Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto Exposto à Baixas Temperaturas e Curado por Imersão



Caio Péricles Branco; Fernanda Vanusa A. Altino; Gislaine Mirian Machado
Faculdade Educacional Araucária

RESUMO

*Em climas frios, a baixa temperatura da cura do concreto pode retardar e até impedir o desenvolvimento da resistência do mesmo**.** Esses problemas ocorrem principalmente na região Sul do Brasil, como Paraná e Rio Grande do Sul, pois seus invernos atingem temperaturas bem baixas e rigorosas, historicamente tendo uma variação entre -2° e 9°C (SIMEPAR). Este estudo visa avaliar a resistência à compressão de amostras submetidas a diferentes tempos de exposição à temperatura baixa, desde as suas idades iniciais até os seus 28 dias, em cura por imersão (condições ideais) e ao ar livre (simulando situação real de obra), verificar se a cura sob condições ideais é capaz de minimizar os efeitos da baixa temperatura na resistência do concreto e comprovar influência negativa de temperaturas baixas a ele. Produziu-se 0,1 m³ (100l) de concreto convencional, com qual moldou-se 24 exemplares (48 amostras) que foram expostos a temperaturas que variam entre 1° e 5°C. O rompimento foi realizado aos 28 dias após a moldagem dos corpos de prova. Para a análise dos resultados foi utilizado o corpo de prova com maior resistência para cada tipo de cura. Avaliando-se resultados do experimento realizado, foi comprovado que a ação do frio influi diretamente na resistência do concreto. Verificou-se ainda que o processo de cura não minimizou os impactos da baixa temperatura.*

Palavras chave: concreto, temperaturas baixas, resistência, cura, compressão.

ABSTRACT

In cold climates, the low temperature of the concrete healing can slow down and even prevent the resistance development. These problems occur mainly in southern Brazil, such Parana and Rio Grande do Sul, where winters reach rigorous and very low temperatures, historically having a variation between -2 ° and 9 ° C (SIMEPAR). This study aims to evaluate the compressive strength of samples subjected to different exposure times in low temperature, since its early ages until their 28 days by immersion healing (ideal conditions) and outdoor (simulating real work situation), checking if healing under ideal conditions can minimize the effects of low temperature on strength concrete and prove negative influence of low temperatures. There was produced 0.1 m³ (100l) of conventional concrete, which 24 sectors molds (48 samples) were exposed to temperatures ranging from 1 ° to 5 ° C. The disruption was performed to 28 days after test seciones molding. For the results test, was used the test element of greater resistance to every type of healing. Evaluating the experiment results, it was verified that the low influences directly the concrete strength. It was also test that the cure process did not affect the results.

Key Words: concrete, low temperatures, resistance, healing, compression.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material que apresenta algumas vantagens na sua utilização, como por exemplo, versatilidade e menor custo, se comparado a outros materiais de construção civil, sendo por isso amplamente utilizado em todo o mundo. (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Estima-se que o consumo de concreto atualmente no mundo seja na ordem de 11 bilhões de toneladas cubicas ao ano. Entre as principais razões da utilização desse material na construção civil, destaca-se a ótima resistência à água, possibilidade de diversas formas e tamanhos de elementos estruturais, além do baixo custo e rápida disponibilidade do material na obra, já que os principais componentes do concreto são agregados (miúdo e graúdo), água e cimento Portland. (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Neville (1997) existem vários fatores que influenciam na resistência do concreto, como a relação água/cimento, porosidade, grau de hidratação da pasta de cimento decorrentes do tempo de cura, temperatura e umidade, características dos agregados, entre outros.

Para concretagens em climas frios são necessários alguns cuidados na mistura, no lançamento e na cura para se evitar os efeitos prejudiciais do congelamento no concreto no estado fresco ou endurecido. Caso o concreto congele antes do início de pega, a água de amassamento se transforma em gelo e ocorre o aumento do volume total do concreto. Como as reações químicas necessitam de água e a mesma encontra-se congelada, a pega e o endurecimento do concreto são retardados e, consequentemente, existe pouca pasta de cimento que sofrerá desagregação pela formação do gelo. Com o degelo, posteriormente, ocorrerá a pega e o endurecimento do concreto em condição expandida, com grande quantidade de poros, resultando na diminuição da sua resistência mecânica (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Laguna (2011) afirma que no decorrer do inverno as peças concretadas passam por alterações em seu desempenho habitual de desforma. Como a velocidade de hidratação de qualquer tipo de cimento é influenciada, sobretudo, pela temperatura e finura do cimento, durante os dias de baixa temperatura é frequente o retardamento de pega do concreto e, como consequência, a queda de resistência nas idades iniciais, podendo atrasar a desforma de peças estruturais. A má hidratação provocada pela ineficiência do processo de cura pode gerar danos irreversíveis.

