



Aplicação de resíduos de telha cerâmica vermelha para produção de um aglomerante hidráulico de reduzido impacto ambiental: estudo comparativo da resistência à compressão aos 28 dias

**Cristopher Antonio Martins de Moura¹, Greyce Bernardes de Mello Rezende¹,
Rogério Barbosa da Silva¹, Alex Neves Junior¹**

¹Universidade Federal de Mato Grosso (cristopherantonio@live.com),
(greycebernardes@yahoo.com.br), (rogerio_matematica@hotmail.com),
(alexnevesjr@hotmail.com).

Resumo

A indústria da construção civil é atualmente uma das maiores geradoras de resíduos em escala global. No âmbito dos canteiros obras, são gerados principalmente os denominados Resíduos da Construção Civil (RCC), os quais apresentam grande parcela de material reciclável. Neste contexto, o objetivo da presente pesquisa é sintetizar e avaliar a resistência à compressão de pastas aos 28 dias produzidas com um aglomerante alternativo ao cimento Portland comercial, sintetizado com resíduos de telha cerâmica vermelha de três fontes distintas. Com relação à tensão máxima, observou-se que, em comparação ao comercial, o cimento BG atingiu 41,93% da tensão máxima do cimento comercial enquanto que o cimento Santorini atingiu 35,94% e o cimento Nilda atingiu 15,10%. Dessa forma, conclui-se que o emprego dos aglomerantes sintetizados fica restrito às aplicações que requerem pouca resistência à compressão e que não exerçam função estrutural.

Palavras-chave: Cimento Portland. Aglomerante alternativo. Telha cerâmica vermelha.

Área Temática: Tecnologias Ambientais.

Application of red ceramic tile waste for the production of a hydraulic binder of low environmental impact: a comparative study of the compressive strength at 28 days

Abstract

The construction industry is currently one of the largest generators of waste in a global scale. In the scope of the construction sites, the so-called Civil Construction's Residues (RCC) are generated, which presents a large portion of recyclable material. In this context, the aim of the present research is to synthesize and to evaluate the compression strength of cement pastes at 28 days, produced from an alternative binder to commercial Portland cement, synthesized with residues of red ceramic tile from three different sources. In relation to the maximum stress, it was observed that, compared to commercial, BG cement reached 41.93% of the maximum commercial stress, while Santorini cement reached 35.94% and Nilda cement reached 15.10%. Thus, it is concluded that the use of the synthesized binders is restricted to applications that requires low compressive strength and do not have a structural function.

Key words: Portland cement. Alternative binder. Red ceramic tile.

Theme Area: Environmental Technologies.



1 Introdução

Devido às suas características peculiares, o cimento Portland é o segundo material mais consumido pela humanidade (ABCP, 2017). De acordo com Neville e Brooks (2013), em 2010 a produção mundial foi de 3,344 bilhões de toneladas, sendo que a China foi a maior produtora no ano com 1,881 bilhão de toneladas. No ano de 2012, resultados apontados pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento–SNIC (2013), indicaram que o consumo no Brasil, superou a marca de 69 milhões de toneladas. Além disso, segundo o SNIC (2017), dados preliminares fornecidos pela indústria indicam que no período de janeiro até outubro do ano de 2017 as vendas no mercado interno somaram 45,2 milhões de toneladas.

O cimento é constituído principalmente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, que são compostos oriundos das matérias-primas utilizadas na produção. No forno, esses compostos se combinam formando produtos de maior complexidade (NEVILLE; BROOKS, 2013). O processo produtivo do cimento em si, necessita de grande quantidade de energia a qual é utilizada nas atividades extração de matérias-primas em grande quantidade bem como no transporte e procedimentos de cominuição. Além disso, a sintetização do material dentre outras atividades, também requerem grande disponibilidade de energia.

A argila que compõe cerca de 20-25% da matéria-prima utilizada para a fabricação do cimento Portland é composta fundamentalmente de silicatos de alumínio hidratados, óxidos de ferro, alumínio e silício, os quais são compostos primordiais para produção do cimento Portland (LIMA, 2011).

