

CAPTURA DE CO₂ DEVIDO À CARBONATAÇÃO DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS: ABORDAGEM GERAL¹

RIGO, E., Universidade Federal da Integração Latino-Americana, e-mail: eduardorigo.e@gmail.com; POSSAN, E., Universidade Federal da Integração Latino-Americana, e-mail: epossan@gmail.com; MAZURANA, L., Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: lissandramazurana@hotmail.com

ABSTRACT

In recent years, it has been discussed that cementitious materials, specially concrete, can capture CO₂ due to carbonation, being able to compensate the cement production emissions, which is responsible for about 5% of global emissions of the gas. However, there are divergences in literature regarding the potential capture of CO₂ due to carbonation. In this context, the study purpose is to make a panorama by compiling already published studies on CO₂ uptake, indicating the main results found and identifying gaps in existing research. Researches was carried out in two bibliographic bases with main keywords of the subject, inserting filters. We found 22 relevant articles in the bases, which 10 were related to the experimental analyzes, 9 referring to calculation estimation through mathematical models or pre-existing data and 3 referring to "state of art "review. It was identified some frailties in calculation methodologies and the CO₂ uptake potentials founded, and the future perspectives on CO₂ capture context according to the papers. Therefore, the present study serves as a contribution to change cementitious materials concepts about sustainability and improve constructions life cycle analysis due to CO₂ capture consideration.

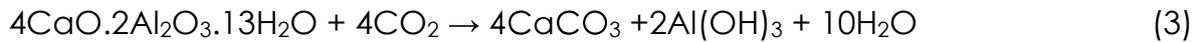
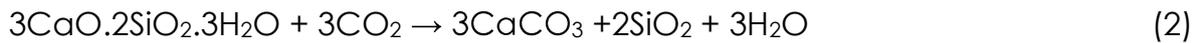
Keywords: CO₂ uptake. CO₂ sequestration. CO₂ capture. Concrete. Compensatory measures.

1 INTRODUÇÃO

Em 2014, foram emitidas 35,7 bilhões de toneladas de CO₂ no planeta, sendo que a indústria cimenteira foi responsável por cerca de 4,1% destas emissões (OLIVIER, 2015). Lima (2010) destaca que a produção de 1 tonelada de cimento pode gerar de 700 a 1100 kg de CO₂, o que é considerado alarmante, visto que o dióxido de carbono é considerado um dos gases do efeito estufa (GEE).

Uma das alternativas propostas para minimizar os efeitos da liberação de CO₂ na atmosfera é a absorção deste gás pelo processo de carbonatação em materiais cimentícios (PADE; GUIMARÃES, 2007). O processo consiste na reação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) (Equação 1), o hidróxido de potássio (KOH), o hidróxido de sódio (NaOH) e os silicatos alcalinos (Equações 2 e 3) presentes no concreto com o CO₂ presente na atmosfera, formando, principalmente, carbonato de cálcio e água. Apesar de reduzir o pH do concreto, deixando o aço suscetível à corrosão, captura o CO₂ da atmosfera (GANDÍA-ROMERO *et al.*, 2016).

¹ RIGO, E., POSSAN, E.; MAZURANA, L. Captura de CO₂ devido à carbonatação de materiais cimentícios: abordagem geral. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.



Na literatura existem vários trabalhos sobre o tema (GADJA, 2001; JACOBSEN; JAHREN, 2002; PADE; GUIMARÃES, 2007; YANG; SEO; TAE, 2014; XI *et al.*, 2016), contudo, os mesmos apresentam divergência nos resultados apresentados, especialmente quanto ao potencial de captura de CO₂ no período pós-demolição.

Portanto, o propósito do estudo é efetuar um panorama por meio da compilação de estudos já publicados sobre captura de CO₂ em materiais cimentícios, indicando os principais resultados encontrados e identificando lacunas de pesquisas.

2 METODOLOGIA

Usou-se como base o empenho da revisão sistemática de literatura, que de acordo com Borrego, Foster e Froyd (2014), consiste na elaboração das seguintes etapas: na tomada de decisão, na identificação do escopo e questões de pesquisa, na definição de critérios de inclusão de trabalhos, na descoberta e catalogação de fontes, na crítica e avaliação dessas fontes e, por fim, na sintetização dos resultados.

Considerou-se nesse estudo a aplicação de filtros em pesquisas efetuadas nas bases renomadas *Web of Science* e *Scopus*. O número de pesquisas, bem como os filtros utilizados e o número de artigos selecionados estão propostos no Quadro 1.

