



ALINE DOS SANTOS BEZERRA

RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO

2019

ALINE DOS SANTOS BEZERRA

RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Pitágoras, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Civil.

Orientador: Bruna Souza

ALINE DOS SANTOS BEZERRA

RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Pitágoras, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Cidade, dia de mês de ano (Fonte Arial 12)

Substitua as palavras em vermelho conforme o local e data de aprovação.

Dedico este trabalho de Conclusão de Curso à Deus em primeiro lugar, a minha mãe, Adelúcia dos Santos Bezerra e aos meus familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Deus, por ter me concedido saúde, força e disposição para fazer a faculdade e o trabalho de final de curso. Sem ele, nada disso seria possível. Também sou grata ao senhor por ter dado saúde aos meus familiares e tranquilizado o meu espírito nos momentos mais difíceis da minha trajetória acadêmica até então.

Gostaria de agradecer minha família, especialmente minha mãe Adelúcia dos Santos, que fez de tudo para tornar os momentos difíceis mais brandos. Agradeço a todos os professores, especialmente a orientadora Bruna Souza. Obrigada, mestra, por exigir de mim muito mais do que eu imaginava ser capaz de fazer. Manifesto aqui minha gratidão eterna por compartilhar sua sabedoria, o seu tempo e sua experiência.

A todos os amigos, especialmente Leomar, meu muito obrigada. Vocês foram fundamentais para minha formação, por isso merecem o meu eterno agradecimento. Meus agradecimentos aos irmãos, sobrinhos, tios e avós, que de alguma forma também contribuíram para que o sonho da faculdade se tornasse realidade.

*“A vida sem luta é um mar morto no centro do
organismo universal. ”*

Machado de Assis

BEZERRA, Aline dos Santos. **Resistência Mecânica do Concreto**. 2019. 35. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras, São Luís, 2019.

RESUMO

O concreto pode ser considerado um dos materiais mais importantes da construção civil, além de ser um dos produtos mais fabricados no mundo em termos de volume. Tal significância atingida por este composto se deve, basicamente constituído por agregados miúdos e graúdos, cimento e água, além de possuir baixo custo, facilidade de uso e disponibilidade em todo o mundo. Sabe-se que a resistência mecânica é considerada como o principal parâmetro, para se avaliar a qualidade do concreto na estrutura. A resistência à compressão, do concreto, depende do fator água/cimento, que, por sua vez, depende da distribuição granulométrica do agregado, sabe-se que, resulta no ensaio que atesta a trabalhabilidade e o ponto ideal do concreto é um dos principais pontos característicos de fundamental importância deste estado e que afeta diretamente a viabilidade da construção, bem como a porosidade no concreto torna-se um real limitador da resistência, uma vez que a resistência do concreto é influenciada principalmente pelo volume de vazios contido nele e a cura é responsável pela manutenção da água necessária às reações químicas que ocorre no período de endurecimento do concreto, principalmente nas idades iniciais.

Palavras-chave: Resistência; Concreto; Slump-Test; Cura; Rompimento.

BEZERRA, Aline dos Santos. **Mechanical Strength of Concrete**. 2019. 35. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras, São Luís, 2019.

ABSTRACT

The concrete can be considered one of the most important materials of the building site, besides being one of the products more manufactured in the world in volume terms. Such significance reached by this composition is due, basically constituted by small and great attachés, I cement and water, besides possessing low cost, use easiness and readiness all over the world. It is known that the mechanical resistance is considered as the main parameter, to evaluate the quality of the concrete in the structure. The resistance to the compression, of the concrete, depends on the factor water / I cement, that, for his/her time, it depends on the attaché's distribution granulométrica, it is known that, it results in the rehearsal that attests the workableness and the ideal point of the concrete is one of the main characteristic points of fundamental importance of this state and that it affects the viability of the construction directly, as well as the porosity in the concrete becomes a Real limitador of the resistance, once the resistance of the concrete is influenced mainly by the volume of emptiness contained in him and the cure is responsible for the maintenance of the necessary water to the chemical reactions that it happens in the period of hardening of the concrete, mainly in the initial ages.

Key-words: Resistance; Concrete; Slump-Test; it Cures; Breaking.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Equipamentos do ensaio de abatimento.....	25
Figura 02 - Processos para ensaio de abatimento.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Exigências para concreto estrutural leve.....	21
Tabela 02 - Resultados obtidos por SOBRAL.....	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Relação entre a resistência à compressão e a relação a/c do concreto.....23

Gráfico 02 - Influência da relação a/c e idade de cura na resistência do concreto

Gráfico 03 - Influência da relação a/c, ar incorporado e consumo de cimento.....24

Gráfico 04 - Influência das condições de cura sobre a resistência do concreto.....25

Gráfico 05 - Influência das temperaturas de moldagem e cura na resistência do concreto.....29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. ELEMENTOS CONSTITUINTES NA DOSAGEM DO CONCRETO.....	14
2.1 AGREGADO.....	14
2.2 CIMENTO.....	15
2.3 ÁGUA.....	16
2.4 ADITIVOS.....	16
2.5 CONSISTÊNCIA E TRABALHABILIDADE.....	17
2.6 DURABILIDADE	17
2.7 DOSAGEM.....	17
3. REFERIR A RESISTÊNCIA A DIFERENTES NÍVEIS DE SLUMP TEST.....	19
3.1 - CONCEITO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	19
3.2 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	19
3.3 - FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	21
3.3.1 - Relação Água/Cimento (A/C).....	21
3.3.2 - Porosidade.....	23
3.4 - SLUMP TEST.....	26
4. RESISTÊNCIA X DIFERENTES IDADES.....	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

O concreto caracteriza-se no cenário atual com enorme potencial devido à sua característica de gerar excelente durabilidade e propriedades mecânicas com um preço relativamente baixo. Apresentando inúmeras vantagens quando comparados com outros materiais estruturais, como por exemplo, a excelente resistência a água e a facilidade de execução com formas e tamanhos variados.

