

ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETOS INCORPORADOS DE RESÍDUOS DE GESSO COMO AGREGADO

STUDY OF THE MECHANICAL RESISTENCE OF CONCRETES INCORPORATED WITH PLASTER WASTE AS AGGREGATE

Frederico Pedro Bon Bon^{1,2}. Claudia Gibertoni^{1,3,4,5}.

¹-FHO|UNIARARAS; ²-Discente; ³-Docente; ⁴-Orientador; ⁵-Profissional.

Endereço: Rua Victório Belline, 474. Bairro: Heitor Villa Lobos.

Cidade: Araras|SP. Cep: 13.607-440. E-mail: fredericoejr@gmail.com.

RESUMO

Desde a Revolução Industrial, no século XVIII, o homem aproveita sua extensa capacidade produtiva para satisfazer suas necessidades materiais e anseios econômicos. O meio natural demonstra sintomas e o paradigma dos recursos inesgotáveis se mostra uma ilusão. A construção civil chama atenção pela quantidade de resíduos gerados, sendo que a maioria desses descartes são tratados como rejeitos à medida que sua reutilização/reciclagem é barrada por inviabilidade técnica-econômica. Nesse sentido, o gesso, que é proveniente da gipsita, é um material muito comum na construção civil. Sua maleabilidade tem se adaptado às necessidades da arquitetura e sua aplicação é crescente. A resolução 307 do CONAMA regulamenta o gesso como resíduo classe C, ou seja, aquele que a reciclagem é tecnicamente inviável. Por isso, reciclar gesso como agregado miúdo em concretos é alternativa audaciosa. Os ensaios comprovaram que traços de substituição total do agregado por gesso é inviável, alcançando tensão resistente de 0MPa. Porém, a substituição parcial de 50% da areia do traço por pó de gesso se mostrou alternativa viável e os corpos ofereceram tensão resistente de até 7,50MPa. A fabricação de blocos de vedação é utilização válida para tais concretos.

Palavras-Chaves: gesso; concreto; reciclagem.

ABSTRACT

Since the Industrial Revolution in the eighteenth century, man has used his extended productive capacity to satisfy his material needs and economic yearnings. The natural environment shows symptoms and the paradigm of inexhaustible resources shows itself to be illusion. The civil construction draws attention to the amount of waste generated. Most discards are characterized by waste, but some are already treated as tailings as their reuse / recycling is hampered by technical-economic unfeasibility. Plaster, which comes from gypsum, is a very common material in construction. Its malleability has adapted to the needs of the architecture and its application is increasing. Resolution 307 of CONAMA regulates the plaster as waste class C, it means the recycling is technically unfeasible. Recycling plaster as a small aggregate in concrete is a bold alternative. The tests proved that traces of total replacement of the aggregate by plaster is infeasible, reaching tensile strength of 0MPa. However, the partial substitution of 50% of trace sand by plaster powder proved to be a viable alternative and the bodies offered resistant tension of up to 7.50MPa. The manufacture of sealing blocks is valid use for such concretes.

Key-Words: plaster; concretes; recycling.

INTRODUÇÃO

Na Inglaterra do século XVIII, a sociedade notou que os lentos e dispendiosos trabalhos artesanais tornaram-se mais dinâmicos e ágeis com

o auxílio de maquinário. Nesse período, foram introduzidas as primeiras máquinas a vapor que aumentaram a capacidade de produção das fábricas ao passo que crescia, também, a capacidade de gerar riqueza. Conforme Freitas (2016), mais adiante, as chaminés eram símbolos de poderio e desenvolvimento econômico e tecnológico para os britânicos, americanos, alemães e holandeses. Movidos pela necessidade de produção, o homem se apropria de forma drástica de todos os recursos da natureza, criando um paradigma de que estes são ilimitados. No contexto final do século XX, as populações tomaram consciência de que sua existência sobre o planeta não é mais sustentável nos ritmos e vicissitudes aos quais elas já estavam habituadas em uma enorme variedade de quesitos e que demandavam cada vez mais produção e descarte.

Agências de controle e de proteção ambiental, legislações específicas e novas terminologias surgiram para elencar a também nova posição que as sociedades devem assumir se quiserem perpetuar sua existência e o acesso ao ar de qualidade, água potável, produção de alimentos e manutenção dos espaços de desenvolvimento da flora e fauna. A normativa ISO 14.000, a Conferência sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas (Rio 92) que alicerçou a Agenda 21, entre outras medidas, são exemplos claros do novo protagonismo e do novo paradigma que vem sendo fomentado: os recursos são finitos. Entre as neo-terminologias estão a redução, a reutilização e a dimensão que mais será desenvolvida pelo presente trabalho: a reciclagem.