Quadro 1 - Esquema da pesquisa efetuada

Pesquisa	Base utilizada	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Número Artigos
1	Web of Science	CO ₂ uptake	AND concrete	AND carbonation	--	Leitura dos resumos e avaliação dos trabalhos	8
2		CO ₂ sequestration			--		8
3		CO ₂ capture			--		6
4	Scopus	CO ₂ uptake			10		
5		CO ₂ sequestration			6		
6		CO ₂ capture			5		
TOTAL (eliminando artigos repetidos nas buscas)							22

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No Quadro 2 estão dispostos os 22 artigos selecionados, bem como os autores dos artigos, tipos de estudo, o objeto de estudo de cada trabalho e dados de captura de CO₂, caso disponível.

Quadro 2 - Trabalhos selecionados

Autor(es) / Ano de Publicação	Tipo de Estudo	Objeto de estudo	Dados de captura de CO ₂	
			Vida útil	Pós demolição
Possan, E. <i>et al.</i> (2017)	Análise Experimental	Estudo avaliativo da captura de CO ₂ de concreto utilizado na Usina de Itaipu	13384 Ton	—
Souto-Martinez A. <i>et al.</i> (2017)	Estimativa	Análise experimental investigativa de processo de captura de CO ₂ em resíduos de concreto	—	
Zhang L.-N.; Li F.-C.; Yu X. (2017)	Estimativa	Modelo matemático para estimar o potencial de captura de CO ₂ de concretos de cimento portland	37,06 % do CO ₂ emitido	—
Jang, J.G. <i>et al.</i> (2016)	Revisão no estado da arte	Revisão no estado da arte da captura de CO ₂ fornecimento de informações a partir de uma perspectiva científica e técnica sobre a utilização de CO ₂ e tecnologias de sequestro utilizando materiais à base de cimento	0.02–0.43 ton CO ₂ /ton material	—
Zee, Van der S; Zeman, F. (2016)	Estimativa	Analisa a captura de CO ₂ através da produção de carbonato de cálcio precipitado em resíduos de concreto	—	56 kg CO ₂ /ton RCD
Lee, M.G. <i>et al.</i> (2016)	Análise experimental	Confirmação da possibilidade de uso de resíduos de materiais, incluindo concreto, na captura de CO ₂	—	
Xi, F.M. <i>et al.</i> (2016)	Revisão no estado da arte	Utiliza dados novos e existentes sobre materiais de cimento durante a vida útil, demolição e uso secundário de resíduos de concreto para estimar a absorção regional e global de CO ₂ entre 1930 e 2013, descrevendo a reação de carbonatação	43 % do CO ₂ emitido	
Lee, H.S.; Wang, X.Y. (2016)	Estimativa	Apresentação de um procedimento numérico para avaliar quantitativamente as emissões de dióxido de carbono e a absorção de estruturas de concreto misturado com escória de alto forno granulado	4,61 % do CO ₂ emitido	—
Witkowski, H; Koniorczyk, M. (2016)	Análise experimental	Análise da captura de CO ₂ em concretos auto-adensáveis	Não disponível	
Kuittinen M. (2016)	Estimativa	Cálculo de estimativa da captura de CO ₂ através da carbonatação do concreto durante 50 anos, na reconstrução de edifícios do terremoto ocorrido no Haiti em 2010	7,6 % - 14,2 % do CO ₂ emitido	—
Ben Ghacham, A; <i>et al.</i> (2015)	Análise experimental	Avalia a captura de CO ₂ utilizando potencial de 18,2% de CO ₂ oriundo de combustão	---	15% - 34,6% do gás emitido
Kinoshita, H. <i>et al.</i> (2014)	Análise experimental	Avalia a carbonatação reforçada nos sistemas de cimento endurecido misturados com escória de alto forno ou cinzas de combustível pulverizadas sob a condição testada	—	17,4 % - 75,24 % do CaO disponível
Garcia-Segura, T; Yepes, V; Alcalá, J. (2014)	Análise experimental	Determinar se a redução das emissões de produção de cimentos misturados compensa a durabilidade reduzida e a captura de CO ₂ .	8,94 - 16,39 kg por coluna avaliada	8,39 - 18,28 kg por coluna avaliada
Yang, K.H.; Seo, E.A.; Tae, S.H. (2014)	Análise experimental	Procedimento para avaliar a absorção de dióxido de carbono (CO ₂) de concreto pela carbonatação durante a vida útil de uma estrutura e pela reciclagem de concreto após a demolição.	5,6% do CO ₂ emitido	10,12 % do CO ₂ emitido

