

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Eduardo Nogueira Stoffels

**ESTUDO SOBRE A VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO USINADO**

Porto Alegre
julho 2014

EDUARDO NOGUEIRA STOFFELS

**ESTUDO SOBRE A VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO USINADO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Porto Alegre
julho 2014

EDUARDO NOGUEIRA STOFFELS

**ESTUDO SOBRE A VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO USINADO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2014

Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dra. pela USP
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Abrahão Bernardo Rohden
Msc. pela UFRGS

Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin (UFRGS)
Dra. pela USP

Eduardo Polesello
Msc. pela UFRGS

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tornar esse objetivo possível.

Agradeço à Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin, orientadora deste trabalho, pela orientação e dedicação a fim de tornar possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt que sempre se mostrou disposta a ajudar com todas as dúvidas que surgiram durante o caminho de elaboração deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, minha irmã e minha namorada por sempre me incentivarem a atingir meus objetivos e por todo apoio e compreensão ao longo desses anos.

Tudo o que a mente humana pode conceber,
ela pode conquistar.

Napoleon Hill

RESUMO

Com o aquecimento do setor imobiliário, a demanda por imóveis é cada vez maior e com isso construtoras precisam acelerar seus processos construtivos para suprir essa demanda. Para isso existem tecnologias como o concreto usinado, que tem como objetivo fornecer um concreto de alta qualidade, economizando o tempo de produção na obra e facilitando os processos de concretagens. Porém é fundamental que a obra faça um controle de qualidade da resistência à compressão deste concreto recebido, através da moldagem de corpos de prova cilíndricos e o rompimento 28 dias após a moldagem. A partir deste controle, é possível obter a variabilidade do concreto, que é o objeto de estudo deste trabalho. Neste trabalho foram estudadas duas obras com a mesma resistência característica, mesma empresa responsável pelo controle tecnológico, mas com diferentes fornecedores de concreto. Com base nos dados coletados e pela análise realizada, pode-se concluir que na obra 1 foi atingida a resistência característica apesar de apresentar uma variabilidade bastante alta, ao contrário da obra 2, que apresentou uma variabilidade muito menor, porém ocorreram casos em que a resistência ficou abaixo da resistência característica.

Palavras-chave: Controle Tecnológico do Concreto. Controle Estatístico do Concreto. Qualidade do Concreto Usinado. Resistência à Compressão do Concreto. Resistência Característica do Concreto Usinado. Variabilidade da Resistência à Compressão do Concreto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho	17
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de cimento Portland e suas composições	20
Quadro 2 – Influência dos materiais na resistência à compressão	26
Quadro 3 – Influência dos equipamentos e mão de obra na resistência à compressão	27
Quadro 4 – Influência dos procedimentos de ensaio na resistência à compressão	27
Quadro 5 – Desvio padrão a ser adotado em função da condição de preparo (NBR 12655)	36
Quadro 6 – Valores para formação de lotes de concreto (NBR 12655)	37
Quadro 7 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova (NBR5738)	38
Quadro 8 – Resumo de empresas envolvidas	41
Quadro 9 – Resumo da obra 1	43
Quadro 10 – Resumo da obra 2	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação da resistência máxima, mínima e média para a obra 1	48
Gráfico 2 – Variação da resistência média para a obra 1	50
Gráfico 3 – Variação da resistência do cimento CP V-ARI da marca A	51
Gráfico 4 – Variação da resistência do cimento CP V-ARI da marca B	51
Gráfico 5 – Variação da resistência máxima, mínima e média para a obra 2	59
Gráfico 6 – Variação da resistência média para a obra 2	61
Gráfico 7 – Variação da resistência do cimento CP II Z-32 da marca C	62
Gráfico 8 – Resistência média da obra 1 e 2	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concretagens estudadas da obra 1.....	44
Tabela 2 – Resistência potencial da obra 1.....	45
Tabela 3 – Resistência característica estimada para obra 1.....	47
Tabela 4 – Análises da média, desvio padrão e coef. de variação para a obra 1	49
Tabela 5 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação para a obra 1	52
Tabela 6 – Concretagens estudadas da obra 2	54
Tabela 7 – Resistência potencial da obra 2	56
Tabela 8 – Resistência característica estimada para obra 2	58
Tabela 9 – Análises da média, desvio padrão e coef. de variação para a obra 2	60
Tabela 10 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação para a obra 2	62

LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

f_{ck} – Resistência Característica

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	15
2.2.1 Objetivo Principal	15
2.2.2 Objetivos Secundários	15
2.3 HIPÓTESE	15
2.4 PREMISSE	16
2.5 DELIMITAÇÕES	16
2.6 LIMITAÇÕES	16
2.7 DELINEAMENTO	16
3 CONCRETO	18
3.1 CONCRETO: ASPECTOS GERAIS	18
3.2 CONSTITUIÇÃO DO CONCRETO	19
3.2.1 Cimento Portland	19
3.2.2 Agregados	21
3.2.3 Água de amassamento	21
3.2.4 Aditivos	22
3.3 TIPOS DE CONCRETO	23
3.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	23
3.4.1 Trabalhabilidade	23
3.4.2 Exsudação	24
3.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	24
3.5.1 Resistência aos esforços mecânicos	24
3.5.1.1 Variabilidade devida aos materiais	25
3.5.1.2 Variabilidade devida aos equipamentos e operação	26
3.5.1.3 Variabilidade devida aos ensaios	27
3.5.2 Permeabilidade	28
3.5.3 Deformações	28
3.5.4 Durabilidade	29
3.6 DOSAGEM	30
3.7 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS	30
3.7.1 Mistura	31

3.7.2 Transporte	31
3.7.3 Lançamento	32
3.7.4 Adensamento	32
3.7.5 Cura	32
3.8 CENTRAIS DE USINA	33
3.9 CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO	34
3.9.1 Cálculo da resistência de dosagem	34
3.9.2 Ensaio de consistência	36
3.9.3 Formação de lotes e amostragem	37
3.9.4 Moldagem e cura do concreto	38
3.9.5 Ensaio de resistência à compressão	39
4 ESTUDO DE CASO	41
4.1 APRESENTAÇÃO DA OBRA 1	42
4.1.1 Resultados dos ensaios de resistência à compressão	43
4.1.2 Controle estatístico do concreto conforme norma NBR 12655/2006 para obra 1	46
4.1.3 Análise sobre a variabilidade da obra 1	47
4.2 APRESENTAÇÃO DA OBRA 2	52
4.2.1 Resultados dos ensaios de resistência à compressão	53
4.2.2 Controle estatístico do concreto conforme norma NBR 12655/2006 para obra 2	57
4.2.3 Análise sobre a variabilidade da obra 2	59
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A OBRA 1 E A OBRA 2	63
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Segundo Mehta e Monteiro (1994, p. 2-5), o concreto não é tão resistente e nem tão tenaz quanto o aço, apesar de ser muito mais usado na Engenharia. Os autores apresentam três razões para isso. Primeiramente, o concreto apresenta uma excelente resistência à água, ao contrário da madeira e do aço comum. A segunda razão é a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados numa variedade de formas e tamanhos, isto porque o concreto ainda fresco é bastante plástico, podendo se moldar às fôrmas. E, a terceira razão para o concreto ser tão usado na Engenharia, é o baixo custo, desde que se controle sua variabilidade e a sua fácil disponibilidade no canteiro de obras, pois seus principais ingredientes – cimento Portland e agregados – são relativamente baratos e disponíveis em praticamente qualquer lugar.

