

SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO GRAÚDO NATURAL POR ESCÓRIA DE ALTO FORNO COMO AGREGADO GRAÚDO PARA FABRICAÇÃO DE CONCRETO

REPLACEMENT OF NATURAL COARSE AGGREGATE BY BLAST FURNACE SLAG AS COARSE AGGREGATE FOR CONCRETE MANUFACTURING

João Paulo Anselmo Churocof¹

RESUMO: Sempre procuramos avanços quanto aos métodos construtivos na engenharia civil, que diminuam os impactos ambientais e que em conjunto possam ser financeiramente rentáveis. Então como a Engenharia Civil pode obter uma rentabilidade maior e ainda diminuir impactos ao meio ambiente ante a extração de minérios e agregados graúdos da natureza? É de conhecimento geral de que a fabricação do ferro gusa gera um material inerte, comumente conhecido como escória de alto forno. E este subproduto adquirido a partir da fabricação do ferro gusa pode ter uma utilidade muito significativa na construção civil. Hoje a escória de alto forno é bem utilizada na fabricação do cimento Portland, pelas indústrias cimenteiras. Porém tal subproduto tem sido amplamente estudado como substituto dos agregados graúdos e também miúdos, na fabricação do concreto. Tal subproduto já vem sendo amplamente utilizados em países como Japão, Inglaterra e França, no Brasil, entretanto, ainda enfrenta muita resistência em sua utilização como substituto dos agregados naturais. Felizmente, nos dias atuais, empresas como a CSN já oferece o material para uso na construção civil, como por exemplo para pavimentação de estradas. O reaproveitamento de materiais industriais é algo sempre desejado, quanto mais as escórias de alto forno, que é um subproduto abundante no Brasil. O estudo a seguir conclui que o subproduto escória de alto forno, pode ser utilizado como agregado graúdo na fabricação de concreto para construção civil, de forma muito satisfatória; evidenciamos que seu uso não torna o concreto, após sua cura, um produto menos eficiente, mas sim, o torna um produto rentável economicamente e ambientalmente correto.

356

Palavras-Chave: Escória de alto Forno. Concreto. Subproduto.

ABSTRACT: We are always looking for advances in construction methods in civil engineering, which reduce environmental impacts and which together can be financially profitable. So how can Civil Engineering obtain greater profitability and still reduce impacts on the environment in the face of the extraction of ores and coarse aggregates from nature? It is well known that the manufacture of pig iron generates an inert material, commonly known as blast furnace slag. And this by-product acquired from the manufacture of pig iron can have a very significant use in civil construction. Today the blast furnace slag is well used in the manufacture of Portland cement, by the cement industries. However, this by-product has been widely studied as a substitute for coarse and fine aggregates in the manufacture of concrete. his by-product has already been widely used in countries such as Japan, England and France, in Brazil, however, it still faces a lot of resistance in its use as a substitute for natural aggregates. Fortunately, nowadays, companies like CSN already offer the material for use in civil construction, such as for paving roads. The reuse of industrial materials is something that is always desired, let alone blast furnace slag, which is an abundant by-product in Brazil. The following study concluded that the blast furnace slag by-product can be used as a coarse aggregate in the manufacture of concrete for civil construction, in a very satisfactory way; we evidence that its use does not make the concrete, after its cure, a less efficient product, but it makes it an economically profitable and environmentally correct product.

Keywords: Blast Furnace. Concrete. By-product.

