

INFLUÊNCIA DOS CICLOS GELO-DEGELO EM MATRIZES CIMENTÍCEAS

Analécia Monteiro¹
Maria Fabiana Paixão²
Fernanda Nepomuceno Costa³

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais importantes da construção civil. Embora suas propriedades mecânicas e aplicabilidades sejam bem conhecidas, as informações sobre seu desempenho em baixas temperaturas são escassas. O fenômeno gelo-degelo numa matriz cimentícea provoca alterações na sua estrutura íntima podendo comprometer a durabilidade do concreto endurecido. Esse comportamento se deve ao aumento de volume dentro dos poros provenientes da solidificação da água neles contida. Apesar de praticamente inexistente no Brasil, o estudo desse fenômeno é necessário para setores comerciais de armazenamento de produtos perecíveis e de frigoríficos. Nesse contexto, este trabalho analisa as matrizes cimentíceas submetidas a ciclos de gelo e degelo e sugere a aplicação dos incorporadores de ar como uma das medidas mitigadoras do processo de degradação da matriz.

Palavras-chave: Concreto, baixas temperaturas, gelo e degelo, incorporadores de ar, durabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais consumido no mundo. Seu uso vem revolucionando o planeta com elevadas transformações na paisagem urbana. A utilização deste material é destacada pelas suas características que o torna bastante peculiar, tais como disponibilidade dos materiais constituintes, facilidade de produção, transporte e manuseio em variadas formas e tamanho, custo relativamente baixo diante de outras alternativas estruturais e excelente resistência a água (PETRUCCI, 2005; MEHTA e MONTEIRO, 2008; ISAIA, 2010).

Contudo, dentre as principais causas de degradação da matriz cimentícea estão a carbonatação, reação álcalis-agregado, bioterioração, corrosão negra, ataque por ácidos, ataque por sulfatos, hidrólise dos componentes da pasta e ciclos gelo-degelo (RIBEIRO, 2016), além da ação do fogo. Zeng *et al.* (2014) citam que o dano por congelamento pode ser o maior problema de durabilidade para materiais porosos à base de cimento. A ciclagem térmica gelo-degelo causa fissuras internas e a fragmentação da superfície, favorecendo a

¹ Centro Universitário Jorge Amado, analecia@globo.com.

² Universidade Federal da Bahia, mariafabiana.bp@gmail.com.

³ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, fernandacosta@ufrb.edu.br.

entrada de agentes agressivos, tais como sulfatos e íons cloreto, que levam à corrosão das armaduras.

No Brasil, onde a predominância é o clima tropical, o fenômeno gelo-degelo praticamente é inexistente. Entretanto, para setores comerciais de armazenamento de produtos perecíveis e de frigoríficos o estudo deste fenômeno se torna necessário, pois para conservação dos alimentos nesses ambientes é necessária uma temperatura inferior a 0°C, sendo que com uma determinada frequência esses locais são descongelados para manutenção e limpeza, caracterizando a formação do fenômeno gelo-degelo.

Diante do exposto, acredita-se ser de grande valia para o meio técnico-acadêmico pesquisas que destaquem a ação dos ciclos gelo-degelo nas matrizes cimentícias e seu consequente processo de degradação, foco deste trabalho.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se a pesquisa bibliográfica desenvolvida com base em revisão do estado da arte, a partir do uso de informações contidas em publicações científicas.

3 REVISÃO/CONTEXTUALIZAÇÃO

O concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregados. O aglomerante no concreto de cimento hidráulico é formado de uma mistura de cimento e água (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Quando recém misturado, o concreto deve oferecer condições de plasticidade que facilitem as operações de manuseio indispensáveis ao lançamento nas formas, adquirido com o tempo pelas reações que então se processam entre o aglomerante e a água, coesão e resistência (PETRUCCI, 2005). Mesmo considerando adequada a dosagem em fase de projeto, o desempenho do concreto vai depender da qualidade dos seus constituintes, do processo de mistura, lançamento e adensamento, bem como da cura adequada.

É possível afirmar que o tema durabilidade possui grande destaque na Engenharia Civil, quando se observa a quantidade de pesquisas e publicações desenvolvidas por acadêmicos não só no Brasil, como também no mundo. Pode-se inferir que a maior atenção ao tema se dá pelos crescentes casos de problemas patológicos nas edificações, especialmente ligadas ao concreto estrutural de edificações diversas, ocasionando degradação aos elementos construtivos.

