

A influência do gesso presente no agregado miúdo reciclado para fabricação de argamassas

Daniel dos Santos Luiz Junior (Universidade Tuiuti do Paraná - UTP) danieljunior_02@hotmail.com

Rafael Willian Prado (Universidade Tuiuti do Paraná - UTP) rafaelwillianprado@hotmail.com

Daniela Evaniki Pedroso (Universidade Tuiuti do Paraná - UTP) daniela.predroso@utp.br

Resumo:

Apesar da indústria da construção civil ter grande importância no desenvolvimento econômico e social de um país, ela é também uma das grandes causadoras de impactos ambientais, principalmente pela produção de resíduos advindos de suas obras. A reutilização dos resíduos de construção civil seria uma das formas de buscar sustentabilidade nas edificações e amenizar o impacto ambiental gerado por este setor. No entanto o uso desses agregados reciclados (AR) deve ser feito com cautela, uma vez que é sabido que eles podem apresentar contaminações, comprometendo a qualidade e a segurança das construções. O gesso é um provável contaminante desses agregados, em decorrência da alta concentração de sulfatos (SO_4), que em conjunto com os aluminatos do cimento (C_3A), associados a condições de umidade e temperatura propícias, resultam na etringita tardia, gerando tensões que podem provocar fissuras nos concretos endurecidos. Com o objetivo de analisar as propriedades físicas e mecânicas das argamassas confeccionadas com AR contaminado com gesso, foram confeccionados sete tipos de argamassas, com os seguintes teores de gesso: 0%; 1%; 2,5%; 3%; 5%; 7,5% e 10% e analisadas a sua resistência à compressão em um ensaio baseado na NBR 13279 (ABNT, 2005). Nossos resultados mostraram que os teores de sulfato de cálcio nesses agregados influenciam nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas, principalmente naquelas que contém uma concentração acima de 7,5%, uma vez que esta proporciona falta de plasticidade e início de pega imediato nessas argamassas, fazendo com que elas percam a resistência ao aumentar a concentração em sua composição.

Palavras chave: Resíduos, Agregados, Argamassas, Gesso, Etringita

The influence of gypsum present in recycled sand for the production of mortars

Abstract

Although the construction industry has great importance in the economic and social development of a country, it is also one of the great cause of environmental impacts, mainly by the production of residues coming from its works. The reuse of construction waste would be one of the ways to seek sustainability in buildings and reduce the environmental impact generated by this sector. However, the use of these recycled aggregates (RA) should be done with caution, since it is known that they can present contaminations, compromising the quality and safety of buildings. The gypsum is a probable contaminant of these aggregates, due to the high concentration of sulphates (SO_4), which together with the cement aluminates (C_3A),

associated with favorable humidity and temperature conditions, result in the late ettringite, generating tensions that can to cause cracking of the hardened concretes. In order to analyze the physical and mechanical properties of mortar made from gypsum-contaminated RA, seven types of mortar were made with the following gypsum contents: 0%; 1%; 2.5%; 3%; 5%; 7.5% and 10% and their compressive strength was analyzed in an assay based on NBR 13279 (ABNT, 2005). Our results showed that the calcium sulphate contents in these aggregates influence the physical and mechanical properties of the mortars, especially those that contain an above concentration of 7.5%, since this provides lack of plasticity and initiation of immediate grip in these mortars, causing them to lose resistance by increasing concentration in their composition.

Key-words: Residue, Aggregates, Mortars, Gypsum, Ettringite

1. Introdução

Uma das grandes preocupações ambientais na Indústria da Construção Civil é a busca pela sustentabilidade nas edificações. Segundo Cabral (2007), a construção sustentável está baseada na prevenção e redução dos resíduos através do desenvolvimento de tecnologias limpas, no uso de materiais reciclados, reutilizáveis ou subproduto, até a coleta e disposição final dos inertes inservíveis.

Uma das formas de reutilizar os resíduos da construção civil (RCC) de acordo com Marinho (2016), é a utilização de agregados obtidos no processo de reciclagem nas usinas, tais materiais podem ser aplicados em serviços de pavimentação, na fabricação de argamassas de assentamento e revestimento, na fabricação de concretos não estruturais e pré-moldados (como blocos, peças de meio-fio e outros).