A nova postura foi amplificada quando se tomou conhecimento da aceleração do efeito estufa, buracos na camada de Ozônio, derretimento das geleiras e aumento do nível dos mares, problemas respiratórios causados por alta concentração de gases e particulados no ar das cidades e doenças trazidas por contato com água contaminada por resíduos provenientes de esgotamento residencial, industrial e agrícola. A gravidade do problema requer que seja repensada a extração de matérias-primas, os processos industriais, o transporte, as relações comerciais e o descarte de todo e qualquer material, englobando, aqui, os descartes da construção civil.

Maior geradora de resíduos sólidos atualmente, a construção civil o faz de todas as

formas, uma vez que, nas construções, necessita de matéria a ser extraída da natureza como as areias e o material pétreo; de produtos manufaturados em escala industrial como o cimento Portland, a cal e as cerâmicas. Dentro do canteiro de obras, a geração de resíduos cresce de maneira exponencial com o desperdício de materiais. Vale lembrar que o trabalho de Rodrigues (2001) afirma que “hoje já se sabe que as perdas de materiais – que viram entulho ou ficam incorporados à obra – chegam a 8%”. Este dado, assim como pesquisas *in loco*, desmistificam a antiga proposição de que, a cada três prédios, o material perdido era suficiente para edificar outro. Mesmo assim, afrontando os dados com a nova proposta de paradigma, o volume de material perdido ainda é imenso. Termina-se de englobar o problema da geração de resíduos com as demolições que se intensificam em épocas de economia forte e PIB crescente, demonstrando as reformas e as readequações dos espaços para abrigar as necessidades surgentes.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (2002, nº307) “estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil” com o intuito de reduzir os impactos que esses geram nos ambientes naturais. A resolução se preocupa com todas as vertentes geradoras de resíduos, como construções, reformas, demolições e escavações e é muito pertinente quando propõe unir a viabilidade técnica e a viabilidade econômica para a melhor forma possível da referida gestão. Um aspecto muito importante, é que a normativa propõe classificações para os resíduos produzidos, segregando-os em classes: A, B, C e D. A esse respeito, o artigo 3º (2002) declara:

Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

A classe C, voltada diretamente para resíduos que ainda não ofereceram atratividade para reciclagem ou reuso é o enfoque deste projeto, mais precisamente aqueles compostos por gesso. O gesso é um material pulverulento obtido por meio da calcinação da gipsita e que apresenta coloração branca. Rosso (2014) afirma que o futuro da construção civil aponta para o uso cada vez maior do gesso. A versatilidade do material na moldagem, instalação, custo moderado, baixo peso próprio, agilidade nas instalações elétricas e hidráulicas, entre outras tantas qualificações, faz com que o gesso seja ideal na modelagem de decorações, revestimentos de paredes e tetos e aplicações como placas de drywall nas edificações, usualmente em ambientes protegidos do contato direto com água, uma vez que ele se dissolve. Rosso (2014) afirma que o material pode ser aplicado em ambientes úmidos como banheiros, mas que necessita ser convenientemente protegido.

A pequena gama de fatores levantada justifica a crescente utilização do material, mas deixa uma indagação sobre o destino do gesso quando passa a ser visto como resíduo de construção que não oferece viabilidade de reciclagem. É notório que a resolução 307, de 2002 do CONAMA, cria uma classe especial para os resíduos de gesso: classe C e, ainda, define uma ausência de aplicações economicamente exequíveis para eles. Compete às áreas do conhecimento relacionadas à pesquisa propor soluções que coincidam com a nova proposta de paradigma que entende que a natureza não é uma reserva infinita de materiais a ser explorada e que ainda resolve, por si, a problemática dos resíduos.

Explorar o gesso como agregado do concreto oferece uma destinação sólida ao material que antes era apenas motivo de simples disposição final, contribuindo, dessa forma, com o meio ambiente, quando diminui a descarga de resíduos. Com a questão econômica da construção civil, ao passo que tende a baratear o valor dos concretos a partir da possibilidade de fazer uso de quantidades menores de agregados e inibir a retração e até mesmo com esfera científica e acadêmica, quando essas conseguem propor melhorias em ações humanas tão ordinárias como a construção.