Por se tratar de um material extremamente versátil, argilas são empregadas em diversas outras aplicações no ramo da construção civil, dentre elas destaca-se a produção de artefatos de cerâmica vermelha amplamente utilizada na forma de blocos de vedação, lajotas e telhas, por exemplo. Esses materiais se apresentam em diversos formatos normatizados, com baixo custo e uso consagrado, em especial os blocos cerâmicos os quais são utilizados para vedação de ambientes associado à estrutura de concreto armado, lajotas cerâmicas na composição de lajes e telhas de cerâmica vermelha nas coberturas de edificações.

O processo produtivo destes artefatos de cerâmica vermelha se inicia com a extração da argila de uma jazida, considerando composição, profundidade de extração e umidade. Segue-se então a estocagem, preparação da matéria-prima e da massa, conformação das peças, secagem e queima. Neste último processo, o material passa por um grande número de reações químicas. A cerâmica vermelha ou estrutural é queimada entre 900°C e 1200°C, apresentando em sua maioria cor avermelhada após a queima (BASTOS, 2003).

Nesse contexto, a aplicação dos materiais de cerâmica vermelha (tijolos e telhas, principalmente) é passível de um problema intrínseco ao procedimento de transporte e aplicação: geração de grande quantidade de resíduos de construção. Um exemplo claro disso é o carregamento, descarregamento e armazenagem dos materiais de cerâmica vermelha: devido a sua fragilidade, à falta de cuidado ou mesmo acidentes, muitos artefatos acabam se quebrando no processo. Outra situação que pode ser abordada é a execução da passagem de eletrodutos pela alvenaria de vedação em edifícios executados em concreto armado associado à vedação com blocos cerâmicos onde comumente, para a passagem, é feito um recorte da alvenaria após a execução da mesma, seguido da aplicação de uma argamassa para fechamento do recorte. Toda essa parcela recortada é perdida na forma de entulho.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002) através Resolução CONAMA 307/2002 e suas alterações prescrevem que, este resíduo gerado se adequa na classe A que são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, entretanto, este reaproveitamento ou reciclagem raramente é feito. Compondo esse resíduo de Classe A, dentre outros, está o resíduo de telha cerâmica vermelha.

Dada esta grande quantidade de resíduo cerâmica vermelha disponível, a proposta



sugerida no presente trabalho é produzir e caracterizar um aglomerante de reduzido impacto ambiental substituindo a argila comumente utilizada para a produção de cimento por resíduo de telha cerâmica vermelha, processado e beneficiado demonstrando que há possibilidade de se fazer essa substituição conseguindo um produto com características aplicáveis à construção civil.

2 Metodologia

De acordo com Gil (1999) a presente pesquisa classifica-se como aplicada, quantitativa e experimental. Para a produção do aglomerante proposto, foram utilizadas matérias primas encontrados na região de Barra do Garças-MT. O calcário calcítico utilizado na produção do aglomerante bem como o cimento Portland de referência CPII-Z 32 para estudos comparativos, e a gipsita, foram adquirido no comércio local. Já os resíduos de telha cerâmica vermelha foram obtidos de telhas que seriam descartadas de depósitos e obras da cidade. Grande parte do desenvolvimento deste trabalho se deu no Laboratório de Estudos de Materiais (LEMat-UFMT/CUA), o qual teve suas instalações e equipamentos generosamente cedidos.

Para promover a identificação das telhas e dos aglomerantes produzidos a partir dessas telhas, estas foram identificadas pela marca da seguinte forma: telha Santorini, telha Nilda e telha BG, esta nomeada de forma especial por ter sido produzida na cidade de Barra do Garças-MT. Passando esta etapa, foram retirados alguns fragmentos de cada telha para obtenção da matéria-prima, o resíduo beneficiado. Estes fragmentos foram processados por maceração em almofariz e pistilo de Ágata de modo a se obter granulometria fina.

