

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO COBRIMENTO EM ELEMENTOS DE CONCRETO GEOPOLIMÉRICO EM ZONA DE ATMOSFERA MARINHA

Bianka Machado Gonçalves (1), Patrícia Montagna Allem (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)bianka.mg@hotmail.com, (2)patricia.allem@hotmail.com

RESUMO

Um dos grandes problemas relacionados à produção de cimento Portland está na grande quantidade de gás carbônico liberado na atmosfera e de energia consumida durante o processo. Por isso, é crescente a busca por materiais que possam substituir o cimento Portland na composição de concretos, sem que sejam alteradas as propriedades finais do material. Neste trabalho, será feito o estudo do concreto geopolimérico, obtido a partir de metacaulim ativado por silicato de sódio e hidróxido de sódio, em comparação ao concreto convencional com cimento Portland, quanto ao comportamento de proteção da sua estrutura. Os corpos de prova produzidos foram expostos por 120 dias em uma região de maresia, já que este é considerado um ambiente de maior classe de agressividade ambiental, que possibilita a obtenção de resultados visuais em um menor período de tempo. Passado o tempo de exposição, foi possível avaliar o comportamento do concreto geopolimérico, obtendo-se resultados bastante satisfatórios quando à profundidade de carbonatação, em relação aos resultados obtidos para a mesma propriedade no concreto convencional com cimento Portland. Faz-se uma ressalva sobre o método aqui empregado para medição da profundidade de carbonatação, pois, carecendo de ensaio normatizado, o método fica sujeito a subjetividade do autor e, portanto, é mais interessante que a análise seja feita de forma qualitativa, avaliando e comparando o comportamento dos concretos a partir das imagens obtidas.

Palavras-Chave: geopolímero, metacaulim, maresia, carbonatação.

1. INTRODUÇÃO

A emissão de gases poluentes na produção de cimento é uma das preocupações constantes na área da construção civil. Para produzir uma tonelada de cimento, é gerada aproximadamente uma tonelada de CO₂. Assim, acredita-se que o uso de novas tecnologias possa resultar na redução da emissão do CO₂ que é proveniente deste processo (DAVIDOVITS, 1991). Essa ideia justifica os estudos cada vez mais frequentes com relação a novos materiais que possam substituir o cimento na produção de concretos, como é o caso do cimento geopolimérico.

O cimento geopolimérico é um material que funciona como uma real alternativa ao cimento Portland, podendo ser usado em infraestruturas de transportes, na construção civil, e em aplicações marítimas (DAVIDOVITS, 2013). É constituído por aluminossilicatos na forma amorfa ou semicristalina que são ativadas por uma solução alcalina e que podem ser processados em temperatura ambiente (PINTO, 2004). Sendo assim, as principais matérias-primas para a produção de geopolímeros são materiais ricos em sílica e alumina. Segundo Vassalo (2013), “a eficiência da ativação depende da composição química e mineralógica da matéria-prima, assim como da proporção das razões molares dos componentes e das condições de cura.” Comumente são usadas pozolanas naturais ou resíduos industriais. A transformação do caulim em metacaulim, através da queima, gera um material altamente reativo e com propriedades pozolânicas, tornando-o adequado para a fabricação de geopolímeros (VASSALO, 2013; PINTO, 2006).

Ao ser ativado por reagentes alcalinos à base de hidróxido de sódio e silicato de sódio, o metacaulim inicia um processo rápido de dissolução/condensação a partir do qual se formam materiais que endurecem rapidamente e adquirem alta resistência química e mecânica em um pequeno intervalo de tempo (PINTO, 2004). O sistema de metacaulim álcali-ativado tem melhor resistência a ácidos; ataque de água do mar; e a sulfato de sódio, quando comparado ao sistema de cimento Portland, além de apresentar uma boa resistência ao calor e ao fogo, se incrementado com partículas refratárias (RASHAD, 2013).

As condições de cura dos geopolímeros são mais exigentes, porém facilmente atingidas, desde que seja evitada qualquer troca de água com o meio envolvente (PINTO, 2004).