¹ Pós- Graduado em Engenharia Civil Residencial, Industrial e Especiais- FACULDADE FUTURA-UNIDADE: Campus Votuporanga. Sócio Proprietário da Proyekt Gestão e Projetos. ORCID: 0000-0003-1902-4339 E-mail: churocof@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Hoje nos apercebemos do grande perigo ambiental para nós e para as gerações futuras quanto a exploração mineral de agregados graúdos. E exploração mineral está intimamente relacionada com a construção civil, mesmo havendo hoje métodos construtivos inovadores, econômicos e sustentáveis. Por exemplo, o presente estudo mostra como a construção civil pode substituir um agregado graúdo natural por um subproduto que, talvez, possa ser descartado indiscriminada em aterros, muitas vezes sem o mínimo de cuidado ambiental. A escória de alto forno, além de sustentável, pode substituir 100% do agregado graúdo na construção civil quanto a fabricação de concreto. “Um dos principais benefícios do material é evitar o descarte inadequado dos resíduos sólidos industriais” (Javier Mazariegos Pablos – Profº. Doutor do Inst. De Arquitetura e Urbanismos - 2012). Porém, antes do seu uso, a escória de alto forno utilizada para a substituição de agregado graúdo para a fabricação de concreto na construção civil, deve ser avaliada para presença de metais pesados ou elementos que poderiam impactar negativamente no meio ambiente. No entanto a utilização da escória de alto forno substituindo o agregado natural para a fabricação de concreto na construção civil é rentável, sustentável e de fácil manuseio.

Entendendo o Processo

Antes de iniciar o estudo de como é obtido a escória de alto forno e a sua utilização na construção civil, é importante entendermos o que é a escória de alto e como ela é formada, abordarei este assunto de uma forma objetiva para que cheguemos ao âmago do estudo.

A escória de alto forno é um subproduto obtido a partir da fabricação do ferro gusa e da aciaria. (ArcelorMitall – 2012)

A escória de alto forno é obtida por meio da fabricação do ferro gusa, que em suma é uma liga de ferro como resultado da fusão e purificação do minério de ferro por redução dos óxidos contidos nos minerais.

Então pela fusão das impurezas do minério de ferro e somado à adição de calcário e dolomita e cinzas de coque, se obtém a escória de alto forno.

Como pode-se notar na imagem abaixo, a escória de alto forno é uma massa com característica insolúvel e baixa densidade comparado com o ferro gusa.

1-Escória de alto Forno de Aço Preta



Fotografia de Vanessa Ortega

Ao final do processo as escórias devem ser resfriadas e este processo pode ocorrer de duas formas:

- Ao ar
- Com água

Quando resfriadas ao ar, a escória num estado líquido, é despejada em um pátio para ser resfriada. Esse processo é mais demorado e, ao final desse processo de resfriamento ela recebe o nome de Escória Bruta de Alto Forno, onde ela pode ser britada ou ser utilizada como material inerte. (ArcelorMitall – 2012)

Já quando a escória é resfriada com água, ela é resfriada rapidamente e de maneira brusca por meio de jatos de água com alta pressão. Nesse processo ela se granula e se torna hidráulica, passando a ser chamada de Escória Granulada de Alto Forno.

Então, dependendo da forma de resfriamento da escória de alto forno e da composição química, há diferentes tipos de aplicações para o subproduto na construção civil. (Arthur D. Little - 1999). Algumas dessa aplicações em muitos países são para:

- Fabricação de cimento
- Aterro e Terraplanagem
- Base de estrada
- Asfalto
- Agregado para concreto.

AGREGADOS

Segundo a NBR 9935 (ABNT, 1987) um agregado é definido como um material granular pétreo, sem forma ou volume definido, muitas vezes inerte quimicamente, com dimensões e propriedades adequadas para a sua utilização na engenharia civil. Sendo que a utilização desses materiais é essencial para a fabricação de argamassas e concretos, constituindo uma rocha artificial quando acompanhadas com um aglomerante. Em peças de concreto, os agregados constituem entre 70 e 80% do volume total do concreto.

Somente o uso do aglomerante na engenharia civil, não traz muitos benefícios no campo da engenharia civil, porém quando adicionados os agregados miúdos e graúdos ao aglomerante, objetivamos o aumento da resistência à peça empregada e concreto.