A durabilidade é definida pela NBR 6118:2014 como capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante no início dos trabalhos de elaboração do projeto. Esta norma também ressalta que a segurança, estabilidade e aptidão em serviço das estruturas de concreto armado devem ser garantidas (ABNT, 2014).

Um concreto durável preservará sua forma, qualidade e capacidade de uso original quando exposto ao ambiente para o qual foi projetado, atingindo sua vida útil quando suas propriedades tiverem se deteriorado de tal forma que a continuação de sua utilização se torna insegura e antieconômica (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Vilasboas (2004), as seguintes ações são consideradas como primordiais na influência do comportamento das propriedades mecânicas e no desempenho, a longo prazo, do concreto armado: variações de temperatura; variações de umidade; velocidade e direção dos ventos; ação dos gases e vapores corrosivos da atmosfera; ação corrosiva das águas de contato; ação de agentes bacteriológicos; intensidade e tipo de ações mecânicas.

A presença da água é essencial para as reações de hidratação das matrizes cimentícias, além de ser um agente facilitador da mistura do concreto, entretanto, sua aplicação como componente dessa mistura pode não ser tão positiva assim. Torna-se benéfica ao concreto desde que evapore e torne os poros vazios e secos. A depender da temperatura ambiente, a água pode ser congelada dentro dos poros ou se manter em livre movimentação interna. Além disso, pode comportar-se como condutora de compostos degenerativos ao concreto e a armadura ou ainda associar-se a estes para favorecer reações tornando-se prejudicial à durabilidade e resistência do concreto.

A grande maioria das substâncias transforma-se do estado líquido para o estado sólido durante o resfriamento, acarretando o aumento de densidade e a consequente diminuição do volume. Entretanto, a água possui um comportamento inverso, pois ao se congelar o seu volume aumenta em cerca de 9%. Este fenômeno se explica nas pontes de hidrogênio. O que ocorre é que cada molécula de água pode se ligar a quatro moléculas de hidrogênio. A ponte de hidrogênio é uma interação entre o átomo de hidrogênio e um átomo altamente eletronegativo, neste caso da água: o oxigênio. O hidrogênio serve como uma liga entre os átomos que interagem, provocando aumento de volume e diminuição densidade (CALLISTER, 2014).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a água é o principal agente de destruição de materiais sólidos. A submissão da matriz cimentícia a repetidos ciclos gelo-degelo provoca a expansão progressiva da matriz da pasta de cimento que podem resultar em fissuração e

destacamento do concreto.

4 CONCRETO SUBMETIDO A BAIXAS TEMPERATURAS: AÇÃO DO CONGELAMENTO NA PASTA ENDURECIDA

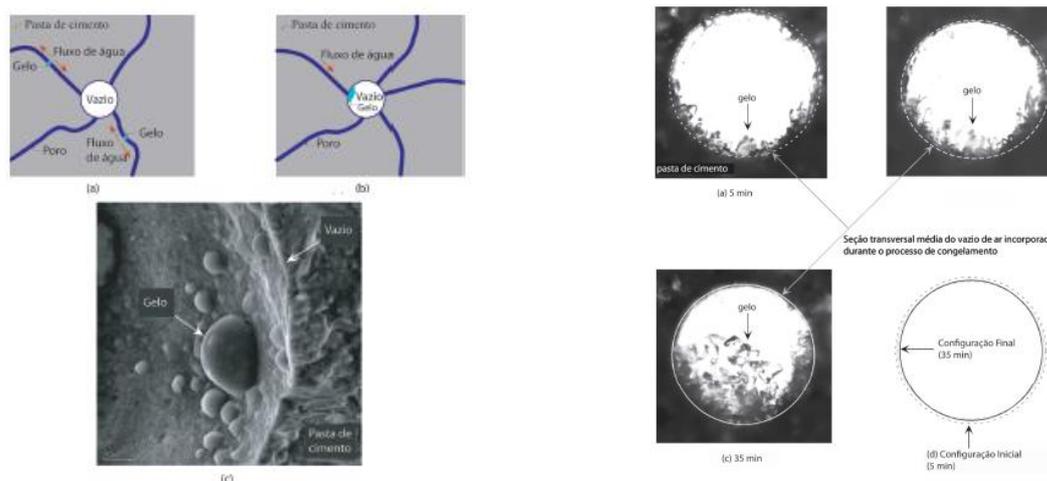
Levando-se em consideração que o concreto é um material poroso e, portanto, possui uma grande capacidade de armazenar água em seus poros, a ação de congelamento provoca aumento de volume dentro dos capilares do concreto causando forte pressão em suas paredes. Quando a temperatura aumenta, a água dentro dos capilares descongela diminuindo a pressão dentro dos capilares e novamente volta a congelar quando ocorre uma queda de temperatura. Esse ciclo gelo e degelo são prejudiciais ao concreto. Powers (1945) e Helmuth (1953) *apud* Lima (2006) estudaram este fenômeno através de uma série de experimentos. Com esse estudo, foi possível determinar dois fenômenos importantes causadores da deterioração deste material quando submetido a temperaturas muito baixas, são eles: geração de pressão hidráulica; difusão de água-gel e água capilar.