As primeiras práticas do processo de ativação alcalina tiveram em vista a indústria cerâmica, com o objetivo de contornar o alto gasto energético observado nos fornos de queima dos caulins (PINTO, 2006). Porém, desde 1979, os geopolímeros têm um amplo campo de aplicação, que inclui: engenharia aeronáutica, o setor nuclear, a reprodução de objetos de arte, isolamento térmico de edifícios, isolamento de fornos, engenharia mecânica, moldagens, estampagens, trabalhos de fundição, e ainda, pesquisas arqueológicas (DAVIDOVITS, 2002). Sua utilização ainda pode ir além, atingindo o campo da Geotecnia, com relação à estabilização de solos moles, materiais compósitos, revestimentos anti-fogo, e até mesmo áreas como a da balística ou dos plásticos inorgânicos (PINTO, 2004).

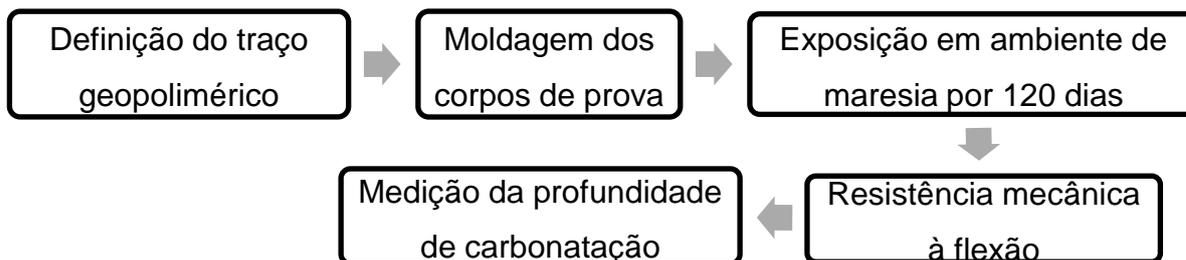
Para aplicações em ambientes de zona marinha, é importante notar as recomendações da ABNT NBR 6118:2014, que indica um maior cobrimento nominal (4 cm) para elementos de concreto armado executados neste ambiente, já que é considerado classe III de agressividade ambiental, e apresenta tendência de grande risco de deterioração de sua estrutura (ABNT, 2014). Os cloretos, trazidos pela brisa marinha, constituem a principal fonte de agressividade para o concreto armado. Eles podem penetrar o concreto de diferentes formas, que irão depender das condições de qualidade do concreto e da atmosfera do entorno (CASTRO; RINCON; PAZINI, 2001). Os principais problemas de ataque químico e físico no concreto são relacionados a aspectos da porosidade, que permite a penetração de agentes agressivos no interior das estruturas, e pode promover alterações que afetam a durabilidade e a estabilidade do cimento. Buscando alternativas para este problema, modifica-se a composição dos cimentos e dos concretos, a partir da mistura de materiais finos e, conseqüentemente, mais reativos (cinzas volantes, sílica de fumo, alumina finamente dividida, metacaulins, entre outros), que além de provocarem ações químicas, ocuparão os espaços vazios da estrutura (PINTO, 2006).

Neste trabalho, será verificado o comportamento da estrutura de elementos de concreto geopolimérico e de concreto convencional (com uso de cimento Portland) quanto à penetração de sais quando expostos a um ambiente de zona marinha, medido através da profundidade de carbonatação dos mesmos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar o desempenho de cobrimento dos elementos de concreto geopolimérico e de concreto convencional (com uso de cimento Portland), foram realizados os ensaios de ruptura por flexão e medição da profundidade de carbonatação. Para tanto, foram moldados 3 (três) corpos de prova prismáticos para cada tipo de concreto, com dimensões 10x10x35 cm, sem o uso de armadura, que foram expostos em um ambiente de maresia por um período de 120 dias. As etapas desenvolvidas para a avaliação da propriedade em questão estão ilustradas no Fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das etapas desenvolvidas no trabalho.



Fonte: Da Autora (2016)

2.1. MATERIAIS

O concreto geopolimérico foi produzido no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do IDT/UNESC, a partir de materiais fornecidos pelo mesmo. Para composição do traço, partiu-se de uma composição geopolimérica (Tabela 1) encontrada em um estudo anterior realizado por Pelisser et al. (2013).

Tabela 1 – Composição geopolimérica.