Foi objetivo do trabalho investigar a viabilidade da utilização dos resíduos de gesso gerados pela construção civil como agregado miúdo (por definição de estudos granulométricos, são os materiais passantes na peneira de 4,8mm) em concretos nas obras, a partir de estudos que proponham soluções viáveis, nos aspectos técnicos e econômicos. É ainda intencional fazer alusão a melhor compreensão do material de construção gesso a partir de referenciamento e levantamento bibliográfico que explique sua utilização potencial e, também, as limitações acerca dele como agregado em concretos não estruturais ou concretos estruturais acompanhados de armadura galvanizada. Propõe-se constatar a resistência com o intuito de verificar a viabilidade desses concretos para produção de blocos de vedação ou estruturais e, também, para a construção de passeios.

1. Materiais e métodos

Para o estudo sobre a possibilidade de utilização do gesso reciclado como agregado na construção civil, foram realizados levantamentos bibliográficos sobre estudos afins. Esses buscaram fundamentar o trabalho ao passo que as conclusões obtidas após os ensaios tiveram embasamento científico prévio, para que convergissem com os objetivos ratificando a hipótese, ou ainda, divergissem dos mesmos, comprovando que a metodologia utilizada não é um caminho válido.

Na confecção dos corpos de prova, foram realizadas duas composições com substituição dos agregados miúdos: a primeira, com substituição total, e a segunda, com substituição parcial. Para ambos os casos, o primeiro passo foi a moagem do gesso até a obtenção de material pulverulento passante na peneira 600µm, utilizando instrumentos de golpes, como martelo, almofariz e

pistilo. A normativa de material passante na peneira 600µm também foi válida para a areia utilizada, criando, assim, estabilidade granulométrica entre ambos os materiais.

Para a confecção do traço padrão foram utilizados cimento Portland CP II-Z-32, água e rocha britada na proporção de 1:3:3 (cimento/areia/pedra) e fator água/cimento (a/c) de 0,55. Para tanto, utilizou-se 1,5kg de brita retida na peneira 476mm; 1,5kg de areia passante na peneira 600µm; 0,5kg de cimento CP II-Z-32 e 275ml de água.

Para a confecção do traço com substituição parcial, foram utilizados cimento Portland CP II-Z-32, proporção água cimento (a/c) previamente estimada em 0,55 e rocha britada na proporção de 1:3:3 (cimento/areia e gesso/pedra) na qual o sistema areia e gesso será composto por 50% de cada material. Para tanto, utilizou-se 1,5 kg de brita retida na peneira 476mm; 0,5kg de cimento CP II-Z-32; 0,750kg de gesso moído passante na peneira 600µm; 0,750kg de areia passante na peneira 600µm. A quantidade de água prevista era de 275ml mas, por questões de trabalhabilidade e garantia das reações de hidratação do cimento, conforme discussão posterior, o total de água inserido na mistura foi de 425ml.

Para a confecção do traço com substituição total do agregado miúdo tradicional pelo resíduo de gesso, foram utilizados cimento Portland CP II-Z-32, água e resíduo de gesso na proporção de 1:3:3 (cimento/gesso/pedra) e fator água/cimento estimado (a/c) de 0,55. Para tanto, utilizou-se 1,5kg de brita retida na peneira 476mm; 0,5kg de cimento CP II-Z-32; 1,5kg de gesso moído passante na peneira 600µm. Novamente, a quantidade de água prevista era de 275ml, mas por questões de trabalhabilidade e garantia das reações de hidratação do cimento, conforme discussão posterior, o total de água inserido na mistura foi de 525,5ml.

Em todos os casos, os corpos tiveram sua composição e moldagem produzidas na respectiva sequência, todos no mesmo dia.

A confecção dos corpos de prova foi realizada baseada no procedimento proposto pela NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova, e a escolha do cimento CP-II-Z-32, que é incorporado de pozolana, se deu por sua aplicabilidade comum na

região do estudo. As amostras eram cilíndricas com diâmetro 5,00 cm e altura de 10,00 cm. O material do molde foi cano de PVC com os respectivos 5,00cm de diâmetro, encerrado em altura de 10,00 cm e com seção transversal inferior vedada por cap soldável. Os moldes foram revestidos de uma fina camada de óleo mineral e os concretos (referência e com gesso) foram colocados em seu interior utilizando uma concha de seção U, assegurando uma distribuição simétrica em duas camadas com adensamento manual de 12 golpes entre elas. Após a moldagem, os moldes foram colocados sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra causa que pudesse perturbar o concreto. Foram confeccionados 08 corpos de prova para cada composição:

- 02 corpos foram rompidos transcorridos 07 dias de cura;
- 02 corpos foram rompidos transcorridos 14 dias de cura;
- 02 corpos foram rompidos transcorridos 21 dias de cura;
- 02 corpos foram rompidos transcorridos 28 dias de cura.