Quadro 2 - Trabalhos selecionados (continuação)

Autor(es) / Ano de Publicação	Tipo de Estudo	Objeto de estudo	Dados de captura de CO ₂	
			Vida útil	Pós demolição
Haselbach, L; Thomas, A. (2014)	Análise experimental	Distribuição espacial dos níveis de carbonatação em toda a espessura de amostras de calçada de concreto	28,2 % do CO ₂ emitido	—
Ueno, A. <i>et al.</i> (2014)	Análise experimental	Avaliação de vários métodos para visualizar a captura de CO ₂ no período pós-demolição; Análise prática	—	—
Andersson, R. <i>et al.</i> (2013)	Estimativa	Cálculo da absorção de CO ₂ em todas as estruturas de concreto existentes, incluindo a sua absorção após a vida útil	17 % do CO ₂ emitido	—
Kikuchi, T.; Kuroda, Y. (2011)	Análise experimental	Consideração da captura de CO ₂ em resíduos de concreto. Experimentos com argamassas em laboratório, com resíduos de concreto de demolição e pesquisa em concreto triturado obtido em usinas de reciclagem	—	38 % do CO ₂ emitido
Galan, I. <i>et al.</i> (2010)	Análise experimental	Avanço nos conhecimentos da captura de CO ₂ do concreto; quantifica a captura através de indicador ácido-base	7 - 24 % do CaO disponível	0 - 36 % do CaO disponível
Collins, F. (2010)	Estimativa	Calculo da captura de CO ₂ durante a vida primária e secundária em concreto em sua vida útil e em demolição	0,95% do CO ₂ emitido	18 - 38 % do CO ₂ emitido
Pade, C.; Guimaraes, M. (2007)	Estimativa	A estimativa de captura de CO ₂ através de carbonatação do concreto durante um período de 100 anos	24 % do CO ₂ emitido	57 % do CO ₂ emitido
Lagerblad, B. (2005)	Revisão de estado da arte	Revisão no estado da arte da captura de CO ₂ durante seu ciclo de via útil	47 kg do CaO disponível	—

Avalia-se através do resultado obtido que nas bases escolhidas existe um número reduzido de trabalhos publicados. Ao realizar buscas em outras bases, como o *Scholar Google*, encontrou-se trabalhos que indicam o início das pesquisas de captura de CO₂, do início dos anos 2000 (GADJA, 2001; JACOBSEN; JAHREN, 2002), além de outros trabalhos renomados atuais não constados nas referidas bases anteriormente pesquisadas.

Dos trabalhos encontrados, 50% (11) correspondem a análises experimentais, 36% (8) correspondem à estimativa de captura de CO₂ através de modelagens matemáticas e utilizações de dados pré-existentes e 14% (3) consistem em revisão do estado da arte sobre o processo de captura de CO₂.

Analisando os resultados encontrados, encontrou-se fragilidades em alguns dos trabalhos selecionados. São problemas em metodologias, consideradas simplistas demais (como emprego da equação $k\sqrt{t}$, para estimativa da carbonatação ao longo do tempo), falta de clareza na apresentação de dados e variáveis, consideradas inadequadas ou insuficientes para definir o fenômeno de carbonatação (ZHANG, LI, YU, 2017; ANDERSSON *et al.*, 2013; COLLINS, 2010; PADE; GUIMARÃES, 2007;). Além disso, verifica-se a grande variação de valores de captura de CO₂ dos trabalhos selecionados. Tem-se que o concreto pode capturar de 0,95 % a 28,2 % do CO₂ emitido durante a vida útil e 10,2 % a 57 % no período pós-demolição, o que indica a necessidade de mais estudos sobre o fenômeno em questão.