Sobre a resistência a compressão do concreto, Helene e Terzian (1993, p. 103) afirmam:

[...] não há dúvida que a propriedade do concreto que melhor o qualifica é a resistência à compressão. Desde que na sua dosagem e preparação tenham sido levados em conta também os aspectos de trabalhabilidade e durabilidade, optando-se por determinada curva granulométrica, tipo e classe de cimento e relação água/cimento e, conseqüentemente, resultando uma certa resistência à compressão. Qualquer modificação na uniformidade, natureza e proporcionamento dos materiais poderá ser indicada por uma variação na resistência. A resistência à compressão é uma propriedade muito sensível, capaz de indicar com presteza as variações da qualidade de um concreto.

Mehta e Monteiro (1994, p. 312) também afirmam que a trabalhabilidade do concreto fresco e a resistência do concreto endurecido a uma idade definida são normalmente os requisitos mais importantes previamente estabelecidos no processo da dosagem do concreto. A trabalhabilidade é a propriedade que determina a facilidade com que uma mistura de concreto pode ser lançada, adensada e acabada. O objetivo da dosagem pode ser resumido como a escolha dos materiais adequados entre aqueles disponíveis e a determinação da combinação mais econômica destes que produza um concreto que atenda a certas características de desempenho mínimo.

Devido ao fato da resistência à compressão ser uma propriedade do concreto muito sensível, este trabalho consiste em coletar dados de ensaios de resistência de duas obras distintas que

empregam concreto de dois diferentes fornecedores também. Os dados foram coletados diretamente com as obras, através dos laudos de uma mesma empresa de controle tecnológico. O estudo de variabilidade foi feito a partir dos dados coletados, comparando os resultados dos ensaios de cada uma das obras com os respectivos valores solicitados nas duas diferentes centrais dosadoras, comprovando se a resistência solicitada foi ou não atendida e verificando a sua variabilidade.

Os capítulos a seguir descrevem as etapas seguintes deste trabalho. São apresentadas as diretrizes deste trabalho no capítulo 2, contendo as informações básicas, assim como questão de pesquisa, objetivos, pressuposto, premissa, delimitações e delineamento.

A seguir é apresentada no capítulo 3 uma revisão bibliográfica, contendo as principais informações sobre o concreto, seus componentes, tipos, propriedades do concreto fresco e endurecido, dosagem e sua produção. Também é descrito como funcionam as centrais dosadoras e o controle tecnológico do concreto, explicando todos os tipos de ensaios e procedimentos utilizados para esse controle.

Após a revisão bibliográfica, o capítulo 4 apresenta os resultados e análises, onde são descritos as obras estudadas, suas características e apresentados seus respectivos dados. A seguir é realizado o controle estatístico para cada obra estudada, assim como as análises de variabilidade individuais e comparativas entre as obras. Por fim no capítulo 5 são feitas as considerações finais deste trabalho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual é a variabilidade dos valores da resistência à compressão dos concretos usinados das obras estudadas e entre as concreteiras?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação da variabilidade da resistência à compressão do concreto de duas obras com o mesmo f_{ck} e duas diferentes fornecedoras de concreto na região da grande Porto Alegre e a comparação do desvio padrão entre elas.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são: cálculo de resistência média, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação de dois diferentes fornecedores de concreto.

2.3 HIPÓTESE

Tem-se como hipótese do trabalho que a resistência à compressão do concreto, por ser uma propriedade muito sensível, apresenta uma variabilidade significativa, existindo casos em que não atinja o valor mínimo de resistência solicitado e que também apresente variação entre as fornecedoras de concreto usinado.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa o fato de que em muitas obras vêm ocorrendo variações nos resultados dos ensaios da resistência à compressão do concreto dosado em central, o que gera insegurança na contratação de fornecedoras de concreto.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar todos resultados de ensaios de resistência à compressão de duas obras, de diferentes empresas da construção civil.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

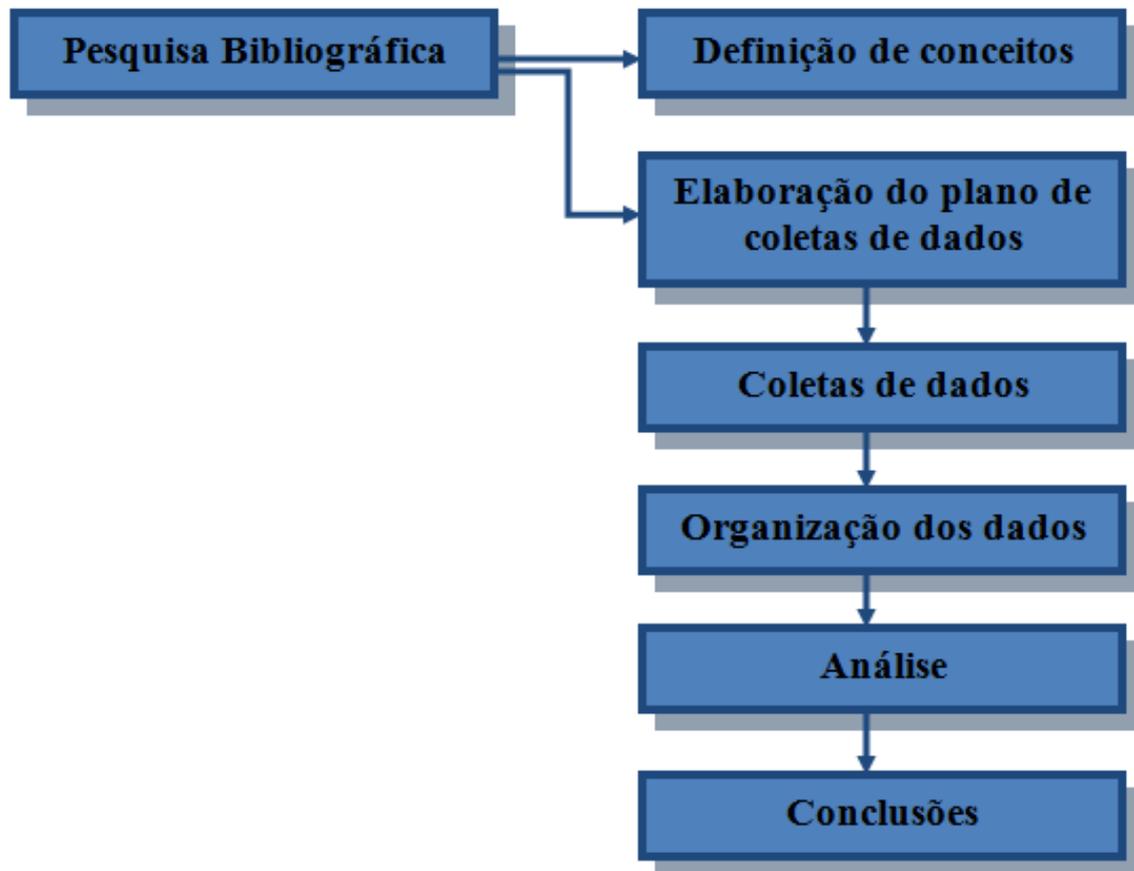
- a) os resultados dos ensaios de resistência à compressão são coletados diretamente com a obra, através dos laudos realizados pela empresas de controle tecnológico;
- b) as resistências do concreto analisadas têm valores solicitados nas fornecedoras de 30 MPa;
- c) as obras apresentam suas estruturas concluídas e encontram-se na cidade de Porto Alegre.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição de conceitos;
- c) elaboração do plano de coleta de dados;
- d) coleta de dados;
- e) organização dos dados coletados;
- f) análise dos dados coletados;
- g) conclusões.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborada pelo autor)

Inicialmente foi realizada uma **pesquisa bibliográfica**, com o objetivo de esclarecer conceitos e tecnologias do tema escolhido. A pesquisa bibliográfica também foi utilizada a fim de definir padrões dos dados a serem coletados, assim, embasando as análises dos resultados obtidos. A partir das informações adquiridas, foi possível a **elaboração do plano de coleta de dados**, no qual se definiu os critérios a serem pesquisados, como as obras consultadas e as empresas fornecedoras de concreto.

