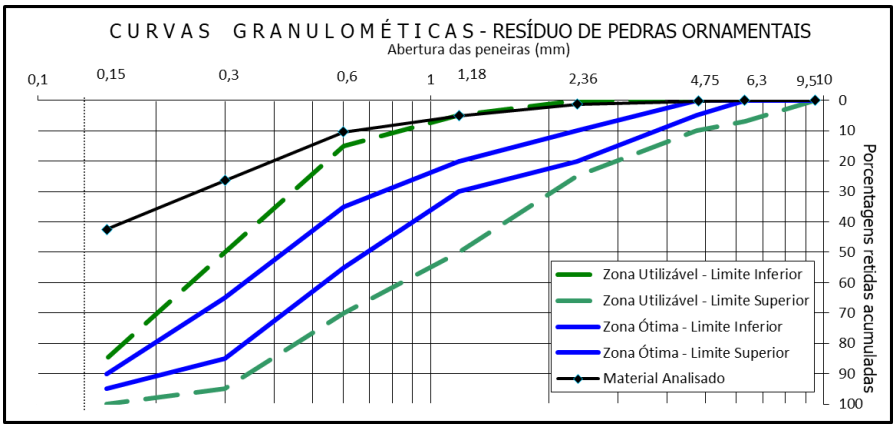
Fonte: Autor, 2019.

Figura 22: Curva granulométrica do gesso.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 23: Curva granulométrica do resíduo de pedras ornamentais.



Fonte: Autor, 2019.

4.2 Resultado da Caracterização das Propriedades dos Blocos de Gesso

Para obter o desempenho especificado pelas normas dos blocos de gesso é muito importante conhecer suas propriedades e características.

4.2.1 Absorção de Água

Todos os blocos sustentáveis obtiveram redução de absorção de água em relação ao bloco tradicional. Os valores foram de respectivamente, 2,07 %, 4,33 % e 12,58 % para os blocos TII, TIII e TIV.

Observando a Tabela 4 e o Gráfico 1, verifica-se que quanto maior a substituição do resíduo alternativo, menor é a absorção de água dos blocos convencionais.

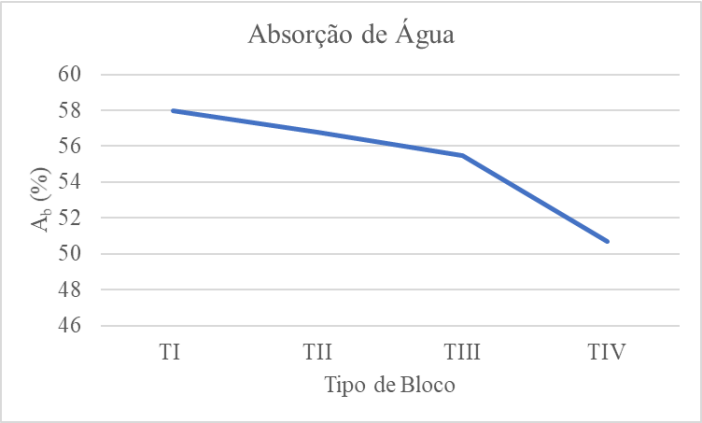
Esse fenômeno ocorreu pelo fato de os materiais utilizados na produção dos blocos terem granulometria diferentes, o que ocasionou um melhor empacotamento dos grãos, os espaços vazios que existiam entre os grãos de gesso foram preenchidos pelo resíduo de pedras ornamentais, reduzindo, portanto, a absorção de água.

Tabela 4: Resultado da absorção de água dos blocos.

Absorção de Água (A_b)	
Tipo de Bloco	Resultado (%)
TI	57,96
TII	56,76
TIII	55,45
TIV	50,67

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 1: Absorção de água.



Fonte: Autor, 2019.

Segundo a norma ABNT NBR 16494/2017: Bloco de gesso para vedação vertical – Requisitos, todos os blocos de gesso são classificados como simples, indicados somente para áreas secas, por possuírem absorções maiores que 5 %.