Todavia com o crescimento da utilização de agregados reciclados, é necessário tomar algumas precauções quanto ao seu uso, visto que os agregados reciclados podem apresentar contaminações. O gesso, material muito empregado em empreendimentos da construção civil, é um provável contaminante em decorrência da sua alta concentração de sulfato (SO_4), que em conjunto aos aluminatos do cimento (C3A), associados a condições de umidade e temperatura propícias, resultam na etringita tardia. Este processo não ocorre de forma homogênea em toda a matriz cimentícia, o que ocasiona um aumento de volume, gerando tensões que podem provocar fissuras nos concretos endurecidos (COLLEPARDI, 2003; TAYLOR; FAMY; SCRIVENER, 2001; HIME; MATHER, 1999 e FU; Y *et al.*, 1995).

Nesse sentido a presente pesquisa busca analisar as propriedades físicas e mecânicas das amostras de argamassas fabricadas com agregado miúdo reciclado contaminado com gesso, em dosagens de 0%; 1%; 2,5%; 3%; 5%; 7,5% e 10%.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Resíduos da Construção Civil (RCC)

De acordo com Pinto (2005), a indústria da construção civil é destacada como uma das mais importantes para o desenvolvimento econômico e social, porém, destaca-se também como uma grande causadora de impactos ambientais, seja pela utilização de recursos naturais, pela alteração da paisagem ou pela geração de RCC.

A definição de RCC para a Environmental Protection Agency's (EPA), é um material de resíduos produzido através dos processos de construções, reformas ou demolição de estruturas, sejam elas, edifícios e/ou estradas. Os componentes do RCC na sua maioria são materiais

cimentícios (concreto e argamassas), asfalto, madeira, tijolo, metais, gesso e telhas (EPA, 2012).

2.2 Geração de RCC

Atualmente, a indústria da construção civil vem desenvolvendo técnicas avançadas de construção, entre elas a utilização de novos materiais e métodos de execução. Com isso, a construção civil é uma esfera que gera muitos resíduos, desta forma, a correta destinação para esses resíduos é de suma importância para o meio ambiente.

Conforme explicado por Miotto (2013), a geração excessiva de RCC possui motivos variados, sendo eles: mão de obras com baixa qualificação; técnica de construção de precária tecnologia e que não utiliza princípios de racionalização; processos falhos de transporte dos materiais nas obras; produção em grande escala de materiais e de embalagens, entre outros.

De acordo com Marinho (2016), o RCC é composto por materiais de construção, como concreto, argamassas, cerâmicas e rochas e sua caracterização da composição do resíduo depende principalmente da origem, dos processos construtivos e dos materiais utilizados.

2.3 Agregado Reciclado

Conforme explica Morales (2015), agregado reciclado (AR) é o termo que se dá ao material adquirido por intermédio da reciclagem de detritos e restos industriais, mineração ou construção e demolição da indústria da construção civil, até mesmo os agregados recuperados de concreto fresco pelo processo de lavagem.

O AR também é definido pela Resolução CONAMA nº 307/02 como sendo um material de forma granular, derivado da separação de resíduos de construção que oferecem propriedades técnicas para a utilização em obras de edificação, de infraestrutura, entre outras obras de engenharia (BRASIL, 2002).

A NBR 15115 (ABNT, 2004) foi a primeira Norma a ser publicada que engloba a utilização de agregados reciclados, porém abrangendo o uso apenas em camadas de pavimentação. Posterior a isso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT publicou a NBR 15116 (ABNT, 2004), na qual especifica a utilização deste tipo de agregado em concreto sem fins estruturais, não contemplando normativas específicas para a atualização dos agregados reciclados na produção de argamassas.

2.4 O gesso como agente contaminante no RCC

Conforme Aguiar (2004), diversos agentes contaminantes podem ser encontrados nos RCC, tais como: sulfatos, metais pesados, álcalis solúveis, madeira, óleo, plástico e materiais betuminosos. Se tratando de contaminação proveniente de sulfatos, o principal responsável é o gesso de construção, produto muito utilizado no setor da construção civil.

Segundo Ferreira (2017), o gesso é um aglomerante aéreo, o que quer dizer que, logo após o seu endurecimento, ele não resiste à ação da água, se utilizando apenas de um único material, o mineral gipsita (sulfato de cálcio di-hidratado – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), para sua produção.

Conforme explicado por Aguiar (2004), o RCC pode estar contaminado por uma pequena quantidade de gesso, devido a grande utilização de gesso nos acabamentos das obras, resultando em resíduos deste material nos canteiros e devido a uma falha no gerenciamento podem ser misturados a outros resíduos, que acabam chegando as usinas de reciclagem e assim podendo contaminar os agregados reciclados.