As quantidades obtidas foram peneiradas por 3 minutos no vibrador mecânico de peneiras para separação dos grãos com o intuito de obter granulometria mais fina para produção dos aglomerantes. Foram utilizadas as quantidades retidas nas peneiras 0,25 mm; 0,15 mm; 0,075 mm e no fundo, sendo estas parcelas posteriormente homogeneizadas. A utilização de granulometrias mais finas prevê melhor reatividade entre as matérias primas no decorrer da produção. O calcário passou pelo mesmo processo de peneiramento, todavia, pela maior disponibilidade de material, foi possível utilizar somente a fração retida na peneira 0,075 mm e o no fundo.

Considerou-se a proporção de 20% de resíduo de telha cerâmica vermelha, para substituir a proporção de argila utilizada no processo convencional. Com o auxílio de uma balança analítica, foram pesadas quantidades dos materiais buscando manter a proporção de 80% de calcário calcítico e 20% de resíduo de telha cerâmica vermelha tendo em vista a suposição de que há as proporções de carbonato de cálcio (CaCO_3), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3) adequados à sintetização do cimento. As proporções foram misturadas por meio de agitação manual por 2 minutos.

As farinhas cruas foram levadas à mufla por um período de três horas contadas a partir do instante em que o equipamento atingiu a temperatura de 1200 °C. Após o processo de queima, e passado o tempo de resfriamento da mufla, fez-se a retirada do material. A farinha crua que passou pela queima, foi macerada com almofariz e pistilo de Ágata por 3 minutos. Este processo se baseia na necessidade de se aumentar a superfície específica do material, observando que as reações do cimento se iniciam na superfície, há melhora da reatividade e desenvolvimento de resistência da pasta.

Foram adicionados 3% em massa de sulfato de cálcio di-hidratado no material ora macerado considerando a necessidade de se controlar o processo de hidratação do C_3A (aluminato tricálcico) visto que, na ausência da gipsita, a reação que ocorre é extremamente violenta, causando pega instantânea. Ao final deste procedimento, os aglomerantes foram



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

nomeados Cimento Santorini, Cimento Nilda e Cimento BG, de acordo com o resíduo de telha utilizado na produção de cada um.

Foram produzidas pastas com o Cimento Santorini, Cimento Nilda, Cimento BG e Cimento CPII-Z 32 com relação água-cimento de 0,6 em massa. A mistura das pastas foi realizada em bêqueres com auxílio de espátula por cerca de 2 minutos. Tendo como base prescrições da ABNT NBR 5738/2015, foram preparados três corpos de prova de cada aglomerante descrito anteriormente com o objetivo de realizar o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias. As pastas foram alocadas em molde de PVC com 25 mm de diâmetro e 50 mm de altura respeitando a relação altura/diâmetro igual a dois e com superfície untada com óleo vegetal para facilitar a posterior desforma. Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em repouso cobertos com pano umedecido com água destilada para preservação da água de amassamento por 72 horas para o processo de cura inicial.

Após este período reservado para cura inicial, os corpos de prova foram submersos em solução saturada de cal segundo orientação da ABNT NBR 5738/2015, para evitar a perda de hidróxido de cálcio para o ambiente, até data próxima a realização do ensaio. Os corpos de prova curados foram ensaiados à compressão no Laboratório de Estruturas da UFMT-CUA, utilizando o equipamento eletrônico universal modelo *WDW30E* da fabricante *TIME Group Inc.* com uma taxa de aplicação de força com velocidade constante de 1 mm/min e módulo de carga de 15 kN, utilizando neoprene de 5 mm nas duas faces dos corpos de prova para melhora da distribuição das tensões, tendo em vista procedimentos indicados pela ABNT NBR 5739/2007. A Figura 1 mostra a execução do ensaio.

Figura 1 – Ensaio de resistência à compressão



Para cada tipo de cimento, foi realizada a média dos valores obtidos nos ensaios de modo que se obtenha uma única curva que permita a comparação entre os aglomerantes. Desses dados ainda foram aferidos o módulo de elasticidade longitudinal por meio do trecho linear da curva feito graficamente, para fins de comparação.