4.2.2 Densidade

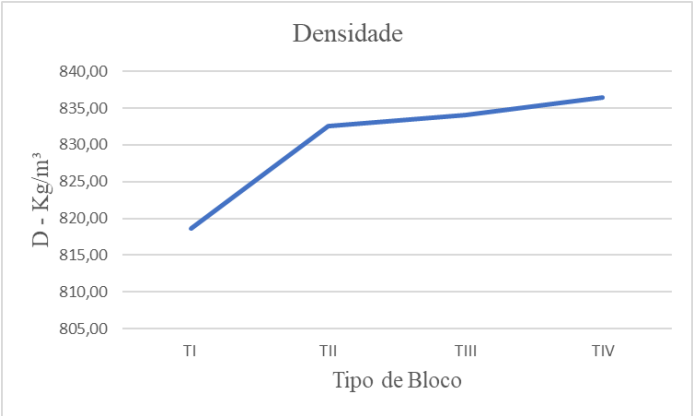
De acordo com a Tabela 5 e o Gráfico 2, observa-se que quanto maior a substituição do resíduo alternativo, maior são as densidades dos blocos, isso graças a maior compacidade da pasta, devido ao preenchimento dos vazios por tal rejeito.

Tabela 5: Resultado da densidade dos blocos.

Densidade (D)	
Tipo de Bloco	Resultado (Kg/m³)
TI	818,60
TII	832,49
TIII	834,05
TIV	836,45

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 2: Densidade dos blocos.



Fonte: Autor, 2019.

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.

Todos os blocos são de densidade média, de cor branca, por possuírem valores entre 800 kg/m³ e 1.100 kg/m³, segundo a norma ABNT NBR 16494/2017: Bloco de gesso para vedação vertical – Requisitos.

4.2.3 Resistência à Flexão

O aumento da densidade ocasionou um melhor comportamento dos blocos sustentáveis no quesito resistência à flexão. Uma vez que por ser mais pulverulento que o gesso o resíduo de pedras ornamentais contribuiu como fíler na compacidade do conjunto, fazendo com que esse fenômeno acontecesse.

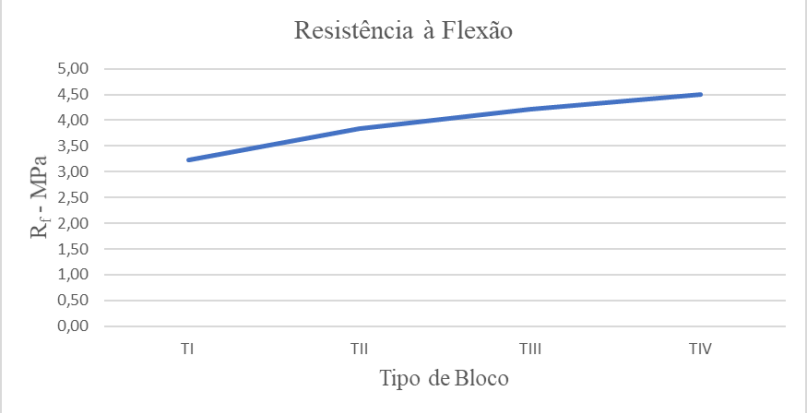
Os blocos sustentáveis (II, III e IV), obtiveram acréscimos de, 18,21 %, 30,25 % e 39,20 % em relação ao bloco convencional, I, vide Tabela 6 e Gráfico 3.

Tabela 6: Resultado da resistência à flexão dos blocos.

Resistência à Flexão (R_f)	
Tipo de Bloco	Resultado (MPa)
TI	3,24
TII	3,83
TIII	4,22
TIV	4,51

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 3: Resistência à flexão dos blocos.



Fonte: Autor, 2019.

Tanto os blocos convencionais como os alternativos, enquadram-se na classe de espessuras 50 e classe de espessura e à forma de alvéolos 70 cônico, por possuírem resistências maiores que 1,2 MPa, segundo a norma ABNT NBR 16494/2017: Bloco de gesso para vedação vertical – Requisitos.

4.2.4 Dureza

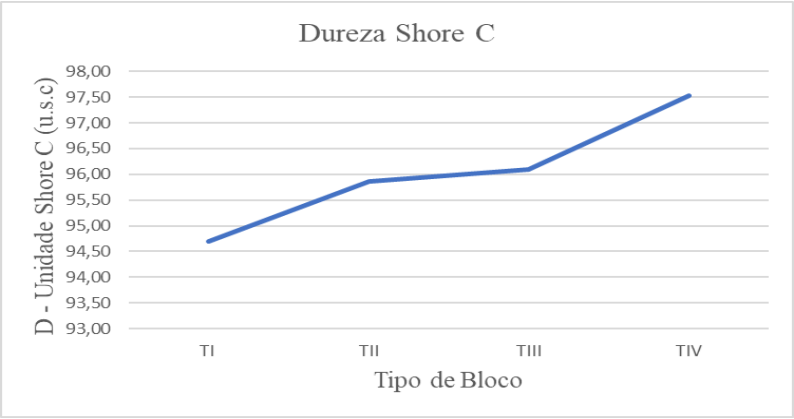
Em comparação ao traço I, os ganhos obtidos no que se refere à dureza foram na proporção de 1,23 %, 1,48 % e 2,98 % para os blocos II, III e IV, Tabela 7 e Gráfico 4. A ação do resíduo de pedras ornamentais na mistura como fíler, proporcionou uma superfície mais lisa devido a redução dos vazios. Quanto maior a adição desse rejeito, maior a dureza dos blocos.