A **coleta de dados** foi realizada diretamente com as obras, através dos laudos de resistência à compressão do concreto. Em seguida foi feita a **organização dos dados coletados**, colocando-os em planilhas a fim de facilitar a próxima etapa, que compreende a análise de dados. Essa **análise de dados** levou ao entendimento e interpretação dos dados obtidos além de permitir uma comparação entre a variabilidade da resistência à compressão do concreto usinado. A partir dos resultados dessa sequência de etapas foi possível concluir a pesquisa.

3 CONCRETO

Este capítulo tem por objetivo apresentar informações referentes ao concreto e suas principais propriedades, apresentando suas composições, métodos de dosagens e produção, motivos das variabilidades da resistência aos esforços mecânicos, funcionamento das centrais dosadoras de concreto e controle tecnológico.

3.1 CONCRETO: ASPECTOS GERAIS

Segundo artigo da Brunauer e Copeland¹ (1964 apud MEHTA; MONTEIRO 1994, p. 1), o material mais consumido pelo homem no mundo é o concreto, atrás somente da água, quando ao ano da publicação, o consumo mundial de concreto foi de aproximadamente três bilhões de toneladas. De acordo com Pedroso (2009, p. 14-179), o concreto pode ser encontrado nas casas de alvenaria, rodovias, pontes, edifícios, usinas hidrelétricas e nucleares, obras de saneamento e até plataformas de petróleo. A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2013) obteve a informação de que no ano de 2013 quase 71 mil toneladas de cimento foram consumidas para a produção de concreto no Brasil.

Pedroso ainda cita que os primeiros a utilizarem algum tipo de cimento foram os sumérios, através da cal e gipsita. Os romanos descobriram mais tarde que misturando cinza vulcânica das proximidades do Vesúvio com cal hidratada, obtinham uma cal que endurecia sob a água, descoberta que foi a base da arquitetura romana. Ao longo do tempo o cimento foi evoluindo através de estudos e experimentos e, em 1824, o inglês Joseph Aspdin criou o cimento Portland através da calcinação de calcário e argila, finamente moídos e misturados. O cimento Portland ganhou este nome pela semelhança com as rochas da ilha britânica de Portland. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002, p. 5), o cimento Portland recebeu este nome por se assemelhar na cor e na dureza com a pedra de Portland, de uma ilha no sul da Inglaterra, que era muito utilizada para construir na época.

¹ *Scientific American*, abril de 1964; S. Brunauer e L. E. Copeland. os demais dados não foram disponibilizados pelo autor

3.2 CONSTITUIÇÃO DO CONCRETO

Mehta e Monteiro (1994, p. 8-9) afirmam que o concreto é um material composto que consiste de um meio contínuo aglomerante, aonde estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados. Eles ainda definem o concreto como uma mistura de cimento, agregados e água, além dos aditivos que atualmente são frequentemente utilizados, em que o cimento é um material finamente pulverizado que desenvolve propriedades ligantes quando hidratado.

Segundo Petrucci (1993, p. 2), “[...] ao conjunto de cimento mais água dá-se a denominação de pasta; adicionando um agregado miúdo à pasta, obtém-se a argamassa, considerando-se o concreto como uma argamassa, à qual foi adicionado um agregado graúdo.”. O autor ainda explica que a pasta tem como função envolver os agregados, enchendo os vazios formados, dando possibilidade de manuseio quando recém misturado e de aglutinar os agregados no concreto endurecido, resultando em um conjunto com baixa permeabilidade, com resistência aos esforços e durabilidade frente aos agentes agressivos.

3.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é composto de clínquer, gipsita e normalmente adições. O clínquer tem como matérias-primas o calcário e a argila. A partir de reações químicas na presença de água, torna-se pastoso e em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica faz dele um ligante hidráulico muito resistente e é sua propriedade mais importante. Já as adições são outras matérias-primas que, misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação de diversos tipos de cimento Portland. Essas matérias-primas são as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, p. 6-8).

Segundo a ABCP, a gipsita tem como função básica controlar o tempo de pega, ou seja, o endurecimento do clínquer moído quando este é misturado com água. Sem a adição do gesso, o cimento, quando em contato com a água, endureceria quase que instantaneamente, o que o tornaria inútil. Por isso o gesso é uma adição presente em todos os tipos de cimento Portland. As escórias de alto-forno, quando adicionados ao clínquer reagem em presença de água, desenvolvendo características aglomerantes, apresentando melhoria de algumas propriedades, como durabilidade e resistência mecânica final. Os materiais pozolânicos são rochas

vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza que apresentam propriedades semelhantes às das escórias de alto-forno, que juntamente com o clínquer, reagem apresentando a propriedade ligante. Os materiais carbonáticos são rochas moídas, que apresentam carbonato de cálcio, servindo para tornar os concretos e argamassas mais trabalháveis. Sendo assim, de todas adições, o gesso é essencial no cimento, e as demais matérias-primas adicionadas proporcionam uma qualidade a mais ao cimento.

A Associação Brasileira de Cimento Portland, (2002, p. 5) ainda explica que após o cimento endurecer sob ação da água, mesmo que seja submetido à ação da água novamente, ele normalmente não se decompõe. A ABCP também apresenta os diversos tipos de cimentos Portland e suas composições através do quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de cimento Portland e suas composições

Tipos de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (Sigla E)	Material pozolânico (Sigla Z)	Material carbonático (Sigla F)	
Comum	CP I	100	-			NBR 5732
	CP I-S	99-95	1-5			
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, p. 10-12)

Quanto à finura do cimento, Mehta e Monteiro (1994, p. 198) destacam que quanto mais fino o cimento, mais rápido ele reage. Porém o custo da moagem e o calor liberado na hidratação estabelecem alguns limites para a finura. Para o controle de qualidade da indústria de cimento, foi determinada uma finura padrão através das peneiras com malha #200 (75 μm) e a malha #375 (5 μm). Considera-se que as partículas de cimento maiores que 45 μm são difíceis de hidratar e que as maiores que 75 μm nunca se hidratam completamente.

3.2.2 Agregados

Petrucci (1993, p. 38) afirma que “[...] entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia.”. O autor também salienta que os agregados têm um importante papel nas argamassas e concretos, tanto do ponto de vista econômico, como do ponto de vista técnico, pois exercem influência benéfica sobre algumas características importantes, como: retração, aumento da resistência ao desgaste, entre outros, sem prejudicar a resistência aos esforços, pois os agregados utilizados nesses casos têm resistência mecânica superior à da pasta de aglomerante.

São agregados os materiais granulares, tal como a areia, o pedregulho, a pedra britada ou escória de alto forno. São divididos em agregado graúdo, partículas de agregados maiores do que 4,8 mm, agregado miúdo, partículas de agregados menores do que 4,8 mm, porém maiores que 75 μm e, pedregulho, agregado graúdo resultante da desintegração natural e abrasão da rocha ou do processamento mecânico de conglomerantes fracamente cimentados (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 8-9).