As perspectivas futuras esperadas quanto à captura de CO₂ consistem, principalmente, na comprovação ou refutação da hipótese de que materiais cimentícios podem capturar CO₂ no período pós-demolição (SOUTO-MARTINEZ *et al.*, 2017; JANG *et al.*, 2016; ZEE; ZEMAN, 2016; YANG; SEO; TAE, 2014; UENO *et al.*, 2013; ANDERSSON *et al.*, 2013; COLLINS, 2010; PADE; GUIMARÃES, 2007). Já as principais tendências identificadas no assunto consistem na preocupação das emissões associadas ao cimento (MORETTI; CARO, 2017), programas de redução de emissões de CO₂ na indústria cimenteira e em propostas de metodologias mais modernas para a captura de CO₂ (SOUTO-MARTINEZ *et al.*, 2017; ZEE; ZEMAN, 2016; LEE; WANG, 2016; KUITTINEN, 2016).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se, de acordo com os resultados obtidos neste estudo, que existem basicamente três tipos de pesquisa específicos: análise experimental, estimativas e revisões do estado da arte. As análises experimentais abordam basicamente estudos a respeito da verificação da profundidade de carbonatação e avaliam a captura de CO₂ através da utilização de indicador ácido-base. As estimativas abordam metodologias criadas ou já existentes a respeito do potencial de captura de CO₂ utilizando dados de cimentos e concretos já ensaiados. Já as revisões do estado da arte abordam um panorama completo da captura de CO₂ pelo concreto. Vale ressaltar também que as bases bibliográficas utilizadas apresentam poucos resultados sobre o assunto, apesar de o assunto ser abordado desde os anos 2000, quando os estudos se fortaleceram sobre a captura de CO₂ pelo concreto.

Outras considerações referem-se às lacunas ainda existentes. A bibliografia ainda carece de estudos acerca da captura de CO₂ em materiais cimentícios - sobretudo em estruturas durante sua vida útil, em resíduos de concreto (período pós-demolição) e em argamassas de revestimento, o que cabe estudos posteriores. Os valores, quando disponibilizados, quanto ao potencial de captura de CO₂, possuem elevada variação, havendo a necessidade de se continuar estudando o tema.

Portanto, ao se avançar os estudos na área e ao se comprovar a captura de CO₂ pelo concreto como uma medida mitigadora de emissões, pode-se mudar conceitos do concreto quanto à sustentabilidade, além de servir de contribuição à análise do ciclo de vida das construções a partir da consideração da captura de CO₂ devido à carbonatação.

REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, R.; FRIDH, K.; STRIPPLE, H.; HAGLUND, M. Calculating CO₂ Uptake for Existing Concrete Structures during and after Service Life. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 20, p.11625-11633, 2013.
- BORREGO, M.; FOSTER, M.J.; FROYD, J. E. Systematic Literature Reviews in Engineering Education and Other Developing Interdisciplinary Fields. **Journal Of Engineering Education**, v. 103, n. 1, p.45-76, 2014.
- COLLINS, F. Inclusion of carbonation during the life cycle of built and recycled concrete: influence on their carbon footprint. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, v. 15, n. 6, p.549-556, 2010.
- GAJDA, J. Absorption of atmospheric carbon dioxide by portland cement concrete. **PCA, R & D**, Chicago. Serial n. 2255a, 2001.
- GALAN, I.; ANDRADE, C.; MORA, P.; SANJUAN, M.A. Sequestration of CO₂ by Concrete Carbonation. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 8, p.3181-3186, 2010.
- GANDÍA-ROMERO, J.M.; CAMPOS, I.; VALCUENDE, M.; GARCÍA-BREIJO, E.; MARCOS, M.D.; PAYÁ, J.; SOTO, J. Potentiometric thick-film sensors for measuring the pH of concrete. **Cement And Concrete Composites**, v. 68, p.66-76, 2016.
- GARCÍA-SEGURA, T.; YEPES, V.; ALCALÁ, J. Life cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 1, p.3-12, 2013.
- GHACHAM, A.B.; CECCHI, E; PASQUIER, L-C; BLAIS, J-F. CO₂ sequestration using waste concrete and anorthosite tailings by direct mineral carbonation in gas–solid–liquid and gas–solid routes. **Journal Of Environmental Management**, v. 163, p.70-77, 2015.
- HASELBACH, L.; THOMAS, A. Carbon sequestration in concrete sidewalk samples. **Construction And Building Materials**, v. 54, p.47-52, 2014.
- JACOBSEN, S.; JAHREN, P. Binding of CO₂ by Carbonation of Norwegian OPC Concrete', CANMET. In: **ACI International conference on sustainability and concrete technology**: Lyon. 2002.
- JANG, J.; KIM, H.J.; KIM, H.J.; LEE, H.K. Review on recent advances in CO₂ utilization and sequestration technologies in cement-based materials. **Construction And building materials**, v. 127, p.762-773, 2016.
- KINOSHITA, H.; CIRCHIRILLO, C; SANMARTIN, J; UTTON, C.A.; BORGES, P.H.R.; LYNNSDALE, C.J.; MILESTONE, N.B.. Carbonation of composite cements with high mineral admixture content used for radioactive waste encapsulation. **Minerals Engineering**, v. 59, p.107-114, 2014.
- KIKUCHI, T.; KURODA, Y. Carbon dioxide uptake in demolished and crushed concrete. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 9, n. 1, p.115-124, 2011.

