



## INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES DE POZOLANAS NAS TAXAS DE CARBONATAÇÃO EM CONCRETOS

AGRA, Tiago (1); CARNEIRO, Bárbara (2); SALES, Nicássio (3); LIMA, Natália (4)

Universidade Federal de Pernambuco, tiagoagraengenharia@gmail.com; Universidade de Pernambuco, barbaradacostacarneiro@hotmail.com; Universidade de Pernambuco, nicassio\_salles@hotmail.com; Universidade Católica de Pernambuco, nataliamvlima@hotmail.com

### RESUMO

O cimento tem relação direta na durabilidade das estruturas de concreto, pois cada tipo dispõe de propriedades específicas que podem indicar melhor eficácia no combate às ações deletérias. As vantagens do uso de altos teores de adições pozolânicas, em substituição do clínquer no CPIV (pozolânico) promovem, em longo prazo, menor porosidade devido ao refinamento dos poros, o que é favorável na redução das vias de penetração para substâncias ao concreto. O presente trabalho apresenta a análise do comportamento do cimento pozolânico, CPIV (45% Pozolana), em comparação com amostra de referência com o CPV (ARI), submetidas às mesmas condições de exposição e de acondicionamento. As amostras de concreto foram submetidas à câmara de carbonatação por período de 42 dias, com medições semanais da profundidade, e resistência mecânica aos 7 e 28 dias. Os resultados obtidos mostraram que os concretos confeccionados possuem resistência próximas e comportamento bem distinto frente à carbonatação. O concreto dosado com cimento CPV (ARI) apresentou resistência à carbonatação superior aos obtidos com o CPIV, no período avaliado. Foi verificado que a substituição do clínquer por pozolanas, nos cimentos CPIV, influem negativamente nas taxas de carbonatação dos concretos.

**Palavras-chave:** Durabilidade. Corrosão. Carbonatação acelerada. Adição pozolânica.

### ABSTRACT

*The cement has a direct relation in the durability of the concrete structures, because each type has specific properties that can indicate better efficiency in the combat to the deleterious actions. The advantages of using high levels of pozzolanic additions, replacing the clinker in the CPIV (pozzolanic) promote, in the long time, lower porosity due to the pore refinement, which is favorable in reducing the penetration pathways for substances to the concrete. The present work presents the analysis of the behavior of pozzolanic cement, CPIV (45% pozzolan), in comparison with reference sample with CPV (ARI), submitted to the same conditions of exposure and conditioning. The concrete samples were submitted to the carbonation chamber for a period of 42 days, with weekly profundity measurements and mechanical resistance at 7 and 28 days. The obtained results showed that the concretes made have close resistance and very different behavior in front of the carbonation. The concrete dosed with CPV cement (ARI) presented resistance to carbonation higher than those obtained with CPIV, during the period evaluated. It was verified that the replacement of the clinker by pozzolans, in the CPIV, cements negatively influence the carbonation rates of the concretes.*

**Keywords:** Durability. Corrosion. Accelerated carbonation. Mineral Additions.

## 1 INTRODUÇÃO

As abordagens modernas não baseiam apenas, de forma simplista, na resistência à compressão como único indicador de durabilidade. Elas se atêm, atualmente, às características e propriedades do material especificadas em função de uma vida útil almejada considerando determinado ambiente (BAROCHEL *et. al.*, 2014).

A durabilidade dos concretos depende, sobretudo, das características microestruturais da matriz cimentícia que atua como agente ligante dos agregados. Contudo, a composição desse material ligante vem sofrendo modificação ao longo do tempo, passando a incorporar pozolanas *fillers* e materiais com propriedades cimentícias, como escória granulada de alto forno, em conjunto com clínquer e sulfato de cálcio. Essas adições minerais no cimento Portland alteram a cinética de hidratação e a evolução da microestrutura, repercutindo diretamente nas propriedades intrínsecas de durabilidade do material, no estado endurecido, frente aos mais variados agentes agressivos a que estará exposto o concreto (HOPPE FILHO, 2008).