Devido a sua importância e relevância, a busca pela qualidade das estruturas e a necessidade da redução de custos, faz com que o concreto convencional seja cada vez mais substituído pelo concreto dosado em central (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O ensaio e o controle da resistência do concreto das estruturas de edificação é parcela relevante da segurança no projeto estrutural. É extremamente necessária a certificação ao longo da execução da estrutura, bem como a sua trabalhabilidade, tempo e tipo de cura?

A presente pesquisa bibliográfica objetivou em realizar uma revisão de literatura sobre a resistência mecânica do concreto, através do controle tecnológico. O propósito do trabalho será alcançado por meio dos seguintes objetivos específicos: apresentar os agregados utilizados na dosagem do concreto, através de ensaios tecnológicos; referir a resistência a diferentes níveis de Slump Test e referir a resistência com diferentes idades.

Utilizando como metodologia a revisão bibliográfica do processo de resistência mecânica do concreto. Através de livros, sites relacionados e artigos científicos, material extraídos de mídias digitais que tem produção realizado no período de 37 anos (1978 a 2015) para artigos científicos e livros mais reconhecidos em meio acadêmico, acessado em biblioteca virtuais e adquiridos em busca via internet sobre o assunto.

2. ELEMENTOS CONSTITUINTES NA DOSAGEM DO CONCRETO

O concreto pode ser considerado um dos materiais mais importantes da construção civil, além de ser um dos produtos mais fabricados no mundo em termos de volume. Tal significância atingida por este composto se deve, basicamente, a excelente resistência à água, baixo custo, facilidade de uso e disponibilidade em todo o mundo (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio 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.

O concreto é o material mais utilizado na construção civil devido a sua excelência de resistência à água, praticidade no manuseio e fácil obtenção no mercado da construção civil. A resistência característica do concreto à compressão (F_{ck}) é uma das principais propriedades do concreto. Sendo que a mesma está associada ao tempo de cura do concreto.

Os concretos utilizados nas estruturas, são constituídos basicamente de quatro materiais: cimento portland, água, agregado fino e agregado graúdo. O cimento e a água formam a pasta, que enche a maior parte dos espaços vazios entre os agregados. Algum tempo depois de misturado o concreto, a pasta endurece, formando um material sólido (SANTOS, 2014).

A maior parte do concreto utilizado é produzida em centrais dosadoras e a tendência é que esse processo se torne cada vez mais predominante, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, visto suas vantagens frente à produção em obra (MASCOLO, 2012).

2.1 AGREGADO

Segundo 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.

Os agregados são considerados materiais inertes, enquanto a pasta (cimento + água) constitui o material ligante que junta as partículas dos agregados em uma massa sólida (SANTOS, 2014).

Mehta e Monteiro (2014) definem e citam três características pelos quais o concreto é largamente utilizado na engenharia, sendo que duas dessas características já haviam sido mencionados por Pedroso (2009).

A primeira característica é a resistência do concreto perante a ação da água, esta capacidade do concreto faz dele um material ideal para construção de estruturas para controle, armazenamento e transporte da água.

A segunda característica mencionada é a facilidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos, isso porque o concreto fresco é de consistência plástica, que favorece o fluxo do material para o interior das formas.

Segundo Petrucci (1998), Bauer (2008) e Fusco (2008) concordam que, a principal forma de classificação para uso no concreto é quanto a sua granulometria, evidenciando os agregados e subdividindo em miúdo e gráudo. Podendo ser classificados conforme sua origem, em artificiais e naturais.

2.2 CIMENTO

Segundo Aïtcin (2000), a composição do cimento é oriunda da queima de uma mistura bem proporcionada de matérias-primas contendo os quatro óxidos principais –CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, que produz o clínquer, um dos principais ingredientes básicos exigidos para fabricar o cimento Portland.

Os cimentos, tanto os orgânicos (como os cimentos de borracha), quanto os inorgânicos (a exemplo do cimento Portland), são materiais aglomerantes que, segundo disposto por Patton (1978), devem cobrir a superfície de todas as partículas do agregado do concreto, a fim de ligar o conjunto formando uma massa monolítica.

Existem diversos tipos de cimento, sendo que o mais usado na construção civil atualmente é o cimento Portland.

De acordo com Gabrich (2008), os componentes essenciais do cimento Portland são cal (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃). Magnésia (MgO) e gesso (SO₃) também estão presentes, em menores quantidades. Este último é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto.

Entre os vários tipos de cimento Portland produzidos, destacam-se: CP I, CP I-S, CP II-E, CP II-Z, CP II-F, CP III, CP IV e CP V-ARI.

O clínquer é uma matéria prima granular formado através da calcinação de uma mistura de silicatos de cálcio hidráulicos e sulfato de cálcio natural. Sendo que, na moagem do clínquer pode ser adicionado até 5% de calcário para fabricação do cimento Portland (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

2.3 ÁGUA

A água é necessária no concreto para possibilitar as reações químicas do cimento, chamadas reações de hidratação, que irão garantir as propriedades de resistência e durabilidade do concreto. Tem também a função de lubrificar as demais partículas para proporcionar o manuseio do concreto. Normalmente a água potável é a indicada para a confecção dos concretos (SANTOS, 2014).