Composição	Razão geopolimérica
SiO ₂ /Na ₂ O	6,94
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3,20
Na ₂ O/Al ₂ O ₃	0,46
Na ₂ OSiO ₂ / NaOH	1,60
H ₂ O/MK	0,75

Fonte: Pelisser et al. (2013).

Para produção do traço geopolimérico, apresentado na Tabela 2, foram utilizados:

- Metacaulim: com diâmetro médio de partículas de 5,75µm;
- Agregados graúdos: pedrisco, com massa específica de 2,947 g/cm³, e dimensão máxima característica de 9,5mm, de acordo com os requisitos da norma ABNT NBR 7211:2009;
- Agregados miúdos: areia média lavada, com módulo de finura de 2,2; massa específica de 2,54 g/cm³, e dimensão máxima característica de 6,3mm, de acordo com os requisitos da norma ABNT NBR 7211:2009;
- Silicato de sódio; e
- Hidróxido de sódio.

Tabela 2 – Traços utilizados.

Materiais	Composição geopolimérica (g)
Metacaulim	1,00
Areia	3,80
Pedrisco	1,20
Hidróxido de sódio	0,09
Silicato de sódio	1,20

Fonte: Da Autora (2016).

O concreto convencional utilizado foi usinado, obtido a partir de concretagem em obra, com f_{ck} de projeto de 25 MPa. É importante destacar que é esta resistência o parâmetro para comparação entre os dois tipos de concreto.

2.2. MÉTODOS

Para a confecção dos corpos de prova de concreto geopolimérico, foram pesados os materiais, com auxílio de uma balança, e homogeneizados em misturador, na sequência: silicato de sódio e hidróxido de sódio, metacaulim, areia, e pedrisco. Por não haver norma que especifique um procedimento para moldagem e cura de corpos de prova de concreto geopolimérico, tais parâmetros podem ser determinados livremente. Portanto, o tempo de mistura adotado foi de 3 minutos, e em seguida a massa foi depositada nos moldes, conforme ilustrados na Figura 2

Figura 2 – (a) Mistura e (b) confecção dos corpos de prova.



Fonte: Da Autora (2016).

Os corpos de prova, tanto de concreto convencional quanto geopolimérico, foram curados ao ar e, para avaliação do comportamento das estruturas, levados até uma região litorânea, a aproximadamente 90m do mar (Figura 3), onde permaneceram por um período de 120 dias.

Figura 3 – Exposição dos corpos de prova em ambiente de maresia.



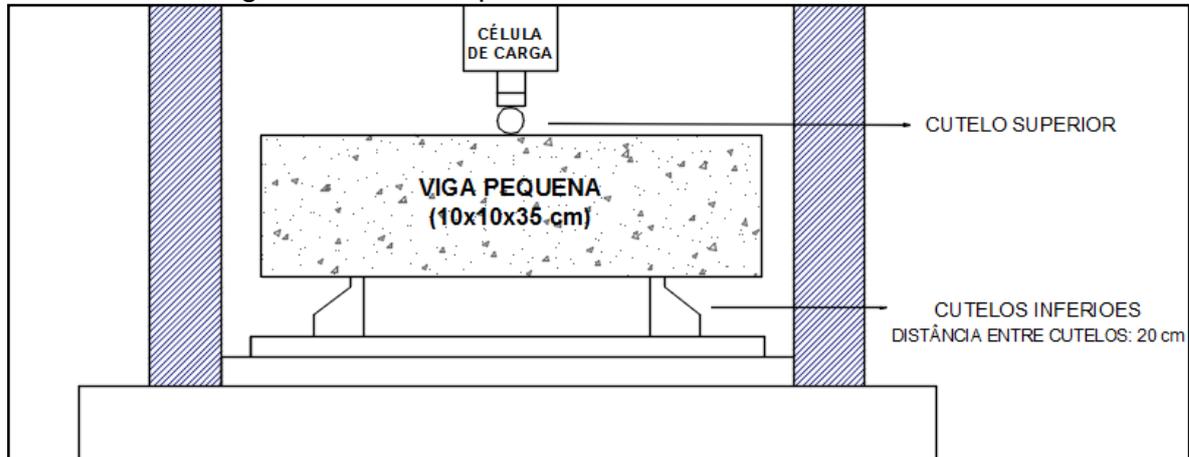
Fonte: Da Autora (2016).

