

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE TECNOLOGIA EM CONCRETO**

**CAIO PÉRICLES BRANCO
RENATO APARECIDO PIERETTI**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO CURADO ENTRE
-5°C E 0°C**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

**CAIO PÉRICLES BRANCO
RENATO APARECIDO PIERETTI**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO CURADO ENTRE
-5°C E 0°C**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Tecnólogo em Concreto, do Departamento de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Luciene Wiczick

CURITIBA

2012

FOLHA DE APROVAÇÃO

AValiação DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO CURADO ENTRE -5°C E 0°C

Por

Caio Péricles Branco
e
Renato Aparecido Pieretti

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Concreto, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 28 de agosto de 2012, pela seguinte banca de avaliação:

Profa. Orientadora – Luciene Ferreira Schiavoni Wiczick
UTFPR

Profa. Helena Akemi Umezawa
UTFPR

Prof. Marcelo Varisco
UTFPR

Prof. Wellington Mazer
UTFPR

Dedicamos este trabalho às nossas famílias que nos incentivaram sempre, desde o início da nossa caminhada nesta graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por guiar por todos esses anos iluminando nossos passos.

Agradeço aos nossos familiares pela compreensão e pelo apoio e estímulo em todos os momentos desta caminhada.

Aos nossos colegas de turma, pelo companheirismo, pela atenção e pela troca de informações que muito contribuíram, a fim de que alcançássemos juntos, os objetivos traçados.

Agradeço também a nossa professora Luciene Wiczick pela compreensão e pela ajuda fundamental para a finalização do trabalho de conclusão de curso, principalmente nesse momento de fechamento do respectivo estudo.

À todos os nossos professores, futuros colegas e acima de tudo por terem se tornado grandes amigos, fizeram com que nós continuássemos e chegássemos até onde chegamos.

E também a empresa AM5 Construções LTDA pela disponibilidade e presteza para a realização deste trabalho.

“Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar.”

Anatole France

BRANCO, Caio Péricles; PIERETTI, Renato Aparecido. **Avaliar a resistência do concreto curado à -5°C e 0°C**. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Concreto - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

RESUMO

A ação das intempéries está inevitavelmente ligada à construção civil. Todas as obras, concluídas ou em execução sofrem com calor, frio, chuva, vento. Temperaturas baixas são comuns e inevitáveis em várias cidades do Brasil e também em outros países de clima temperado. Neste trabalho de conclusão de curso simulou-se uma situação de frio entre -5°C e 0°C e foi exposto à essa condição um material amplamente usado em construções, o concreto. Avaliando –se resultados de um experimento realizado, foi comprovado que a ação do frio influi diretamente na resistência do concreto, confirmando o que verificou-se na bibliografia, onde encontram-se citações alertando sobre não aplicar o concreto quando encontram-se temperaturas abaixo de 0°C.

Palavras-chave: Concreto, Baixas Temperaturas, Resistência à compressão.

BRANCO, Caio Péricles; PIERETTI, Renato Aparecido. **Rate the strength of concrete cured at -5°C and 0°C** . 40p. . Work of Conclusion of Course in Technology in Concrete Federal Technology University. Curitiba, 2012.

ABSTRACT

The action of the weather is inevitably linked to construction. All works, completed or in progress suffer from heat, cold, rain and wind. Low temperatures are common and unavoidable in several cities in Brazil and the world. In this conclusive work, a situation of cold between -5 °C and 0 °C was simulated and was exposed to this condition a material widely used in construction: concrete. It was proved that the action of cold directly influences the strength of concrete, confirming what was found in the literature, where quotes are warning about not to apply the concrete when temperatures are below 0 °C.

Keywords: Concrete, low temperatures, compression resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico relação água/cimento x resistência	18
Figura 2 - Ensaio de Abatimento (<i>slump test</i>)	23
Figura 3 - Betoneira utilizada para realizar a mistura	27
Figura 4 - Freezer 500 litros para realizar a cura	27
Figura 5 – Termômetro digital	28
Figura 6 - Cimento Portland utilizado na mistura.....	28
Figura 7 - Equipamentos do "Slump Test"	30
Figura 8 - Resultado do "Slump Test" - 90 mm	30
Figura 9 - Moldes dos corpos de prova 10 x 20 cm.....	31
Figura 10 - Corpos de prova moldados, antes da cura	32
Figura 11 - Cura dos corpos de prova no freezer.....	33
Figura 12 - Coleta dos corpos de prova na obra	34
Figura 13 - Corpos de prova acondicionados no veículo do CDTEC	34
Figura 14 - Gráfico: Resistência das Amostras	35
Figura 15 - Gráfico: Perda de Resistência em Relação à Amostra de Referência	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Traço utilizado para a moldagem dos corpos de prova	26
Tabela 2 - Tempos de cura no Freezer.....	32
Tabela 3 - Resistências das Amostras.....	33
Tabela 4 - Perda de resistência em relação à amostra de referência	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	Graus Celsius
A/C	Água/cimento
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de Prova
NBR	Norma Brasileira Regulamentar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	14
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 CONCRETO	16
2.1.1 <i>Histórico do concreto</i>	16
2.1.2 <i>Componentes do Concreto</i>	16
2.1.2.1 Cimento	16
2.1.2.2 Agregados	17
2.1.2.3 Água	17
2.1.3 <i>Propriedades do Concreto Fresco</i>	18
2.1.3.1 Consistência e trabalhabilidade	19
2.1.3.2 Exsudação	19
2.1.4 <i>Propriedades do concreto no estado endurecido</i>	20
2.1.4.1 Massa específica	20
2.1.4.2 Resistência à compressão	20
2.1.5 <i>Produção do concreto</i>	21
2.1.5.1 Mistura	21
2.1.5.2 Transporte	21
2.1.5.3 Lançamento	21
2.1.5.4 Adensamento	21
2.1.5.5 Cura do Concreto	22
2.1.6 <i>Ensaio</i>	22
2.1.6.1 O ensaio de abatimento (<i>slump test</i>)	22
2.1.6.2 Ensaio de Compressão	23
2.2 CONCRETO À BAIXAS TEMPERATURAS	24
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	26