- KUITTINEN, M. Does the use of recycled concrete lower the carbon footprint in humanitarian construction? **International Journal Of Disaster Resilience In The Built Environment**, v. 7, n. 5, p.472-488, 2016.
- LAGERBLAD, B. Carbon dioxide uptake during concrete life cycle – State of the art. **Nordic Innovation Centre project**, 2005. Swedish Cement and Concrete Research Institute.
- LEE, M-G.; KANG, D.; JO, H.; PARK, J. Carbon dioxide utilization with carbonation using industrial waste-desulfurization gypsum and waste concrete. **Journal of material Cycles and waste management**, v. 18, n. 3, p.407-412, 2016.
- LEE, H-S; WANG, X-Y. Evaluation of the Carbon Dioxide Uptake of Slag-Blended Concrete Structures, Considering the Effect of Carbonation. **Sustainability**, v. 8, n. 4, p.1-18, 2016.
- LIMA, J. A. R. **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. 2010. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- MORETTI, L.; CARO, S. Critical analysis of the Life Cycle Assessment of the Italian cement industry. **Journal Of Cleaner Production**, v. 152, p.198-210, 2017.
- OLIVIER, J.G.J., JANSSENS-MAENHOUT, G., MUNTEAN, M., PETERS, J.A.H.W. **Trends in global CO₂ emissions**. 2015. Disponível em: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2015-trends-in-global-co2-emissions-2015-report-98184.pdf>. Acesso em 22 de maio de 2017.
- PADE, C.; GUIMARÃES, M. The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective. **Cement And Concrete Research**, v. 37, n. 9, p.1348-1356, 2007.
- POSSAN, E.; THOMAZ, W.A.; ALEANDRI, G.A.; FELIX, E.F.; SANTOS, A.C.P. CO₂ uptake potential due to concrete carbonation: A case study. **Case Studies In Construction Materials**, v. 6, p.147-161, 2017.
- SOUTO-MARTINEZ, A.; DELESKY, E.A.; FOSTER, K.E.O.; SRUBAR III, W.V. A mathematical model for predicting the carbon sequestration potential of ordinary portland cement (OPC) concrete. **Construction and building materials**, v. 147, p.417-427, 2017.
- UENO, A.; KAWAI, K.; KOBAYASHI, K.; TANAKA, S. Evaluation of visual methods for CO₂ uptake by demolished concrete: Research activities by JSCE subcommittee 219. **Construction And Building Materials**, v. 67, p.393-398, 2014.
- WITKOWSKI, H.; KONIORCZYK, M.. Self-compacting concrete CO₂ uptake. In: **Second International Conference on Concrete Sustainability**. Madrid, p. 1056-1066, 2016.
- XI,F; DAVIS, S.J.; CIAIS, P.; CRAWFORD-BROWN, D.; GUAN, D.; PADE, C.; SHI, T.; SYDDALL, M.; LV, J.; LANZHU, J.; BING, L.; WANG, J.; WEI, W.; YANG, K.- H.; LAGERBLAD, B.; GALAN, I.; ANDRADE, C.; ZHANG, Y.; LIU,Z. Substantial global carbon uptake by cement carbonation. **Nature Geoscience**, v. 9, n. 12, p.880-883, 2016.
- YANG, K-H.; SEO, E-A.; TAE, S-H.. Carbonation and CO₂ uptake of concrete. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 46, p.43-52, 2014.

ZHANG, L. N.; LI, F. C.; YU, X. Life Cycle Assessment of CO₂ Emission of Concrete Considering Carbonation and Structural Element Types. **Key engineering materials**, v. 730, p.375-379, 2017.

ZEE, S. V. der; ZEMAN, F.. Production of carbon negative precipitated calcium carbonate from waste concrete. **The canadian journal of chemical engineering**, v. 94, n. 11, p.2153-2159, 2016.