Passado o período de exposição, os corpos de prova foram rompidos por meio do ensaio de resistência à flexão e em seguida foram feitos os procedimentos necessários para a medição da profundidade de carbonatação.

2.2.1. ENSAIO DE RUPTURA POR FLEXÃO

Realizado após os 120 dias de exposição dos corpos de prova, pelo método da flexão em 3 (três) pontos, empregando o princípio da viga simplesmente apoiada com uma força concentrada no centro da distância entre os apoios. O modelo de prensa utilizado neste ensaio está representado na Figura 4. O rompimento dos corpos de prova permite a verificação dos valores propostos de resistência, confirmando que o traço do concreto geopolimérico produzido e o traço do concreto convencional (com cimento Portland) usinado correspondem ao mesmo f_{ck} de projeto. Além disso, o rompimento permite que seja analisada a profundidade de penetração da carbonatação nas faces recém-fraturadas.

Figura 4 – Prensa para ensaio de resistência a flexão.



Fonte: Da Autora (2016).

2.2.2. ENSAIO DE CARBONATAÇÃO

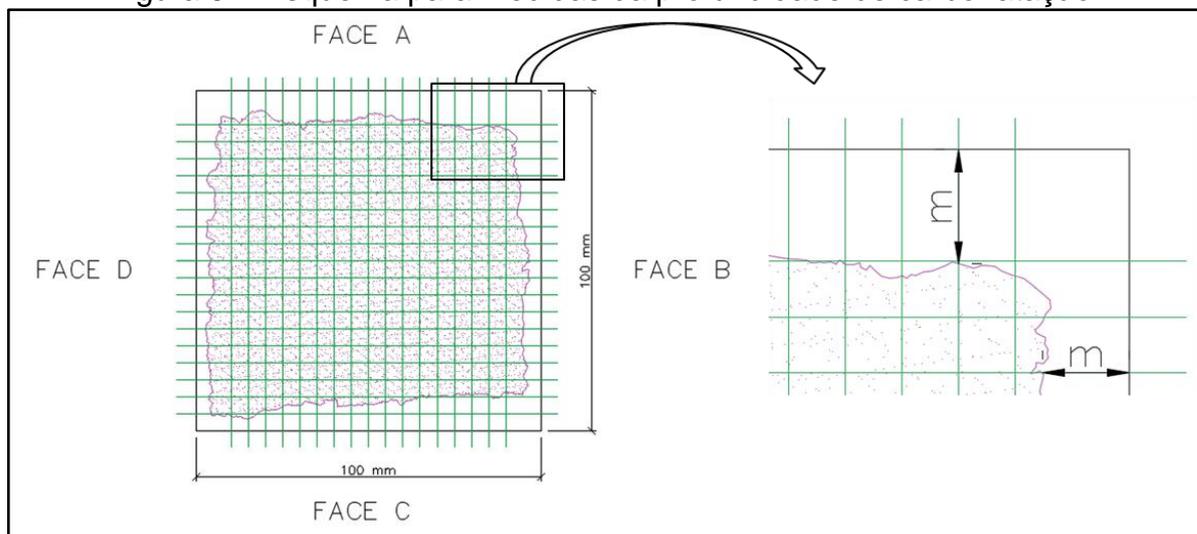
Para determinação da profundidade de carbonatação, o ensaio pode ser realizado de forma natural ou acelerada. Como a Associação Brasileira de Normas Técnicas não especifica nenhum método de ensaio para tal propriedade, o procedimento adotado acaba se tornando uma prerrogativa do autor do estudo. Aqui, será avaliada a carbonatação que ocorre de forma natural.

Para efetuar as medidas da frente de carbonatação, será utilizado o método semi-quantitativo por indicadores colorimétricos de pH, que constitui em aspergir uma solução sobre uma superfície fraturada de concreto. De acordo com o indicador utilizado, a superfície apresentará a coloração cinza para a porção carbonatada, e uma coloração diferente de cinza para a porção não carbonatada, com pH alcalino (KULAKOWSKI, 2002). Em geral, a fenolftaleína é o indicador de pH mais utilizado, devido à facilidade de uso, rapidez no ensaio, baixo custo e precisão relativamente boa (SILVA, 2007).