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	26
3.1.1 <i>Definição do Traço</i>	26
3.1.2 <i>Produção do concreto</i>	26
3.1.2.1 <i>Aparelhagem</i>	26
3.1.2.1 <i>Material</i>	28
3.1.2.2 <i>Procedimento de produção do concreto</i>	29
3.1.2.3 <i>Ensaio da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test)</i>	29
3.1.2.3 <i>Moldagem dos Corpos de Prova</i>	31
3.1.2.4 <i>Cura das amostras</i>	32
3.1.2.4 <i>Rompimento dos Corpos de Prova</i>	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
5.1 <i>CONCLUSÕES</i>	37
5.2 <i>SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</i>	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil está diariamente sofrendo ação das intempéries, como chuva, sol, calor ou frio excessivo. Diante desta realidade observa-se a necessidade de preparar as obras, de acordo com as possíveis incidências climáticas da região.

Uma das variações climáticas comumente encontradas em algumas cidades do sul do Brasil, como Lages (SC), é a queda brusca de temperatura após o por do sol. Muitas cidades chegam a registrar temperaturas abaixo de 0°C durante a madrugada, ocasionando geadas ou até neve.

Sabendo desta situação climática inevitável, é possível afirmar que todo o meio sofre a ação destas baixas temperaturas, inclusive as obras de construção civil. Sendo assim, considera-se para o presente trabalho, o concreto, um material amplamente utilizado na construção civil, principalmente em estruturas onde sua qualidade e resistência são imprescindíveis.

Tem-se na bibliografia de autores como Neville e Metha, que não se deve aplicar o concreto quando temos temperaturas próximas de 0°C, mas em muitos casos isso é inevitável.

Sendo assim, o trabalho apresenta um comparativo da resistência do concreto curado à temperatura ambiente com outros que sofreram influência da temperatura negativa.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo a Norma Brasileira NBR 14931 (ABNT, 2004), concretagens que tenham previsão de queda de temperatura abaixo de 0°C devem ser suspensas, salvo quando houver liberação do técnico responsável. A mesma norma ainda indica que a temperatura da massa do concreto no momento do lançamento não deve ser inferior a 5°C.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento do concreto submetido à temperatura negativa, entre -5°C e 0°C, durante o período de 28 dias de cura.

1.2.2 Objetivos Específicos

Avaliar a resistência à compressão do concreto em diferentes amostras, cada uma com um tempo determinado de exposição à temperatura de no mínimo -5°C e no máximo 0° C, sendo esses tempos de 3 horas, 12 horas, 24 horas, 3 dias, 7 dias, 14 dias e 28 dias, demonstrando se essa diferença de tempo também é fator influente na resistência do concreto.

1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004), não deve-se utilizar concreto em condições de temperatura inferior a 0° C. Entretanto essa condição climática é inevitavelmente encontrada em diversos países da Europa, Ásia, Américas; até mesmo no Brasil, na estação do inverno, em cidades do sul do país.

Temos na NBR 6118 (ABNT, 2003), restrições de lançamento do concreto em temperaturas inferiores a 10 °C.

Sendo assim, a pesquisa pretende avaliar se o tempo de exposição ao clima frio interfere gradualmente na resistência aos 28 dias, por exemplo: se eu houver uma concretagem que passe da meia noite e a temperatura baixe de 0°C, porém,

logo pela manhã a temperatura suba gradualmente, de acordo com as bibliografias consultadas, isso certamente irá interferir na cura do concreto, mas pouco se fala na influência deste fenômeno na resistência. Se a temperatura a que o concreto está sujeito ficar abaixo de 0°C por mais de 24 horas, o concreto irá atingir a resistência especificada?