Tabela 7: Resultado da dureza dos blocos.

Dureza Shore C	
Tipo de Bloco	Resultado Unidade Shore C (u.s.c.)
TI	94,70
TII	95,87
TIII	96,10
TIV	97,52

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 4: Dureza dos blocos.



Fonte: Autor, 2019.

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

5 CONCLUSÃO

Os materiais pré-fabricados reduzem o impacto ambiental e econômico, uma vez que os materiais são fabricados com controle de qualidade, maior durabilidade, menor desperdício durante a produção, menor variabilidade de características como resistência, dimensões; entre outros. A utilização de materiais reciclados no processo construtivo reduz a demanda por aqueles insumos não renováveis e a pressão ambiental nas áreas destinadas ao descarte sendo dessa forma uma alternativa para o uso de materiais convencionais, os quais geram um impacto maior no ambiente devido a todo o seu processo de fabricação.

A reciclagem é uma ótima alternativa para o problema de destinação final adequada para os resíduos oriundos do beneficiamento de rochas ornamentais, sendo essencial para a redução do impacto ambiental causada pela extração dessas rochas uma vez que considerando todo processo construtivo acarreta milhares de toneladas de resíduos anualmente.

A adição do resíduo reciclado na produção dos blocos sustentáveis contribuiu para a melhoria de todas as propriedades estudadas. Tal fato ocorreu devido ao fato do resíduo ser extremamente fino o que acabou por vir a agir como um fíler preenchendo os vazios dos blocos (empacotamento dos grãos).

Os blocos do tipo TIII, foram os que obtiveram maior desempenho na maioria das características, absorção de água 12,58 %, densidade 2,18 % e dureza 2,98 %. Em relação a resistência à flexão o destaque fica para os blocos do tipo TIV que obtiveram ganhos de até 39,20 %.

Portanto, após o presente estudo, conclui-se que a utilização do rejeito de pedras ornamentais tem grande potencial para ser inserido na fabricação de blocos de gesso, mitigando os diversos impactos ambientais provocados pela geração de tais resíduos, garantindo, assim, uma destinação mais adequada e sustentável para eles.

Infelizmente, os materiais ecológicos, como são conhecidos, enfrentam dificuldades em ser amplamente aceitos no mercado, tanto a falta de informação, quanto a sua durabilidade em relação aos materiais usados comumente ainda é muito grande o que a longo prazo, traz benefícios mútuos, quando comparados às técnicas tradicionais de construção.

REFERÊNCIAS

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR** 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica: Rio de Janeiro, 2003.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR** 12.127: Gesso para Construção - Determinação das propriedades físicas do pó: Rio de Janeiro, 2017.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR** 16494: Bloco de gesso para vedação vertical — Requisitos: Rio de Janeiro, 2017.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR** 16495: Bloco de gesso para vedação vertical – Método de ensaio: Rio de Janeiro, 2016.

ABREU, U.A., RUIZ, M.S., CARUSO, L.G Perfil 7- Rochas dimensionadas e aparelhadas. In: RUIZ, M.S., NEVES, M.R. (Coord.). Mercado produtor mineral do estado de São Paulo. São Paulo: I.P.T., 1990. p.137 – 151.

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.

ANGELERI, F. B.; CARDOSO, S. R. F.; SANTOS, P. S. As gipsitas brasileiras e sua aplicação como gesso na indústria cerâmica. Descrição dos métodos utilizados para seu estudo e caracterização. Parte I: Ensaios químicos. Cerâmica, São Paulo, v. 28, n. 156, p.471-479, dez. 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS. Apex e Abirochas: uma parceria de sucesso – Informe 02/2014. São Paulo/SP.