A solução utilizada foi de 1% de fenolftaleína, e o procedimento foi realizado de acordo com as recomendações da RILEM - Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, com a aspersão da solução feita imediatamente em sequência ao rompimento de cada corpo de prova; e com a medição das profundidades de carbonatação realizada após 24h da aspersão, através da análise de fotografias das faces ensaiadas, com auxílio do programa Autocad e do programa de processamento de imagem ImageJ. Após inserir a imagem do corpo de prova no

programa Autocad, foi traçado uma linha central em cada direção, vertical e horizontal, e a partir destas linhas centrais foram traçadas linhas a cada 0,5 cm (meio centímetro), formando uma espécie de malha sobre a imagem, que serviu como guia para que as medições fossem realizadas, conforme o esquema apresentado na Figura 5. Transportando as imagens já editadas para o programa ImageJ, foi possível obter 16 (dezesesseis) medições em cada face dos corpos de prova, gerando um total de 64 (sessenta e quatro) medidas para cada corpo de prova. A medida adotada para cada face foi a média das 16 medições.

Figura 5 – Esquema para medidas da profundidade de carbonatação.



Fonte: Da Autora (2016).

3. RESULTADOS

3.1. RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à flexão permitiram observar um comportamento muito similar entre os corpos de prova de concreto convencional com cimento Portland e os de concreto geopolimérico, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da resistência à flexão.

CP	Resistência (MPa)	
	Geopolimérico	Convencional
CP 1	8,45	6,14
CP 2	6,32	6,25
CP 3	8,38	5,30
Média	7,717	5,898
Desvio Padrão	1,212	0,5222

Fonte: Da Autora (2016).

O valor médio das resistências para o concreto convencional foi de 5,898 MPa; enquanto o valor médio para concreto geopolimérico foi de 7,717 MPa, o que representa uma resistência 30,84% maior que o anterior. Os resultados são satisfatórios, visto que a resistência mecânica a flexão não era o foco do trabalho, e o ensaio foi realizado apenas com o intuito de partir os corpos de prova para que as faces fraturadas pudessem ser analisadas.

3.2. PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

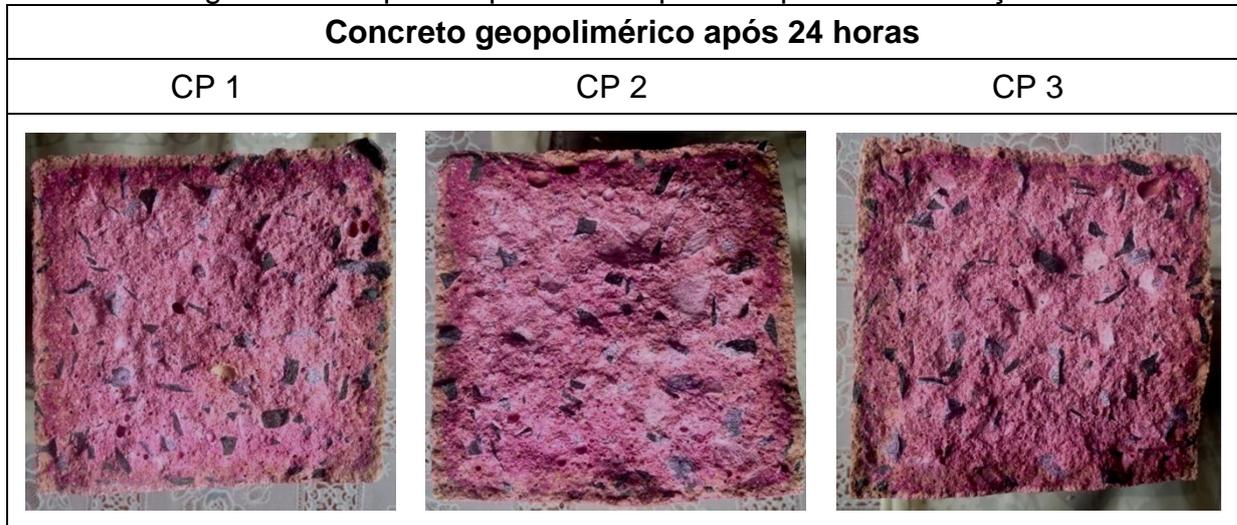
As fotografias das faces dos corpos-de-prova foram realizadas 24h após a aspersão da solução de fenolftaleína, e são apresentadas na Figura 6 e Figura 7.