Para diminuir o impacto ambiental do cimento, desde a segunda metade do século XX, parte do cimento tem sido substituída por uma ou mais adições minerais, geralmente subprodutos industriais inicialmente depositados como rejeito, cujo conhecimento, domínio da tecnologia e utilização se aprimoraram ao longo desse período, sendo hoje bastante utilizadas nos mais diversos tipos de estruturas de concreto. As vantagens dessa substituição são muito significativas, não só no âmbito técnico como no econômico e, principalmente, ambiental, pois a redução de emissão de CO<sub>2</sub>, de consumo de energia e, muitas vezes, de custo é proporcional à quantidade de adição mineral utilizada na mistura em substituição ao cimento (ISAIA, GASTALDINI, 2004)

O mercado mundial de recuperação e manutenção estrutural do concreto armado vem crescendo e exigindo, segundo Ribeiro (2014), a criação de novas soluções para minimização dos problemas e diminuição nos custos de reparo. O crescente aumento de estruturas com manifestações patológicas precoce, impõe a necessidade de melhorar o planejamento em projetos, fiscalização, execução e manutenção, pois o alto custo de reparo/recuperação e os transtornos causados, podem determinar a inevitabilidade de projetar visando à durabilidade. A compreensão dos mecanismos deletérios nas estruturas de concreto permite o planejamento mais eficaz na elaboração de materiais com melhor interação com as ações específicas delimitadoras de cada obra. Nenhum material é propriamente durável. Como resultado de interações ambientais, a microestrutura e, conseqüentemente, suas propriedades mudam com o tempo. O material atinge sua vida útil quando suas propriedades, sob determinadas condições de uso a capacidade de resistir (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A corrosão pode ser definida como um processo de deterioração do material devido à ação química ou eletroquímica do meio ambiente, resultando na perda de massa do aço. A carbonatação, um dos principais efeitos causadores da corrosão em armaduras do concreto armado, é um efeito químico promovido pelo ingresso do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), diluídos sob a forma gasosa nos poros do concreto podendo reduzir o pH do meio e destruir a proteção passiva das barras (RIBEIRO, 2014). O dióxido de carbono é encontrado em baixos percentuais em localidades sem poluição. Entretanto, em regiões industriais, com grande

quantidade de veículos e/ou atividades que promovam a combustão de produtos fósseis, os teores de CO<sub>2</sub> circulam acima dos valores normais ambientais predispondo maior suscetibilidade, nessas localidades, para ação da carbonatação.

Com o avanço da tecnologia, foi possível o aprimoramento dos materiais de construção, em especial o cimento, exigindo conhecimento das suas propriedades para aplicação eficiente. A indústria brasileira disponibiliza atualmente diversos tipos de cimento, classificados em função de sua composição, conforme Tabela 1. Os cimentos que possuem maiores teores de substituição do clínquer são o CP III (entre 35% a 70% de escória) e o CP IV (entre 15% a 50% de pozolanas).

Tabela 1 – Componentes do cimento

	Norma	Componentes (% massa)				
		Clínquer + Gesso		Adições		
		Limite inferior	Limite superior	Carbonáticas	Escória	Pozolana
CP I	NBR 5732	100%	100%	0%	0%	0%
CP I S	NBR 5733	95%	99%	–	–	1% – 5%
CP II – E	NBR 11578	56%	94%	0% – 10%	6% – 34%	–
CP II – F	NBR 11578	90%	94%	6% – 10%	–	–
CP II – Z	NBR 11578	86%	94%	0% – 10%	–	6% – 14%
CP III	NBR 5735	25%	65%	0% – 5%	35% – 70%	–
CP IV	NBR 5736	45%	85%	0% – 5%	–	15% – 50%
CP V (ARI)	NBR 5733	95%	100%	0% – 5%	–	–

(Fonte: ABNT NBR's 5732, 5733, 11578, 5735, 5736)