Os autores ainda comentam que a areia, usada como agregado miúdo, é resultado da desintegração natural e da abrasão de rochas ou processamento de rochas arenosas friáveis. A pedra britada é o produto resultante da britagem industrial de rochas, seixo rolados ou pedras arredondadas graúdas. E a escória de alto forno é um subproduto da indústria do aço, material obtido pela britagem da escória que solidificou sob condições atmosféricas.

3.2.3 Água de amassamento

Segundo Petrucci (1993, p. 74), toda água que serve para beber pode ser utilizada para fazer concreto, porém muitas águas utilizáveis sem dano no concreto não podem ser ingeridas pelo homem. A água de amassamento do concreto não deve conter impurezas que possam prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento, no entanto, pequenas quantidades de impurezas podem ser toleradas, pois não apresentam efeitos danosos.

O autor comenta que se houver suspeita de impurezas na água, devem ser feitos ensaios para verificar a influência destas sobre o tempo de pega, a resistência mecânica e a estabilidade de volume. Porém, os maiores defeitos provenientes da água de amassamento para o concreto

estão mais relacionados com o excesso de água empregada do que com as impurezas que ela possa conter.

Mehta e Monteiro (1994, p. 198) comentam que o cimento Portland anidro só adquire propriedade adesiva quando misturado à água, conseguindo assim aglomerar areia e agregado graúdo. Essa reação química do cimento com a água que gera as características de pega e endurecimento, sendo chamada de hidratação do cimento.

O cimento Portland é composto de uma mistura heterogênea de vários compostos, no qual o processo de hidratação dos compostos anidros gera simultâneas reações. Porém, os compostos não hidratam à mesma velocidade. Os aluminatos hidratam muito mais rapidamente do que os silicatos, e são responsáveis pelo enrijecimento e a pega da pasta de cimento. Já os silicatos, que compõem aproximadamente 75% do cimento Portland comum, quando hidratados, têm importante papel da determinação das características de endurecimento (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 200-201).

3.2.4 Aditivos

Os aditivos são produtos químicos que são adicionados ao concreto, com a intenção de reforçar ou melhorar suas características, inclusive facilitando seu preparo e utilização (PETRUCCI, 1993, p. 79). O autor ainda ressalta que o aditivo não tem função de corrigir defeitos do concreto devido à dosagem incorreta ou à colocação mal feita. Mehta e Monteiro (1994, p. 274) destacam que a aplicação de aditivos no concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido, pode gerar grandes vantagens e que atualmente a maior parte dos concretos produzidos contém um ou mais aditivos.

Isaia (2005, p. 386) classifica os principais aditivos utilizados e suas características em: redutores de água e plastificantes, que sem afetar a consistência, permitem uma redução de água na mistura, ou sem afetar a quantidade de água, aumentar consideravelmente o abatimento; incorporadores de ar, que permitem a incorporação controlada de microbolhas de ar, uniformemente distribuídas; retardadores, que estendem o tempo do começo de pega do concreto; aceleradores, que reduzem o tempo do começo de pega do concreto; retentores de água, que reduzem a perda de água do concreto através do controle da exsudação; impermeabilizantes, que reduzem a absorção capilar do concreto endurecido.

3.3 TIPOS DE CONCRETO

Mehta e Monteiro (1994, p. 10) explicam que o concreto pode ser classificado em três grandes categorias: concreto de peso normal ou concreto corrente, o mais usado geralmente em peças estruturais, que é o concreto que contém areia natural e seixo rolado ou pedra britada, apresentando uma massa específica em torno de 2400 kg/m^3 ; concreto leve é o termo usado para definir os concretos com massa específica menor que 1800 kg/m^3 ; concretos pesados, utilizados nas blindagens de radiações, produzidos com agregados de alta densidade e que pesam mais do que 3200 kg/m^3 .

De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007b), a classificação do concreto quanto à resistência, a qual divide o concreto em duas classes baseadas na resistência à compressão aos 28 dias. A Classe I para concretos com resistência característica à compressão de até 50 MPa e a Classe II para concretos com resistência acima dos 50 MPa.

3.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

A seguir são descritas as principais propriedades do concreto fresco.

3.4.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a mais importante característica do concreto fresco (PETRUCCI, 1993, p. 81). Mehta e Monteiro (1994, p. 314-315) explicam que a trabalhabilidade é a facilidade com a qual um concreto pode ser manipulado sem segregação nociva, podendo afetar tanto no custo quanto na qualidade do concreto. Ou seja, um concreto difícil de lançar e adensar tem um custo de produção em obra mais elevado, além de apresentar uma resistência, durabilidade e aparência abaixo das expectativas. Da mesma forma, misturas com elevada segregação e exsudação são mais difíceis e mais caras na hora do acabamento e fornecem um concreto menos durável.

Os autores também destacam as considerações gerais que dirigem as decisões relativas à trabalhabilidade dos concretos frescos, que são as seguintes: a fluidez do concreto deve ser suficiente para lançar, adensar e dar acabamento ao concreto; a quantidade de água para uma dada consistência depende das características do agregado; para concretos que necessitam de

elevada fluidez no momento da concretagem, devem ser usados aditivos redutores de água ao invés de adicionar mais água ao concreto, que acaba por trazer consequências quanto ao seu desempenho em relação às especificações de projeto.

A trabalhabilidade é medida através da determinação da consistência do concreto fresco. Petrucci (1993, p. 83) comenta sobre o principal ensaio para medir a trabalhabilidade, ensaio de consistência pelo abatimento do tronco cone, e sua maior vantagem, que é a grande facilidade de execução. Este ensaio consiste em medir indiretamente a trabalhabilidade pelo abatimento causado na massa de concreto pelo seu próprio peso.

3.4.2 Exsudação

A exsudação é a tendência da água de amassamento vir à superfície do concreto recém-lançado (PETRUCCI, 1993, p. 94). O autor ainda explica que devido à exsudação, a parte superior do concreto torna-se excessivamente úmida, e conseqüentemente produz um concreto poroso e menos resistente, que pode-se desintegrar pela percolação da água. A água que sobe à superfície carrega partículas finas de cimento, formando uma nata, que impede a ligação de novas camadas de material, devendo ser removida com cuidado.

Outro efeito nocivo da exsudação, segundo o autor, consiste na acumulação de água em filmes sob as barras metálicas da armadura, diminuindo a aderência. Em alguns casos a exsudação é corrigida pela adição de grãos relativamente finos, compensando as deficiências dos agregados.

3.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

As seguir são descritas as principais propriedades do concreto endurecido.

3.5.1 Resistência aos esforços mecânicos

A resistência de um material é definida como a capacidade do mesmo resistir à tensão sem ruptura, no qual, ruptura algumas vezes é considerada como o surgimento de fissuras. O concreto, diferente de diversos materiais estruturais, contém micro fissuras antes mesmo de

ser submetido a esforços. Portanto, resistência de um concreto está relacionada com a tensão necessária para causar fratura no material (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 44).

Petrucci (1993, p. 95) afirma que o concreto é um material que apresenta uma boa resistência aos esforços de compressão e uma má resistência aos de tração. Segundo Mehta e Monteiro (1994, p. 12) as resistências à tração e à flexão do concreto representam, respectivamente, de 10 e 15 % da resistência à compressão, sendo que essa grande diferença entre as resistências à tração e à compressão é atribuída à estrutura heterogênea e complexa do concreto.