Figura 6 – Corpos de prova 24h após a aspersão da solução.



Fonte: Da Autora (2016).

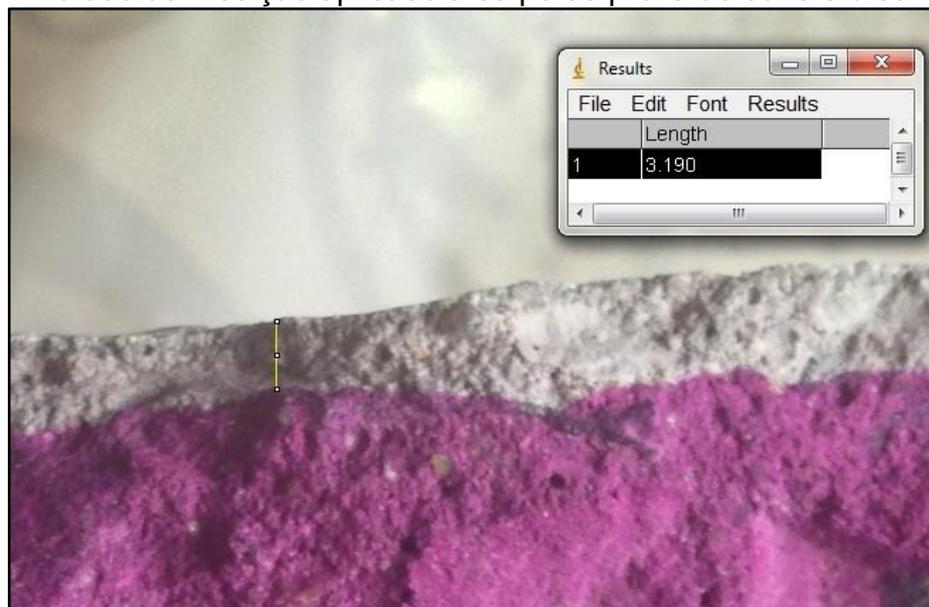
Figura 7 – Corpos de prova 24h após a aspersão da solução.



Fonte: Da Autora (2016).

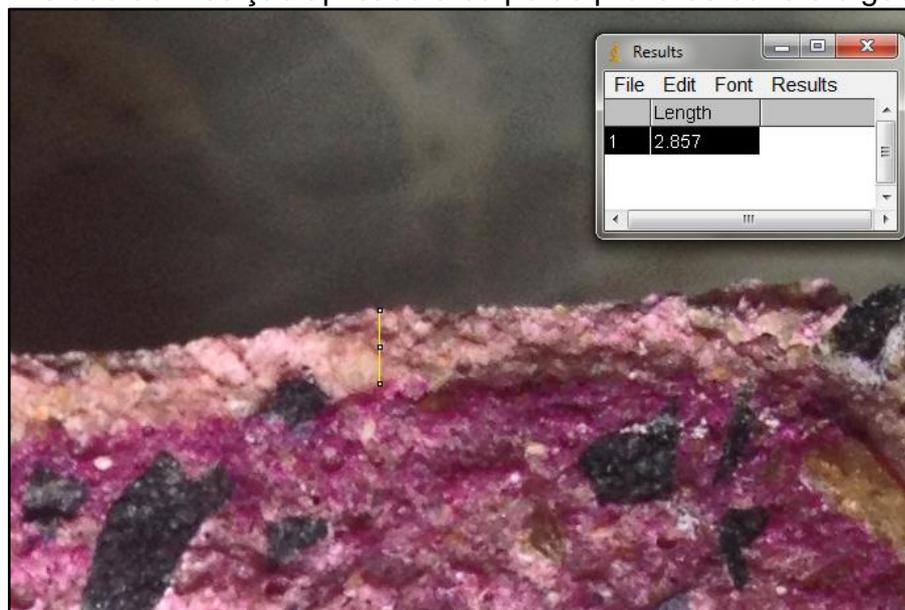
Utilizando o método mencionado anteriormente, foi possível obter as medidas das profundidades de carbonatação. Exemplos da aplicação do método são apresentados nas Figuras 8 e 9, para corpo de prova de concreto convencional e concreto geopolimérico, respectivamente.