2.4 ADITIVOS

Segundo Neville (2016), muitos países um concreto sem aditivos é considerado uma exceção, sendo usado de forma crescente. Além de tornarem possível o uso de uma grande variedade de componentes na mistura.

As adições mais comuns dos cimentos são: gesso, presente em todos os tipos de cimento Portland, pozolana, escória de auto forno e filer. As adições têm a finalidade de melhorar algumas propriedades, tais como: aumentar a trabalhabilidade e a resistência e retardar a velocidade das reações químicas que ocorrem no concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2010).

2.5 CONSISTÊNCIA E TRABALHABILIDADE

Segundo Botelho e Marchetti (2007), aumentando o volume de água na mistura do concreto se ganha trabalhabilidade, o que facilita o manuseio e adensamento no momento de concretagem, porém a resistência e durabilidade são afetadas. Por este motivo a relação água/cimento deve ser levada em conta no momento da mistura.

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)

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

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

Segundo 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, 2008).

2.6 DURABILIDADE

Durante o período do processo de hidratação do cimento há a formação de poros no mesmo. O tamanho e a continuidade dos poros na microestrutura do concreto determinam sua permeabilidade e a sua resistência, podendo essas duas características serem relacionadas, uma vez que ambas têm estreita relação com a porosidade (Metha e Monteiro, 2008).

Segundo Neville (2016), a relação água/cimento, é determinante para a porosidade da pasta de cimento endurecida independente do estágio de hidratação. No decorrer do processo de hidratação do cimento, parte dos vazios é preenchido por sólidos. Desta forma, pode-se afirmar que tanto a relação água/cimento, quanto o grau de hidratação exercem influência no volume de vazios do concreto (Metha e Monteiro, 2008).

2.7 DOSAGEM

Segundo Petrucci (1981), dosagem pode ser definida como uma combinação adequada e econômica dos constituintes do concreto, que possa ser usada para a primeira mistura experimental com vistas a produzir um concreto que possa estar

próximo daquele que consiga um bom equilíbrio entre as várias propriedades desejadas ao menor custo possível.

O traço pode ser quantificado em volume ou em peso, muitas vezes, adota-se uma indicação mista: o cimento em peso e os agregados em volume. Seja qual for a forma, toma-se sempre o cimento como unidade, e relacionam-se as demais quantidades à quantidade de cimento como referência (PETRUCCI, 1981).

3. RESISTÊNCIA X SLUMP TEST

Segundo Sobral (1987), a resistência à tração do concreto é geralmente determinada, pelo ensaio de compressão diametral, também chamado Ensaio Brasileiro, pois foi desenvolvido por Lobo Carneiro e sua equipe.

De acordo com o manual ABESC (2001), 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.

3.1 - CONCEITO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Segundo Battagin (2009), a resistência mecânica é considerada como o principal parâmetro, ou, o mais objetivo, isoladamente, para se avaliar a qualidade do concreto na estrutura. A resistência à compressão simples, se dá por rompimentos de corpos-de-prova moldados do concreto ao sair da betoneira, os quais, obviamente representam uma resistência potencial a qual o concreto pode atingir na estrutura.

O concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (BATTAGIN, 2009).

A determinação da resistência à compressão pode ser uma medida de qualidade do concreto, visto que está relacionada com a estrutura interna do material. Assim, o seu valor é possível obter uma estimativa do desempenho do concreto tanto em termos mecânicos como, indiretamente, a sua durabilidade. O valor do módulo de deformação e da resistência à compressão (NEVILLE, 1997).

3.2 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Segundo Neville (1997), obtém-se uma ampla e principal relação entre o cimento do concreto e a resistência à compressão. Utilizando como característica fundamental tem massa específica maior do que o agregado leve, para um dado agregado, o valor obtido da resistência à compressão do concreto com o aumento de sua massa específica.

A resistência à tração direta do concreto é difícil de ser determinada, devido a diversas variáveis, sendo que o valor obtido em laboratório é impreciso em relação ao implantado na obra, já que o ensaio é de execução complicada e qualquer descuido pode alterar significativamente os resultados (BATTAGIN, 2009).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o valor obtido é uma medida relativa conveniente da resistência à tração do concreto. Por isso, diversas normalizações preconizam o emprego deste ensaio. No Brasil, este ensaio é regido pela norma NBR 7222 (ABNT, 2011).

A resistência à compressão do concreto é determinada conforme a NBR 5739/2007, que prescreve um método de ensaio para corpos de prova cilíndricos de concreto. Basicamente, o ensaio consiste em posicionar o corpo de prova em uma prensa que aplicará um carregamento a uma velocidade constante de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s até que haja uma queda de força indicando sua ruptura.

A resistência à compressão é calculada através da seguinte equação:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Em que, f_c é a resistência à compressão (MPa), F é a força máxima alcançada (N) e D é o diâmetro do corpo de prova (mm).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o controle da resistência à compressão do concreto, situa-se dentro dessa necessidade de comprovação daquilo que está sendo executado frente ao que foi adotado no projeto da estrutura.

A correspondência entre a resistência potencial do concreto à compressão, obtida através das operações de ensaio e controle e a resistência real ou efetiva do concreto na estrutura, deve ser estruturada através do controle tecnológico dos serviços envolvidos e é independente dos ensaios (NEVILLE, 1997).

Neste sentido, a maioria das normas e especificações apresenta relações entre a massa específica do concreto leve e sua resistência à compressão. Nos Estados Unidos, por exemplo, as exigências da norma para massa específica do concreto estrutural leve e para resistência à compressão e à tração estão mostradas na Tabela 01.