Helene e Terzian (1993, p. 103) definem a resistência à compressão como a propriedade do concreto que melhor o qualifica, desde que se considere a trabalhabilidade e durabilidade no momento de sua dosagem, aspectos fundamentais. A resistência à compressão pode indicar, com uma certa precisão, a qualidade de um concreto, por ser uma propriedade muito sensível em que qualquer alteração nos materiais ou na dosagem do concreto resulta em uma variação na resistência.

Petrucci (1993, p. 95-97) destaca os principais fatores que afetam a resistência mecânica, que são: relação água/cimento; idade; forma e graduação dos agregados; tipo de cimento; forma e dimensão dos corpos de prova; velocidade de aplicação da carga de ensaio; duração da carga. O autor também ressalta que a resistência à compressão é uma propriedade que vai crescendo conforme a idade do concreto, sendo considerada normalmente 28 dias como a idade padrão. Após rompido o primeiro corpo de prova, é possível estimar a resistência para o dia que se deseja através de um coeficiente, que descreve o aumento da resistência. Considera-se como idade final para o crescimento da resistência à compressão a idade de 1 ano.

Como já foi dito na introdução, a resistência à compressão é uma propriedade muito sensível do concreto. Por isso, Helene e Terzian (1993, p. 103) comentam que os principais fatores que influenciam na resistência à compressão do concreto estão relacionados aos materiais empregados, aos equipamentos utilizados e à operação dos mesmos e, ainda, aos cuidados na execução dos ensaios.

3.5.1.1 Variabilidade devida aos materiais

Os materiais utilizados no concreto, como os agregados, o cimento, a água e os aditivos, têm fundamental contribuição na resistência final do concreto. Materiais que apresentam uma uniformidade são capazes de produzir um concreto também uniforme (HELENE; TERZIAN,

1993, p. 134). O quadro 2 mostra o efeito máximo de alguns materiais no resultado da resistência à compressão.

Quadro 2 – Influência dos materiais na resistência à compressão

Causas da variação	Efeito máximo no resultado
- Materiais	
* variabilidade da resistência do cimento	± 12 %
* variabilidade da quantidade total de água	± 15 %
* variabilidade dos agregados (principalmente miúdos)	± 8 %

(fonte: HELENE; TERZIAN, 1993, p. 135)

De acordo com Petrucci (1993, p. 100), o agregado miúdo afeta a resistência pela sua granulometria, pois quanto mais finos forem os grãos, mais água exigem para os molhar devido a maior superfície específica, enquanto que a influência pelo agregado graúdo ocorre em função da forma e textura dos grãos. Mehta e Monteiro (1994, p. 47-50) explicam que o aumento da relação água/cimento gera enfraquecimento do concreto, devido ao aumento da porosidade da matriz. Mas a porosidade não depende somente da relação água/cimento da mistura de concreto, mas do grau de hidratação do cimento, relacionada principalmente com o tipo de cimento utilizado e da temperatura.

3.5.1.2 Variabilidade devida aos equipamentos e operação

Segundo Helene e Terzian (1993, p. 134), a mistura do concreto através de um processo mecânico de dosagem de materiais, por apresentar dispersão em torno de um valor médio, pode representar influência na resistência à compressão do concreto. No uso de betoneira, o tempo em que a mistura permanece em movimento no seu interior é outro fator que influencia, entre outras coisas. O quadro 3 mostra o efeito máximo dos equipamentos e da mão de obra no resultado da resistência à compressão.

Quadro 3 – Influência dos equipamentos e mão de obra na resistência à compressão

Causas da variação	Efeito máximo no resultado
- Equipamentos	
* ausência de aferição de balanças	- 15 %
* mistura inicial, sobre subcarregamento, correias, etc	- 10 %
- Mão de Obra	
* variabilidade do tempo e procedimento de mistura	- 30 %

(fonte: HELENE; TERZIAN, 1993, p. 135)

3.5.1.3 Variabilidade devida aos ensaios

De acordo com Helene e Terzian (1993, p. 134), dispersões na coleta de exemplares, moldagem, cura, capeamento e ruptura dos corpos de prova podem introduzir variações na resistência que não correspondem a variações no concreto da estrutura. A tabela 4 mostra o efeito máximo dos procedimentos de ensaio no resultado da resistência à compressão.

Quadro 4 – Influência dos procedimentos de ensaio na resistência à compressão

Causas da variação	Efeito máximo no resultado
- Procedimentos de ensaio	
* coleta imprecisa	- 10 %
* adensamento inadequado	- 50%
* cura (efeito considerado a 28 dias ou mais)	± 10 %
* remate inadequado no topo	- 30 % para concavidade - 50 % para convexidade
* ruptura (velocidade do carregamento)	± 5 %

(fonte: HELENE; TERZIAN, 1993, p. 135)

Para Mehta e Monteiro (1994, p. 61), os parâmetros dos ensaios em relação ao corpo de prova que afetam a resistência à compressão são o tamanho dos corpos de prova, geometria e o estado de umidade do concreto, além do nível e duração de tensão e a velocidade com que a tensão é aplicada. Os ensaios por amostras de concreto podem não representar verdadeiramente a qualidade do concreto na estrutura, devido a erros de amostragem e diferenças no adensamento e cura que possam ocorrer nos corpos de prova (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 372).

3.5.2 Permeabilidade

Segundo Mehta e Monteiro (1994, p. 124), permeabilidade é definida como a propriedade que governa a taxa de fluxo de um fluido para o interior de um sólido poroso. Para Petrucci (1993, p. 100-101) o concreto é um material poroso, pois é bastante difícil preencher todos os vazios do agregado com uma pasta de cimento. Normalmente é utilizada uma quantidade de água superior à necessária para a hidratação, e essa água, ao evaporar, deixa vazios. As combinações químicas diminuem os volumes absolutos de cimento e água que entram em ação e também durante a mistura do concreto, aprisiona-se ar à massa. Afirma-se que esses são os principais motivos da porosidade do concreto.

Mehta e Monteiro (1994, p. 123) explicam que a água no concreto, como um ingrediente necessário para as reações de hidratação do cimento e como agente que dá plasticidade à mistura, tem boa parte da água evaporada perdida (água capilar), deixando os poros vazios ou não saturados. Petrucci (1993, p. 101) ainda ressalta que essa interconexão dos vazios de água ou ar que tornam o concreto permeável. Através dessa permeabilidade é que o concreto sofre ataques de águas agressivas ou ação destruidora de agentes atmosféricos.

3.5.3 Deformações

De acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 11), a deformação específica pode ser definida como a mudança do comprimento por unidade de comprimento. Ela ocorre através de cargas que ocasionam tensões, definida como a força por unidade de área.

As deformações também podem surgir sem que exista carregamento, devido às mudanças na umidade e na temperatura do ambiente. Quando exposto à umidade do ambiente, o concreto fresco sofre retração de secagem. O concreto quente quando resfriado à temperatura ambiente sofre contração térmica (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 13).

Petrucci (1993, p. 103) afirma que as deformações que geram as mudanças de volume podem ser causadas pelas variações das condições ambientais, como retração, variações de umidade, variações de temperatura, e que também podem ser causadas pela ação de cargas externas que originam deformação imediata e deformação lenta.

O autor também comenta sobre as deformações que podem ocorrer pelas variações do teor de água, como a retração, contração inicial pela reação do cimento e também como as mudanças de volume por variações da umidade, expansões e contrações devidas à absorção e à perda de água. Salienta, ainda, que todas as deformações variam conforme o teor de cimento, a relação água/cimento, o tipo e a graduação dos agregados. As mudanças de volume dependem da composição do concreto e das condições de umidade e temperatura que a estrutura está exposta.