BRANDÃO, W., SARDOU FILHO, R., QUEIROZ, E.T. Mármore e granito e outras rochas ornamentais no Brasil. In: SCHOBBENHAUS, C., QUEIROZ, E.T., COELHO, C.E.S. (Coord.). Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília: D.N.P.M./C.P.R.M.. 1991.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Gipsita. CT2005-122-00. Rio de Janeiro: CETEM-Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005. 23 p. Comunicação Técnica.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. Balanço mineral brasileiro 2001: Gipsita. Brasil: DNPM, 2001. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P24_RT34_Perfil_da_Gipsita.pdf/cde62398-0912-43c2-af79-27c0651d1412. Acesso em: 07 jan. 2019.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. O gesso como material de construção: composição química. In: EDIFICAÇÕES IPT. Tecnologia de edificações. São Paulo: EDIFICAÇÕES IPT, 1988. p. 53-56.

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.; Alípaz, S. A gestão de recursos hídricos e a mineração. Brasília: Agência Nacional das Águas-ANA, Instituo Brasileiro de Mineração-IBRAM, 2006. Pág. 199-231.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (CETEM): Beneficiamento de Rochas Ornamentais, 2012. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/1736/1/CCL00050014_CAPITULO_07_opt.pdf. Acesso em: 12 fev. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-gipsita. Acesso em: 20 Mar. 2019.

DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 74, DE 9 DE SETEMBRO DE 2004. Disponível em: http://sisemanet.meioambiente.mg.gov.br/mbpo/recursos/DeliberaNormativa74.pdf. Acesso em: 10 mar. 2019.

GRANITOS MARIO FIGUEIREDO (GMF,Lda), 2018. Disponível em : http://www.granitosmariofigueiredo.com/extracao.php. Acesso em: 10 fev. 2019.

FORMIGONI, et. al. Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais. 2006.Disponível em: http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf. Acesso em: 20 fev. 2019.

GOURDIN, W. H.; KINGERY, W. D. The beginnings of pyrotechnology: neolithic and egyptian lime plaster. Journal of Field Archaeology, Boston, v. 2, n. 1, p.133-150, 1975. Disponível em: http://www.jstor.org/stable/529624. Acesso em: 10 fev. 2019.

GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2015. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2015/producao_susatentavel/guias-tecnicos-ambientais/guia-rochas.pdf. Acesso em: 10 fev. 2019.

GERMAN, W. L. Algumas notas sobre a fabricação e uso de gesso na indústria cerâmica. Cerâmica, v. 23 , n. 96, p. 270-273, nov.1977.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de construção civil. In: ISAIA, G. C. Materiais de construção civil. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 727-760.

KURESKI, R. et al. O macrossetor da construção civil na economia brasileira em 2004.Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p.7-19, jan./mar. 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Relatório Técnico 33 – Perfil de rochas ornamentais e de revestimento – 2009.

MAIA, M.P.; LACERDA, E.S. (2000) Tecnologias Limpas e Competitividade: Desafios da indústria baiana de rochas ornamentais. 40f. Monografia (Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria), Escola Politécnica. 2000.

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: 10° SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2016, Porto Alegre/RS.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. O gesso – produção e utilização na construção civil. Recife: Bagaço, 2001. 94 p.

PEREIRA, E.B. Perfil Analítico da Gipsita**.** Ministério das Minas e Energias. Departamento Nacional da Produção Mineral. Rio de Janeiro, Boletim nº. 15. 19p. 1973.

POLO GESSEIRO DO ARARIPE, 2018. Disponível em: http://fundacaoararipe.org.br/. Acesso: 04 fev. 2019.

REGADAS, I. C. M. C. Aspectos relacionados às lavras de granitos ornamentais com fio diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. 2006. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo/SP.

SOUSA, J. G. Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação em Cachoeiro de Itapemirim - Es. 2007. Especialização em Análise Ambiental – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais/MG.

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA - SETEC. Rochas Ornamentais – 2007. Brasília.

SILVEIRA, P. M.; VEIGA, M. R.; BRITO, J. Gypsum coatings in ancient buildings. Construction and Building Materials, v. 21, n. 1, p.126-131, jan. 2007.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO – SINDUSGESSO (Brasil). Consumo de gesso no Brasil. Assessoria de imprensa, 29 maio 2007. Disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/. Acesso em: 03 fev. 2019.

VARIEDADES DE GIPSITA E AMOSTRA DE ANIDRITE ENCONTRADAS NA REGIÃO DO ARARIPE, 2018. Disponível em: https://www.elementusconsultoria.com/. Acesso em: 05 fev. 2019.

APÊNDICE A- CÁLCULOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS RECICLADOS

Segue abaixo o memorial de cálculo detalhado referente aos ensaios executados para tabulação e conclusão dos resultados apresentados.