A totalidade produzida foi de 24 corpos. Durante todo o tempo de cura, os corpos de prova mantiveram-se armazenados em local protegido de intempéries, devidamente cobertos com material não absorvente (plástico), com a finalidade de evitar perda de água do concreto.

O ensaio de compressão simples foi realizado de acordo com a NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, ensaio esse que consiste em aplicar compressão axial gradual na seção transversal e que permite verificar as tensões de ruptura por esmagamento à compressão dos concretos com resíduos de gesso, para que se pudessem comparar os resultados obtidos com aqueles dos concretos tradicionais.

Os corpos e os pratos do aparelho foram primariamente limpos e secos. O corpo foi centralizado no prato inferior seguindo marcação. O carregamento do ensaio foi aplicado e mantido o mais constante possível durante todo tempo em que o corpo foi mantido sob tensão (exatidão da velocidade não foi possível por ser tratar de uma prensa hidráulica manual). O carregamento foi cessado quando houve uma queda de força que indicasse a ruptura do corpo.

À resistência à compressão foi calculada por meio da Equação 1:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad (1)$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão em MPa;
 F é a força máxima alcançada em Newtons;
 D é o diâmetro do corpo de prova em milímetros.
Em cada resultado apresentado foram utilizados três algarismos e ainda:

- a) Número de identificação do corpo de prova;
- b) Data da moldagem;
- c) Idade do corpo de prova;
- d) Data do ensaio;
- e) Dimensões do corpo de prova;
- f) Classe da máquina de ensaio.

Desta forma, pretendeu-se comparar o desempenho dos concretos tradicionais com aqueles onde parte ou todo o agregado miúdo foi substituído pelo gesso reciclado.

2. Resultados

Todas as composições foram realizadas na quarta-feira, 23 de Agosto de 2017, entre 13h e 16h. Para tal, separaram-se todos os materiais necessários para as três constituições, conforme especificado na seção 3. Materiais e métodos, com a devida discriminação granulométrica e pesagem para areia, brita e pó de gesso e simples pesagem do cimento Portland.

A primeira composição produzida foi a ordinária dos concretos comumente utilizados: brita, areia, cimento e água, denominada composição padrão. Primariamente, foram misturados os materiais pulverulentos que depois receberam a devida quantidade de água garantindo o fator a/c 0,55. Procedeu-se uma última mistura e, não apresentando nenhuma avaria na produção, os corpos foram moldados e dispostos em sacos plásticos e seguiram para cura em ambiente protegido de variações bruscas de temperatura, luz e calor excessivo.

A segunda composição realizada foi a que empregava substituição parcial da areia como agregado; portanto, do total de agregado miúdo da massa, metade era composta por areia e metade composta por pó de gesso. O procedimento de

preparo foi idêntico, porém ao adicionar-se os 275ml de água e procedida a mistura, a composição apresentava textura de solo ressequido e todo o cimento envolveu o agregado graúdo sobrando na base da bandeja a areia e o gesso. Não havendo outra opção a não ser adicionar mais água, procedeu-se desta forma. A grandeza de 50ml foi adicionada e, dada a mescla, não produziu resultados. Mais 50ml adicionados e depois da mistura a constituição apresentava uma aparência mais parecida com a de concreto, porém o agregado miúdo continuava levemente segregado. Deitados mais 50ml, ostentou aparência e textura peculiar de concreto. Portanto, o aumento de água foi de 150ml a mais dos 275ml planejados, resultando um total de 425ml para obtenção de trabalhabilidade do composto, elevando o fator água cimento (a/c) de 0,55 para 0,85. Os corpos de prova foram feitos e encerrados em sacos plásticos junto aos de composição normal.

Procedeu-se a mistura dos componentes da composição com substituição total do agregado miúdo tradicional por pó de gesso. Intuitivamente, conjectura-se que seria necessária uma quantidade maior de água além dos 375ml calculados previamente e assim procedeu-se. A água foi adicionada de 50ml em 50ml, seguida de mistura e avaliação da massa. A aparência e trabalhabilidade semelhantes às outras duas composições foi obtida com um total de 250,5ml a mais dos 275ml planejados, totalizando 525,5ml, elevando o fator a/c de 0,55 para 1,051. Por fim, os corpos de prova foram executados e armazenados nas mesmas condições.