3.5.4 Durabilidade

A durabilidade pode ser quantificada pela vida útil de um material, no caso o concreto, sob dadas condições ambientais. Para o concreto, é a capacidade de resistir às ações das intempéries, ataques químicos, à abrasão, ou qualquer outro processo de deterioração. Os concretos mais densos ou de baixa permeabilidade apresentam uma maior durabilidade a longo prazo, ao contrário dos concretos permeáveis. A permeabilidade do concreto depende das proporções da mistura, da compactação e da cura, além das microfissuras causadas pelos ciclos normais de temperatura e de umidade (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 120-121).

Ainda de acordo com Mehta e Monteiro, nos sólidos porosos a água é a causa de muitos tipos de processos físicos de degradação e, como veículo para o transporte de íons, a água pode ser uma fonte de processos químicos de degradação. A deterioração do concreto raramente é devida a uma única causa. As causas físicas e químicas da deterioração são muito próximas e entrelaçadas, reforçando-se mutuamente, no qual os principais agentes agressivos são a temperatura, a ação do fogo, e de fluidos agressivos de todos os tipos.

Segundo Petrucci (1993, p. 288-294), referente à ação da temperatura, deve-se evitar concretagens quando a temperatura está acima de 40°C, para prevenir uma evaporação muito grande. Nestes casos, se for realizada a concretagem, recomenda-se que o concreto seja resfriado, através da adição de gelo ou resfriamento da água. No caso oposto, deve-se evitar concretagens com temperaturas próximas a 0°C. Sobre a ação do fogo, vendo que o concreto diminui sua resistência quando exposto a altas temperaturas, superiores à 300°C. Para temperaturas de 600°C, a resistência chega a reduzir 50%.

Por último o autor comenta sobre os fluidos agressivos, em que os principais são as águas carbonatadas, puras, sulfatadas e do mar. Essas impurezas, quando apresentam concentrações

superiores às concentrações toleradas, podem influenciar no tempo de pega do cimento, na resistência, no risco de corrosão das armaduras, entre outras propriedades do concreto.

3.6 DOSAGEM

A dosagem é um proporcionamento dos materiais do concreto, processo no qual é obtida a melhor proporção entre cimento, agregados e água. Seu objetivo é atingir a melhor proporção destes materiais, atendendo às especificações de projeto. As principais especificações que a dosagem de um concreto exige são a trabalhabilidade do concreto fresco e a resistência do concreto endurecido a uma idade definida (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 312).

Os autores lembram que outro propósito do proporcionamento dos concretos é obter uma mistura que satisfaça os requisitos de desempenho ao mínimo custo possível. Isso significa escolher os materiais necessários, adequados para atender aspectos de qualidade, mas que também estejam disponíveis no mercado a preços razoáveis. Resume-se então que o objetivo da dosagem do concreto é a escolha dos materiais adequados entre os disponíveis e a determinação da combinação mais econômica destes, que produza um concreto que atenda certas especificações de desempenho mínimo.

Mehta e Monteiro (1994, p. 319-325) também apresentam um método de dosagem através de nove passos que podem ser realizados de duas maneiras. Pelo método do volume absoluto, que é o mais exato dos utilizados, e pelo método do peso, em que é necessário saber o valor da massa específica dos materiais componentes. Petrucci (1993, p. 114) chama de traço a maneira de exprimir a composição do concreto, que pode ser expresso pelas proporções em massa ou em volume e, frequentemente, adota-se uma indicação mista, com o cimento em massa e os agregados em volume. Para indicar o traço, utiliza-se sempre o cimento como unidade, relacionando as demais quantidades proporcionalmente a de cimento.

3.7 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Nos próximos itens são apresentadas as etapas de mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura para produção dos concretos.

3.7.1 Mistura

Mistura ou amassamento do concreto é o recobrimento de pasta de cimento sobre as partículas de agregados, de modo a obter uma mistura homogênea, caso contrário resulta numa diminuição evidente da resistência mecânica e da durabilidade dos concretos. Existem dois tipos de mistura: manual e mecânica. (PETRUCCI, 1993, p. 167-168).

A mistura manual é utilizada exclusivamente para obras de pequeno porte, com um volume pequeno de concreto e a responsabilidade pouco exigente. O amassamento manual normalmente é feito misturando-se a seco o agregado miúdo e o cimento e em seguida é colocado o agregado graúdo quando se volta a misturar. Na sequência, é feita uma abertura no meio da mistura onde é adicionada a água de amassamento, e então, inicia-se lentamente a mistura de todos materiais até atingir uma mistura homogênea.

A mistura mecânica é feita em betoneiras, as quais resumem-se em uma cuba fixa em torno de um eixo, com pás dentro da cuba, responsáveis pela mistura.

3.7.2 Transporte

Petrucci (1993, p. 175-177) explica que após concluída a mistura do concreto, ele necessita ser transportado até o local de aplicação o mais rápido possível, com a finalidade de manter sua homogeneidade. O transporte pode ser feito de modo contínuo ou descontínuo. O autor exemplifica como transporte descontínuo o uso de carrinhos, onde o transporte do concreto é feito em partes. Já para transporte contínuo o mais utilizado é o sistema com bombas.

O autor também comenta que o transporte pode ser horizontal, vertical ou oblíquo. O transporte horizontal ocorre através de equipamentos com rodas, como carrinhos e caminhões betoneiras entre outros. Para o transporte vertical é mais comum o uso de guinchos ou em obras maiores o concreto é bombeado. E para o transporte oblíquo o mais utilizado é através de correias transportadoras ou de calhas.

A NBR 7212 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) define o caminhão betoneira como um veículo dotado de um dispositivo que efetua a mistura e mantém a homogeneidade do concreto. A norma também explica que o tempo de transporte do concreto a partir da primeira adição de água no processo da mistura até a sua entrega deve

ser inferior a 90 minutos, no caso de emprego de veículo dotado de equipamento de agitação e inferior a 40 minutos no caso de veículo não dotado de equipamento de agitação.

3.7.3 Lançamento

O concreto deve ser lançado o quanto antes estiver misturado e homogêneo. Para que não ocorra absorção da água do concreto pelas fôrmas, as mesmas devem ser molhadas antes do lançamento. Também devem ser estanques para que não ocorra fuga da nata de cimento (PETRUCCI, 1993, p. 178-179).

O autor ainda lembra que o concreto sempre deve ser lançado o mais perto possível da sua posição final, evitando lançá-lo de grandes alturas ou deixá-lo correr livremente, com o objetivo de evitar a separação e incrustação da argamassa nas formas e armaduras.

3.7.4 Adensamento

O adensamento do concreto lançado tem por objetivo deslocar, com esforço, os elementos que o compõem, e orientá-los para se obter maior compacidade, obrigando as partículas a ocupar os vazios e desalojar o ar do material, (PETRUCCI, 1993, p. 182). Este processo pode ser da forma manual ou forma mecânica.

O adensamento manual pode ser executado através de socamento ou apiloamento, sendo considerado o método mais prático e menos eficiente. Quando o concreto é lançado em camadas, no caso de pilares, por exemplo, essas camadas não devem exceder 20 cm. Já o adensamento mecânico é feita por meio de vibrações, geralmente utilizando-se os vibradores, que podem ser de imersão, de superfície ou externos, sendo mais comum, o de imersão. Para o adensamento mecânico do concreto em camadas utilizando vibradores de imersão, a camada deve ser de 3/4 do comprimento da agulha do vibrador (PETRUCCI, 1993, p. 182-183).