O presente trabalho visa a análise de desempenho frente à resistência à carbonatação de concretos confeccionados com cimento CP IV em comparação com amostras de referência com CP V (ARI). O cimento CPV foi utilizado como referência, pois sua composição em massa não contém adições de escórias e pozolanas, sendo seu percentual de clínquer iguais ou maiores à 95%. Nesse contexto, foram comparados concretos com classe de resistência bem próximas, moldados com os aglomerantes e traçado seu desempenho frente à carbonatação. Foram realizados ensaios de resistência mecânica à compressão (NBR 5739, 2007) e medições semanais da profundidade da carbonatação, submetidas às mesmas condições de exposição, através da aspersão da fenolftaleína sobre as superfícies do concreto conforme ABCP (PO-GT 1028).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo sobre a carbonatação em concreto desperta grande interesse, pois tem relação direta com a facilidade de penetração do CO<sub>2</sub> e conseqüentemente na corrosão do aço do concreto armado. As armaduras inseridas nos componentes estruturais do concreto estão, em princípio, protegidas e passivadas contra o risco de corrosão. Essa proteção é proporcionada pelo concreto, pois confere uma barreira física e química promovida pela alcalinidade (RIBEIRO, 2014). A perda da proteção pode dar-se pelo fenômeno da carbonatação e contaminação por cloreto no concreto. O tipo do cimento/adições tem atuação direta na

velocidade de carbonatação, pois a reserva alcalina é atribuição da composição química do cimento e das adições.

O desencadeamento da carbonatação ocorre quando o CO<sub>2</sub> (o agente é o ácido Carbônico, pois o CO<sub>2</sub> gasoso não é reativo) existente na atmosfera, na presença de umidade, reage com os silicatos cálcicos hidratados (C-S-H) formando o carbonato de cálcio reduzindo o pH do concreto de aproximadamente 12,6 a 13,5 para valores em torno de 9 (NEVILLE, 2013).

Meira *et al.* (2006) estudaram a carbonatação de concreto em condições naturais de exposição e verificou que, para concretos mais porosos, a carbonatação é mais acelerada devido à facilidade da entrada de CO<sub>2</sub>. Já em concretos de mesma porosidade, a presença de água nos poros do concreto, aumenta a velocidade de carbonatação. Em seus estudos sobre o estado da arte da carbonatação, Pauletti *et al.* (2007) verificaram que os fatores que influenciam a carbonatação são: forma das amostras, umidade relativa, temperatura e outros são intrínsecos ao material como: relação a/c, tipo de cimento, adições, agregados.

As adições minerais reagem com os produtos de hidratação do cimento; sendo que a reação química, principal, denominada reação pozolânica, é facilitada pela dissociação da sílica amorfa (proveniente dessas adições), produzindo sílica na solução de poros, que então reage com o hidróxido de cálcio para formar gel de C-S-H. A importância técnica desta reação pozolânica deriva, principalmente, de três aspectos: geralmente é uma reação lenta e, portanto, as taxas de liberação de calor e de desenvolvimento da resistência são conseqüentemente lentas (CASTRO *et al.*, 2001).

A reatividade das pozolanas e escórias, se processa após algumas semanas, reforça os efeitos de hidratação do clínquer, conduzindo, em logo prazo a uma porosidade de mesma ordem de grandeza, porém, diminui o tamanho dos poros maiores, o que é favorável no que tange à durabilidade (FELDMAN, 1983). Porém, alguns pesquisadores como JIANG *et al.* (2006), mostram que a substituição de cimento por adições minerais favorece à carbonatação. Segundo Isaia e Gastaldini (2004), os altos teores de substituições do cimento por adição mineral influem negativamente na resistência à carbonatação nas idades iniciais, pois as atividades pozolanas nesta fase não estão finalizadas. Isaia e Gastaldini (2006) mostram que, em condições semelhantes de resistência à compressão, o concreto com substituição, em massa, de 50% de cimento ARI por cinza volante, resulta em maior coeficiente de carbonatação, ou seja, tornam o concreto suscetível a carbonatação quando comparadas com amostras sem substituições. Porém, na medida que as atividades pozolânicas se manifestam, ocorre o refinamento dos poros, dos grãos e a microestrutura mais fina e homogênea, que obstruem a passagem de fluidos, reduzindo a permeabilidade frente à penetração do dióxido de carbono.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Resultados da Caracterização dos materiais de partida**

A distribuição percentual da composição dos componentes em massa dos cimentos em estudo pode ser observada na Tabela 2. Os resultados dos ensaios

de caracterização no estado fresco e endurecido são apresentados na Tabela 3. O teor de argamassa foi fixado em 50,5%, com valor de relação água/cimento igual a 0,50.