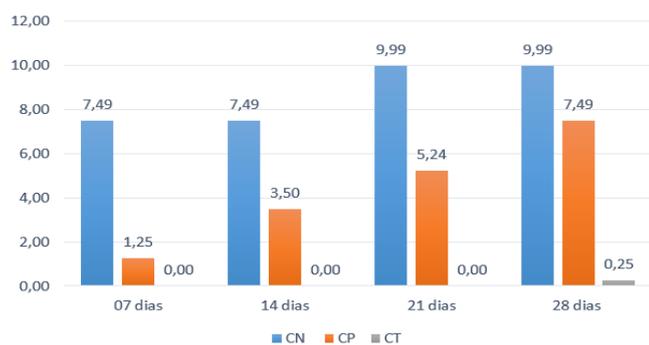
Na semana seguinte, passados 7 (sete) dias de cura do concreto (30/08/2017), todos os corpos foram retirados dos moldes e conservaram-se intactos. O nível de dificuldade para desenformar

os moldes não apresentaram discrepância entre os corpos de traço normal e com substituição. Os corpos obtidos por meio de composição normal apresentavam coloração característica acinzentada de concreto, enquanto os de composição com substituição parcial e total pronunciavam coloração esbranquiçada ímpar com algumas aglomerações pontuais brancas visíveis a olho nu, aumentando proporcionalmente à quantidade de pó de gesso empregada em substituição ao agregado miúdo.

Para melhor distribuição das tensões dentro do corpo, todos tiveram ambas as extremidades, superior e inferior, submetidas à regularização por meio de retificadora de corpos de prova. Conforme cronograma foram ensaiados dois corpos de cada constituição aos 7, 14, 21 e 28 dias, quando $f_{ck}=f_{c28}$.

A Tabela I – Carga aplicada em corpos de prova (tf) apresenta a carga aplicada, em toneladas, em todos os corpos até rompimento e a Tabela II – Tensão resistente apresentada pelos corpos de prova (MPa), levando-se em consideração a área de concreto dos corpos. Assim, apresenta-se a tensão resistente oferecida por cada um. A tensão foi calculada por meio da Equação 1. Para CN – composição normal, CP – composição com substituição parcial do agregado miúdo por gesso e CT – composição com substituição total do agregado miúdo por gesso obteve-se:

Tabela I - Carga aplicada em corpos de prova (tf)



| Tempo de Cura | CN 01 | CN 02 | CP 01 | CP 02 | CT 01 | CT 02 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 07 dias | 1,50 | 1,50 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 14 dias | 1,50 | 1,50 | 0,70 | 0,70 | 0,00 | 0,00 |
| 21 dias | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 1,10 | 0,00 | 0,00 |
| 28 dias | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 0,10 | 0,00 |

Fonte: Autor (2017)

Tabela II - Tensão resistente apresentada pelos corpos de prova (MPa)

| Tempo de Cura | CN 01 | CN 02 | CP 01 | CP 02 | CT 01 | CT 02 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 07 dias | 7,49 | 7,49 | 2,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 14 dias | 7,49 | 7,49 | 3,50 | 3,50 | 0,00 | 0,00 |
| 21 dias | 9,99 | 9,99 | 4,99 | 5,49 | 0,00 | 0,00 |
| 28 dias | 9,99 | 9,99 | 7,49 | 7,49 | 0,50 | 0,00 |

Fonte: Autor (2017)

Notadamente, como esperado, as tensões resistentes dos corpos de prova mostraram seus limites inferiores no primeiro ensaio de compreensão realizado aos 07 dias de cura até atingirem seu limite superior aos 28 dias de cura, marca expressiva da idade padrão. Algumas variações entre corpos de mesma composição também podem ser constatadas entre CP 01 e 02 aos 07 dias, CP 01 e 02 aos 21 dias e CT 01 e 02 aos 28 dias. Para melhor compreensão dos resultados globais, valem as médias simples apresentadas na Tabela III – Tensão resistente média dos corpos de prova (MPa) e graficamente representadas na Figura 1 - Tensão resistente média apresentada pelos corpos de prova (MPa).