Já a NBR 7211 define os requisitos exigíveis para a definição de agregados miúdos e graúdos. Quanto à utilização de escória de alto forno na fabricação de concreto, a publicação em questão não se aplica à escória de alto forno como agregado graúdo para a fabricação de concreto, porém prevê que em situações especiais possa se utilizar tal subproduto na fabricação do concreto desde que haja um estudo que comprove que tal material possa produzir um concreto com qualidade satisfatória.

Escória de Alto Forno como Agregados no Concreto

A utilização da escória de alto forno como agregado miúdo ou graúdo na fabricação do concreto não é algo novo, embora, esse artigo destaque a utilização como agregado graúdo na fabricação do concreto da escória de alto forno. Países como Estados Unidos da América e Japão comercializam até $\frac{3}{4}$ do subproduto industrial para aplicação na engenharia civil. Na França e Inglaterra o produto tem uma aceitação grande por parte da engenharia civil. Já no Brasil a aceitação do produto como agregado graúdo ainda não é tão difundida, devido grande parte do subproduto ser comercializado para a indústria cimenteira como adição ao cimento Portland. (Cincotto – 1991)

A escória de alto forno, em muitos lugares já é utilizado para concreto asfáltico, lastro de ferrovias e como estabilização de solos, apresentando características mecânicas bastante satisfatórias, pelo motivo o uso deste subproduto hoje começa a ser bastante difundido.

Segundo estudos realizados e publicados na Revista de Engenharia e Tecnologia de Dezembro de 2018, a escória de alto forno tem um grande potencial de utilização como agregado para concreto; e que é muito viável a substituição da brita comum por escória de

alto forno britada. Assim estamos falando da escória de alto forno resfriada lentamente, que podem ser britadas e ser utilizada como agregado graúdo.

Viabilidade do Uso da Escória de Alto Forno

Estudos recentes, dirigido por Arrivabeni (2000), para a utilização da escória de alto forno como agregado graúdo, chagam a viabilidade técnica da utilização do subproduto na construção civil, pois a escória de alto forno se mostrou inerte e os resultados comparativos entre concreto escória de alto forno como agregado graúdo e a brita foram similares.

Em alguns casos, o concreto utilizando a escória de alto forno como agregado graúdo, para estruturas hidráulicas, foi conclusivo que tal concreto demonstrou resultados bem significativos no sentido positivo dos testes, com valores à resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral superiores ao concreto com agregado graúdo natural; além de demonstrar uma baixa absorção de água e uma expressiva redução da capacidade de penetração de agentes agressivos.

Outra pesquisa, como da Sadek e El-Attar (2017), demonstra a capacidade da escória de alto forno substituir em 100% os agregados graúdos naturais, visto que tal subproduto demonstra uma resistência e durabilidade maior comparado ao concreto misturado ao agregado natural graúdo. Pois, pela forma física da escoria de alto forno, ela tem uma maior capacidade de integrar com a pasta de cimento, o que, por sua vez, acarreta no aumento da resistência do concreto, mesmo demandando uma quantidade maior de água para a trabalhabilidade do concreto com escória de alto forno graúdo.

Financeiramente, o uso da escória de alto forno utilizada como agregado graúdo, é geralmente até 20% mais barato que a utilização de britas naturais, sendo ainda resistente ao ataque como o de sulfato e à reação álcali-sílica, químicas que podem reduzir com facilidade a vida útil da estrutura de concreto, podendo melhorar a resistência do concreto à fissuração térmica e ao ataque por sulfatos, obtendo assim uma maior resistência química.

Então nos apercebemos diante do estudo que a utilização da escoria de alto forno como agregado graúdo tem um menor custo, maior resistência ao desgaste do subproduto e maior consistência e aderências às misturas.

Também a viabilidade do subproduto poderá ser verificada por meio de ensaios mecânicos.

UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO SEGUNDO A NBR

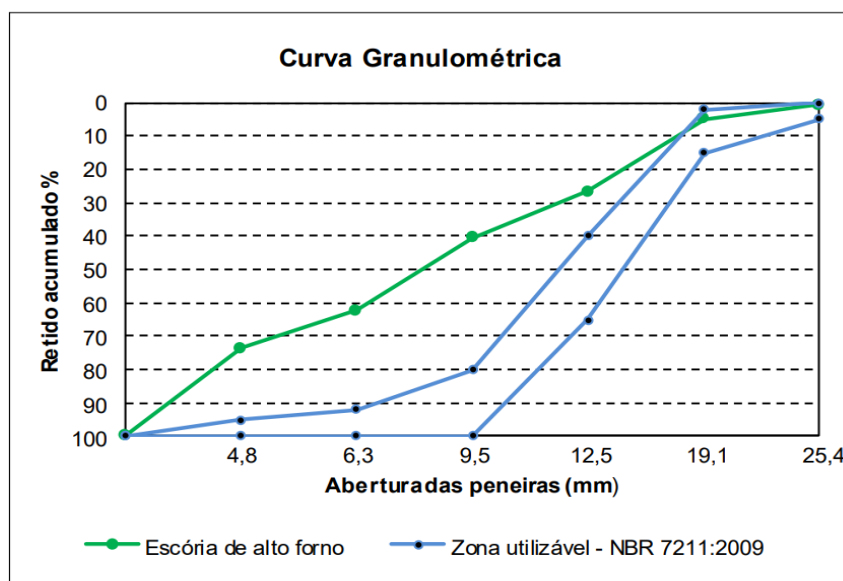
A distribuição granulométrica do agregado graúdo pode ser visualizada na tabela a seguir:

Tabela 1: Granulometria de Agregado Graúdo - Ensaio

| PENEIRA (mm) | MATERIAL RETIDO (g) | | | RETIDO (%) | RETIDO ACUMULADO % |
|--------------|---------------------|-----------|-------|------------|--------------------|
| | AMOSTRA 1 | AMOSTRA 2 | MÉDIA | | |
| 25,4 | 11,8 | 28,2 | 20,0 | 0,8 | 0,8 |
| 19,1 | 130,8 | 70,7 | 100,8 | 4,2 | 5,0 |
| 12,5 | 607,8 | 446,1 | 527 | 21,8 | 26,8 |
| 9,5 | 363,2 | 307,3 | 335,3 | 13,9 | 40,9 |
| 6,3 | 583,6 | 461 | 522,3 | 21,6 | 62,2 |
| 4,8 | 292,6 | 251,7 | 272,2 | 11,3 | 73,5 |
| FUNDO | 693,1 | 585,6 | 639,4 | 26,4 | 99,9 |

Então geramos o seguinte gráfico baseado nos dados do ensaio granulométrico:

Figura 2: Curva Granulométrica



Notamos no gráfico acima, que a granulometria está fora da zona utilizável, de acordo com a NBR 7211:2009. Então o subproduto não poderia ser utilizado como agregado miúdo de acordo com as exigências da norma. Isso se deu pela diferença de tamanho dos grãos, intermediando entre 4,75/12,5 e 9,5/25, o que corresponde exatamente, na ordem, em Brita 0 e brita 1, adequando-se então à utilização de agregado graúdo na fabricação de concreto.

Ainda assim, segundo dados do BAUER (SILVA et al., apud. SILVA, 2005), as diferenças granulométricas um fator que importante quanto a trabalhabilidade do concreto,

por depender dela a quantidade de água necessária à obtenção de água/cimento desejado e na permeabilidade do concreto. Isso se dá pelo fato de que a diferença no tamanho das partículas produz as misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas.

De acordo com a norma descrita acima, a escória de alto forno utilizada como agregado graúdo, de ser de 19,1mm, dimensão conhecida comercialmente como brita 1, além de possuir uma massa específica igual a 200Kg/m³, o que corrobora com a denominação de agregado graúdo segundo a NBR 7211:2009.