Tabela 2 – Composição % em massa dos cimentos em estudo

Cimento	Norma	Componentes (% massa)			
		Clínquer + Gesso	Carbonáticas	Adições Escória	Pozolana
CP V ARI	NBR 5733 (1991)	95%	5%	-	-
CP IV	NBR 5736 (1991)	50%	5%	-	45%

Fonte: Autores (2017)

Tabela 3 – Características do concreto

Parâmetros	CPV (ARI)	CP IV	
Traços unitário em massa	Cimento	1	1
	Areia de Quartzo	1,204	1,204
	Areia artificial	0,802	0,802
	Pedrisco	0,884	0,884
	Brita 1	2,061	2,061
	Água	0,5	0,5
Aditivo plastificante (%)	1,2	1,2	
Consumo (Kg/m <sup>3</sup> )	363	363	
Teor de Argamassa (%)	50,5	50,5	
Umidade (%)	8,38	8,38	
Massa específica	2560	2370	
Teor de Ar (%)	0,8	0,9	
Abatimento (mm)	135	150	
Resistência à compressão (MPa)	7 dias	46,6	41,2
	28 dias	53,4	50,4

Fonte: Autores (2017)

Procedeu-se, posteriormente, à moldagem de corpos de prova cilíndricos, conforme a NBR 5738 (2015), nas dimensões (10x20) cm e prismáticos (4x4x16)cm para realização dos seguintes ensaios no estado endurecido:

- Determinação da resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias;
- Submissão das amostras à câmara de carbonatação após 28 dias da moldagem.

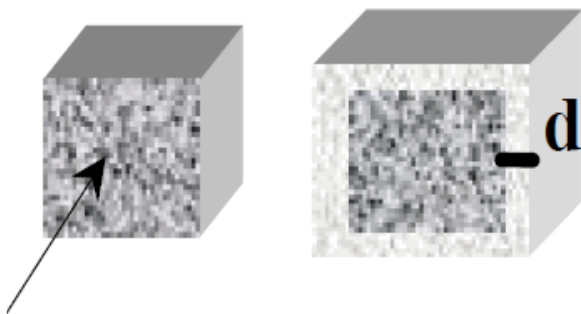
Logo após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida, desmoldados após 24 h e mantidos em cura até a idade de ensaio.

### 3.2 Resultados da carbonatação acelerada

Após a cura, os corpos de prova foram colocados na câmara de carbonatação com umidade relativa de 65%, teor de CO<sub>2</sub> de 5% e temperatura de 23°C ± 2, durante 6 semanas. Essa condição de umidade tem como objetivo promover

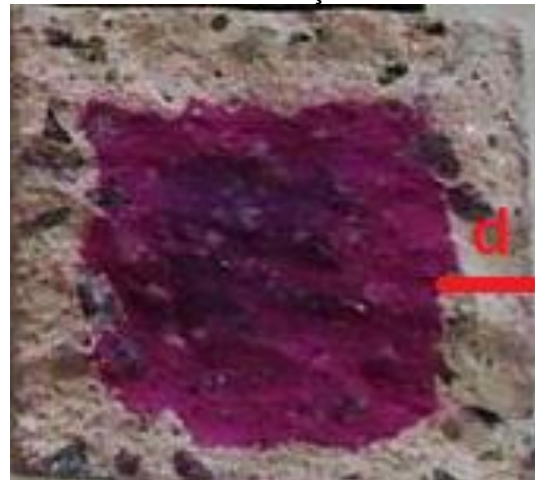
maior eficiência para carbonatação, isto é, aumentar a taxa de carbonatação. Para se obter os coeficientes de carbonatação, foram analisadas as leituras de profundidade de carbonatação, efetuadas, periodicamente, semana a semana, a partir do momento em que os corpos de prova foram submetidos às condições de carbonatação acelerada. A ABCP ilustra o procedimento para determinação da profundidade de carbonatação em corpos de prova prismáticos de concreto de acordo com a Figura 1. As leituras foram realizadas com paquímetro em seções, após prévia pulverização de solução alcoólica de fenolftaleína a 1%, com o intuito de detectar a redução do pH nas regiões onde seus valores apresentassem abaixo da faixa de viragem do indicador. Desse modo, a superfície do concreto não carbonatada, como mostrado na Figura 2, adquire cor vermelho carmim e as regiões carbonatadas conservam a coloração anterior ao tratamento.