Tabela III – Tensão resistente média dos corpos de prova (MPa)

Figura 1 – Tensão resistente média apresentada pelos corpos de prova (MPa)

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Com o propósito de entender a uniformidade das tensões resistentes individuais apresentados pelos corpos em relação às médias aritméticas das mesmas, tem-se, na Tabela IV – Desvio padrão dos valores médios de tensão resistente, o desvio padrão dos dados obtidos.

Tabela IV – Desvio padrão dos valores médios de

| Tempo de Cura | CN | CP | CT |
|---------------|------|------|------|
| 07 dias | 0,00 | 1,25 | 0,00 |
| 14 dias | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 21 dias | 0,00 | 0,25 | 0,00 |
| 28 dias | 0,00 | 0,00 | 0,25 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

tensão resistente

Como sabido, o desvio padrão indica a disparidade entre os valores reais, no caso, pelos obtidos através de medição direta e coleta de dados, e a média aritmética dos ditos valores. É utilizado para melhor entendimento da distribuição de tais valores (reais e médios) ao longo do tempo, como conjunto que são, enquanto referem-se a ensaios realizados em cada composição (normal, parcial e total) aos 07, 14, 21 e 28 dias. Com exceção do desvio da composição parcial (CP) aos 07 dias, todos os valores obtidos, evidentemente, podem ser arredondados para zero, marco representativo da

ausência de desconformidade entre os valores médios e os reais. O valor obtido em CP com 07 dias, apesar de ultrapassar 1,00, não gera absenteísmo de crédito ao ensaio à proporção que se apresenta como um caso isolado e com um valor comparativamente baixo. Os valores obtidos, portanto, resumem insignificante dissemelhança em relação aos resultados reais, de maneira que tomar os valores médios para análise em vez dos valores obtidos por medição não causa nenhuma contrariedade no entendimento do acontecimento físico do experimento.

3. Discussão

Avaliando os resultados propriamente ditos, os valores obtidos nas composições normais são extremamente satisfatórios à medida que se aproximam de 10MPa, com desvio padrão de 0,00. Os corpos de prova obtidos a partir dessa composição demonstraram singular desempenho no ensaio, ao passo que a tensão resistente apresentada ascendeu ao longo dos intervalos em todos os 08 corpos ensaiados, e sempre foi superior em relação às amostras de composição padrão. A composição apresentou, também, elevada estabilidade quando manteve os valores de resistência aos 07 e 14 dias até manifestar uma elevação de 2,50MPa entre 14 e 21 dias que, novamente, se manteve constante até os 28 dias, quando obtido o fck.

Para as grandezas obtidas a partir do ensaio dos corpos de prova de composição com substituição parcial, nota-se que, aos 07 e 14 dias, a ascensão da força de compressão suportada foi modesta, mas ainda houve aumento de resistência de 2,50MPa entre 07 e 14 dias que se repetiu entre 21 e 28 dias. O aumento de resistência mais discreto se deu entre 14 e 21 dias, sendo esse de 1,74MPa.

Os corpos de prova obtidos a partir da substituição total do agregado miúdo por gesso demonstraram resistência praticamente nula, de tal modo que, quando o pistão da prensa hidráulica entrava em contato com o corpo, ele se achatava

| Tempo de Cura | CN | CP | CT |
|---------------|------|------|------|
| 07 dias | 7,49 | 1,25 | 0,00 |
| 14 dias | 7,49 | 3,50 | 0,00 |
| 21 dias | 9,99 | 5,24 | 0,00 |
| 28 dias | 9,99 | 7,49 | 0,25 |

Fonte: Autor (2017)

como uma massa plástica antes mesmo do mostrador indicar algum valor de força no sentido contrário, situação retratada pela Figura 2 – Corpo de prova esmagado com redução de altura. Constatou-se, também, que, durante o ensaio, ao ser esmagado, o corpo trincava enquanto ia perdendo altura.

Figura 2 – Corpo de prova esmagado com redução de altura



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Esse fenômeno foi observado aos 07, 14 e 21 dias, até que, no 28º, o mostrador apresentou um leve e rápido movimento do marcador, na marca de 0,10tf. Vale ressaltar que, dos 08 corpos ensaiados, 07 apresentaram 0,00tf enquanto apenas um apresentou 0,10tf, demonstrando que tal resistência não é tão expressiva ou sequer caracteriza um evento certo.