Seguindo as especificações da NBR 14931/2004, Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento, não se deve aplicar o concreto em condições de temperatura

ambiente inferior a 0º C, durante a concretagem e nas 48 horas seguintes. Entretanto, essa condição climática é inevitavelmente encontrada durante o inverno brasileiro, principalmente no sul do país.

Autores como Neville (1997), Mehta e Monteiro (2008), citam que o concreto submetido à temperatura negativa sofre congelamento e retardo no ganho de resistência, que devido ao efeito de expansão pode não atingir a qualidade esperada. Entretanto, não citam se o concreto pode recuperar-se deste efeito.

A cidade de Curitiba/PR e região metropolitana são caracterizadas por uma grande amplitude térmica na faixa de 20ºC. No inverno curitibano, a temperatura média é de 12ºC. Julho é normalmente o mês mais frio, com temperatura mínima média de 9ºC e máxima média de 20ºC. As temperaturas abaixo de 0ºC podem ocorrer em alguns dias. (SIMEPAR, 2015).

Sendo assim, a pesquisa pretende avaliar se o tempo de exposição ao clima frio interfere consideravelmente na resistência aos 28 dias do concreto, mesmo este sendo curado, após esta exposição, a condições ideais.

2. DESENVOLVIMENTO

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a resistência à compressão do concreto submetido a baixas temperaturas, desde suas primeiras idades e sob cura por imersão até os 28 dias. Os objetivos específicos são:

- Avaliar a resistência à compressão de amostras submetidas a diferentes tempos de exposição à temperatura baixa, em cura por imersão (condições ideais) e ao ar livre (simulando situação real de obra);
- Verificar se a cura sob condições ideais é capaz de minimizar os efeitos da baixa temperatura na resistência do concreto;
- Comprovar a influência negativa de temperaturas baixas a cura do concreto;

Para este estudo, os materiais utilizados foram os agregados miúdos e graúdos, água e cimento. O agregado miúdo utilizado é uma areia média natural, extraída de leitos de rios. Como agregado graúdo, foi utilizada brita 1, proveniente da cidade de São José dos Pinhais.

Para caracterização desses agregados, foram utilizados os ensaios apresentados a seguir:

- Composição granulométrica, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003);

- Material pulverulento, segundo a NBR NM 46 (ABNT, 2003);
- Massa específica e massa específica aparente, segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009) para os agregados miúdos e segundo a NBR NM 53 (ABNT, 2009) para os agregados graúdos.

O cimento Portland utilizado é o CP II-Z-32 comumente usado na produção de concreto para estruturas em contato com ambientes agressivos, ambientes úmidos e obras marítimas. A caracterização físico-mecânica e química deste material é dada pelo fabricante, conforme apresentado na TABELA 1.

TABELA 1 - FICHA TÉCNICA DO CIMENTO CP II-Z-32

EXIGÊNCIAS FÍSICAS E MECÂNICAS									
FINURA		TEMPO DE PEGA		EXPANSIBILIDADE		RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)			
Resíduo na peneira 75 mm (%)	Área específica (m²/Kg)	Ínicio (h)	Término (h)	A Frio (mm)	A Quente (mm)	1 dia	3 dias	14 dias	28 dias
≤ 12,0	≥ 260	≥ 1	≤ 10 (1)	≤ 5	≤ 5	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32
EXIGÊNCIAS QUÍMICAS									
Resíduo Insolúvel (%)		Perda ao fogo (%)		MGO (%)	SO3 (%)	CO2 (%)		S (%)	
≤ 16,0		≤ 6,5		≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5		-	

FONTE: VOTORANTIM CIMENTOS

A produção do concreto foi realizada através de um traço de 20 MPa padrão da ABESC (2001), descrita na TABELA 2, que corresponde a um volume total de 0,1m^3 (100) litros. Foi utilizado uma betoneira de 420 litros para a produção do mesmo.