Figura 1 - Procedimento para determinação da profundidade de carbonatação.



Fonte: Autores (2017)

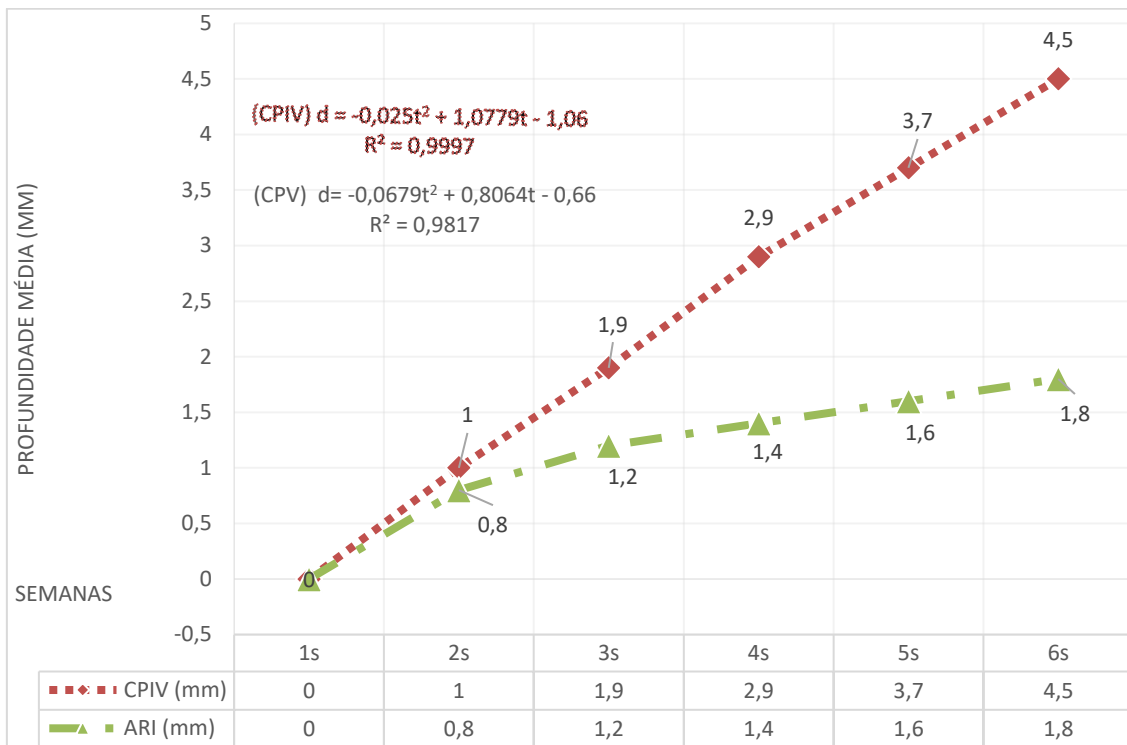
Figura 2 - Medição da profundidade da carbonatação.



Fonte: Autores (2017)

Segue na Figura 3 o gráfico dos resultados semanais da carbonatação até o período de 6 semanas (42 dias). Portanto, como a variável  $a/c$  foi fixada, as diferentes profundidades de carbonatação obtidas estão relacionadas com as características dos cimentos. Para carbonatação acelerada, vale ressaltar que os valores milimétricos de espessura só foram atingidos em função das condições eficientes impostas, tais como o aumento do teor de  $CO_2$  para 5%, bem como pela umidade de 65%. Um raciocínio simplista é admitir que no ensaio de carbonatação ocorreu uma aceleração do tempo com fator de aproximadamente 166,67 vezes, considerando que a concentração de  $CO_2$  na atmosfera seja de 0,03%. O tempo de 6 semanas de submissão à câmara de carbonatação, aplicando-se o fator de aceleração de 166,67, implica dizer que no processo de aceleração do ensaio tem-se o equivalente a exposição em condições naturais pelo período de aproximadamente 22 anos.