3.7.5 Cura

Dá-se o nome de cura ao conjunto de medidas com a finalidade de evitar a vaporização prematura da água necessária à hidratação do cimento, que rege a pega e seu endurecimento. As condições de umidade e temperatura, principalmente nas primeiras idades, têm

importância muito grande nas propriedades do concreto endurecido. (PETRUCCI, 1993, p. 185).

Mehta e Monteiro (1994, p. 57) também afirmam que o tempo tem uma relação fundamental com o concreto, lembrando que é de grande interesse a avaliação da resistência à compressão do concreto, que tende a aumentar conforme o tempo. Para isso é necessária uma cura úmida a uma temperatura normal. Os autores ainda comentam que para uma cura úmida, depois de 180 dias, a resistência do concreto foi três vezes maior do que do concreto curado a temperatura ambiente sem ser umedecido. A cura úmida é feita pela molhagem ou cobertura da superfície de concreto com algum material umedecido. Para um concreto com cimento Portland comum, 7 dias de cura úmida são suficientes, porém para concretos com cimentos compostos ou com adições é necessário um período maior. A temperatura de cura é muito mais importante do que a temperatura de lançamento. Um concreto curado no verão ou em clima tropical apresenta uma resistência inicial maior e uma resistência final menor do que o mesmo concreto curado no inverno ou em clima frio.

3.8 CENTRAIS E USINAS

O concreto usinado caracteriza-se por ser executado no todo, ou em parte, em usina, também denominada central de concreto (PETRUCCI, 1993, p. 189). O autor comenta que o concreto pronto pode ser totalmente misturado na central, parcialmente misturado na central e terminado a produção em caminhão betoneira ou o concreto pode ser totalmente misturado em caminhão betoneira, que é o processo mais utilizado.

O Isaia (2005, 505-507) explica que a classificação dos misturadores utilizados nas centrais são os misturadores forçados contínuos, que são caracterizados pela existência de um fluxo de materiais, em um tubo, com ação de pás geralmente helicoidais, que garantem a homogeneização dos materiais. Nas centrais esse tipo de mistura costuma ser realizado pelos caminhões-betoneiras, onde os misturadores são montados sobre um caminhão, permitindo a mistura e o transporte do concreto.

As vantagens de optar pelo concreto pronto estão relacionadas com o controle, por meio de ensaios, do aglomerante e dos agregados usados, a dosagem automática ou semi-automática através das balanças dos silos, os medidores de água de grande precisão que os caminhões

betoneiras possuem e a utilização de grandes quantidades de concreto em um curto prazo (PETRUCCI, 1993, p. 192).

3.9 CONTROLE E RECEBIMENTO DO CONCRETO

Segundo Petrucci (1993, p. 194) o controle tecnológico tem como objetivo garantir um concreto de acordo com as especificações e com as exigências da obra através das seguintes operações:

- a) a dosagem necessita atender os quesitos de trabalhabilidade, resistência, durabilidade e estética;
- b) análises dos materiais componentes do concreto;
- c) controle da resistência à compressão através da moldagem de corpos de prova;
- d) caso necessário, verificação da resistência do concreto na estrutura, através de extração de testemunho de concreto;
- e) controle estatístico das resistências obtidas.

Controle tecnológico do concreto é sinônimo de controle de qualidade. Conforme Helene e Terzian (1993, p. 27-28), qualidade na indústria civil é ter resistência estrutural adequada, ser funcional, possuir as condições ideais de habitabilidade, ser durável, ter baixo custo de operação e manutenção e apresentar um preço acessível. Para isso todos esses aspectos devem ser visados nas quatro principais etapas de produção da construção civil, que são: o planejamento, os projetos, a fabricação dos materiais a serem utilizados, e a execução da obra.

Para aceitação de um concreto, são necessários alguns processos e ensaios que são apresentados.

3.9.1 Cálculo da resistência de dosagem

A resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade prevalecentes durante a obra. Essa variabilidade é medida pelo desvio padrão S_d , usado na seguinte equação:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

f_{cj} = resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, em megapascals;

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, em megapascals;

S_d = desvio padrão da dosagem, em megapascals.

3.9.1.1 Concreto com desvio padrão conhecido

Para este caso, o valor numérico do desvio padrão S_d deve ser fixado com no mínimo 20 resultados consecutivos obtidos no intervalo de 30 dias, em período imediatamente anterior. Em nenhum caso o valor de S_d adotado pode ser menor que 2 MPa.

3.9.1.2 Concreto com desvio padrão desconhecido

Quando não se conhece o valor do desvio padrão S_d , deve-se adotar para o cálculo da resistência de dosagem o valor apresentado no quadro 5, de acordo com a seguinte condição de preparo:

- a) condição A (aplicável às classes C10 até C80): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados;
- b) condição B,
 - aplicável às classes C10 até C25: o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume;
 - aplicável às classes C10 até C20: o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em volume. A umidade do agregado miúdo é determinada pelo menos três vezes durante o serviço do mesmo turno de concretagem. O volume de agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento estabelecida especificamente para o material utilizado;
- c) condição C (aplicável apenas aos concretos de classe C10 e C15): o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto.

Quadro 5 – Desvio padrão a ser adotado em função da condição de preparo (NBR 12655)

Condição	Desvio padrão
A	4,0
B	5,5
C ¹⁾	7,0
⁽¹⁾ Para condição de preparo C, e enquanto não se conhece o desvio padrão, exige-se para os concretos de classe C15 o consumo mínimo de 350 kg de cimento por metro cúbico.	

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006)

3.9.2 Ensaio de consistência

De acordo com a NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), para concreto usinado, deve-se realizar o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone para cada caminhão betoneira que a obra recebe, antes de utilizar o concreto.

Conforme a NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998), para a determinação da consistência pelo abatimento tronco de cone é necessária uma aparelhagem específica para a realização do ensaio. Essa aparelhagem consta de um molde para corpo de prova de ensaio feito de metal com espessura igual ou superior de 1,5 mm, seu interior deve ser liso e deve possuir uma forma de um tronco cone oco com diâmetro da base inferior de 200 mm \pm 2, base superior de 100 mm \pm 2 e uma altura de 300 mm \pm 2, tendo ambas as bases abertas. Além do molde, é necessário para realização do ensaio uma haste de compactação de seção circular, reta, com diâmetro de 16 mm, comprimento de 60mm e extremidades arredondadas e também de uma placa base para apoio do molde, que deve ser metálica, plana, quadrada ou retangular, com lados não inferiores a 500 mm e espessura igual ou superior a 3 mm.

Ainda segundo a NBR NM 67, para realizar o ensaio deve-se umedecer o molde e a placa de base, colocando o molde sobre a placa de base. Em seguida o molde é preenchido com concreto em três camadas, sendo cada camada compactada com 25 golpes da haste de socamento. Retira-se o excesso de concreto que ficou para fora do molde ou completa-se no caso de ter faltado, limpa-se a base e então é retirado o molde com um movimento constante

de 5 à 10 segundos, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral. Imediatamente após a retirada do molde é medido o abatimento, que é determinado pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova de concreto que sofreu abatimento.

3.9.3 Formação de lotes e amostragem

Segundo a NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), a amostragem do concreto para o ensaio de resistência à compressão deve ser feita dividindo-se a estrutura em lotes que atendam aos limites do quadro 6.

Quadro 6 – Valores para formação de lotes de concreto (NBR 12655)

Limites superiores	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples
Volume do concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	3 dias de concretagem *	
* Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de 7 dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntar.		