3 Resultados

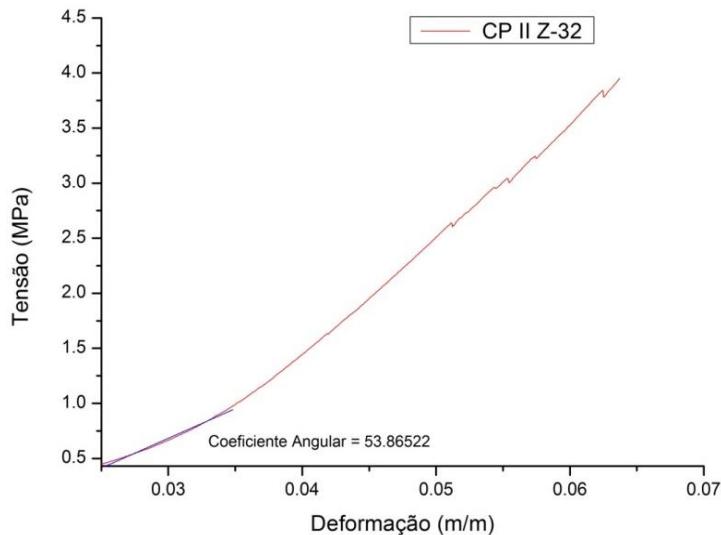
A Figura 2 apresenta o resultado da análise dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova moldados com pasta do CP II Z-32.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

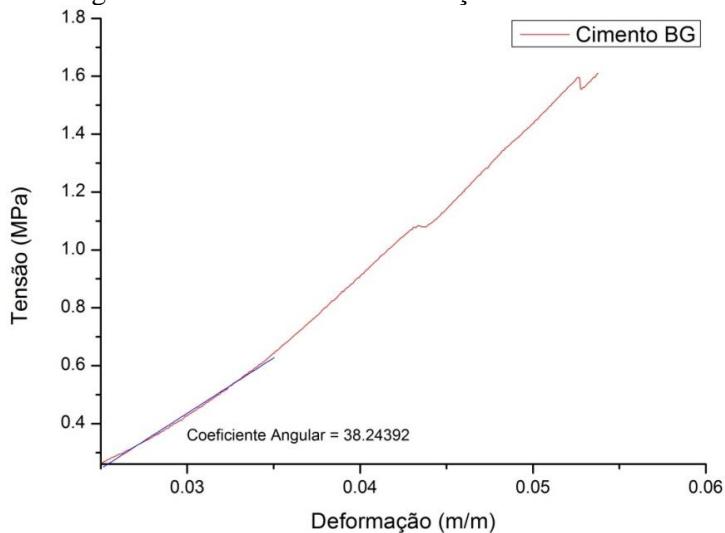
Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Figura 2 – Curva tensão-deformação - CP II Z - 32



A curva tensão-deformação apresentada na Figura 2, construída com auxílio do software Origin da desenvolvedora OriginLab, permite observar que o módulo de elasticidade (E) para no trecho linear apresenta o valor de $E = 53,86$ MPa. A tensão máxima foi de $\sigma_{\max} = 3,84$ MPa. A Figura 3 apresenta o resultado da análise dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova moldados com pasta do Cimento BG.

Figura 3 – Curva tensão-deformação - cimento BG



Na Figura 3, apresenta-se a curva tensão-deformação do cimento BG, construída com auxílio do software Origin da desenvolvedora OriginLab, permite observar que o módulo de elasticidade (E) para no trecho linear apresenta o valor de $E = 38,24$ MPa. A tensão máxima foi de $\sigma_{\max} = 1,61$ MPa.