Com a disposição dos dados resultantes do ensaio de compressão axial dos corpos de prova e conseguinte análise dos mesmos, é viável confrontá-los com os objetivos específicos da pesquisa. O primeiro pensamento associado a resíduos de gesso é a inviabilidade de reciclagem e nenhuma atratividade para reutilização, estereótipos esses que os resultados parcialmente contradizem.

A NBR 6118 – Projetos de estruturas de concreto – Procedimento dita os limites inferiores e superiores para resistência a compressão de concretos, que são: 20,00MPa a 40,00MPa para

concreto armado e 25,00MPa a 40,00MPa para concreto protendido. Considerando, portanto, as convicções da norma, é evidentemente perceptível que nenhuma das composições ensaiadas, nem mesmo a normal, atinge os valores necessários para que possam ser pensando funções estruturais a partir desses concretos. Para a confecção de elementos com função estrutural, a tensão alcançada de aproximadamente 7,50MPa é razoavelmente satisfatória. Désir (2017) assume ser cotidiano os blocos estruturais que apresentam “classes de resistência que variam desde 4,50MPa até 16,00MPa. A classe de resistência 4,50MPa tem uso restrito em paredes com revestimento e não expostas às intempéries. Os ensaios expressam, então, a viabilidade da utilização de concreto com substituição parcial na composição até mesmo para blocos estruturais. Acredita-se que, numa possível aplicação, há necessidade de armadura galvanizada para viabilizar contato não danoso entre resíduos de gesso componentes do concreto e aço, evitando, assim, as reações de deterioração oxidativa da armadura, o que inviabilizaria economicamente o empreendimento.

A NBR 7173 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural específica que a amostra de blocos não estruturais submetidas à análise deve satisfazer individualmente ao requisito de resistência à compressão de, pelo menos, 2,00Mpa, ou em média, 2,50MPa. Tal dado expressa a viabilidade total da aplicação de concreto com composição parcial de gesso como agregado miúdo quando esse evidenciou, experimentalmente, resistência a compressão de aproximadamente 7,50MPa, ou seja, 300% maior do que o limite especificado pela norma competente.

Conclusão

O fio condutor da pesquisa foi a tentativa de compreender a potencialidade do gesso como agregado, ao passo que é um dos raros materiais da construção civil que não apresenta cenário promissor para a reutilização ou reciclagem por inviabilidade técnica e econômica. Sua aplicação viabiliza empreendimentos arquitetônicos e acabamentos que outros materiais não o fazem sendo, portanto, cada vez mais frequente sua aplicação em paredes de *drywall*, sancas, estuques e forros em geral.

Se as reformas, reparos e demolições atualmente já produzem significativa quantidade de resíduos de gesso, num futuro próximo os resultados da recente e crescente aplicação desse material elevarão a produção de resíduos a montantes antes nunca vistos. Os resíduos advindos ou que contêm gesso sofrem uma barreira: não se conhecem métodos que apresentem viabilidade em amplos aspectos para reutilização ou reciclagem. O simples descarte do material afeta, ainda, o potencial hidrogênionico do solo e águas subterrâneas à medida que, ao contato com água, sofre lixiviação.

A indisponibilidade para reciclagem abriu caminho para que o CONAMA, em sua resolução 307, estabelecesse diretrizes para resíduos produzidos na construção civil e, também, classificasse os resíduos de gesso como Classe C, ou seja, aquela que sofre impedimento por ausência de tecnologias economicamente viáveis para reciclagem. Cabe lembrar que, ainda, existe perspectiva quando a normativa o classifica como resíduos, e não como rejeito. O rejeito é aquele material de descarte que, indubitavelmente, não oferece nenhuma possibilidade para reutilização ou reciclagem, além do simples descarte e, numa ótima interpretação, em local adequado com efeitos minimizados.

A tentativa do trabalho, portanto, é audaciosa, quando tenta reciclar o que até mesmo a própria gestão pública já entende como impraticável. Concebeu-se durante as pesquisas realizadas para levantamento bibliográfico que há um grande conformismo em relação ao destino dos resíduos de gesso. Tal fato é contraditório quando a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece instrumentos, como a responsabilidade compartilhada pelos fabricantes, comerciantes e consumidores através da política reversa.

Desde a extração da gipsita até a aplicação do gesso ou sua retirada de um empreendimento, muitas pessoas estão envolvidas e compartilhando a responsabilidade de gerenciar e minimizar os impactos que ele causa no meio natural. Seria exequível que as indústrias, munidas de apoio do poder público, realizassem pesquisas na área de reciclagem e reutilização de resíduos de gesso. Os consumidores também têm importante papel ao apoiar as organizações que tem algum tipo de ação voltada para esse aspecto.