A NBR 9917 (ABNT, 2009) apresenta o limites máximos para a presença de sulfatos em 0,1 % para agregados de concreto.

Conforme exposto por Leite (2001), o gesso é uma substancia nociva ao concreto e argamassas, por formar a etringita secundária, que por sua vez é altamente expansiva, provocando tensões internas podendo causar diversas fissuras no concreto e argamassas.

2.5 Formação de Etringita

De acordo com Dyer (2015), a etringita é um produto resultante da hidratação do cimento Portland, derivado de reações químicas entre o gesso acrescentado ao clínquer do cimento durante a fabricação, e as fases de aluminato tricálcico (C3A) e aluminoferrite tetracálcico (C4AF), à medida em que o cimento e o clínquer reagem com a água. A constituição da etringita durante a fase inicial do concreto e argamassas é esperada e útil, já que ela é responsável por retardar as reações de C3A e C4AF, que de forma diferente seriam instantâneas, contribuindo para a fixação. A seguir o sulfato disponível é exaurido a etringita se transformando progressivamente em monossulfato.

Como explica Melo (2010), a etringita comumente tem sua formação alguns minutos após o contato do cimento com a água, porém a etringita poderá vir a se formar novamente passando de monossulfato a etringita tardia, quando exposta a condições propícias de temperatura, umidade e alcalinidade, são disponibilizados sulfatos, aluminatos e água em proporções adequadas para executar as reações químicas. Com isso causando danos a matriz cimentícia se o tamanho ou quantidade dos cristais produzidos forem suficientes para gerar pressão local e expansão. Por conta dessa característica sua formação em argamassas e concretos endurecidos poderá ter efeito nocivo, na Figura 1 é representado cristais de monossulfato e cristais de etringita.

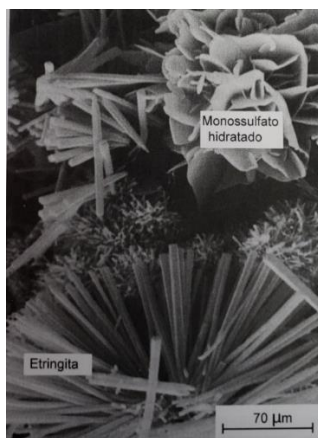


Figura 1 – Cristais de monossulfato e cristais de etringita - Fonte: Mehta e Monteiro, 2005

2.6 Etringita Tardia

De acordo com Menhta e Monteiro (2014), a etringita tardia é um ataque químico por sulfatos de origem interna. Sua ocorrência não é uma novidade, ele acontece quando um agregado contaminado com gipsita ou cimento com um teor de sulfato além do utilizado para a produção de argamassas e concreto.

Segundo Taylor (1997), a concepção retardada de etringita deriva da temperatura de degeneração relativamente baixa da etringita - praticamente 60°C. Acima desse valor, o

alumínio e o sulfato da etringita deteriorada estão presentes como monossulfato pouco cristalino, singenita ($K_2Ca(SO_4)2 \cdot H_2O$) e como substituições na estrutura do gel de CSH.

3. Materiais e métodos

Com o objetivo de analisar as propriedades físicas e mecânicas das argamassas confeccionadas com AR contaminado com gesso, foram confeccionados sete tipos de argamassas, com os seguintes teores de gesso: 0%; 1%; 2,5%; 3%; 5%; 7,5% e 10% presentes no AR.

Para realizar a produção das argamassas optou-se por utilizar os insumos, descritos abaixo.

3.1 Cimento

Foi utilizado cimento CP II F 32 de uma marca da região metropolitana de Curitiba, por ser o cimento comumente mais utilizado em obras da construção civil. Cimento este que apresenta as características conforme NBR 16697 (ABNT, 2018).

3.2 Agregado reciclado

O agregado miúdo reciclado utilizado neste trabalho foi fornecido por usina da região de Curitiba, com o objetivo verificar se este material atende a NBR 15115 (ABNT, 2004), e não se encontra contaminado com sulfato, optou-se pela caracterização por MEV+EDS.

O ensaio com microscópio eletrônico de varredura (MEV) produziu imagens de alta resolução e com isso pode-se observar a superfície da amostra do agregado miúdo reciclado. Conforme ilustra a Figura 2.