Figura 3 – Gráfico do comportamento das amostras submetidas à carbonatação



Fonte: Autores (2017)

O comportamento dos aglomerantes frente à carbonatação, conforme demonstrado na Figura 3, mostra que, em condições semelhantes de resistência à compressão, os concretos com substituição de clínquer, em massa, por 45% de pozolâna (CP IV), comparadas às sem substituições (CP V), promovem maior facilidade ao avanço da carbonatação nas idades iniciais. Os dados apresentados corroboram com os obtidos por Jiang *et al.* (2004) e Isaia *et al.* (2006). Vale salientar que os dados desse estudo foram do período de até 6 semanas, onde as atividades pozolânicas ainda não estão totalmente consolidadas. Em longo prazo, espera-se maior dificuldade da penetração do dióxido de carbono no concreto, devido ao refinamento dos poros e a microestrutura mais homogênea promovidas pelas adições.

As correlações entre a profundidade de carbonatação em função do tempo, por tipo de concreto, apresentaram excelentes índices de determinação ( $r^2$ ) com valores bem próximos a 1. Observando as equações de regressão, ambas polinomiais de ordem 2, de acordo com o gráfico da Figura 3, é possível estimar as profundidades de carbonatação dentro do período avaliado.

A partir da Equação 1 foram calculados os valores de K para cada semana, a partir da variável (t), período na câmara de carbonatação, e o valor de d, profundidade de carbonatação, medido em cada amostra. Na Tabela 4 seguem os valores de K e apreciação estatística dos resultados.

$d$  = Profundidade da carbonatação (mm);

$K_c$  = Coeficiente de carbonatação acelerada (mm/ $\sqrt{\text{semana}}$ );

$t$  = Tempo efetivo de exposição ao gás carbônico (semana).

$$d = K \times \sqrt{t} \quad \text{(Equação 1)}$$

Tabela 4- Valores de K estimado para cada período

<b>Período (semanas)</b>	<b>K (CPV) (mm/<math>\sqrt{\text{semana}}</math>)</b>	<b>K (CPIV) (mm/<math>\sqrt{\text{semana}}</math>)</b>
<b>2s</b>	0,565685425	0,70710678
<b>3s</b>	0,692820323	1,09696551
<b>4s</b>	0,7	1,45
<b>5s</b>	0,715541753	1,6546903
<b>6s</b>	0,734846923	1,83711731
<b>Média</b>	0,681778885	1,34917598
<b>Sd</b>	0,066872569	0,45206587
<b>COV</b>	9,8%	33,5%

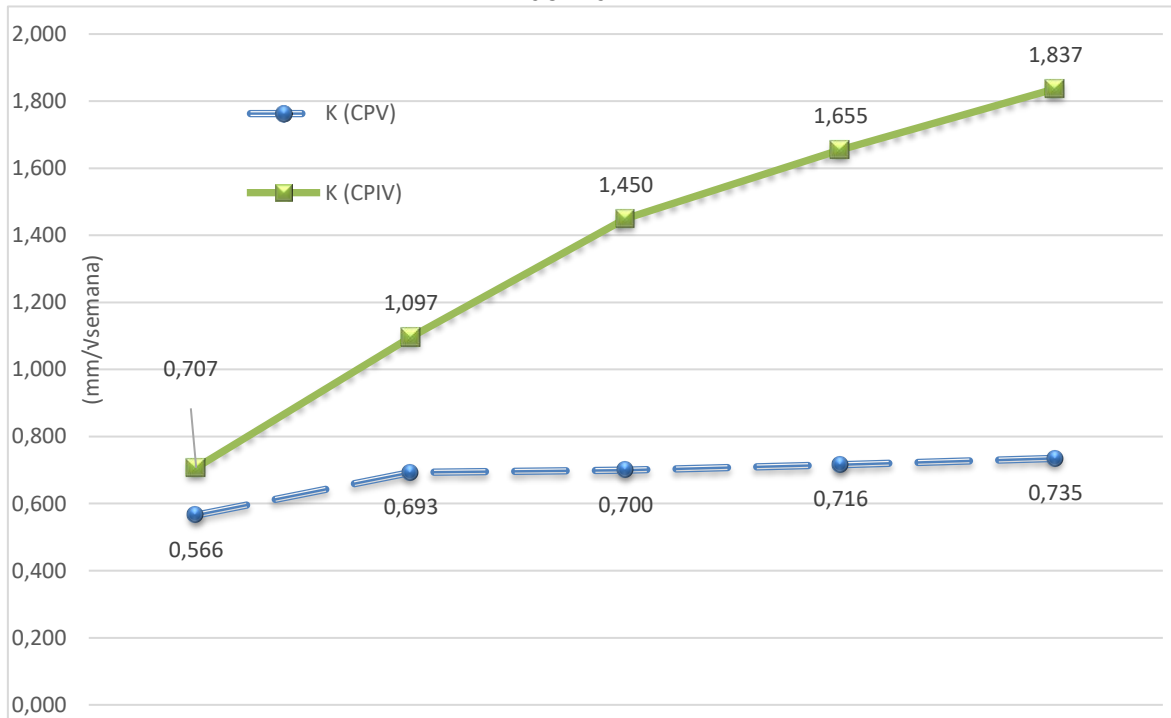
Fonte: Autores (2017)