A reciclagem de resíduos de gesso colabora, de forma ímpar, quando reduz os resíduos lançados na natureza. Convém salientar que as resistências atingidas pelos corpos de prova foram um pouco abaixo do esperado, principalmente para o traço de substituição total do agregado miúdo por gesso, mesmo que o traço de composição com substituição parcial tenha apresentado valores úteis à fabricação de blocos de vedação e, até mesmo, os estruturais.

Utilizar os resíduos de gesso, portanto, produz economia, ao passo que o fabricante de concreto (sendo ele industrializado ou até mesmo feito na obra) utiliza um resíduo disponível em descartes e que apenas necessita ser moído, ao invés de adquirir areia que representa mais uma agressão ao meio ambiente quando necessita ser extraída para ser comercializada.

Existe, ainda, a necessidade de alguns estudos futuros para comprovar a completa viabilidade do projeto. Dentre esses estudos estão a provável necessidade de utilização de armadura galvanizada para obras que façam uso de blocos estruturais de concreto, com traço de substituição parcial, a viabilidade econômica da utilização desses blocos associados a tais armaduras galvanizadas e, também, estudos de lixiviação dos blocos com o intuito de analisar se o contato com a água, que na obra seria proveniente de precipitações pluviométricas, carrega vestígios de alteração do potencial hidrogênionico, prejudicial ao meio ambiente por ser fonte de contaminação.

Referências

AOKI, Jorge. **Início e Fim de Pega. Qual a utilidade?** 2010. Jornalista responsável: Altair Santos. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/inicio-e-fim-de-pega-qual-a-utilidade/>>. Acesso em: 24 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (Ed.). **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p. Disponível em: <www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6116**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7173**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 307 de 2002**: GESTÃO DE RESÍDUOS E PRODUTOS PERIGOSOS. 2002. Disponível em: <www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2017.

DÉSIR, Jean Marie et al. **Alvenaria Estrutural**. 2017. Elaborado por Núcleo de Apoio à Educação a Distância (NAPEAD) - UFRGS. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/blocosconcreto.php>>. Acesso em: 23 set. 2017.

FREITAS, Eduardo de. **Primeira Revolução Industrial**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/primeira-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

GRAZIANO, Francisco Paulo; SIQUEIRA, Jose Antonio Lerosa. **Concreto Armado**: São Paulo, 2017. 32 slides, color. Disponível em: <www.lem.ep.usp.br/pef2604/DimFlexao_dimCisalhamento.pdf>. Acesso em: 22 set. 2017.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto & Construções**, São Paulo, n. 53, p.14-19, jan. 2009. Trimestral. Disponível em: <www.feb.unesp.br/lutt/ConcretoProtendido/HistoriadoConcreto.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2017.

RIBEIRO, Carmem Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2006. 102 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=t4b1NY_WhjMC&oi=fnd&pg=PA9&dq=história+do+gesso+na+construção+civil&ots=MI_CZkYYXr&sig=pETykSqIgX_K9SxJCC5cVk8CktY#v=onepage&q=gesso&f=false>. Acesso em: 23 mar. 2017.

RODRIGUES, Mariuza. **Números do desperdício**. 2001. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/53/artigo285202-1.aspx>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

ROSSO, Ketlin Schaiane. **Utilização de gesso na Construção Civil**: Vantagens, aplicações do material e dicas da arquiteta e urbanista Ketlin Rosso. 2014. Disponível em: <<http://gauchanews.com.br/artigos/utilizacao-de-gesso-na-construcao-civil/12628624>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

SOUSA, Rainer. **História do Cimento**. 2009. Disponível em: <<http://historiadomundo.uol.com.br/curiosidades/historia-do-cimento.htm>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

TRIFILIO, Bernadete; FIGUEIREDO, Dalmo Lúcio Mendes de. **O Emprego do Gesso na Construção Civil**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. 24 slides, color. Disponível em: <www.demc.ufmg.br/tec3/Apresentação_gesso-bernad.ppt>. Acesso em: 23 mar. 2017.

VIEIRA, Alexandre Lopes. **Propriedades dos Microconcretos Fabricados com Agregados Contaminados por Resíduos de Gesso**. 2008. 148

f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Programa de Pós Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-7RDNLP>>. Acesso em: 21 mar. 2017.