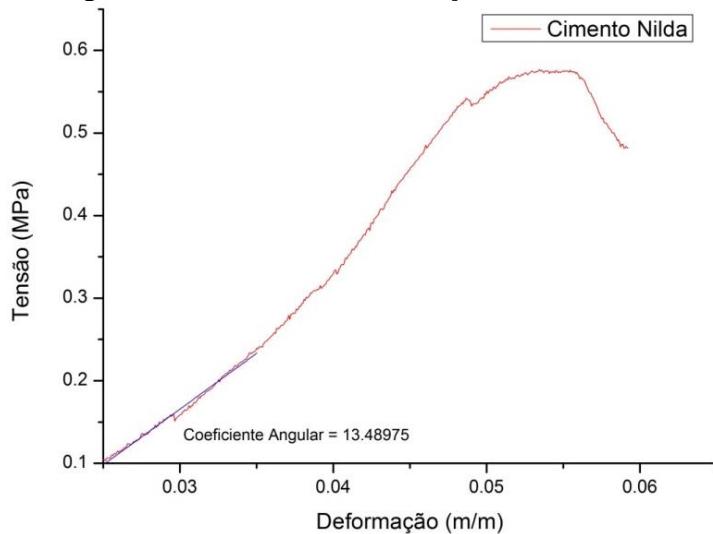
A Figura 4 apresenta o resultado da análise dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova moldados com pasta do Cimento Nilda.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

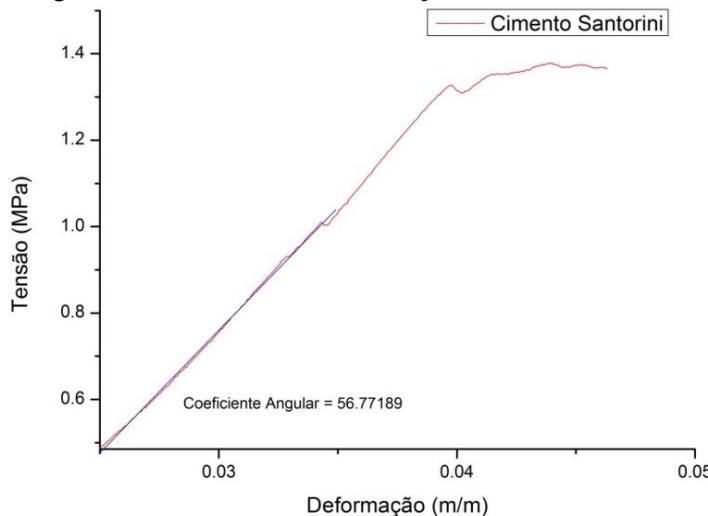
Figura 4 – Curva tensão-deformação - cimento Nilda



A curva tensão-deformação apresentada na Figura 4, construída com auxílio do software Origin da desenvolvedora OriginLab, permite observar que o módulo de elasticidade (E) para no trecho linear apresenta o valor de $E = 13,49$ MPa. A tensão máxima foi de $\sigma_{\max} = 0,58$ MPa.

A Figura 5 apresenta o resultado da análise dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova moldados com pasta do Cimento Santorini.

Figura 5 – Curva tensão-deformação - cimento Santorini



A curva tensão-deformação apresentada na Figura 5, construída com auxílio do software Origin da desenvolvedora OriginLab, permite observar que o módulo de elasticidade (E) para no trecho linear apresenta o valor de $E = 56,77$ MPa. A tensão máxima foi de $\sigma_{\max} = 1,38$ MPa.

Observando inicialmente o módulo de elasticidade dos cimentos sintetizados, percebe-se que os valores apresentaram uma grande dispersão. Comparando-os com o módulo de elasticidade do cimento comercial, percebe-se que somente o cimento Santorini obteve valor equiparável. Com relação à tensão máxima, é interessante observar que o cimento BG atingiu 41,93% da tensão máxima do cimento comercial enquanto que o cimento Santorini atingiu 35,94% e o cimento Nilda atingiu 15,10% da tensão máxima do cimento comercial.



No processo de fabricação do cimento Portland, os combustíveis lançados na zona de combustão podem atingir temperaturas da ordem de 1450 a 1550 °C, onde ocorrem reações químicas relacionadas à formação dos compostos do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

Durante o processo de clinquerização, são formados os compostos que conferem as características e propriedades do cimento Portland, sendo os principais compostos o Silicato Tricálcico (C_3S), Silicato Dicálcico (C_2S), Aluminato Tricálcico (C_3A) e Ferroaluminato Tetracálcico (C_4AF). Destaca-se que estes compostos apresentam diferentes características e suas proporções no cimento influenciam em suas propriedades (NEVILLE, 2016).