O valor de K, proposto pela 1ª Lei de Fick, teoricamente, deveria ser constante para cada concreto em estudo. Porém, pode ser observado na Tabela 4 que os valores apresentaram variações significativas, sendo os resultados do CPV, da amostra de referência, mais homogêneo e com menor coeficiente médio de carbonatação.

Através da Figura 4 que segue, são mostrados os coeficientes de carbonatação obtidos para os concretos estudados. Os coeficientes de carbonatação acelerada ( $K_c$ ), apresentados anteriormente, foram calculados com os valores das profundidades de carbonatação nas idades de 7, 14, 28, 35 e 42 dias.



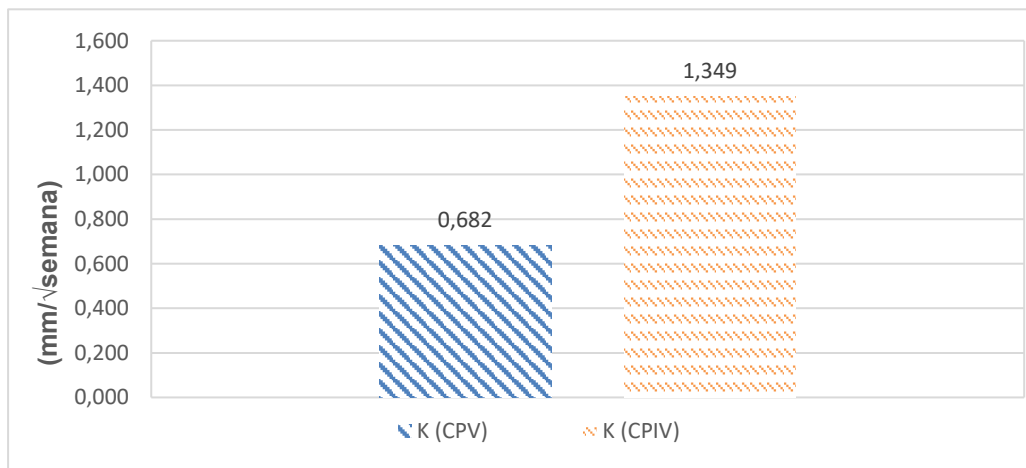
Figura 4 – Coeficientes de carbonatação,  $K_c$ , em ordem crescente, obtidos pela 1ª lei de Fick



Fonte: Autores (2017)

A taxa de carbonatação dos cimentos com adições pozolânicas apresentaram diferenças expressivas quando comparadas às referências. O coeficiente médio de carbonatação do CPIV, como mostrados através da Figura 5, acresceram 98% com relação ao coeficiente médio da referência (CPV).