Tabela 01 - Exigências para concreto estrutural leve

Máxima massa específica seca ao ar aos 28 dias (kg/m ³)	Resistência à tração mínima no ensaio de compressão diametral aos 28 dias (MPa)	Resistência à compressão mínima aos 28 dias (MPa)
	Todos os agregados leves	
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2,0	17
	Combinação de areia natural com agregado leve	
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2,1	17

Fonte: Neville, (2016).

3.3 FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O concreto por ser um produto que desempenha função de responsabilidade, precisa ter um controle de qualidade, tendo em vista que há um grande número de variáveis que influem nas suas características (BAUER, 2008).

3.3.1 - Relação Água/Cimento (a/c)

É a relação entre a quantidade de água usada na mistura do concreto com a massa de cimento. A resistência à compressão, do concreto, depende do fator água/cimento, que, por sua vez, depende da distribuição granulométrica do agregado. A distribuição granulométrica deverá ser tal que permita uma mistura de máxima compacidade, compatível com a peça a concretar (BAUER, 2000).

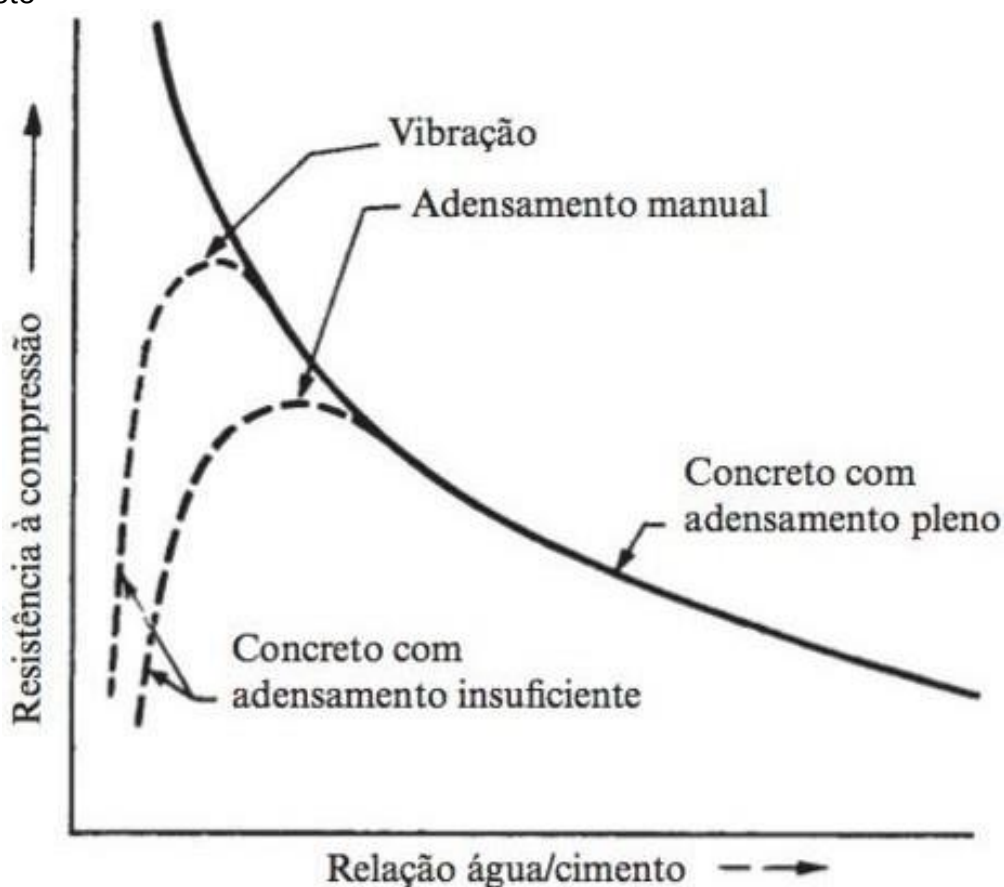
A relação água/cimento, popularmente conhecida como Lei de Abrams, é representada pela equação:

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{a/c}}$$

Onde, a/c é a relação água/cimento da dosagem do concreto, k_1 e k_2 são constantes empíricas e f_c é a resistência à compressão do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Segundo Neville (2016), de modo geral, quando o concreto está plenamente adensado, a sua resistência é considerada inversamente proporcional à relação água/cimento. Contudo, observa-se que a relação prática entre a resistência e a relação a/c é limitada, pois a curva deixa de ser obedecida quando não é mais possível o adensamento pleno em relações a/c muito baixas.

Gráfico 01 - Relação entre a resistência à compressão e a relação a/c do concreto



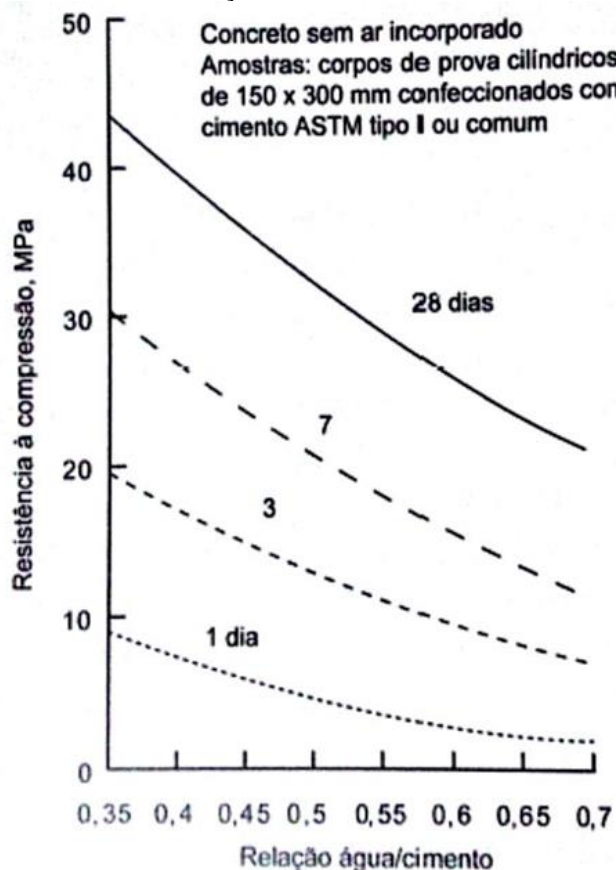
Fonte: Neville, (2016).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a relação entre a relação a/c e a resistência do concreto pode ser facilmente explicada como consequência do enfraquecimento progressivo da matriz causado pelo aumento da porosidade com o aumento da relação a/c .