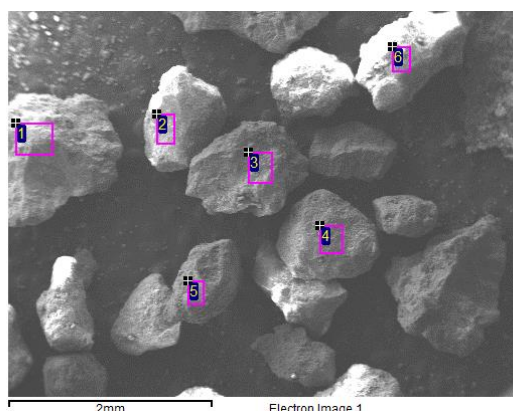


Figura 2 – Imagem de MEV – Fonte: Autores, 2018

Na Figura 2, com ampliação de 5.000 vezes, é possível observar que a mostra é constituída de partículas de diferentes formas e tamanhos. As partículas variam, aproximadamente de 0,5 μm a 15 μm . Ainda, através EDS - espectrômetro de raio-X, foi selecionado 5 pontos da amostra para caracterização da composição química, conforme mostra a Tabela 1.

Espectro	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Total
1	8.13	59.27	-	1.59	2.57	9.27	0.77	0.30	18.11	0.00	100.00
2	14.98	62.58	-	1.30	1.51	2.35	-	-	17.28	0.00	100.00
3	8.00	57.06	-	1.64	2.01	11.03	0.61	0.17	19.48	0.00	100.00
4	-	54.83	-	2.56	3.11	20.11	-	0.75	13.97	4.66	100.00
5	10.96	53.55	0.84	1.50	6.06	12.27	-	0.60	9.65	4.56	100.00
6	11.12	57.74	-	3.15	2.01	4.73	-	0.21	16.13	4.91	100.00

Tabela 1 - Composição química da amostra determinada pelo EDS – Fonte: Autores, 2018

Na Tabela 1, verifica-se que a amostra possui contaminantes de sulfato de cálcio (CaSO_4) em concentrações muito baixas, pois o enxofre aparece apenas nos pontos 1 e 3 em frações abaixo de 1%.

3.3 Água

Optou-se por utilizar a água da rede pública com o objetivo de reproduzir ao máximo possível as condições encontradas nas obras. Não foram realizados ensaios específicos.

3.4 Gesso

Foi utilizado o gesso de uma empresa revendedora da região de São Paulo. Não foram realizados ensaios específicos neste material.

3.5 Traço

Para a realização deste trabalho adotou-se o traço inicial de 1:3, ou seja, uma porção de cimento e três de agregado reciclado. Com este traço piloto foi definido a porção de água, por experimentação determinou-se o valor de 0,8, resultando em um traço final de 1:3:0,8 (cimento: areia reciclada: água). A Figura 3 ilustra a quantidade dos materiais de acordo com o traço adotado.



Figura 3 - Quantidade dos materiais de acordo com o traço adotado – Fonte: Autores, 2018

3.6 Preparo das argamassas

Para a produção das argamassas foi utilizado o Laboratório de Ensaio Especiais da Universidade Tuiuti do Paraná. O preparo foi realizado com o auxílio da argamassadeira automática (Figura 4) e o processo de mistura dos materiais seguiu o padrão estipulado na NBR 16541 (ABNT, 2016).



Figura 4 – Argamassadeira automática utilizada para a produção da argamassa – Fonte: Autores, 2018

3.7 Corpos de prova

Com o propósito de determinar a resistência à compressão uniaxial e identificar possíveis fissuras, foram moldados dez copos de prova (CP's) para cada percentual de gesso, em formato cilíndrico de acordo com a NBR 16541 (ABNT, 2016), com dimensões de 5x10 cm, conforme ilustrados nas Figuras 5 e 6.



Figura 5 – Moldagem dos corpos de prova – Fonte: Autores, 2018



Figura 6 – Corpos de prova desmoldados – Fonte: Autores, 2018

3.7 Resistência à compressão uniaxial

Ao se produzir argamassas e concretos, um dos principais requisitos a ser analisado é capacidade destes materiais de suportar cargas, ou seja, a sua resistência à compressão (MARTINS, 2011).

Os corpos de prova produzidos foram submetidos ao ensaio de compressão através de uma prensa mecânica de acordo com parâmetros determinados na NBR 13279 (ABNT, 2005) conforme ilustra a Figura 7.



Figura 7 – Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de compressão simples – Fonte: Autores, 2018

4. Análise dos resultados

Através do auxílio da prensa verificou-se a resistência à compressão uniaxial dos corpos de provas produzidos em argamassas e os resultados estão demonstrados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Não foi possível moldar os corpos de prova para as argamassas com teores de 7,5% e 10%, por conta do início imediato da pega e falta de plasticidade, devido a alta concentração de gesso nas composições e assim não gerando resultados para estes teores.