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será dividido em 05 capítulos, sendo eles:

Capítulo 1 – Apresenta a Introdução, Justificativa e Objetivos do trabalho visando o resumo sucinto do conteúdo;

Capítulo 2 – Neste capítulo será focalizado o estudo bibliográfico abordando o concreto, seu histórico, componentes, propriedades, ensaios e seu comportamento quando sujeito à baixas temperaturas;

Capítulo 3 – O capítulo 3 apresenta o programa experimental, apresentando o método e materiais utilizados;

Capítulo 4 – Apresenta os resultados obtidos;

Capítulo 5 – São as Considerações Finais, Conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

O concreto é um material da construção civil composto por uma mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, pode-se ainda, se necessário, usar aditivos e outras adições, (NEVILLE, 1997).

2.1.1 Histórico do concreto

O surgimento do concreto foi condicionado à descoberta de um agente aglomerante cimentício. Dessa forma, pode-se considerar como o início do concreto o século II AC, quando surgiu o primeiro aglomerante conhecido. Era um tipo especial de areia vulcânica chamada 'pozolana', encontrada apenas na região sul da Itália, na baía de Nápoles, próximo a Pozzuoli, de onde o nome se originou. Foi bastante usada pelos romanos em sua argamassa, dando origem a diversas construções, das quais a mais antiga de que se tem notícia é o Pórtico Amélia, construída em 193 AC. A pozolana é na verdade uma 'areia' especial, que reage quimicamente com cal e água, para endurecer formando uma pedra artificial, resistente mesmo quando submersa. Esse material era usado com pedras de diferentes tamanhos, mantendo as unidas e formando um tipo rudimentar de concreto (METHA e MONTEIRO, 1994)

2.1.2 Componentes do Concreto

Segundo Metha e Monteiro (1994), concreto é um material composto que consiste, essencialmente, de um aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água.

2.1.2.1 Cimento

O cimento Portland foi criado por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. Nessa época, era comum na Inglaterra construir com pedra de

Portland, uma ilha situada no sul desse país. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhasse na cor e na dureza a essa pedra de Portland, ele registrou esse nome em sua patente. É por isso que o cimento é chamado cimento Portland.

A American Society for Testing and Materials C150 define o cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição. O clínquer possui um diâmetro médio entre 5 a 25 mm.

2.1.2.2 Agregados

Petrucci (1981) define “agregado” como “material granular sem forma ou volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia”.

A NBR 7211 (ABNT, 2009) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas.

Dessa forma, define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm.

Define ainda agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

2.1.2.3 Água

Segundo Metha e Monteiro (1994) a classificação da água presente na pasta de cimento hidratada é baseada no grau de dificuldade ou de facilidade com que pode ser removida. São elas, na ordem crescente de dificuldade de remoção:

- Água capilar ou água livre (presente nos vazios maiores);

- Água adsorvida (que se encontra próxima à superfície do agregado, sob influência das forças de atração dos sólidos da pasta de cimento hidratada);
- Água Inter lamelar (associada com a estrutura do C-S-H);
- Água quimicamente combinada (aquela que faz parte da estrutura de vários produtos hidratados do cimento).

A razão entre a quantidade de água acrescida e a quantidade de cimento utilizada na produção do concreto é muito importante para determinar a sua resistência final.

Em 1919 Abrams publicou um trabalho aonde demonstrava que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta endurecida, as quais eram função do fator água/cimento da mistura, conforme mostra a Figura 1.

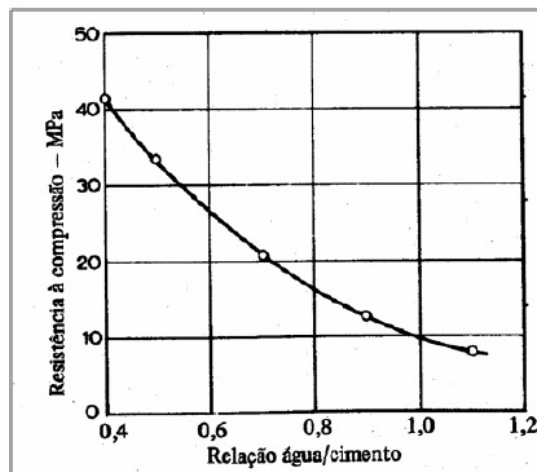


Figura 1 - Gráfico relação água/cimento x resistência

A relação água/cimento, de acordo com Neville (1997), estabelece ainda a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio de hidratação. Desta forma, nota-se que a relação água/cimento influencia, juntamente com o grau de adensamento, o volume de vazios do concreto.

2.1.3 Propriedades do Concreto Fresco

Alves (1987) define as principais propriedades do concreto fresco: a segregação, a homogeneidade (mobilidade) e a trabalhabilidade. Contudo, as duas primeiras propriedades estão diretamente ligadas à terceira podendo-se considerar que segregação e homogeneidade fazem parte da propriedade trabalhabilidade. A

segregação se encaixa na propriedade estabilidade que por sua vez é componente da propriedade mais geral que é a trabalhabilidade.