Figura 5- Coeficientes médios de carbonatação acelerada



Fonte: Autores (2017)

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos apresentaram ótimos índices de determinação,  $R_2$ , com valores de 0.9817 e 0.9997 para os cimentos CP V e CP IV, respectivamente, mostrando uma correlação muito forte. Este indicador estatístico indica que as equações resultantes apresentaram ótima representatividade sendo possível, desse modo, com as equações, estimar o tempo necessário para a carbonatação atingir uma determinada profundidade no concreto.

Em suma, abstraindo-se de outras propriedades e prazos não analisados, o estudo mostra que os altos teores de substituição de clínquer por pozolanas em cimentos pozolânicos, nesse caso o CPIV, apesar de contribuir benéficamente em diversas outras propriedades, influenciam diretamente no aumento das taxas de carbonatação em concretos. Vale ressaltar que os resultados atingidos, em igualdade de condições, estão atribuídos às condições determinadas nesse estudo.

#### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-11578**: Cimento Portland composto - Especificação

\_\_\_\_\_. **NBR-5732**: Cimento Portland comum - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR-5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR-5735**: Cimento Portland de alto-forno - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR-5736**: Cimento Portland pozolânico - Especificação. Rio de Janeiro, 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR-5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR-5739**: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

BAROCHEL-BOUNY, V; CAPRA, B; LAURENS, S. A Durabilidade das Armaduras e do Concreto de Cobrimento. In: OLLIVIER, J.P; A VICHOT,. **Durabilidade do Concreto: Bases Científicas para a Formulação de Concretos Duráveis de acordo com o Ambiente**. Tradução: CASCUDO, O.; CARASEK, H. São Paulo: Ibracon, 2014. p. 255-326.

CASTRO, O. *et. al.* **Influência das Adições Minerais na Durabilidade do Concreto**. programa de P&D da ANEEL, ciclo 2000-2001.

FELDMAN, R.F. – Significance of Porosity Measurements on Blended Cement Performance. In: **1st Intern. Conf. on the use of fly ash, silica fume, slag and other mineral by-products in concrete**, Montebello, 1983, Malhotra, Ed., ACI, SP-79,1,pp.415-433.

HOPPE FILHO, J. **Sistemas Cimento, Cinza Volante e Cal Hidratada: Mecanismo de Hidratação, Microestrutura e Carbonatação de Concreto**. Tese de Doutorado, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP), São Paulo, 2008.

ISAIA, G.C.; GASTALDINI, A.L.G. **Critical Analysis on HPC with Very High Contents of Mineral Additions (Part I). Mix Proportion and Carbonation**. IBRACON Materials Journal, Vol. 2, Number 1, p.09 -19, September, 2006.

ISAIA, G.C.; GASTALDINI, A.L.G. **Perspectivas Ambientais e Econômicas do Concreto com Altos Teores de Adições Minerais: Um Estudo de Caso.** Ambiente Construído, Porto Alegre, Vol.4 ,n.2, p.19 – 30 abril/junho, 2004.

JIANG, L.; LIU, Z.; YE, Y. **Durability of Concrete Incorporating large volumes of low-quality fly ash.** *Cement and concrete research*, Vol. 34, Issue 8, p. 1467 – 1469, August, 2004.

MEHTA, P K; MONTEIRO, P. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais.** 4. ed. São Paulo: Pini, 2014.

MEIRA, G.M.; PADARATZ, I.J.; BORBA, J.C.. **Carbonatação natural de Concretos: Resultados de cerca de Quatro Anos de Monitoramento.** In: XI Encontro Nacional de tecnologia no ambiente construído, Florianópolis, 2006.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. **Tecnologia do Concreto.** 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PAULETTI, C.; POSSAN, E.; MOLIN, D.C.C.. **Carbonatação Natural de Concretos: Resultados de cerca de Quatro Anos de Monitoramento.** Periodicos - UFRGS, Ambiente construído, v.7,n.4,p.7-20, Porto Alegre, 2007.

PO-GT-1028, **Determinação da profundidade de carbonatação,** ABCP.

PEREIRA, VICTOR CORREIA DE OLIVEIRA; ALMEIDA, KALLINE; MONTEIRO, ELIANA CRISTINA BARRETO. **Avaliação da Corrosão em Argamassas de Cimento Portland Utilizando a Técnica de Potencial de Corrosão.** Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, 2012.

RIBEIRO, Daniel Verás. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.