TABELA 2 - TRAÇO UTILIZADO PARA MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Cimento	Areia	Brita 1	A/C
1	3,2	2,8	0,68

FONTE: MANUAL ABESC 2001

Foram moldados 48 corpos de prova (24 exemplares) de acordo com a NBR 5738/2015, divididos em 12 grupos, sendo um deles os CPs de referência, que não foram submetidos a baixa temperatura, sendo curados em temperatura ambiente que permaneceu em média de 25ºC. Os outros 11 grupos foram submetidos a uma temperatura que variou entre 1ºC e 5ºC, sendo que cada grupo ficou exposto a essa condição por diferentes períodos de tempo, conforme a TABELA 3. Para simular as condições de temperatura entre 1ºC e 5ºC, foi utilizado um freezer de 500 litros com termômetro para permitir o controle da temperatura.

TABELA 3 - PERÍODO DE CURA DOS CORPOS DE PROVA

GRUPO	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	EXEMPLAR 1		EXEMPLAR 2	
		CURA AO AR LIVRE		CURA POR IMERSÃO	
		CP1	CP2	CP1	CP2
1	REFERÊNCIA				
2	1h				
3	2h				
4	3h				
5	4h				
6	6h				
7	12h				
8	24h				
9	7 Dias				
10	14 Dias				
11	21 Dias				
12	28 Dias				
Os CPs do grupo 12, não foram submetidos a nenhum tipo de cura, pois saíram do freezer e foram imediatamente rompidos.					

FONTE: OS AUTORES, 2015.

Ao término do período de exposição à baixa temperatura, foram retirados os dois exemplares de cada grupo para um ambiente controlado, sendo um exemplar submetido à cura por imersão e outro curado ao ar livre, em temperatura ambiente, conforme procedimentos de cura descritos na NBR 5738/2015. Os corpos de prova do grupo 12, ficaram seus 28 dias expostos à baixa temperatura e não foram submetidos à cura por imersão nem cura ao ar livre, pois saíram do freezer e foram imediatamente rompidos. A FIGURA 1 mostra os corpos de prova expostos à baixa temperatura.

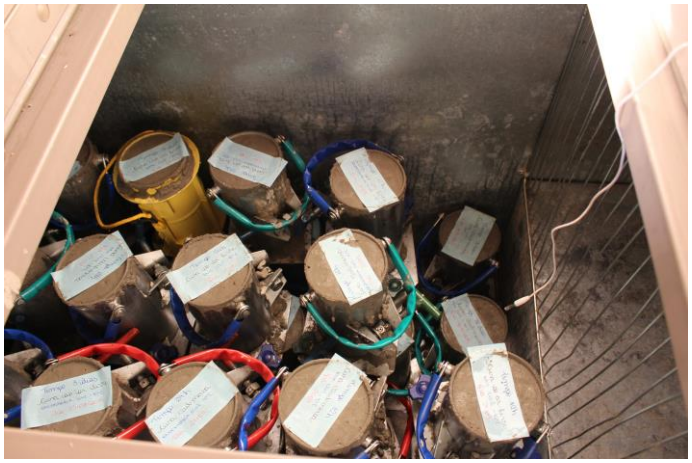

FIGURA 1 – CORPOS DE PROVA EXPOSTOS A BAIXA TEMPERATURA.
FONTE: OS AUTORES, 2015.

A FIGURA 2 mostra alguns corpos de prova sendo curados por imersão, e outros corpos de prova já desformados, sendo curados ao ar livre.



FIGURA 2 – (A) CORPOS DE PROVA EM CURA POR IMERSÃO / (B) CORPOS DE PROVA DESFORMADOS, EM CURA AO AR LIVRE.
FONTE: OS AUTORES, 2015.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

Foram realizados os ensaios de caracterização dos agregados, conforme citados anteriormente, e que são mostrados na TABELA 4.

TABELA 4 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

	Massa Específica (kg/dm³)	Material Pulverulento (%)	Absorção (%)	Módulo de Finura (%)	DMC (mm)
Areia Média	2,65	3,00	0,60	2,46	4,8
Brita 01	2,71	0,80	0,81	6,91	25,0

FONTE: OS AUTORES, 2015.

Os resultados obtidos da caracterização do agregado miúdo e graúdo atendem os limites estabelecidos pela norma NBR 7211/2009. A FIGURAS 3, 4 e 5 mostram os ensaios sendo realizados no laboratório da instituição.