Segundo Aïtcin (2000), destaca duas razões importantes para se controlar as propriedades do concreto no estado fresco para que ele apresente bom desempenho. A primeira razão é que ele deve ser facilmente lançado, e a segunda razão é que, se as propriedades do concreto no estado são rigorosamente controladas, muito provavelmente suas propriedades no estado endurecido estarão, também, controladas.

2.1.3.1 Consistência e trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a característica fundamental para que o concreto seja bem adensado, ou seja, é a adequação da consistência ao processo utilizado para o lançamento e adensamento. (GIAMUSSO, 1992)

Alves (1993) destaca também como trabalhabilidade do concreto, a propriedade de ser misturado, transportado, lançado e vibrado, sem mudança de homogeneidade.

Andriolo (1984) relata que a trabalhabilidade do concreto é a facilidade de mistura, manuseio, transporte, colocação e compactação com a menor perda de homogeneidade.

De acordo com Kaefer (2002), segregação do concreto no estado fresco é a perda de homogeneidade a partir do momento em que os seus componentes se redistribuem na mistura de modo heterogêneo acarretando em problemas como: perda de resistência e retração do concreto.

A consistência é usada como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco e pode ser medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone. (METHA e MONTEIRO, 1994)

2.1.3.2 Exsudação

Exsudação é dita quando o fenômeno demonstrado por meio do surgimento da água na superfície, após o concreto ter sido lançado e adensado. Quando há falta de finos, o concreto não consegue reter a água, essa sobe, acumulando-se na superfície livre do concreto ainda fresco. (GIAMUSSO, 1992),

Segundo Andriolo (1984), a quantidade e a velocidade da exsudação dependem da dosagem do concreto, do teor de água, da temperatura, da finura do cimento, da granulometria do agregado e da ação de certos aditivos.

2.1.4 Propriedades do concreto no estado endurecido

2.1.4.1 Massa específica

A massa específica do concreto utilizada normalmente é a massa da unidade de volume, incluindo os vazios. Os valores dessas massas variam entre 2.000 kg/m³ a 2.800 kg/m³. Pode-se considerar para efeito de cálculo, quando a massa específica real não for conhecida, o valor de 2.400 kg/m³ para o concreto simples e de 2.500 kg/m³ para o concreto armado (NBR 6118/2003).

2.1.4.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão é importante tanto para si mesma como também pela influência que ela exerce sobre outras propriedades do concreto endurecido. Ela dá uma ideia geral da qualidade do concreto, pois está diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratada. Propriedades como módulo de elasticidade, impermeabilidade e resistência às intempéries são diretamente relacionadas com a resistência à compressão (MEHTA e MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

A resistência de um material é dada como a capacidade de resistir à tensão sem se romper. No concreto, a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, definida como tensão máxima que a amostra do concreto pode suportar (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Helene e Andrade (2007) diz que o valor mínimo da resistência à compressão deve ser de 20 MPa para concretos apenas com armadura passiva (armado) e 25 MPa para concretos com armadura ativa (protendido). O valor de 15 MPa pode ser usado apenas em concreto magro e em obras provisórias.

A qualidade potencial do concreto depende da relação água/cimento e do grau de hidratação. É através da evolução da hidratação do cimento que a idade influencia na resistência à compressão (GIAMUSSO, 1992).

2.1.5 Produção do concreto

2.1.5.1 Mistura

A mistura é a operação de fabricação do concreto, tendo como resultado uma massa homogênea obtida a partir do agrupamento interno dos agregados, aglomerantes, adicionantes, aditivos e água. Tal mistura pode ser manual ou mecânica (BAUER, 2000).

2.1.5.2 Transporte

De acordo com a NBR 14931:2004, o sistema de transporte deve, sempre que possível, permitir o lançamento direto do concreto nas fôrmas, evitando o uso de depósitos intermediários; quando estes forem necessários, no manuseio do concreto devem ser tomadas precauções para evitar segregação.

Bauer (2000) explica que o sistema de transporte do concreto, do equipamento de sua fabricação ao local de aplicação, depende do tipo, da localização e do volume da obra. Muitas vezes, a trabalhabilidade com que o concreto tem que ser utilizado depende desse tipo de transporte.

2.1.5.3 Lançamento

Segundo a NBR 14931(ABNT, 2004) em nenhuma hipótese deve ser realizado o lançamento do concreto após o início da pega, o lançamento deve ser executado logo após a mistura.

2.1.5.4 Adensamento

Segundo Metha e Monteiro (1994), o adensamento ou consolidação é definido como o processo de moldagem do concreto fresco nas formas e tem por objetivo eliminar bolsões de espaços vazios e de ar retido. Essa operação pode ser realizada manualmente, por meio de socamento de haste; ou mecanicamente, por meio de vibradores, placas mecânicas, compactadores à percussão.

A Norma NBR 14931:2004, diz que durante o adensamento devem ser tomados os cuidados necessários para que não se formem ninhos ou haja a segregação dos materiais. Deve-se evitar a vibração da armadura para que não se formem vazios ao seu redor, com prejuízos da aderência.