Figura 8 – Método de medição aplicado a corpo de prova de concreto convencional.



Fonte: Da Autora (2016).

Figura 9 – Método de medição aplicado a corpo de prova de concreto geopolimérico.



Fonte: Da Autora (2016).

As medidas obtidas são apresentadas na Tabela 4. Os corpos de prova de concreto convencional foram denominados C1, C2, e C3; e os de concreto geopolimérico foram denominados G1, G2, e G3.

Tabela 4 – Medidas da profundidade de carbonatação.

CP	Média das medidas (mm)			
	FACE A	FACE B	FACE C	FACE D
C1	4,835	6,328	3,229	6,073
C2	6,389	6,613	4,746	6,969
C3	5,006	5,846	3,547	6,691
G1	3,362	3,387	2,705	3,593
G2	3,042	3,907	2,381	4,013
G3	3,699	3,334	2,071	3,379

Fonte: Da Autora (2016).

Analisando as médias das medidas obtidas, é possível perceber que a carbonatação se manifesta de maneira reduzida no concreto geopolimérico, quando comparado ao concreto convencional com cimento Portland. As medidas das faces denominadas “C”, conforme esquema apresentado anteriormente (Figura 5), referentes à parte inferior do corpo de prova, foram as que apresentaram um menor valor.

É importante ressaltar que a carbonatação é uma propriedade difícil de ser quantificada, pois os métodos de medição, seja com paquímetro ou programas de processamento de imagem, sofrem interferência subjetiva do indivíduo que faz uso de tais recursos. Portanto, é mais interessante que esta propriedade seja analisada de forma qualitativa, avaliando visualmente os corpos de prova ensaiados.

Alguns autores afirmam que o uso de adições, quando em substituição ao clínquer de cimento Portland, acaba aumentando a profundidade de carbonatação, apesar de melhorar outras propriedades do concreto, o que é explicado pela reserva alcalina (CAFANGE, 2011). O cimento Portland apresenta uma maior concentração de hidróxidos alcalinos na solução intersticial dos poros, que ocasiona uma lenta difusão do dióxido de carbono (CO_2), pois é preciso que o ácido carbônico reaja primeiramente com o CH presente, para então prosseguir a difusão. As adições minerais, quando substituem o cimento Portland, acabam consumindo o hidróxido de cálcio que provém da hidratação, o que aumenta a velocidade de carbonatação (SILVA, 2007).

Neste trabalho, utilizando um concreto sem nenhum percentual de cimento, obtiveram-se resultados que diferem desta situação. Baseando-se em demais estudos, sabe-se que o concreto geopolimérico gera um material com microestrutura compacta e mais homogênea (SILVA et. al., s.d.), e que a elevada reatividade do metacaulim acaba resultando em um material com menor porosidade, o que dificulta a penetração de gases no interior da estrutura, diferentemente do caso do concreto com cimento Portland explicado anteriormente, onde a hidratação do concreto resulta em uma posterior evaporação de água livre e conseqüente formação de poros; o que explica os resultados encontrados para a profundidade de carbonatação dos concretos ensaiados.

4. CONCLUSÃO

A busca pelo uso de materiais que substituam a utilização do cimento Portland vem sendo cada vez mais comum na área da construção civil. O concreto geopolimérico, produzido a partir da ativação de metacaulim por hidróxido e silicato de sódio, surge como tema de diversos estudos, a fim de avaliar suas propriedades e compará-las com o concreto convencional. A proteção da estrutura do concreto geopolimérico em meios agressivos, avaliada neste trabalho através da profundidade de carbonatação,

mostrou-se muito satisfatória quando comparada ao concreto convencional, o que pode ser explicado por sua baixa porosidade e maior homogeneidade da microestrutura. É interessante que estes estudos tenham sequência, para que sejam avaliadas mais propriedades e também a viabilidade do uso de concreto geopolimérico em substituição ao concreto com cimento Portland.