- **Capacidade de Absorção dos Blocos**

Para as referidos tipos de blocos analisados obtivemos os seguintes resultados:

T I:

M_3= 12,820 kg

M_4= 20,250 kg

$$A_b = \frac{(20{,}250 - 12{,}820)x100}{12{,}820}$$

$$\boldsymbol{A_b = 57{,}956\%}$$

T II:

M_3= 13,670 kg

M_4= 21,250 kg

$$A_b = \frac{(21{,}250 - 13{,}670)x100}{13{,}670}$$

$$\boldsymbol{A_b = 55{,}449\%}$$

T III:

M_3= 14,110 kg

M_4= 21,260 kg

$$A_b = \frac{(21{,}200 - 14{,}110)x100}{14{,}110}$$

$$\boldsymbol{A_b = 50{,}673\%}$$

T IV:

M_3= 13,530 kg

M_4= 21,210 kg

$$A_b = \frac{(21{,}210 - 13{,}530)x100}{13{,}530}$$

$$\boldsymbol{A_b = 56{,}762\%}$$

- **Determinação da Espessura do Bloco**

T I:

$$E_m = \frac{(77 + 80 + 79 + 79)}{4}$$

$$\boldsymbol{E_m = 78,75mm}$$

T II:

$$E_m = \frac{(77 + 80 + 79 + 79)}{4}$$

$$\boldsymbol{E_m = 78,75mm}$$

T III:

$$E_m = \frac{(77 + 80 + 79 + 79)}{4}$$

$$\boldsymbol{E_m = 78,75mm}$$

T IV:

$$E_m = \frac{(77 + 80 + 79 + 79)}{4}$$

$$\boldsymbol{E_m = 78,75mm}$$

- **Determinação do Comprimento dos Blocos**

T I:

$$C_m = \frac{(657 + 657 + 657)}{3}$$

$$\boldsymbol{C_m = 657,00mm}$$

T II:

$$C_m = \frac{(657 + 657 + 657)}{3}$$

$$\boldsymbol{C_m = 657,00mm}$$

T III:

$$C_m = \frac{(657 + 657 + 657)}{3}$$

$$\boldsymbol{C_m = 657,00mm}$$

T IV:

$$C_m = \frac{(657 + 657 + 657)}{3}$$

$$\boldsymbol{C_m = 657,00mm}$$

- **Determinação da Altura dos Blocos**

T I:

$$A_m = \frac{(499 + 492 + 495)}{3}$$

$$\boldsymbol{A_m = 495,33mm}$$

T II:

$$A_m = \frac{(499 + 492 + 495)}{3}$$

$$\boldsymbol{A_m = 495,33mm}$$

T III:

$$A_m = \frac{(499 + 492 + 495)}{3}$$

$$\boldsymbol{A_m = 495,33mm}$$

T IV:

$$A_m = \frac{(499 + 492 + 495)}{3}$$

$$\boldsymbol{A_m = 495,33mm}$$

- **Determinação da Densidade dos Blocos**

T I:

$$D = \frac{20,856}{(25,627X10^{-3} - 1,4902X10^{-4})}$$

$$\boldsymbol{D = 818,60\ kg/m^3}$$

T II:

$$D = \frac{21,250}{(25,627X10^{-3} - 1,4902X10^{-4})}$$

$$\boldsymbol{D = 834,05\ kg/m^3}$$

T III:

$$D = \frac{21{,}311}{(25{,}627X10^{-3} - 1{,}4902X10^{-4})}$$

$$\boldsymbol{D = 836{,}45\ kg/m^3}$$

T IV:

$$D = \frac{21{,}210}{(25{,}627X10^{-3} - 1{,}4902X10^{-4})}$$

$$\boldsymbol{D = 832{,}49\ kg/m^3}$$

- **Determinação da Dureza dos Blocos**

Determinação da Dureza - Shore C				
Tipo de Bloco				
	I	II	III	IV
Resultado - u.s.c	97,00	95,00	95,00	96,50
	95,00	94,50	97,00	95,50
	94,00	92,00	98,00	93,50
	90,00	95,50	93,50	92,50
	97,50	94,00	97,00	93,50
	94,50	91,00	95,00	90,50
	94,00	98,00	94,50	94,00
	95,50	98,50	98,00	90,50
	93,50	98,00	97,50	95,50
	94,50	98,50	95,00	95,00
	97,00	97,50	97,00	96,00
	94,00	98,00	93,00	94,50
Total	94,71	95,88	95,88	93,96

- **Determinação da Resistência à Flexão dos Blocos**

Determinação da Resistência à Flexão - R_f	
Tipo de Bloco	Resultado - MPa
I	3,24
II	3,83
III	4,22
IV	4,51