2.1.5.5 Cura do Concreto

De acordo com Neville (1997), a cura é a denominação dada aos procedimentos que se recorre para promover a hidratação do cimento e consiste em controlar a temperatura e a saída e entrada de umidade do concreto.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem a cura do concreto é uma etapa importante da concretagem, pois evita a evaporação prematura da água e fissuras no concreto. Depois de lançado e adensado, o concreto desenvolve sua resistência ao longo do tempo e a água do interior da mistura tende a evaporar.

ABESC aconselha a cura através de aspersão de água sobre a superfície do concreto, através da molhagem das fôrmas, pelo recobrimento com areia, serragem e outros, através de membranas de cura, submersão ou cura a vapor.

Controlando rigorosamente a cura do concreto o aparecimento de poros e fissuras tende a cair e a resistência é aumentada, (GIAMMUSSO, 1992).

A cura do concreto tem por objetivo evitar a perda de umidade e controlar a temperatura por um período suficiente para atingir o nível de resistência desejado (METHA e MONTEIRO, 1994).

2.1.6 Ensaaios

2.1.6.1 O ensaio de abatimento (*slump test*)

De acordo com o manual ABESC a simplicidade do ensaio de abatimento (*slump test*) o consagrou como o principal controle de recebimento do concreto na obra e, para que ele cumpra este importante papel, é preciso executá-lo corretamente, como a seguir:

- Colete a amostra de concreto depois de descarregar 0,5 m³ de concreto do caminhão e em volume aproximado de 30 litros;
- Coloque o cone sobre a placa metálica bem nivelada e apoie seus pés sobre as abas inferiores do cone;
- Preencha o cone em três camadas iguais e aplique 25 golpes uniformemente distribuídos em cada camada;
- Adense a camada junto à base, de forma que a haste de socamento penetre em toda a espessura.
- No adensamento-das camadas restantes, a haste deve penetrar até ser atingida a camada inferior adjacente;
- Após a compactação da última camada, retire o excesso de concreto e alise a superfície com uma régua metálica;
- Retire o cone içando-o com cuidado na direção vertical;
- Coloque a haste sobre o cone invertido e meça a distância entre a parte inferior da haste e o ponto médio do concreto, expressando o resultado em milímetros.

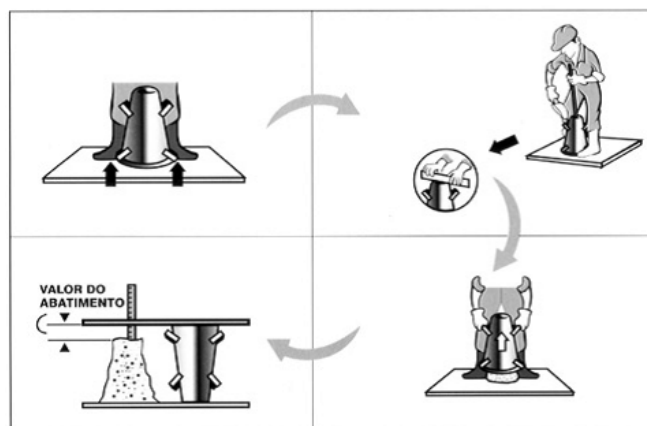


Figura 2 - Ensaio de Abatimento (*slump test*)

2.1.6.2 Ensaio de Compressão

A resistência à compressão simples, denominada **fc**, é a característica mecânica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova para ensaio segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura

de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

O corpo de prova padrão brasileiro é o cilíndrico, com 10cm de diâmetro e 20cm de altura, e a idade de referência para o ensaio é 28 dias.

De acordo com Bauer (2000) a resistência à compressão axial é considerada a propriedade mais importante do concreto. Os códigos nacionais e internacionais procuram associar as demais resistências e propriedades.

2.2 CONCRETO À BAIXAS TEMPERATURAS

Segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004), a temperatura da massa de concreto, no momento do lançamento, não deve ser inferior a 5°C e ainda, salvo disposições em contrário, estabelecidas no projeto ou definidas pelo responsável técnico pela obra, a concretagem deve ser suspensa sempre que estiver prevista queda na temperatura ambiente para abaixo de 0°C nas 48 h seguintes.

Powers (1945) e Powers e Helmut (1953) desenvolveram uma série de experimentos que possibilitaram o entendimento da ação do congelamento sobre concretos, e designaram dois fenômenos como sendo os causadores da deterioração deste material quando submetidos às baixas temperaturas:

- a geração da pressão hidráulica;
- a difusão da água-gel e água capilar.

A durabilidade do concreto pode ser afetada por clima severamente frio, decorrente da ação do gelo-desgelo ou pela ocorrência de grandes diferenças no coeficiente de expansão térmica dos agregados e da argamassa, afirma Andriolo (1984).

Conforme Neville (1997) se o concreto congelar-se e mantiver-se congelado a uma temperatura maior do que -10°C, o desenvolvimento da resistência ocorre lentamente, porém abaixo desta temperatura, a hidratação do cimento e o desenvolvimento da resistência permanecem paralisados.