Ressaltamos a poucas referências quanto ao uso do subproduto em nosso país, porém, vale citar de que houve citação de Cincotto, Vogt; Sato, quando houve um estudo relatando que o material em questão do presente estudo, em nem um teste apresentado se mostrou reativo seguindo as normas, podendo o material ter sido utilizado até mesmo em um edifício de estrutura de concreto armado. Porém, conforme menção do autor: “...os estudos não avançaram, não se tendo notícias de outros empregados desse tipo.”

Desempenho da escória de alto forno

Continuando os estudos quanto a absorção de água, a escória de alto forno como agregado graúdo nos testes efetuados na escola Técnica Guaracy Silveira em 2022, apresentou uma absorção de 3,72%. Esse dado é importantíssimo, pois na fabricação e concreto, a resistência mecânica dos agregados não é único fator a ser levado em conta, mas também a absorção e as características de aderência, já mencionadas anteriormente. Quando falamos de índice de desgaste, a escória de alto forno chega a 37,5%, estando, portanto, em conformidade com a NBR NM 51:2001, na qual tem como parâmetro um valor abaixo de 50%.

Esse dado significa que a escória de alto forno não sofre interferência do seu estado inicial ao ser manuseada por basculamento ou estocagem. O teste tendo como referência a NBR NM 51:2001, também demonstra uma ótima resistência mecânica quando a escória de alto forno utilizada como agregado graúdo na fabricação de concreto.

Quanto a trabalhabilidade do concreto fresco, utilizando a escória de alto forno como agregado graúdo, é bem satisfatória, pois seguindo a NBR NM 33:2003, quanto a amostragem do concreto fresco o slump correspondeu a 12cm. Mesmo a falta de pré-saturação nessa etapa dos testes, não houve uma baixa trabalhabilidade do concreto.

Quando realizado o teste de compressão, conforme a NBR 5739:2007 especifica, nas idades de 7 (sete), 14 (quatorze) e 28 (vinte e oito) dias, rompendo por cada idade

corpos-de-prova, chegamos ao resultado de que a escória de alto forno utilizada como agregado graúdo substituindo a brita em concretos utilizados normalmente em construções simples, a resistência característica do concreto à compressão (FCK) chega ao valor megapascal (Mpa) de 20, podendo então, como resultado, a escória de alto forno como agregado graúdo, ser utilizada tranquilamente em trabalhos da engenharia civil, onde necessita-se de concreto de até FCK 20 Mpa.

O aumento do FCK Mpa ao longo do tempo é explicado pela hidratação direta da pasta de cimento. Como é sabido, a resistência final de um concreto é influenciada diretamente pelas características dos agregados utilizados na fabricação do concreto, mas neste caso em específico os agregados convencionais possuíam propriedades mecânicas superiores à da zona de transição agregado/pasta onde pode ocorrer uma ruptura. (ABNT NBR 6118/14931)

Podemos ampliar a resposta dos testes ao concreto já produzido e devidamente curado, apresenta uma baixa absorção de água, talvez resultado da pasta cimento que fecham os poros dos subprodutos diminuindo a difusão de íons cloreto, claramente então diminuindo a capacidade de outros tipos de agentes agressivos ao concreto.

No quadro a seguir verificamos os resultados obtidos quanto ao teste de compressão axial, realizado na ETEC Guaracy Silveira em 2022:

Tabela 2: Resultado dos testes axiais aos 7, 14 e 28 dias de idade

| CONCRETO | RESISTENCIA MEGAPASCAL (Mpa) | | |
|----------|------------------------------|---------|---------|
| | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS |
| CP I | 15,6 | 19,4 | 20,7 |
| CP II | 15,1 | 19,2 | 20,6 |
| CP III | 14,9 | 19,0 | 20,7 |
| CP IV | 15,4 | 19,5 | 20,8 |

Características do Agregado Graúdo Utilizado nos testes

Para os testes demonstrados anteriormente, utilizei para a fabricação do concreto como agregado graúdo, a escória de alto forno em substituição a brita, nos tamanhos de 5 a 12mm, tamanho que se aproxima bem da conhecida por nós como brita 0, assim então especificado na NBR 7211:2009.