A água contida nos capilares do concreto, quando submetida a baixas temperaturas, solidifica-se. Este processo causa um aumento de volume da água e a quantidade excedente movimenta-se para os capilares mais próximos que passarão pelo mesmo processo e se deformarão caso a pressão sofrida seja maior que a resistência do material.

Powers (1958) *apud* Mehta e Monteiro (2008) constatou que quando a água começa a congelar em um vazio capilar, requer uma dilatação de 9% do volume de água congelada ou força a saída da água dos poros, ou ainda ocorrem os dois fenômenos de forma combinada. Neste processo uma pressão hidráulica é gerada. Essa pressão varia em função da distância da fronteira de escape, da permeabilidade do material e da taxa de formação do gelo. Pelos experimentos feitos por Powers (1958) foi constatado que a pressão de ruptura se dá em uma amostra saturada da pasta. Em concretos com ar incorporado, a tendência é diminuir essa pressão, pois criam fronteiras de escape. As bolhas deixam espaços para a formação do gelo. Estes fenômenos são ilustrados na Figura 1 e na Figura 2.

Figura 1 – Formação de gelo nos vazios capilares.

Figura 2 – Sequência da propagação de gelo no vazio de ar incorporado.



Fonte: Mehta e Monteiro, 2008

Powers (1945) *apud* Mehta e Monteiro (2008) utilizou-se de amostras a uma temperatura de -24°C e obteve os resultados conforme descritos na Tabela 1. Numa amostra sem ar incorporado observou-se que a matriz dilatou 1.600 milionésimos no congelamento, enquanto que no degelo houve a dilataçãõ de 500 milionésimos até a temperatura inicial. Com a incorporacão de 10% de ar, não houve dilataçãõ na amostra. Powers (1958) *apud* Mehta e Monteiro (2008) também propôs que além da pressãõ hidráulica causada pelo congelamento da água nas grandes cavidades pode ocorrer também uma pressãõ osmótica resultante do congelamento parcial das soluções nos capilares, que pode também ser prejudicial a pasta de cimento. A água nos capilares não é pura, neles contêm substâncias solúveis tais como álcalis, cloreto e hidróxido de cálcio. Essas substâncias também congelam, mas com temperaturas abaixo do congelamento da água, quanto mais sais presentes nessas soluções, mais tarde congelam-se essas substâncias.

Tabela 1 – Análise da dilataçãõ em amostras com ar incorporado.

TEMPERATURA	Amostra % Ar Incorporado	Dilataçãõ (milionésimo)	
		Congelamento	Degelo
-24°C	0%	1.600	500
	2%	800	300
	10%	0	0

Fonte: Adaptado de Powers (1958) *apud* Mehta e Monteiro (2008)

Os vazios capilares do concreto possuem tamanhos variados, quanto maiores, maior a quantidade de água a ser congelada dentro deles. Existe água em diversos estados físicos dentro dos capilares, além de congelamento em diferentes temperaturas, isso faz com que

existam diferentes níveis de energia que podem causar perda de água dos capilares menores para os maiores. O nível de energia será tanto maior quanto menor forem os capilares, e maior o grau de saturação.

Esse fenômeno inicia-se na pasta gel do concreto, pois é aí que se encontram os menores vazios. Como se sabe, existem três tipos de água fisicamente ligadas ao concreto, água capilar, água adsorvida nos poros de gel e água interlaminar na estrutura C-S-H. Quanto mais retida esta água estiver, mais baixa será a temperatura de congelamento.