Em concretos de densidade normal de baixa e média resistência, a porosidade da zona de transição na interface e da matriz é determinante na resistência, o que mantém a relação direta entre a/c e a resistência do concreto. Porém, para concretos

de alta resistência a resistência à compressão pode ser aumentada de forma desproporcionalmente elevada com reduções muito pequenas na relação a/c, conforme pode ser observado nas Gráficos 1 e 2 (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Gráfico 02 - Influência da relação a/c e idade de cura na resistência do concreto



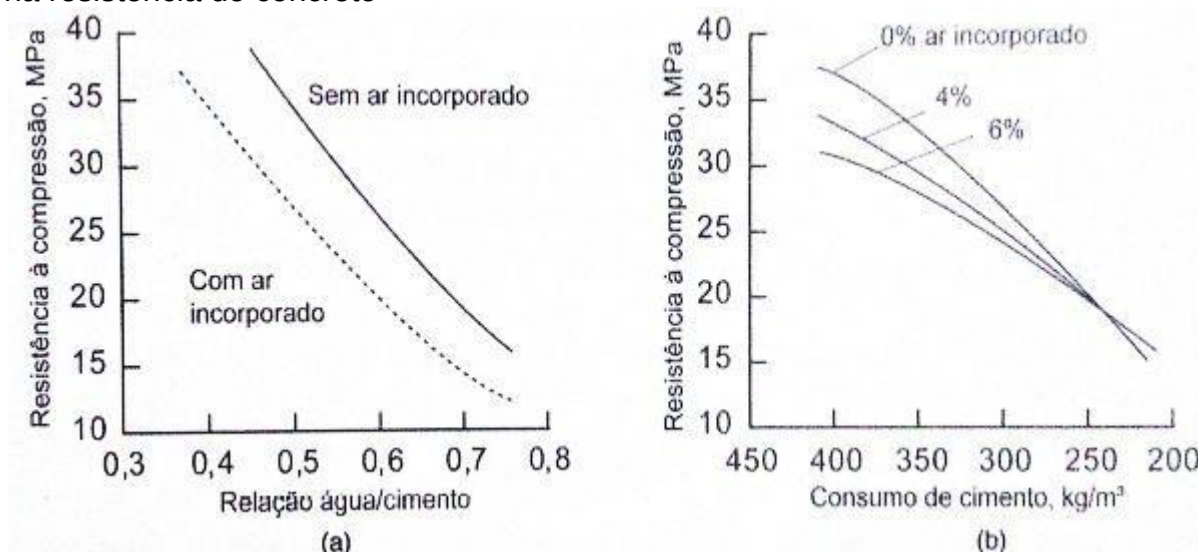
Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

3.3.2 – Porosidade

Embora o concreto seja um material complexo demais para previsão de resistência por relação exata entre resistência e porosidade, essa relação deve ser respeitada, pois a porosidade no concreto torna-se um real limitador da resistência, uma vez que a resistência do concreto é influenciada principalmente pelo volume de vazios contido nele (MEHTA; MONTEIRO, 2014; NEVILLE, 2016).

Para Mehta e Monteiro (2014), ainda que a relação a/c, na maioria dos casos, determine a porosidade da matriz da pasta de cimento hidratada, quando vazios de ar são incorporados no concreto, ou pelo adensamento inadequado ou pelo uso de aditivos químicos, a porosidade também aumenta e a resistência do concreto diminui. Isso pode estar relacionado ao nível geral da resistência do concreto, visto que o nível de perda não depende somente da relação a/c, mas também do consumo de cimento.

Gráfico 03 - Influência da relação a/c, ar incorporado e consumo de cimento na resistência do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

3.4- SLUMP TEST

Segundo Neville (2016) o concreto no estado fresco é a estado de melhor trabalhabilidade a partir de sua produção até o seu lançamento nas formas. Neste estado o concreto apresenta-se propriedades: consistência da mistura de tal maneira que o concreto possa ser adensado com as ferramentas disponíveis, e coesão suficiente para que ele possa ser transportado e lançado nas formas sem sofrer segregação, ou seja, neste estado o concreto deve apresentar uma trabalhabilidade adequada ao fim a que se destina.

No estado fresco deve-se ter em vista o estado endurecido, pois neste estado a mistura deve se apresentar homogênea e com o mínimo de vazios (BAUER, 2008).

Sua consistência pode ser definida como menor ou maior capacidade do concreto se deformar quando for solicitado pela sua própria massa. Simplificando, a consistência como sendo a facilidade para concreto escoar, e a coesão como a resistência à segregação e à exsudação (ISAIA, 2007).

Segundo Isaia (2007), a consistência pode ser medida através do ensaio do abatimento do tronco de cone, que é um método de ensaio muito utilizado e normatizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Conforme a ABESC (2007) este ensaio é o principal meio para controlar a trabalhabilidade do concreto na obra, expressa pelo abatimento, sendo que o que o consagrou como ensaio mais utilizado foi à simplicidade da execução.