De acordo com Canovas (1988) a ação do frio aparece sob duas circunstâncias: o frio natural decorrente do inverno ou da altitude e, o frio artificial produzido em câmara frigorífica, ou quando se concretiza sobre uma parede fria. A ação do frio sobre o concreto nestas duas circunstâncias se dá no período de pega

ou do princípio do endurecimento, e consiste em retardar, ou mesmo anular o endurecimento, diminuindo a velocidade de hidratação dos componentes ativos do cimento, ou destruindo as resistências do concreto, caso o frio seja muito intenso ao ponto de gelar a água de amassamento.

Segundo Coutinho (1974) "O melhor intervalo de temperatura para a cura inicial do concreto (até 28 dias) situa-se entre 4°C e 23°C, com um valor ótimo em 13°C para o cimento Portland normal, e em 5°C para o cimento de elevada resistência inicial".

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O experimento consiste na produção de um concreto convencional, no qual são moldados 24 pares de corpos de prova. Os corpos de prova moldados são divididos em 8 grupos, sendo um deles os CPs de referência. Os outros sete grupos são submetidos a uma temperatura que varia entre -5°C e 0°C , sendo que cada grupo deve ficar exposto a essa condição por diferentes períodos de tempo, quais sejam de 3 horas, 12 horas, 24 horas, 3 dias, 7 dias, 14 dias e 28 dias.

Logo ao término dos 28 dias de cura todos os CPs são rompidos, proporcionando assim um comparativo das resistências.

3.1.1 Definição do Traço

A produção do concreto foi realizada no dia 30 de junho de 2012 utilizando as quantidades de materiais calculadas e demonstradas a seguir na tabela 1:

Tabela 1 - Traço utilizado para a moldagem dos corpos de prova

TRAÇO PARA UM SACO DE CIMENTO (50 kg)			
Areia (litros)	Pedra (litros)	Água (litros)	a/c
100	90	30	0,60

O traço escolhido corresponde a um concreto com F_{ck} 30 MPa, e para a adequação as condições obtidas no local de produção foi convertido em volume.

A resistência final não apresenta grande relevância para o experimento, pois a avaliação dos resultados baseia-se em uma única mistura.

3.1.2 Produção do concreto

3.1.2.1 Aparelhagem

- Betoneira 420 litros (Figura 3);



Figura 3 - Betoneira utilizada para realizar a mistura

- Balde com capacidade para 10 litros;
- Pá e colher de pedreiro;
- Freezer 500 lts (Figura 4);



Figura 4 - Freezer 500 litros para realizar a cura

- Termômetro (Figura 5);



Figura 5 – Termômetro digital

3.1.2.1 Material

Os materiais utilizados foram cimento Portland CP-32-Z (Figura 6), areia média, brita dois e água, sendo que suas respectivas quantidades constam na tabela 1.



Figura 6 - Cimento Portland utilizado na mistura

3.1.2.2 Procedimento de produção do concreto

Os materiais utilizados para a produção de concreto foi devidamente separado nas suas quantidades citadas na Tabela 1.

Na betoneira devidamente limpa e arejada foram adicionados os materiais de forma gradativa, conforme descrito a seguir:

- Toda a quantidade de brita;
- Todo o saco de cimento Portland CP-32-Z,
- Metade da areia;
- Metade da água;
- Foi feito o acionamento da betoneira;
- Acrescentado o restante da areia;
- Acrescentado o restante de água;
- E feito o acionamento da betoneira até obter uma homogeneização sem segregação do concreto.

3.1.2.3 Ensaio da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test)

Depois de realizado o concreto na betoneira foi retirado uma amostra de concreto, procedeu-se com o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*) (Figura 07).

- A aparelhagem utilizada foi:
- Molde metálico;
- Haste de compactação de seção circular em aço de 16 mm de diâmetro por 600 mm de comprimento;
- Placa de apoio do molde;
- Complemento tronco-cônico do molde;
- Colher de pedreiro;
- Trena de 5 metros.



Figura 7 - Equipamentos do "Slump Test"

O procedimento do ensaio da consistência foi segundo o manual ABESC.

Com o traço utilizado obteve-se um *slump* de 90 mm, conforme figura 8, o que era suficiente para o adensamento manual dos corpos de prova.



Figura 8 - Resultado do "Slump Test" - 90 mm

Após realização deste ensaio, a amostra foi devolvida à betoneira, que foi acionada mais uma vez para homogeneização.

3.1.2.3 Moldagem dos Corpos de Prova

Foram utilizados corpos de prova 10 x 20 cm e moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003).

Os corpos-de-prova 10x20cm não são os estabelecidos por norma, mas a empresa utiliza esses corpos-de-prova como padrão interno.