Estima-se que a água nos poros de gel não congele acima de -78°C (78 graus negativos). A água nas grandes cavidades congela-se a temperatura de 0°C , enquanto que a água nos poros de gel fica extremamente resfriada, porém no estado líquido. Com isto, ocorre um desequilíbrio termodinâmico entre a água congelada, que possui baixa energia, e a água super-resfriada, com muita energia, logo a diferença de entropia (desordem das partículas em um sistema físico), força a água resfriada a migrar para locais de menos energia que são os grandes poros, para que possa congelar-se. O volume de gelo nesses poros capilares aumenta gradualmente, até que o espaço fica insuficiente para comportar todo o gelo. Neste processo ocorre dilatação dos poros que recebe a água que congela e há uma retração dos poros de gel que perde água. Inicialmente, ocorre a contração desses poros pela difusão da água-gel e numa segunda etapa, devido à perda de água para os capilares, há o aumento dos cristais de gelo neles contidos gerando a deformação dessas cavidades. As bolhas de ar incorporado atuam recebendo esta água super congelada e o processo de congelamento se dá dentro dessas bolhas (METHA e MONTEIRO, 2008).

O limitador dessa pressão hidráulica e da formação dos cristais de gelo são os vazios de ar presentes na pasta. Power (1949) *apud* Lima (2006) sugere incorporar cerca de 6% de ar no concreto para protegê-lo do congelamento.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o dano no concreto pela ação gelo e degelo pode ter muitas formas. As mais comuns são as fissurações e lascamento (a superfície acabada escama e descasca) são causados pela expansão progressiva da matriz do concreto. Essa expansão pode atingir cerca de 9% de seu volume inicial na transição do líquido para o sólido (SHANG, 2013).

4.1 Ação do Congelamento no Agregado

Mehta e Monteiro (2008) afirmam que o mecanismo de gelo e degelo não atinge apenas a pasta de cimento, alguns agregados porosos como certos tipos de *cherts* (tipo de rocha formada principalmente de sílica), arenitos, calcários e folhelhos também podem, com a

ação do congelamento, danificar a pasta de cimento. Nem todos os materiais porosos sofrem a pressão interna no congelamento, vai depender principalmente da distribuição e tamanho dos poros, independentemente se a matriz cimentícia possui ou não ar incorporado.

Os agregados se distribuem em três classes:

- a) Baixa permeabilidade e alta resistência: neste caso, o congelamento da água nos poros a deformação elástica na partícula se acomoda sem causar danos.
- b) Permeabilidade intermediária: as forças capilares fazem com que os pequenos poros sejam facilmente saturados retendo água.
- c) Agregado de alta porosidade: esses agregados embora permitam facilmente a entrada e saída de água, também são capazes de provocar danos a matriz, pois a água sob pressão é expelida e nesse processo pode causar danos a zona de transição.

4.2 Ação do Congelamento na Resistência do Concreto

Uma vez que o concreto possui várias fases, outras propriedades podem tornar seu desempenho limitante, sendo que em muitos casos a durabilidade e a impermeabilidade podem ser mais importante que a resistência à compressão, mesmo este sendo um indicador de qualidade. A resistência do concreto está muito ligada à porosidade dos materiais bem como à porosidade da matriz do cimento, da zona de transição entre a matriz e o agregado (NEVILLE, 1997).

Zhang e Zhang (2006) afirmam que em situações de suspensão da hidratação, enquanto a temperatura estiver ainda baixa e não houver água suficiente para as reações químicas acontecerem após a concretagem, ao ocorrer o degelo é preciso revibrar o concreto sem que haja perdas na resistência. Entretanto, em função da dilatação da água de amassamento durante o congelamento, a falta de revibração resultaria num concreto mais poroso.

Já Neville (1997) destaca que o procedimento de revibração somente deve ser realizado em casos inevitáveis e que esta ação pode ser benéfica para o concreto. Entretanto, se houver congelamento depois que o concreto tiver atingido uma resistência mediana, a expansão ocasionada pela formação de gelo causa degradação e perda irrecuperável da resistência.