Uma característica percebida foi de que a escória de alto forno utilizada como agregado graúdo, que provavelmente pelo seu aspecto áspera e porosa, houve uma elevada absorção de água, o que por sua vez, demanda maior utilização de água na fabricação do concreto.

Por vezes, a utilização de mais água ao concreto, pode diminuir a resistência mecânica do mesmo, no entanto, devemos nos lembrar de que há outras características ligadas ao agregado graúdo, sejam eles naturais ou artificiais, que podem interferir na resistência do concreto, na resistência à compressão, etc. Características essas que podem estar ligadas à forma, tamanho, textura e até mesmo a distribuição granulométrica.

Então não nos baseamos somente no fator água/cimento. Porém se houver algum índice de consistência abaixo do esperado, tal inconformidade pode ser solucionada com a incorporação de aditivos plastificantes e superplastificantes.

Podemos chegar à conclusão que os concretos produzidos com escória de alto forno como agregado graúdo, apresenta uma resistência mecânica à compressão superior ao dos concretos de referência, podendo dizer que a melhoria é causa da melhoria de desempenho à hidraulicidade do subproduto.

Utilização Prática do Concreto com Escória de Alto Forno

Chegando à resistência a compressão de FCK 20 Mpa, o concreto então pode ser utilizado satisfatoriamente em obras que requeiram tal resistência à compressão, como por exemplo para piso, lajes não estruturais, piso base para equipamentos pesados e outras finalidades.

364

Nesses casos o concreto utilizando escória de alto forno como agregado graúdo, apresenta boa trabalhabilidade. Talvez, em algum momento o concreto poderá apresentar alguma mancha, sem afetar a durabilidade do concreto, isso por causa da porcentagem de ferrão presente na escória de alto forno.

Hoje temos o exemplo da Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA), que emprega a escória de alto forno como agregado graúdo para fabricação de concreto magro, pisos de passeio; até mesmo se estendo o uso ao concreto estrutural com resultados satisfatórios (BATTAGIN; SBRGHI. 2002).

CONCLUSÕES

O uso da escória de alto forno como agregado para concreto no Brasil é basicamente à indústria cimenteira. Porém a utilização da escória de alto forno como agregado para concreto, contribui e muito para reciclagem. Claro que outras tecnologias de reuso deste subproduto podem ser desenvolvidas e assim aumentando o leque de reaproveitamento deste subproduto, a escória de alto forno, seja ela granulada ou não granulada.

O estudo presente referente a escória de alto forno utilizada como agregado graúdo para fabricação de concreto mostrou um grande potencial de reaproveitar a escória de alto forno para concreto convencional de 20 Mpa. Os resultados demonstrados neste trabalho confirmam de que o subproduto alcança valores acima de 20 Mpa em idade de 28 (vinte e oito) dias de cura. O teste axial depende diretamente dos espaços vazios no concreto, e indiretamente nos espaços vazios do agregado graúdo, já que o concreto é 70%, aproximadamente fabricado com agregados.

Embora a escória de alto forno não estava conforme os padrões quanto a distribuição granulométrica, a utilização de um aditivo químico plastificante redutor de água e de pega, contribuíram para a resistência mecânica do concreto.

A escória de alto forno não é um material homogêneo, mas é um material bastante poroso, mesmo assim nos apercebemos de que o subproduto apresentou nos testes realizados, uma baixa absorção de água. Tal resultado contribui para que a escória de alto forno utilizada como agregado graúdo não prejudique a resistência mecânica do concreto no final de sua cura. Destacamos, por sua vez, a resistência à abrasão do subproduto, esse resultado demonstrou que o subproduto é denso e resistente.