A aparelhagem utilizada foi:

- 48 moldes cilíndricos de 10x20 cm divididos em 8 grupos de 3 pares corpos-de-prova devidamente limpos e aplicado desmoldante a base de óleo vegetal na face interna dos corpos-de-prova conforme (Figura 9 e 10);
- Haste de compactação de seção circular em aço de 16 mm de diâmetro por 600 mm de comprimento;
- Colher de pedreiro



Figura 9 - Moldes dos corpos de prova 10 x 20 cm



Figura 10 - Corpos de prova moldados, antes da cura

3.1.2.4 Cura das amostras

Todos os corpos de prova moldados tiveram 28 dias de cura, porém cada grupo de CPs ficou diferente tempo dentro do freezer.

Os CPs de referência tiveram 28 dias de cura ambiente, tendo em vista que todas as outras amostras tivessem a mesma condição de cura após sua retirada do freezer, uma vez que não poderiam ser submersas devido ao retardamento da pega.

Os demais grupos foram colocados simultaneamente dentro do freezer, conforme a figura 11, e foram retirados nos períodos demonstrados na tabela 2:

Tabela 2 - Tempos de cura no Freezer

AMOSTRA	TEMPO DE CURA NO FREEZER
1	0 (Referência)
2	3 horas
3	12 horas
4	24 horas
5	3 dias
6	7 dias
7	14 dias
8	28 dias



Figura 11 - Cura dos corpos de prova no freezer

3.1.2.4 Rompimento dos Corpos de Prova

O rompimento dos CPs foi realizado pelo Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDTEC), do qual obtivemos os resultados expressos na tabela 3:

Tabela 3 - Resistências das Amostras

AMOSTRA	RESISTÊNCIAS (MPa)						RESISTÊNCIA MÉDIA
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	
1	30,6	30,0	31,6	31,6	31,3	30,7	31,0
2	29,5	29,0	30,8	30,6	29,4	30,5	30,0
3	17,3	16,3	18,8	16,6	17,0	17,9	17,3
4	14,3	13,8	16,0	15,5	15,2	14,8	14,9
5	13,2	9,7	15,0	13,0	12,0	12,9	12,6
6	15,3	13,2	15,5	14,5	14,1	14,0	14,4
7	9,2	8,7	12,7	12,5	10,5	11,3	10,8
8	6,6	6,4	12,7	10,2	9,3	10,5	9,3



Figura 12 - Coleta dos corpos de prova na obra



Figura 13 - Corpos de prova acondicionados no veículo do CDTEC

4 RESULTADOS

Observando os resultados mostrados na tabela 3, foi verificado que houve diferença de resistência entre as amostras curadas no freezer, desde 3 horas até 28 dias, e a amostra de referência assim como pode ser observado na tabela 4:

Tabela 4 - Perda de resistência em relação à amostra de referência

AMOSTRA	PERDA DE RESISTÊNCIA EM RELAÇÃO À AMOSTRA DE REFERÊNCIA
2	3%
3	44%
4	52%
5	59%
6	53%
7	65%
8	70%

Devido ao congelamento da água de hidratação dos grãos de cimento, as amostras que permaneceram mais tempo no freezer apresentaram menores resistências, gradativamente e proporcionalmente, quanto mais tempo dentro do freezer, menor a resistência. Pode-se observar as diferenças de resistências também, através dos gráficos das figuras 14 e 15.