Richardson *et al.* (2011), baseado no estudo de Jacobsen *et al.* (1996), analisam que para relações água-cimento (a/c) de 0,30 ou 0,35, não existe nenhuma, ou muito pouca, formação de gelo no interior dos corpos de prova. Os mesmos autores referem que, para estas condições, menos da metade de água absorvida é de fato congelada a uma temperatura de -20

°C, não provocando assim dano no concreto. A baixa relação a/c é também apontada pelo ACI201.R (2001) e pelo ACI365.1R (2000) como um bom método para aumentar a resistência a ciclos gelo-degelo.

5 PRINCIPAIS AÇÕES MITIGADORAS DA DEGRADAÇÃO DAS MATRIZES CIMENTÍCEAS QUANDO SUBMETIDAS AO CICLO GELO-DEGELO

A característica da pasta de cimento e de seus agregados é importante para a resistência do concreto ao congelamento, entretanto outros fatores são também determinantes para essa resistência. Dentre eles:

- a) Distância que a água tem que percorrer para aliviar a pressão: localização da “fronteira de escape”;
- b) A estrutura de poros do sistema: tamanho, número e quantidade dos poros;
- c) O grau de saturação: quantidade de água congelável presente;
- d) A velocidade de resfriamento;
- e) Resistência à tração do material que deve ser ultrapassada para provocar ruptura.

As ações mitigadoras para os danos do concreto são relativamente fáceis. Em se tratando de fronteira de escapes a ação de incorporação de ar, bem como uma dosagem e cura apropriadas para reduzir a porosidade pode também pode ser muito útil.

No caso de incorporação de ar, são necessários alguns cuidados, uma vez que a resistência mecânica é prejudicada com a incorporação de ar, pela diminuição da rigidez do concreto. Há uma perda de cerca de 5% na resistência do concreto com a utilização de cada 1% de ar incorporado (BERTOLINI, 2010).

Amorim Júnior e Ribeiro (2015) estudaram a durabilidade de concretos produzidos com diferentes teores de ar incorporado (4, 6 e 10%) e submetidos a ciclos de gelo-degelo. A incorporação de 6% de ar se mostrou eficiente em relação às tensões de expansão da água, apresentando maior fator de durabilidade, não sofrendo perda de rigidez ou desgaste físico. Os resultados dos concretos com a incorporação de 4% de ar também se mostraram eficientes, apresentando perda de rigidez somente nos últimos ciclos. Entretanto, os concretos produzidos com elevados 10% de incorporação de ar obtiveram menor durabilidade quanto a ciclos frios, em comparação aos demais, apresentando maior índice de destacamentos. Esses resultados corroboraram com os obtidos nas pesquisas de Bertolini (2010), que conclui que o teor de ar ideal é da ordem de 4% a 6%.

No caso da estrutura de poros, sabe-se que os fatores determinantes são a relação a/c e o grau de hidratação. Quanto menor o grau de hidratação para uma determinada relação a/c,

maior será o volume de grandes poros na pasta de cimento hidratada, logo, são nos grandes poros que acontece o congelamento. Concreto de peso normal sujeito ao fenômeno de gelo-degelo, deve ter uma relação a/c em torno de 0,45 a 0,50, considerando uma hidratação normal do cimento. É importante também para efeito de redução da porosidade uma cura de sete dias antes de expor o concreto ao gelo e degelo.

Amorim Júnior et al. (2018) propuseram a utilização do agregado reciclado como forma alternativa de incorporação ao ar. A pesquisa avaliou o comportamento de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto, analisando sua durabilidade. Os resultados indicaram que aumentos no teor de agregado reciclado reduzem as propriedades mecânicas e a durabilidade dos concretos. No entanto, para a ciclagem gelo-degelo o emprego do agregado reciclado fez com que as misturas se tornassem mais duráveis que o concreto de referência. A substituição de 15% do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado foi eficiente para suportar as tensões de expansão da água, apresentando um maior fator de durabilidade e não sofrendo perda substancial de rigidez ou desgaste físico. A avaliação indicou que a substituição foi eficaz, apresentando um fator de durabilidade ao final do ciclo, superior ao apresentado pela mistura de referência (AMORIM JÚNIOR et al., 2018).