FIGURA 3 – ENSAIO DA MASSA ESPECÍFICA: AREIA (A) E DA BRITA (B).
FONTE: OS AUTORES, 2015.



FIGURA 4 – ENSAIO GRANULOMÉTRICO: (A) AREIA E (B) BRITA.
FONTE: OS AUTORES, 2015.



FIGURA 5 – ENSAIO: MATERIAL PULVERULENTO (ESTUFA).
FONTE: OS AUTORES, 2015.

Após os seus 28 dias de cura, os corpos de provas foram rompidos. A FIGURA 6 mostra o procedimento e os resultados obtidos, em toneladas, durante o rompimento dos corpos de prova.



FIGURA 6 – CARGA DE RUPTURA DO CP DE REFERÊNCIA (CURA SUBMERSA).
FONTE: OS AUTORES, 2015.

Para a caracterização do concreto no estado endurecido, foi avaliada a resistência à compressão axial. Cujos resultados estão indicados na TABELA 8.

TABELA 5 - CARGA DE RUPTURA (MPa)

GRUPO	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	EXEMPLAR 1		EXEMPLAR 2	
		CURA AO AR LIVRE		CURA POR IMERSÃO	
		CP1	CP2	CP1	CP2
1	REFERÊNCIA	23,50	23,68	23,83	23,76
2	1h	24,71	24,43	23,34	23,22
3	2h	22,22	23,53	22,59	23,58
4	3h	24,05	23,81	24,09	21,38
5	4h	21,19	23,61	23,96	21,90
6	6h	22,35	22,05	21,50	21,25
7	12h	22,08	21,90	21,54	22,13
8	24h	20,97	20,45	20,12	21,15
9	7 Dias	20,17	19,95	18,56	19,70
10	14 Dias	20,21	19,99	18,18	19,28
11	21 Dias	18,30	18,39	17,80	17,62
12	28 Dias	18,04	17,24	16,58	16,88
Os CPs do grupo 12, não foram submetidos a nenhum tipo de cura, pois saíram do freezer e foram imediatamente rompidos.					

FONTE: OS AUTORES, 2015.

Para realizar a análise dos resultados obtidos, selecionou-se a maior carga de ruptura de cada exemplar, de acordo com a NBR 12655/2015, sendo estes valores apresentados na TABELA 6 e nos GRÁFICOS 1, 2 e 3.

TABELA 6 - MAIORES CARGAS DE RUPTURA (MPa)

GRUPO	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	MAIORES CARGAS	
		AR LIVRE	POR IMERSÃO
1	REFERÊNCIA	23,68	23,83
2	1h	24,71	23,34
3	2h	23,53	23,58
4	3h	24,05	24,09
5	4h	23,61	23,96
6	6h	22,35	21,50
7	12h	22,08	22,13
8	24h	20,97	21,15
9	7 Dias	20,17	19,70
10	14 Dias	20,21	19,28
11	21 Dias	18,39	17,80
12	28 Dias	18,04	16,88
Os CPs do grupo 12, não foram submetidos a nenhum tipo de cura, pois saíram do freezer e foram imediatamente rompidos.			

FONTE: OS AUTORES, 2015.