Pode-se concluir com o estudo de substituição do agregado natural pela escória de alto forno como agregado graúdo para a fabricação de concreto, de que os resultados dos testes axiais se mostraram mais significativos nas idades maiores, porém, como insistimos, o valor econômico e ambiental fora mais satisfatório do que utilizando a brita como agregado graúdo na fabricação do concreto.

Em suma, a utilização da escória de alto forno como agregado graúdo substituindo os agregados graúdos naturais, não proporcionam uma melhoria significativas quanto as propriedades mecânicas avaliadas nesse estudo, porém a redução financeira é clara ao se aproximar de 22% de economia em comparação ao uso de agregado natural para a fabricação de concreto na indústria da construção civil. Claro que, futuramente podemos desenvolver novas pesquisas quando ao subproduto apresentado nesse artigo, para que a escória de alto forno possa se propagar como uma alternativa aceita para agregados graúdos na fabricação de concreto, possibilitando a redução significativas quando à utilização de agregados naturais e assim contribuir com diminuição acumulada desse subproduto nas siderúrgicas, que até mesmo poderiam ser descartadas na natureza de forma discriminada.

Pretendo em um próximo estudo, verificar as propriedades referente a durabilidade do concreto fabricado com a escória de alto forno como agregado graúdo e até mesmo um

estudo quanto a viabilidade do uso do mesmo produto como agregado miúdo; realização de um estudo mais profundo quanto à absorção de água e químicos que poderiam atacar a durabilidade e resistência do concreto.

REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL – Escória de Alto Forno – Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/coprodutos/escoria-alto-forno>, 2012. Acesso em: 24/01/2022.

ARRIVABENI, L. F. Contribuição ao estudo de utilização da escória bruta e granulada de alto forno para produção de concretos. Dissertação - Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2000. Disponível em: < <http://servicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 24/01/2022.

ARTHUR D. LITTLE. Reciclagem de Escória Cristalizada para a Produção de Argamassas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2006. 81 pg. Disponível em: <http://juno.unifei.edu.br/bim/0030717.pdf>, 1999. Acesso em: 02/02/2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto cilíndricos ou prismáticos. Rio de Janeiro, 2003.

BATTAGIN; SBRGHI. Estudo de propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes agregados reciclados. 2002. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2002.

CINCOTTO, M.A.; BATTAGIN, A.F.; AGOPYAN, V. Caracterização da escória granulada de alto-forno e seu emprego como aglomerante e agregado miúdo. Boletim 65. São Paulo, 1991, IPT.

INSTITUTO DE AÇO BRASIL. Relatório de Sustentabilidade de 2012. 2011. 93 pg. Disponível em: <http://acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/relatorio_sustentabilidade_2012.pdf>. Acesso em: 02/02/2022

MAZARIEGOS, J, P – O que é concreto sustentável e quais seus benefícios para a obra? - Redação Concrete Show | 25 Jun, 2021. Disponível em: <<https://digital.concreteshow.com.br/downloads/o-que-concreto-sustentavel-e-quais-seus-beneficios-para-obra>>. Acesso em: 02/02/2022

NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2007;

NBR 7211 – Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2019.

NBR NM 26 – Agregados para concreto – Amostragem. Rio de Janeiro, 2017.

NBR NM 46 – Agregados para concreto – Composição granulométrica. Método de ensaio Rio de Janeiro, 2003.

NBR15900 -I – Requisito – Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA.
<https://revistas.ufpr.br/reterm/issue/view/2620>, 2018. Acesso em: 24/02/2022

SADEK, D. M.; EL-ATTAR, M. M. “Structural behavior of rubberized masonry walls”, Journal of Cleaner Production, Cairo, v. 89, pp. 174-186, Fev. 2017.

SATO, N. M. N.; AGOPYAN, V.; Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2000.

VOGT, J.C. Estudo da influência de adições no módulo de elasticidade dinâmico, na resistência à fadiga e na tenacidade à fratura para concretos convencionais. 2006. 21f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.