A durabilidade do congelamento-descongelamento de concretos contendo 25% ou 50% de agregado reciclado misto de cimento reciclado contendo 25% da fração fina de resíduos de construção e demolição de cerâmica (bloco, telha, louças sanitárias) foi investigada por Bosque *et al.* (2020). Os concretos reciclados foram resistentes à ação de congelamento-descongelamento, com um fator de durabilidade de mais de 90% após 56 ciclos. O cimento reciclado aumentou o teor de ar (vazios) e reduziu o fator de espaçamento e a superfície específica em relação ao cimento de referência. De forma semelhante, o agregado reciclado misto reduziu o fator de espaçamento e aumentou os vazios. Entretanto, os concretos reciclados não foram resistentes ao gelo-degelo na presença de sais de degelo, uma vez que o cimento reciclado favoreceu a formação de oxicloretos e sal de Friedel.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um estudo sobre a degradação do concreto através dos ciclos gelo-degelo. Conclui-se a importância e necessidade de ênfase num procedimento técnico que, embora seja indicado pelos termos técnicos, é pouco praticado nas obras brasileiras: a efetiva cura do concreto. Um avançado grau de hidratação do cimento, por meio de uma cura no concreto por mais tempo, é imprescindível para a durabilidade do concreto frente a baixas temperaturas, pois a cura pode contribuir para uma melhor hidratação dos poros, reduzindo a

permeabilidade da matriz cimentícia, além de, em regiões onde o fenômeno tenha mais probabilidade de acontecer, observar a incorporação de ar no concreto em percentuais adequados para não diminuir a resistência, criando zonas de escape.

Outro fator relevante na obtenção da durabilidade é a elaboração de um concreto coeso, pouco permeável e com melhoria da zona de interface pasta/agregado, por meio de um método adequado de dosagem e de mistura do concreto.

Por fim, foi realizada a observância de considerações de normas brasileiras, dando atenção especial para a durabilidade das estruturas, o adequado cobrimento das armaduras e a relação água/cimento do concreto, com o objetivo de tornar as estruturas menos permeáveis aos agentes agressivos, aumentando sua vida útil, principalmente em cidades com maior desenvolvimento urbano, indústrias e ambientes marinhos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- AMORIM JÚNIOR, N.S. de; RIBEIRO, D.V. Efeitos da incorporação de ar na durabilidade do concreto submetido a ciclos de gelo-degelo. *In: Congresso Brasileiro do Concreto*, 57, Bonito – MS, 2015.
- AMORIM JÚNIOR, N.S.; SILVA, G.A.O.; RIBEIRO, D.V. Effects of the incorporation of recycled aggregate in the durability of the concrete submitted to freeze-thaw cycles. **Construction and Building Materials**, v. 161, p. 723–730, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- BERTOLINI, L. **Materiais de construção: Patologia, reabilitação e prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- BOSQUE, I.F.S.; MEDINA, C.; HEEDE, P.V.; Belie, N.; ROJAS, M.I.S. Freeze-thaw resistance of concrete containing mixed aggregate and construction and demolition waste-added cement in water and de-icing salts. **Construction and Building Materials**, v. 259, paper 119772, 2020.
- CALLISTER JR, William. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**. 8.ed. 2014.
- ISAIA, G.C. **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2010, Vol.2.
- LIMA, S.M. Concreto de alto desempenho em ambientes com baixas temperaturas. 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.
- PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de cimento Portland**. 14 ed. São Paulo: Globo, 2005
- RIBEIRO, D.V. **ENG K25 – Ciência dos materiais cimentícios**. Notas de aula. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPEC. UFBA. 2016.
- SHANG, Huai-shuai. Triaxial T–C–C behavior of air-entrained concrete after freeze–thaw

cycles. **Cold regions science and technology**, v. 89, p. 1-6, 2013. VILASBOAS, JML. Durabilidade das Edificações de Concreto Armado em Salvador: Uma Contribuição para a Implantação da NBR 6118: 2003. 2004. 229 fls. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, UFBA, Salvador, 2004.

ZHANG, Shuqiang; ZHANG, Minhong. Hydration of cement and pore structure of concrete cured in tropical environment. *Cement and Concrete Research*, v. 36, n. 10, p. 1947-1953, 2006. ZENG, Q.; LE, L.; PANG, X.; GUI, Q.; LI, K. Freeze-thaw behavior of air entrained cement paste saturated with 10 wt.% NaCl solution. **Cold Regions Science and Technology**, v. 102, p. 21-31, 2014.