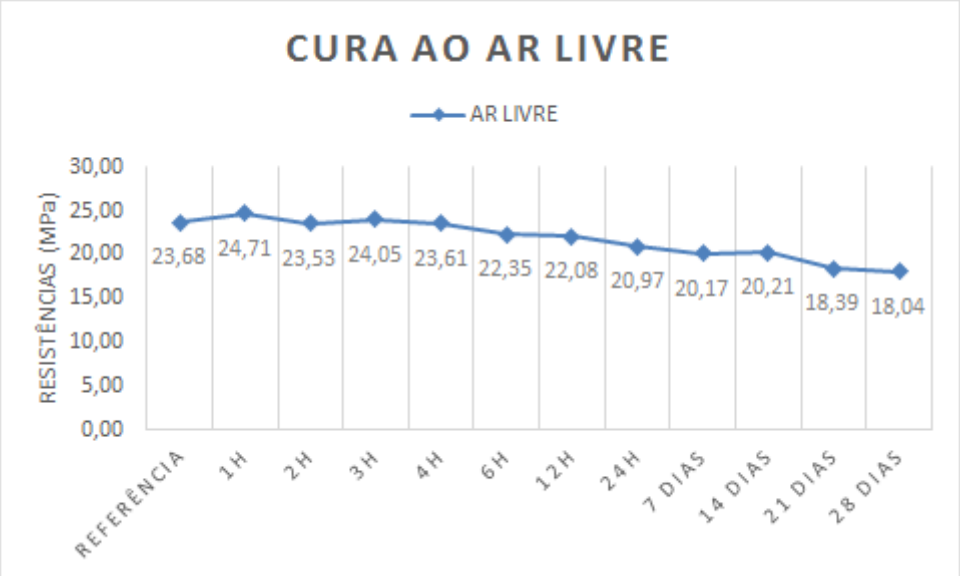

GRÁFICO 1 – CURA AO AR LIVRE.
FONTE: OS AUTORES, 2015.

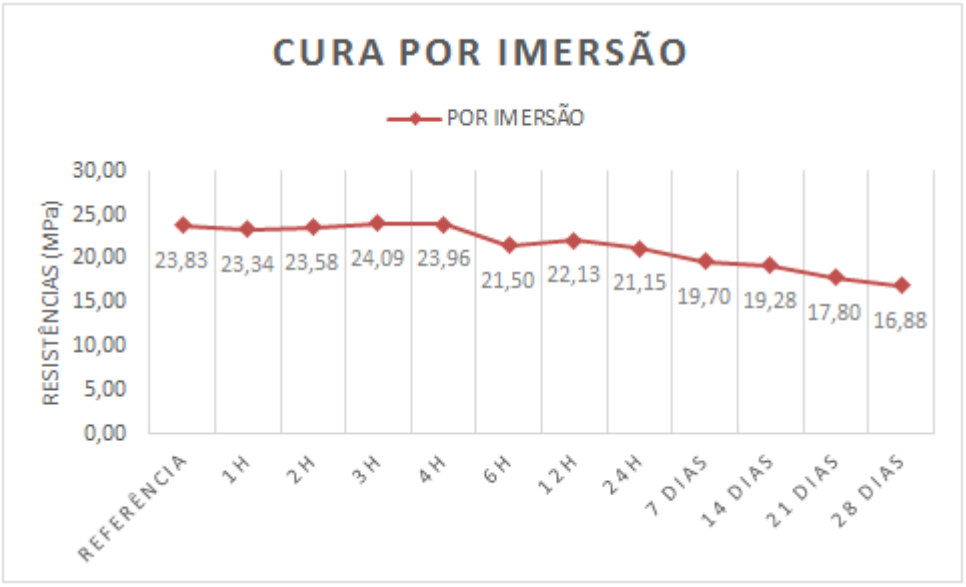

GRÁFICO 2 – CURA POR IMERSÃO.
FONTE: OS AUTORES, 2015.

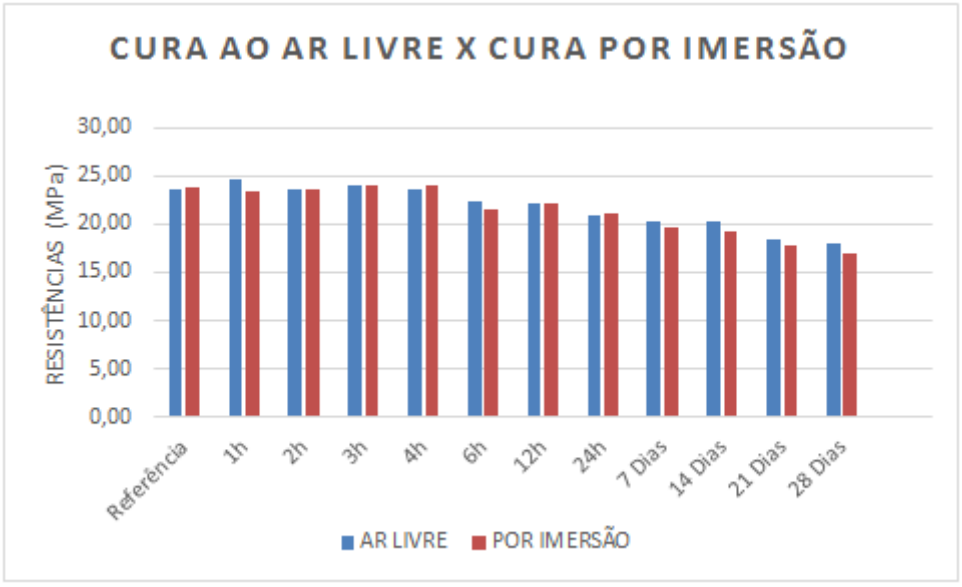

GRÁFICO 3 – CURA AO AR LIVRE x CURA POR IMERSÃO.
FONTE: OS AUTORES, 2015.