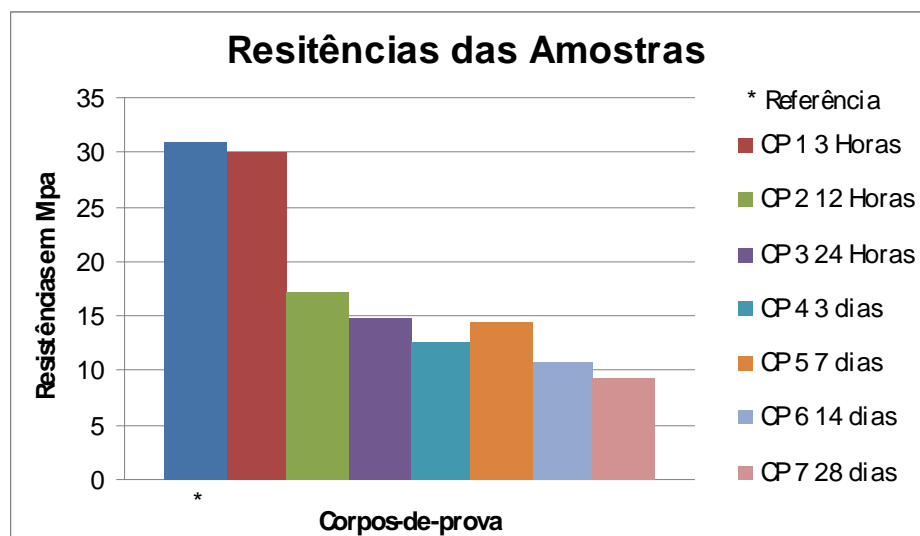


Figura 14 - Gráfico: Resistência das Amostras

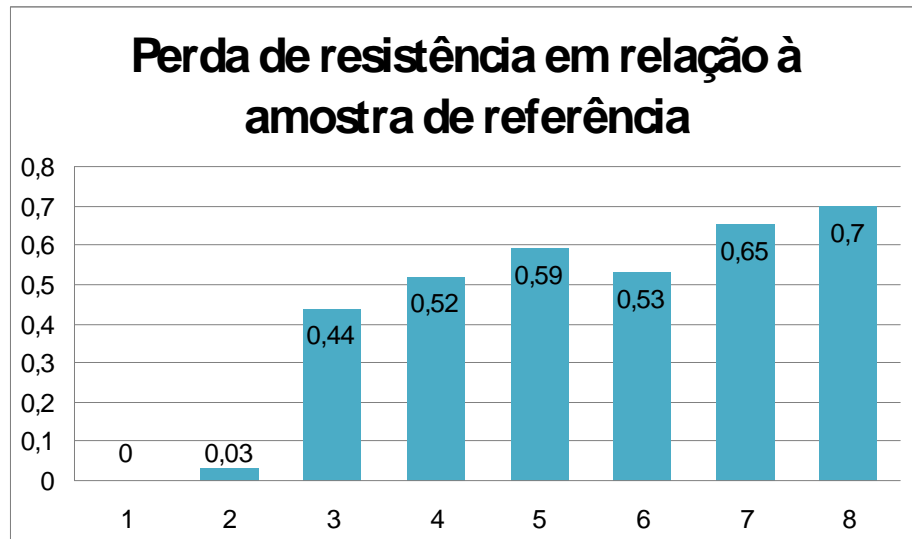


Figura 15 - Gráfico: Perda de Resistência em Relação à Amostra de Referência

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

O concreto é um material que está sujeito à ação das intempéries. Sendo assim apresentamos neste trabalho uma situação hipotética de frio, abaixo dos 0°C, onde o concreto esteve sujeito, em diferentes tempos.

O concreto sujeito à baixas temperaturas, como visto na revisão bibliográfica, não deve ser aplicado quando temos situações similares às simuladas neste trabalho. Sendo assim era esperado comprovar a influência negativa de temperaturas baixas ao concreto.

Tendo em vista os resultados obtidos, à conclusão que realmente o concreto não pode sofrer ação de congelamento, implicando em perda significativa de sua resistência.

Foi observado ainda que nas primeiras 3 horas de cura embora tenha havido perda de resistência, esta não foi significativa, atendendo à resistência requerida (30 MPa). Entretanto com 12 horas de cura a perda de resistência chegou a quase 50%, onde verifica-se a grande influência do congelamento, no concreto.

Verificou-se que as indicações sobre a utilização do concreto em baixas temperaturas observadas na bibliografia consultada como referência estão corretas. Sendo assim, definitivamente não se deve aplicar o concreto quando a temperatura for inferior à 0°C, pois sua resistência será diretamente prejudicada.

5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Observando os resultados obtidos e considerando as conclusões, considera-se válido um estudo do ganho de resistência de concretos curados à mesma temperatura do trabalho realizado (-5°C à 0°C), porém submetidos à cura por imersão, após a retirada das amostras da temperatura baixa.

Outro estudo válido seria a avaliação da resistência de concretos submetidos à temperatura de -5°C à 0°C apenas nas 12 primeiras horas de cura, onde observar-se-ia a evolução da resistência gradualmente com o passar dos dias, observando e montando um gráfico de ganho de resistência.

Considerando outras propriedades do concreto, pode ser feito também, um estudo do módulo de elasticidade do concreto sob influência da temperatura negativa no seu período de cura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AÏTCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**, tradução de Geraldo G. Serra – São Paulo – Editora Pini, 2000.

ALVES, J.D. **Materiais de construção**. 2º ed. Goiânia: Editora Universidade Federal de Goiás, 1987.

ALVES, J.D., **Manual de Tecnologia do Concreto**. 3º ed. , Goiânia, Editora UFG, 1993.

ANDRIOLO, F.R. **Construção de concreto, manual de práticas para controle e execução**. São Paulo: PINI, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: **Informação e documentação: Referências e Elaboração**. Disponível em <<http://www.habitus.ifcs.ufrj.br/pdf/abntnbr6023.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Procedimento e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASTM- Standard Specification for Portland Cement – C150

BAUER, L. A Falcão. **Materiais de Construção**. Vol. 2. 5º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CANOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988.

COUTINHO, A. de S. **Fabricação e Propriedades do Concreto**. Lisboa: LNEC, 1974

GIAMMUSSO, S. Manual do Concreto. São Paulo. PINI, 1992.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Ed. G. C. Isaia - São Paulo: IBRACON, 2007

KAEFER, L.F. **Considerações sobre a microestrutura do concreto**. Notas de aula Escola politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. PINI, 1994.

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

PETRUCCI, E.G., **Concreto de Cimento Portland**: São Paulo: ABCP, 1981.

POWERS, T. C. **A working Hypothesis for further studies of frost resistance of concrete**. *Journal of the American Concrete Institute*. Michigan, 1945.

POWERS, T. C.; HELMUTH, R. A. **Theory of volume changes in hardened Portland cement past during freezing**. *Proceedings Highway Research Board*, 1953.