Para melhorar a demonstração dos resultados foi adotado como critério de verificação a média aritmética entre os valores de tensão máxima dos corpos de prova. Conforme observado no

Gráfico 1, as argamassas perderam resistência na medida em que a quantidade de gesso era aumentada em sua composição. Os corpos de provas CP 9, CP 10, CP 19, CP 20, CP 29 e CP 30 (todos com 5% de gesso em sua composição) obtiveram as menores resistências a compressão uniaxial nas idades de 7, 28 e 63 dias. Os corpos de prova CP 29 e CP 30 apresentaram a formação de fissuras antes do ensaio à compressão, conforme ilustra a figura 8, tal patologia pode ter sido provocado pela formação de etringita tardia.

CP	% de gesso	Força Máx (N)	Tensão Máx (MPa)	Média Tensão Máx (MPa)
CP 1	0	10450	5,32	
CP 2	0	9550	4,86	5,09
CP 3	1	9100	4,63	
CP 4	1	9000	4,58	4,60
CP 5	2,5	8450	4,30	
CP 6	2,5	8050	4,10	4,20
CP 7	3	7600	3,87	
CP 8	3	7150	3,64	3,75
CP 9	5	6750	3,44	
CP 10	5	6250	3,18	3,31

Fonte: Autores, 2018

Tabela 2 - Resultados dos corpos de provas com idade de 7 dias

CP	% de gesso	Força Máx (N)	Tensão Máx (MPa)	Média Tensão Máx (MPa)
CP 11	0	20100	10,24	
CP 12	0	19850	10,11	10,17
CP 13	1	17550	8,94	
CP 14	1	16850	8,58	8,76
CP 15	2,5	14200	7,23	
CP 16	2,5	15000	7,64	7,43
CP 17	3	13200	6,72	
CP 18	3	13500	6,88	6,80
CP 19	5	10650	5,42	
CP 20	5	9050	4,61	5,01

Fonte: Autores, 2018

Tabela 3 - Resultados dos corpos de provas com idade de 28 dias

CP	% de gesso	Força Máx (N)	Tensão Máx (MPa)	Média Tensão Máx (MPa)
CP 21	0	28150	14,35	
CP 22	0	30250	15,41	14,88
CP 23	1	24750	12,61	
CP 24	1	23300	11,87	12,24
CP 25	2,5	20900	10,64	
CP 26	2,5	22250	11,33	10,98
CP 27	3	18500	9,42	
CP 28	3	15000	7,64	8,53
CP 29	5	13150	6,7	
CP 30	5	15750	8,02	7,36