Pode-se verificar que houve diminuição de resistência em relação ao concreto de referência de acordo com a TABELA 7 e o GRÁFICO 4, em ambos os processos de cura.

TABELA 7 - VARIAÇÃO PERCENTUAL DAS AMOSTRAS EM RELAÇÃO AO CONCRETO DE REFERÊNCIA

GRUPO	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	EXEMPLAR 1		EXEMPLAR 2	
		CURA AO AR LIVRE		CURA POR IMERSÃO	
		Resistência (MPa)	Variação (%)	Resistência (MPa)	Variação (%)
1	REFERÊNCIA	23,68		23,83	
2	1h	24,71	4,35	23,34	-2,06
3	2h	23,53	-0,63	23,58	-1,05
4	3h	24,05	1,56	24,09	1,09
5	4h	23,61	-0,30	23,96	0,55
6	6h	22,35	-5,62	21,50	-9,78
7	12h	22,08	-6,76	22,13	-7,13
8	24h	20,97	-11,44	21,15	-11,25
9	7 Dias	20,17	-14,82	19,70	-17,33
10	14 Dias	20,21	-14,65	19,28	-19,09
11	21 Dias	18,39	-22,34	17,80	-25,30
12	28 Dias	18,04	-23,82	16,88	-29,16
Os CPs do grupo 12, não foram submetidos a nenhum tipo de cura, pois saíram do freezer e foram imediatamente rompidos.					

FONTE: OS AUTORES, 2015.