O instrumento utilizado para realização do ensaio de Slump test, refere-se a um tronco cone oco, com dimensões internas de 200 mm na base inferior, 100 mm na base superior e 300 mm de altura. Além disso contém uma placa metálica para ser usada como base para o molde com dimensões superiores ou iguais a 500 mm de lado e uma haste para adensamento com 16 mm de diâmetro e 600 mm de altura pela NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Figura 01 - Equipamentos do ensaio de abatimento.

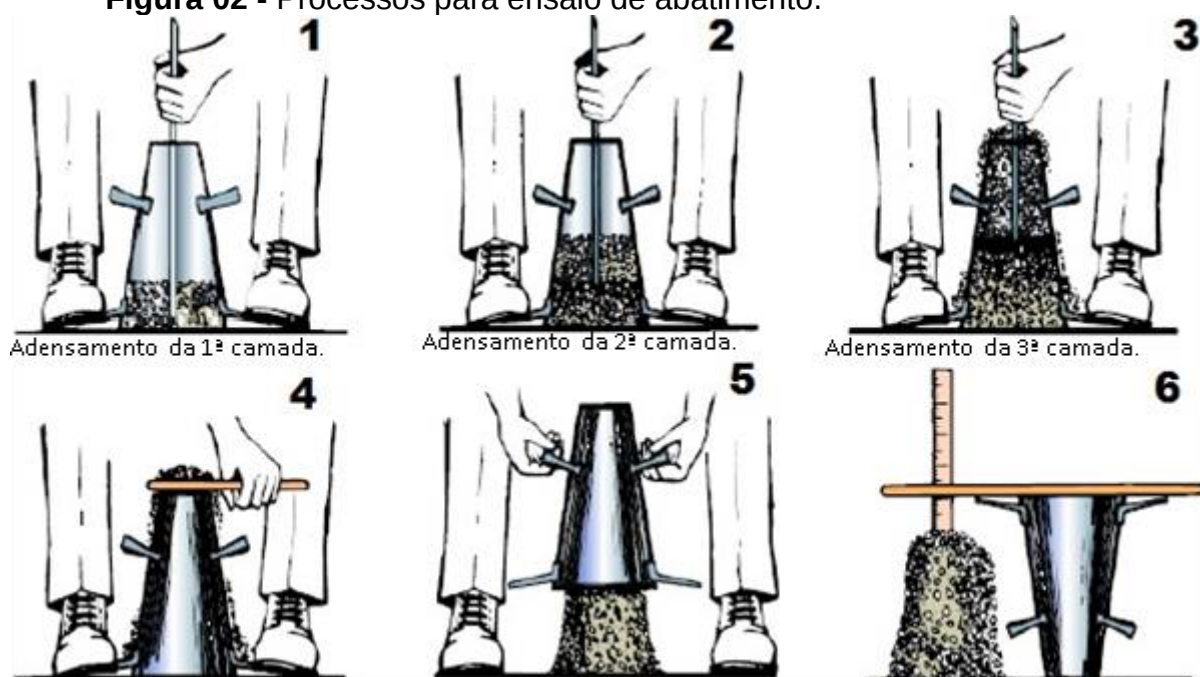


Fonte: Isaia, (2007).

Seguindo o procedimento e passos, o ensaio se inicia colocando o cone sobre a base metálica, em seguida se preenche o cone com concreto em 3 camadas de igual espessura, adensando cada camada com 25 golpes através da haste metálica NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Após o adensamento da última camada deve ser removido o excesso de concreto de cima do cone com a haste, então, o cone é lentamente removido para que o concreto sofra o abatimento. A medida do abatimento é a diferença de altura entre o topo do cone até a superfície do concreto NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Figura 02 - Processos para ensaio de abatimento.



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), definem que a trabalhabilidade é um dos principais pontos característicos de fundamental importância deste estado e que afeta diretamente a viabilidade da construção. Por mais controlado que sejam os processos de cura e dosagem do concreto, uma mistura não lançada e adensada adequadamente, possivelmente não irá atingir as propriedades esperadas de durabilidade e resistência.

4. REFERIR A RESISTÊNCIA COM DIFERENTES IDADES.

A resistência à compressão tem importância tanto para si mesma bem como pela influência que ela exerce sobre outras propriedades. Ela dá uma percepção da qualidade do concreto, pois está diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratada (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

De acordo com Bauer (2008) 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.

Mehta e Monteiro (1994) definem resistência de um material como a capacidade de resistir a tensões sem ruptura. A ruptura pode ser identificada com aparecimento de fissuras. Nos ensaios de compressão, o corpo de prova pode ser considerado rompido mesmo sem ter fissuras aparentes externas, porém contém fissuras internas muito avançadas, sendo incapaz de suportar mais carga.

Através dos dados da resistência, muitas outras propriedades do concreto, como o módulo de deformação, estanqueidade, impermeabilidade podem ser deduzidas. Apesar do concreto, na prática estar submetido a vários tipos de esforços, o esforço de compressão uniaxial é o mais importante, além de ser mais fácil de ensaiá-lo no laboratório (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

Segundo a NBR 5739 (ABNT, 1997), a resistência à compressão aos 28 dias determinados através de um ensaio padrão de compressão uniaxial, é aceita universalmente como índice geral da resistência do concreto.