O silicato tricálcico apresenta composição química em óxidos $3CaO \cdot SiO_2$ tendo como abreviatura C_3S . Este composto contribui principalmente para a resistência nas primeiras quatro semanas do processo de hidratação (NEVILLE, 2016). A formação desse composto ocorre no intervalo de temperaturas entre 1350°C e 1450°C (PAULA, 2009).

Observada a limitação do equipamento utilizado na presente pesquisa quanto à temperatura de queima, onde se obteve temperatura máxima de 1200 °C, pode-se supor que a baixa resistência à compressão apresentada pelos aglomerantes sintetizados aos 28 dias esteja relacionada à baixa proporção de C_3S (silicato tricálcico), que contribuiria majoritariamente para a resistência até os 28 dias, como indica Woods, Starke e Steinour (1932) apud Neville (2016).

Espera-se, portanto, que a diferença com relação à tensão máxima resistida pelos corpos de prova aos 28 dias esteja relacionada à temperatura de queima que impossibilitou a formação de um dos principais compostos que conferem resistência mecânica às pastas, argamassas e concretos de cimento Portland. Dessa forma, pode-se concluir que o emprego dos aglomerantes sintetizados fica restrito para fins que exijam baixas solicitações à compressão e que não exerçam função estrutural.

4 Conclusões

Diante do estudo apresentado, verificou-se que há a possibilidade de se desenvolver aglomerantes hidráulicos de reduzido impacto ambiental utilizando resíduo de telha cerâmica vermelha em substituição à argila comumente utilizada na produção de cimentos comerciais.

Todavia, observou-se que o desenvolvimento da resistência à compressão, a característica mais representativa dos cimentos, é diferenciado nos cimentos produzidos com diferentes tipos de resíduo o que sugere que o processo de produção deve ser precedido de análises mineralógicas da matéria-prima (resíduo) para identificar a necessidade de correções da sua composição antes da sintetização dos aglomerantes, o que não necessariamente inviabiliza o processo já que tais análises são realizadas nos processos industriais atualmente.

Ainda em fase de desenvolvimento e estudo de suas propriedades, o aglomerante de reduzido impacto ambiental produzido com resíduos de telhas cerâmicas vermelhas de fontes distintas prescreve a possibilidade do desenvolvimento de um aglomerante com características químico-físico-mineralógicas análogas às do cimento Portland comercial sendo utilizada como uma das matérias primas para sua produção um material que é comumente descartado na natureza, o resíduo de telha cerâmica vermelha.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Básico sobre cimento.** Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento/>>. Acesso em: 30/ Jul./2017.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739:** Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

_____. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

BASTOS, F.A. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto.** 2003. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **RESOLUÇÃO Nº 307, de 5 de julho de 2002. Alterada pela Resolução nº 469/2015, Resolução nº 448/12, Resolução nº 431/11 e Resolução nº 348/04.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 12/Nov./2017.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** São Paulo: Atlas, 1999.

LIMA, A.B. **O processo produtivo do Cimento Portland.** 2011. Monografia (Especialização em Engenharia de Recursos Minerais) - Especialização em Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.ceermin.demin.ufmg.br/monografias/34.PDF>>. Acesso em: 25/Mai./2017.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concrete:** microstructure, properties and materials. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006. 659 p.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

_____; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto.** 2. ed. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

PAULA, L.G. **Análise Termoeconômica do Processo de Produção de Cimento Portland com Co-processamento de Misturas de Resíduos.** 2009. 158 p. Dissertação (Mestrado em Conversão de Energia) - Programa De Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2009.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **Press Kit 2013:** Agosto. Rio de Janeiro: FSB Comunicações, 2013. 22 p. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2013.pdf>. Acesso em: 25/Mai./2017.

_____. **Resultados Preliminares - Outubro 2017:** Venda de cimento melhora em outubro e reduz queda no ano. Rio de Janeiro, 2017. 2 p. Disponível em: <<http://snic.org.br/assets/pdf/resultados-preliminares/1510259226.pdf>>. Acesso em: 17/Nov./2017.