Para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Comparar a profundidade de carbonatação de corpos de prova expostos à maresia com corpos de prova expostos a ambiente com agressividade ambiental inferior.
- Realizar caracterização completa do geopolímero formado a partir do traço utilizado, a fim de compreender melhor a estrutura formada.
- Produzir corpos de prova de concreto geopolimérico a partir de diferentes traços, e verificar a influência da composição na profundidade de carbonatação.
- Realizar diferentes curas do concreto geopolimérico (ao ar, submersa, in loco e em laboratório), e verificar se tal parâmetro influencia na profundidade de carbonatação.
- Produzir corpos de prova de concreto geopolimérico com armadura e usar um maior tempo de exposição em ambiente agressivo, a fim de verificar a existência ou não da corrosão das armaduras.

5. REFERÊNCIAS

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. XVII, 238 p.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 11 p.

CAFANGE, Daniele Maria Pilla Junqueira. **Estudo de métodos e medidas auxiliares para o controle da resistência à carbonatação de concretos estruturais de cimento Portland**. 2011. 375 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-06042011-130020/pt-br.php>>. Acesso em: 18 out. 2016.

CASTRO, P.; RINCON, O.T. de; PAZINI, E.J.. Interpretation of chloride profiles from concrete exposed to tropical marine environments. **Cement And Concrete Research**, p.529-537, 2001. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0008884601004537/1-s2.0-S0008884601004537-main.pdf?_tid=9950e576-0892-11e6-a8c9-00000aacb361&acdnat=1461333821_2689e144e3a9239450191e6e99f5fad6>. Acesso em: 18 abr. 2016.

DAVIDOVITS, Joseph. Geopolymers: Inorganic polymeric new materials. **Journal Of Thermal Analysis**, Saint-Quentin, v. 37, n. 8, p.1633-1656, ago. 1991. Disponível em: <http://www.geopolymer.org/fichiers_pdf/J_THERMAL.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2016.

_____. 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications: Market Trends and Potential Breakthroughs. **Geopolymer 2002 Conference**, Melbourne, Australia, p.1-16, 28-29 out. 2002. Disponível em: <http://www.geopolymer.org/fichiers_pdf/30YearsGEOP.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2016.

_____. Geopolymer Cement: A Review. **Institut Géopolymère**, Saint Quentin, jan. 2013. Disponível em: <http://www.geopolymer.org/fichiers_pdf/GPCement2013.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2016.

KULAKOWSKI, Marlova Piva. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de sílica ativa**. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3594/000390188.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 30 maio 2016.

PELLISSER, F. et al. Micromechanical characterization of metakaolin-based geopolymers. **Construction And Building Materials**, v. 49, p.547-553, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.081>. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/273625892>>. Acesso em: 18 out. 2016.

PINTO, Amândio Teixeira. **Sistemas ligantes obtidos por ativação alcalina do metacaulino**. 400 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho - Escola de Engenharia, Braga, Portugal, 2004. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/671/4/CAP.1.PDF>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

_____. **Introdução ao Estudo dos Geopolímeros**. Vila Real, p.1-88, fev. 2006. Disponível em: <<http://www.geopolymer.com.br/PDF/introducao.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

RASHAD, Alaa M.. Alkali-activated metakaolin: A short guide for civil Engineer – An overview. **Construction And Building Materials**, v. 41, p.751-765, abr. 2013. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812009877>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES ET EXPERTS DES MATÉRIAUX. **CPC-18: Measurement of hardened concrete carbonation depth.** RILEM, 1988, 3 p. Disponível em: <<http://documents.tips/documents/cpc-18-measurement-of-hardened-concrete-carbonation-depth.html>> Acesso em: 18 out. 2016.

SILVA, F. J. da, et al. Cimentos Geopoliméricos. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10055/>>. Acesso em: 18 out. 2016

SILVA, Valdirene Maria. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida.** 281 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-19032007-100952/pt-br.php>>. Acesso em: 30 maio 2016.

VASSALO, Érica Antunes de Souza. **Obtenção de geopolímero a partir de metacaulim ativado.** 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-9D2MYP/disserta_ao_mestrado_erica.pdf?sequence=1>. Acesso em: 18 abr. 2016.