Fonte: Autores, 2018

Tabela 4 - Resultados dos corpos de provas com idade de 63 dias

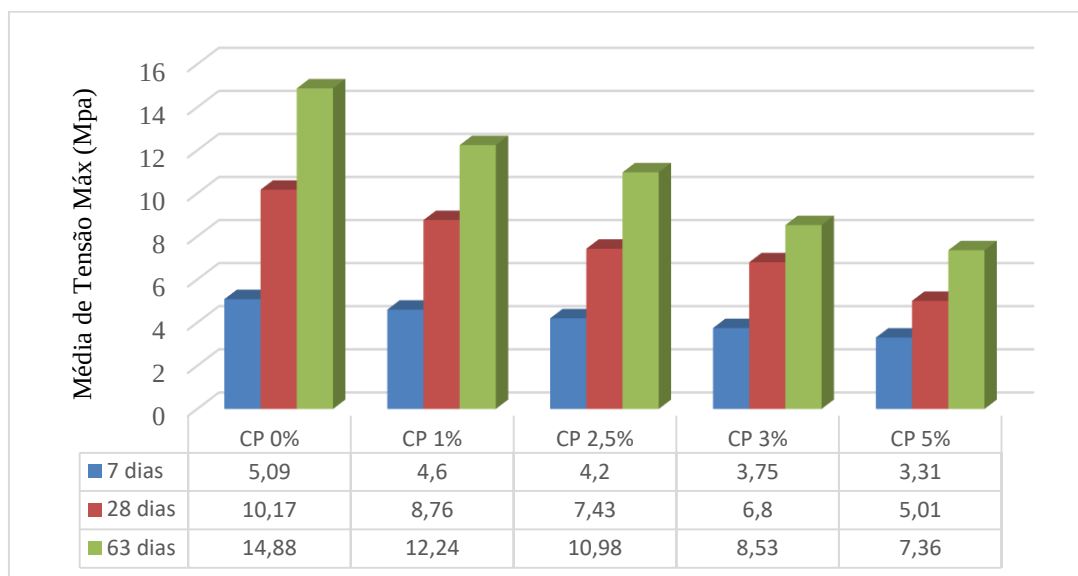


Gráfico 1 – Média aritmética das tensões máximas – Fonte: Autores, 2018



Figura 8 – Corpo de prova CP 29 com fissuras - Fonte: Autores, 2018

5. Conclusão

Pode-se concluir que teores de sulfato de cálcio influenciam nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas. Teores de sulfato de cálcio acima de 7,5% proporcionam falta de plasticidade e início de pega imediato em argamassas. Teores de 5% podem reduzir em até 50% o ganho de resistência à compressão uniaxial, além de causarem fissuras diminuindo a vida útil do elemento.

Além disso, pode-se concluir que os agregados reciclados podem conter teores de sulfato de cálcio, porém esses teores podem variar dependendo da origem do agregado reciclado. Se o material original teve seleção e destinação correta, as chances de contaminação serão menores do que aqueles que foram misturados na origem e processados de maneira inadequada, sem seleção.

Com isso, para as argamassas produzidas com os agregados reciclados, considera-se recomendável a não utilização de agregados contaminados com gesso, essa recomendação tem como objetivo a prevenção da deterioração de alvenarias produzidas com argamassas que de algum modo fiquem entregues às ações de umidade, devido ao grande risco de sofrerem patologias que provocam danos no desempenho.

Referências

AGUIAR, G. *Estudo de argamassas produzidas com agregados reciclados contaminados por gesso de construção*. 282 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR N° 9917: agregados para concreto-Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis*. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR N° 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos*. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15116: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos*. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR N° 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR N° 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios*. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR N° 16697: Cimento Portland – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2018.

CABRAL, A.E.B. *Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD*. 280 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

COLLEPARDI, M. *A state-of-the-art review on delayed ettringite attack on concrete*. *Cement and concrete composites*, 25, p. 401-407, 2003.

CONAMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução nº307, de 05 de julho de 2002*. Brasília DF, n. 136, 17 de julho de 2002. Seção 1.

DYER, T. *A Durabilidade do Concreto*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Ciência Moderna Ltda. 2015.

EPA. United States Environmental Protection Agency's, E. P. A. *Construction and Demolition (C&D) Debris*. Washington, 2012. Disponível em:
<<http://www.depgreenport.state.pa.us/elibrary/GetDocument?docId=8001&DocName=MANAGEMENT%20OF%20FILL.PDF%20%20%3Cspan%20style%3D%22color%3Ablue%3B%22%3E%3C%2Fspan%3E%3E>>. Acesso em: 01 set. 2018.

FERREIRA, F.C. *Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe*. 204 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2017.

FU, Y et al. *A kinetic study of delayed ettringite formation in hydrated portland cement paste*. *Cement and Concrete Research*, v 25, p.63-70, 1995.

HIME, W. G.; MATHER, B. "Sulfate attack," or is it? Cement and Concrete Research, v.29, p.789-791, 1999.

LEITE, M.B. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.* 290 p. Tese (Doutor em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MARINHO, G.P. *Avaliação da influência dos agregados reciclados produzidos em britadores de mandíbula e de impactos das propriedades de argamassas de revestimento.* 119 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

MARTINS, L.A. *Desenvolvimento de argamassa autoadensável de alta resistência.* 89 p. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em concreto) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais 2. ed.* São Paulo, SP:IBRACON. 2014.

MELO, S.K. *Estudo da formação da etringita tardia em concreto por calor de hidratação do cimento.* 286 p. Dissertação (Mestre em Geotecnia e Construção Civil) -Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.

MIOTTO, J.L. *Princípios para o projeto e produção das construções sustentáveis.* 1 st ed. Ponta Grossa: UEPG/NUTEAD, 2013.

MORALES, B.R.S.C. *Avaliação da influência das frações de agregado reciclado nas propriedades das argamassas de revestimento.* 201 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

PINTO, T.P. *Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP,* São Paulo: Sinduscon-SP, 2005.

TAYLOR, H. F. W. *Cement Chemistry 2nd ed.* London: Thomas Telford, 1997.

TAYLOR, H. F. W.; FAMY C.; SCRIVENER, K. L. *Delayed ettringite formation.* Cement and Concrete Research, v 31, p.683-93, 2001.