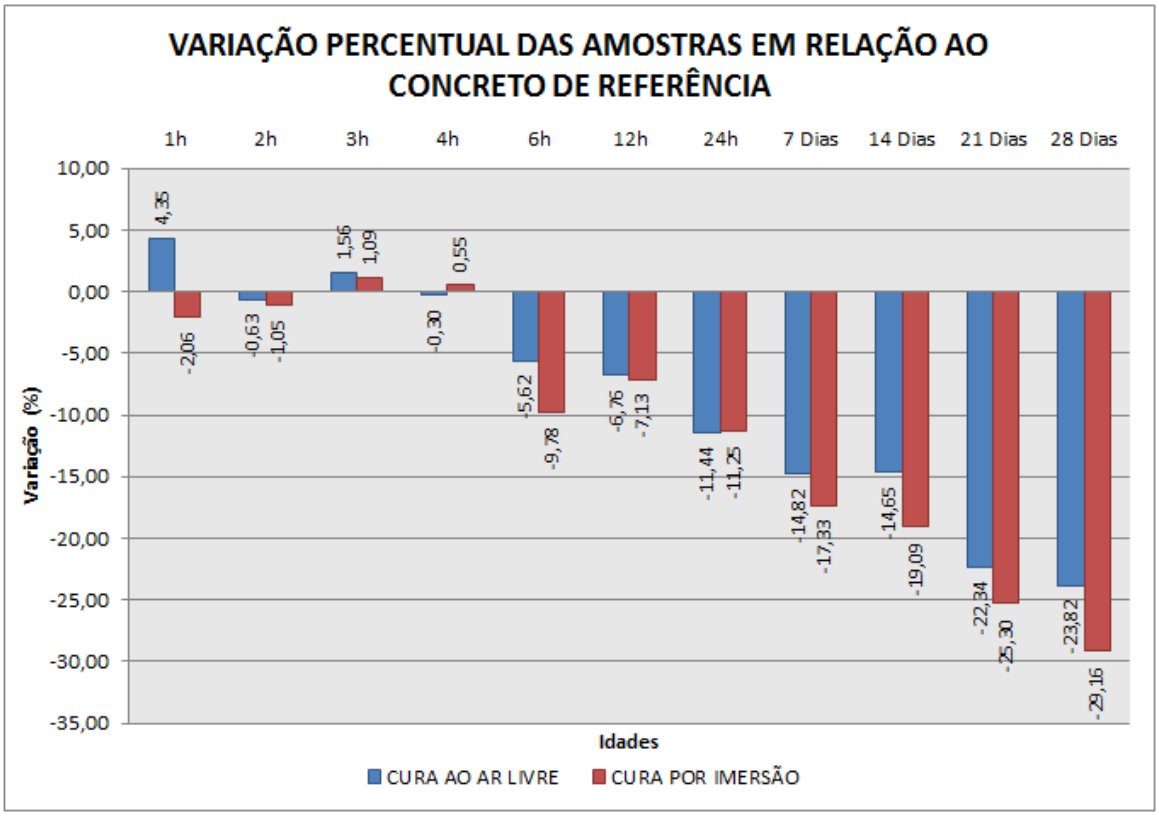

GRÁFICO 4 – VARIAÇÃO PERCENTUAL DAS AMOSTRAS EM RELAÇÃO AO CONCRETO DE REFERÊNCIA.
FONTE: OS AUTORES, 2015.

Pode-se verificar que a cura por imersão não teve impacto minimizador na perda de resistência, ou seja, teve 6% a mais de perda de resistência mecânica em relação ao corpo de prova de referência, quando comparado ao exemplar curado ao ar livre.

Analisando os resultados, obteve-se a confirmação de que o concreto exposto a baixas temperaturas durante o seu processo de cura e endurecimento sofre perda de resistência mecânica, tornando-o ineficaz para a sua finalidade.

4. CONCLUSÃO

Quando as concretagens são realizadas em tempo frio, é difícil determinar quanto tempo o concreto levará para iniciar sua pega e o seu endurecimento, pois isto depende de vários fatores para ganhar resistência, sendo que a temperatura é um dos principais.

Temperaturas muito baixas podem interromper o processo de endurecimento, promovendo também um retardamento na pega pela falta de água para as reações de hidratação. Lembrando que, mesmo durante o inverno, é importante realizar a cura de peças concretadas, pois, além de baixas temperaturas, há condições de ventos fortes e baixa umidade do ar.

O experimento pretendia avaliar a diminuição da resistência do concreto submetido à baixas temperaturas durante sua cura e endurecimento. Também era objetivo, comprovar a influência negativa de tal condição na resistência do concreto e ainda se uma cura em condições ideias seria capaz de minimizar estes efeitos.

Foi observado, ainda, que nas primeiras 3 horas de cura embora tenha havido perda de resistência, esta não foi significativa, atendendo à resistência requerida (20 MPa). A partir de seis horas de exposição à baixa temperatura, o concreto apresentou perda significativa da sua resistência em 11%, comprometendo a resistência estimada de 20 MPa. Com 28 dias de cura a perda de resistência chegou a quase 25%, onde se verifica a grande influência da baixa temperatura, no concreto.

Com os resultados obtidos verifica-se que na cura ao ar livre e na por imersão não houve efeito minimizador na perda de resistência do concreto. Foi evidenciado que o concreto submetido à baixa temperatura sofreu perda de resistência independente do processo de cura e que tal condição climática exerce influência danosa à resistência do concreto.

Verifica-se que os efeitos da utilização do concreto em baixas temperaturas, observadas no desenvolvimento da revisão bibliográfica conferem com os resultados obtidos. Sendo assim, recomenda-se não aplicar o concreto quando a temperatura for inferior à 5ºC, pois sua resistência será diretamente prejudicada. Portanto, há influência da temperatura na evolução da resistência à compressão do concreto.

De forma geral, devem ser tomados cuidados especiais na concretagem em temperaturas próximas ou inferiores a 5ºC, principalmente quanto à desforma dos elementos de concreto armado, considerando que as temperaturas baixas reduzem o ganho de resistência inicial do concreto, podendo levar a fissuração após a retirada do escoramento dos elementos de concreto, em função da redução da resistência à compressão em condições normais de cura.

4. REFERÊNCIAS

ABESC. **Manual do concreto dosado em central.** ABESC. São Paulo: Luxmídi, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR/NM 46 **Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR/NM 52 **Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR/NM 53 **Agregado Graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção da água.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR/NM 248 **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Procedimento e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

LAGUNA, Luis Antonio; IKEMATSU, Paula. **A influência da temperatura na desforma do concreto.** Revista Téchne. 2011. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/>. Acesso em: 28/02/2015.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo. PINI, 2008.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo. PINI, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto.** 2 ed. Porto Alegre. Bookman, 2013.

SIMEPAR, Instituto Tecnológico. **Sistema Meteorológico do Paraná.** Disponível em <http://simepar.br/>. Acesso em 01/03/2015.