A cura é responsável pela manutenção da água necessária às reações químicas que ocorre no período de endurecimento do concreto, principalmente nas idades iniciais. Uma boa cura é fundamental para obtenção de um concreto de boa qualidade (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

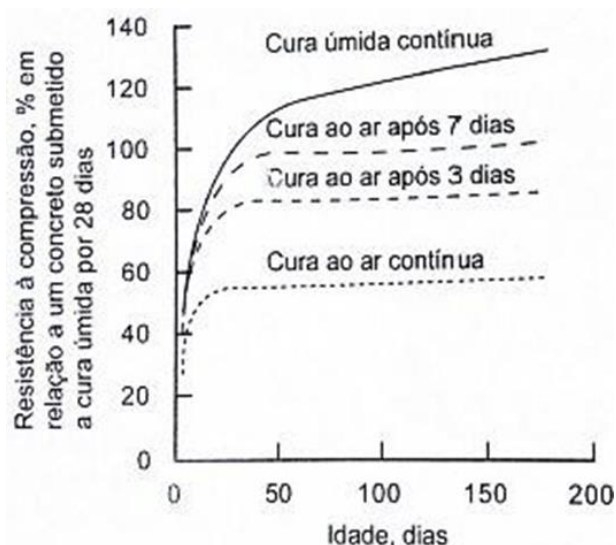
Segundo Mehta e Monteiro (1994), a cura é a última operação a ser realizada e consiste em evitar a retração hidráulica nas primeiras idades, quando o concreto ainda não tem resistência suficiente para evitar a formação de fissura. Desta forma, para que não haja retração deve-se evitar a perda de água pela superfície do concreto.

O concreto leve tem o seu próprio suprimento de água no interior do agregado, o que permite a hidratação contínua do material. Com agregados leves, o intercâmbio de água na zona de transição entre o agregado poroso e a argamassa resulta numa cura úmida interna. Este processo de cura interna é possível quando o teor de

umidade do agregado leve na mistura é pelos menos igual ao do atingido em um dia de imersão em água (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

O concreto estrutural leve pode ser significativamente beneficiado por este processo de cura interna, devido à troca de água entre o agregado leve úmido e a pasta de cimento, resultando numa pasta de cimento bem hidratada na zona de transição (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

Gráfico 04 - Influência das condições de cura sobre a resistência do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

Segundo NBR 5738 (ABNT, 1998), a resistência à compressão simples, denominada f_c , é a característica mecânica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova para ensaio.

Segundo Neville (1997), ressalta que, nos concretos de densidade usual, o módulo de elasticidade da pasta de cimento é, geralmente, bem menor que o módulo dos agregados.

Porém, no concreto estrutural leve, os valores do módulo de elasticidade das partículas do agregado leve e da pasta de cimento são bastante próximos resultando a cura do concreto é a combinação de tempo, temperatura e umidade do concreto após o seu lançamento, realizada para promover a hidratação do cimento (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

Segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012), após certo tempo, a resistência do concreto não aumenta com a idade da cura sem que seja cura úmida. A idade do concreto interfere no resultado do ensaio em virtude das condições de cura e

carbonatação. Estas situações distorcem a correlação com a resistência estabelecida em condição de norma, 28 dias.

O concreto, após o seu endurecimento, apresenta uma redução de volume ocasionada pelas condições de cura e exposição, conhecida como retração, que provoca deformações adicionais no elemento misto. Nas vigas mistas, este encurtamento é impedido pela seção metálica, que permanece sobre flexocompressão (PFEIL, 2009).

Portanto, novas correlações devem ser feitas para concreto com idade superior a 60 dias e inferior a 14 dias. O efeito da carbonatação pode causar uma grande elevação na medida do IE, em casos extremos esta diferença pode chegar a até 50%. Já para concreto com idade inferior a 14 dias pode ocorrer deformação da superfície, e conseqüentemente diminuição do índice esclerométrico (NBR 7584, ABNT, 2012).

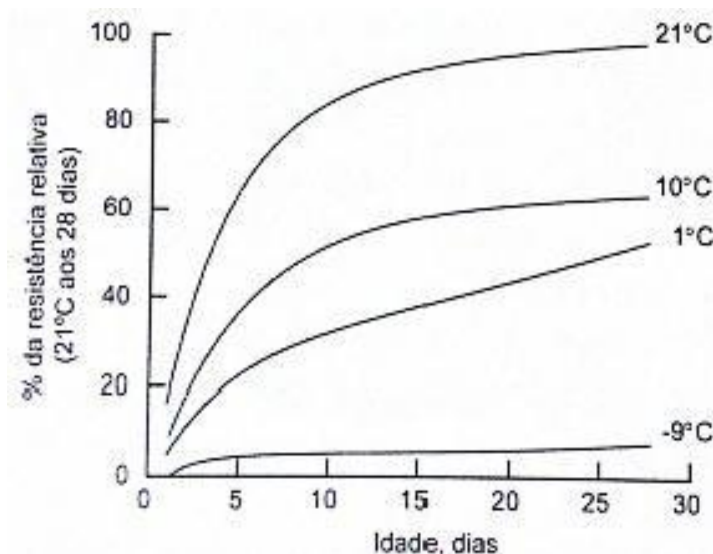
A temperatura de cura do concreto tem grande influência na taxa de desenvolvimento da resistência e resistência final do concreto por controlar o grau de hidratação do cimento. O efeito de diferentes temperaturas de cura na resistência do concreto. De modo geral, quanto menor a temperatura de cura, menor será a resistência do concreto (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

Segundo Mehta e Monteiro (1994) ressaltam que, como no concreto de densidade usual, a relação entre a resistência à tração por compressão diametral e a resistência à compressão decresce de maneira significativa com o aumento da resistência do concreto leve.

Nos procedimentos de ensaio de resistência à compressão, os parâmetros essenciais para determinação da resistência do concreto são: as dimensões do corpo de prova, idade do corpo de prova e modalidade de aplicação de carga, isto é, se a taxa de carregamento é constante ou trata-se de um carregamento cíclico (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

No Brasil, os métodos de ensaio definidos pela Agência Brasileira Normas Técnicas para realização de tais testes estão regulamentados através da NBR 5739, (ABNT, 2007).

Gráfico 05 - Influência das temperaturas de moldagem e cura na resistência do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

Em sua pesquisa Sobral (1987), realizou-se um estudo comparativo entre um concreto convencional com brita e um concreto estrutural leve, com características de bombeamento, porém de mesma resistência à compressão. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 - Resultados obtidos por SOBRAL

Tipo de concreto	Massa específica no estado fresco	Massa específica aos 28 dias	Idade do concreto na data dos ensaios	f_c (MPa)	E_c (MPa)
Concreto convencional	2292 kg/m ³	-	28 dias	23,00	2351 4
Concreto leve (TRAÇO III)	1795 kg/m ³	1673 kg/m ³	28 dias	23,70	14423

Fonte: Sobral, (1987).

Há uma grande importância do controle da temperatura nas primeiras 24 a 48 horas após o lançamento, para evitar tais efeitos. No entanto, cabe ressaltar que a elevação da temperatura não é função do teor de cimento, o que poderia levar a uma

consideração errônea do problema, mas, sim, da quantidade de cimento que está sendo hidratada. Como no caso do CAD, o fator a/c é muito baixo, a falta de água torna um fator limitante na quantidade de cimento que é hidratada (AITCIN, 2000).

Segundo Lorenzi (2016), o constante monitoramento é um procedimento necessário nas estruturas de concreto, para que possa ser detectado de forma preventiva um possível problema na estrutura, no que diz respeito a resistência e qualidade do concreto empregado. A verificação preventiva permite a utilização de métodos mais econômicos de reparo de uma possível patologia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de conclusão de curso abordou na resistência mecânica do concreto, assim como apresentou os agregados utilizados na dosagem do concreto, através de ensaios tecnológicos, referiu-se à resistência a diferentes níveis de *Slump Test* e referiu-se à resistência com diferentes idades.

Com isso, verificou-se a grande importância dos fatores que influenciam no processo de resistência axial do concreto como a idade (tempo de cura), do concreto que interfere no resultado do ensaio em virtude das condições de cura e carbonatação, bem como ensaio de *slump test*, que certifica a trabalhabilidade, viscosidade do concreto.

Estas situações distorcem de maneira significativa a correlação com a resistência estabelecida em condição de norma, 28 dias. Ficou evidente através de parâmetros dos autores e das normas NBR 5738 (1997) e 5739 (2007), que se controle não for executado conforme procedimento, teremos resistência diferente do que buscamos em projeto.

Desta forma, comprova-se a ampla necessidade da certificação ao longo da execução da estrutura, bem como a sua trabalhabilidade, tempo e tipo de cura. O ensaio e o controle da resistência do concreto das estruturas de edificação é parcela relevante da segurança no projeto estrutural.

Tornando-se visível a relevância a cerca fatores que influenciam na resistência axial do concreto bem como, a diminuição do impacto ambiental e econômico que a utilização destes materiais viabiliza, além de melhorar propriedades como a resistência e a durabilidade do concreto.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÕES. **NM 77: Preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaios de compressão**. São Paulo, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.
- ABESC. **Manual do concreto dosado em central**. ABESC. São Paulo: Luxmídi, 2001.
- AITCIN, Pierre-Claude. **Concreto de Alto Desempenho**. Trad. Geraldo G. Serra. São Paulo: 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.
- BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais da construção**. 5. ed. Revisada, Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- BATTAGIN, A.F. **Uma breve história do cimento Portland**. 2009
- BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. Volume 1. 6ª edição. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 2010. 507p
- CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FL, Jasson Rodrigues de. **Calculo e detalhamento de estruturas de concreto armado São Carlos: Edufscar**, 2010.
- FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 1 ed. São Paulo, SP: PINI, 2008.

ISAIA, Geraldo C. **Concreto: Ensino pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

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

LEONHARDT, F. e MONNING, E. **Construções de Concreto**, Volume 2, Editora Interciência, Cap 7: Concreto Leve para Estruturas. 1979.

LORENZI, Alexandre; LORENZI, Luciani Somensi. **Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto. Revista de Engenharia Civil IMED**, Rio Grande do Sul, v. 03, 2016.

MASCOLO, Rafael. **Concreto usinado: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira**. 2012.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura Propriedades e Materiais**. 3ª ed. São Paulo: Pini, 2008.

MEHTA, P.K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**, Editora PINI, Cap6: Agregados Leves, Cap11: Avanços em Tecnologia do Concreto.1994

MEHTA, P. Kumar.; MONTEIRO, Paulo. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed .São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**, Editora PINI, 2ª Edição, Cap6: Concretos com propriedades Especiais.1997

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

GABRICH, M. F. **Estudo da influência das adições minerais no comportamento do concreto sob a ação do fogo**. 2008.

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

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Revista Concreto e Construção: IBRACON**, 2009.

PATTON, W. J. **Materiais de Construção**. 1ª ed. São Paulo: E.P.U, 1978.

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, RJ. Ed LTC, 2011.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Globo, 1981.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

SANTOS, S. **Dosagem de Concreto – Unidade II**. Itajaí, SC: UNIVALI, 2014.

SOBRAL, H.S. **Concretos Leves: Tipos e Comportamento Estrutural, Estudo Técnico**, ABCP, São Paulo,1987.