(fonte: ASSOCIALÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006)

Ainda conforme a NBR 12655, a amostragem pode ser parcial ou total. Como no presente trabalho só ocorre amostragem total, somente este caso é explicado. A amostragem total (100%) consiste no ensaio de exemplares de cada amassada de concreto ou caminhão betoneira utilizado. Neste caso não há limitações para o número de exemplares do lote e o valor estimado da resistência característica é dado por:

- a) para $n \leq 20$, $f_{ckest} = f_1$;
- b) para $n > 20$, $f_{ckest} = f_i$.

Onde:

$i = 0,05 n$. Quando o valor de i for fracionário, adota-se o número inteiro imediatamente superior.

Para a alínea a), f_1 representa o menor valor das resistências dos exemplares.

3.9.4 Moldagem e cura do concreto

Para a moldagem, a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) afirma que os corpos de prova cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do diâmetro e que o diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. As laterais e a base do molde devem ser de aço ou outro material não absorvente que não reaja com o cimento Portland. Para a moldagem deve-se revestir os moldes com uma camada de óleo vegetal para facilitar a futura desmoldagem. O molde é preenchido em camadas e adensado através de uma haste de adensamento ou adensamento por vibração. No caso de adensamento com a haste, deve-se seguir o quadro 7, que define o número de camadas e de golpes conforme o tipo e dimensão do molde. No caso de adensamento por vibração deve-se respeitar o número de camadas conforme o mesmo quadro.

Os tipos de corpos de provas mais utilizados são os cilíndricos, com 20 cm de altura e 10 cm diâmetro. De acordo com a NBR 5738, para este tipo de corpo de prova, é necessário preenchê-lo em uma camada se o adensamento for mecânico ou em duas camadas se for manual, com 12 golpes para o adensamento manual.

Quadro 7 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova (NBR 5738)

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	400	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	400	3	–	–

Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nessa tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003)

Após o adensamento da última camada, deve ser realizado o arrasamento da superfície com a borda do molde, empregando uma régua metálica ou uma colher de pedreiro. Mais tarde os corpos de prova são encaminhados para o local de cura inicial, protegido de intempéries e devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com finalidade de evitar perda de água do concreto.

Ainda conforme a NBR 5738, os corpos de prova após a cura inicial de 24 horas devem ser desmoldados e identificados e são encaminhados para o laboratório, onde devem ser mantidos em câmara úmida até o momento do ensaio.

3.9.5 Ensaio de resistência à compressão

Conforme a NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), para se fazer um controle do concreto por amostragem total, deve-se ensaiar exemplares de todas amassadas de concreto e não há limitação para o número de exemplares. O controle da resistência à compressão do concreto é uma necessidade de comprovação do que está sendo executado frente ao que foi projetado para a estrutura.

Helene e Terzian (1993, p. 110-111) explicam que não é possível obter um resultado mais elevado do que o fornecido por um ensaio de resistência à compressão correto. Ao se analisar dois ou mais corpos de prova de uma mesma amassada, só é possível se obter uma resistência e para isso são desprezados os corpos de prova irmãos que tiveram as resistências mais baixas, adotando sempre a maior. Este valor mais alto é o adotado por ser o menos afetado negativamente em todo o ensaio, representando a melhor resistência potencial do concreto. O ensaio não é capaz de elevar o seu valor real de resistência, por isso este valor mais alto é a máxima resistência à compressão que esse concreto pode apresentar à idade do ensaio.

Para a realização do ensaio, conforme a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007b), a calibração da máquina de ensaio deve ser feita, conforme prescrito na ABNT NBR NM ISO 7500-1, em intervalos não maiores que 12 meses, e o paquímetro, utilizado para determinação das dimensões, deve ser calibrado em intervalos não maiores do que 24 meses.

Para o preparo dos corpos de prova, a NBR 5739 diz que até a idade do ensaio, os corpos de prova devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturada e antes da execução do

ensaio deve ter suas bases preparadas de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 5738, que conta que a retificação consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material do topo a ser preparado. É executada por máquinas especialmente adaptadas, garantindo a integridade estrutural do corpo de prova e proporcionando uma superfície lisa e livre de ondulações. Outra opção de regularização da superfície é o capeamento, que consiste no revestimento do topo do corpo de prova com uma fina camada de um material apropriado, com aderência ao corpo de prova, compatibilidade química com o concreto, fluidez na sua aplicação, acabamento liso e plano após endurecimento e resistência à compressão compatível com os valores obtidos em concreto. Essa superfície de capeamento não deve exceder 3 mm em cada topo.

Segundo a NBR 5739, antes de iniciar o ensaio de resistência à compressão, as faces dos pratos de compressão e do corpo de prova devem ser limpas e secas. O corpo de prova deve ser cuidadosamente centralizado no prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência. O carregamento de ensaio deve ser aplicado continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento constante de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s. O carregamento só deve cessar quando houver uma queda de força que indique sua ruptura. Os resultados são apresentados em megapascals, com três algarismos significativos.

4 ESTUDO DE VARIABILIDADE

Como definido no planejamento deste trabalho, foram realizadas coletas de dados em duas obras em Porto Alegre, identificados como obra 1 e obra 2, realizadas por construtoras diferentes. Cada obra teve o concreto fornecido por uma concreteira diferente, identificadas também com a respectiva numeração da obra, concreteira 1 e 2. Ambas as obras tiveram o controle tecnológico realizado pela mesma empresa. O quadro 8 apresenta um resumo das empresas envolvidas neste trabalho.

Quadro 8 – Resumo de empresas envolvidas

Obra 1	Obra 2
Concreto fornecido pela Concreteira 1 f_{ck} 30 MPa	Concreto fornecido pela Concreteira 2 f_{ck} 30 MPa
Controle tecnológico realizado pela mesma empresa	

(fonte: elaborado pelo autor)

Este estudo limitou-se ao concreto utilizado nas estruturas como pilares, vigas e lajes, com resistência característica de 30 MPa, sendo somente analisados 50 caminhões de concreto por obra, escolhidos aleatoriamente. Cada caminhão betoneira transportou 8 m³ com resistência característica à compressão solicitada pela obra de 30 MPa e ao chegar nas obras, passavam pelo mesmo processo de controle tecnológico.

O controle em ambas as obras era feito desde a chegada do caminhão betoneira, onde era realizado o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump*) e caso estivesse dentro do solicitado era aprovado e liberado para a concretagem. Caso contrário era enviado de volta para a concreteira. No caso de aprovação do *slump* eram moldados os corpos de provas (CPs) e identificados, sendo mais tarde recolhidos pela empresa, preparados e encaminhados para os ensaios de resistência à compressão nas idades especificadas.

O ensaio de determinação de consistência e as moldagens eram realizados por um profissional treinado conforme NBR NM 67 e NBR 5738, respectivamente. Após o recolhimento dos CPs,

estes passavam por um processo de desmoldagem, cura e retificação da superfície. Posteriormente, o CP era submetido a uma carga constante em uma prensa até a sua ruptura, de acordo com a NBR 5739.

Como já mencionado, a resistência característica para as duas obras estudadas neste trabalho é de 30 MPa. Sendo assim calculou-se a resistência de dosagem, que foi utilizado nas análises seguintes. Primeiramente verificou-se a condição de preparo do concreto para estas obras. Conforme a NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), estas obras se enquadram na condição A do quadro 5, aplicável às classes C10 até C80. Sendo assim, pelo quadro 5, deve-se considerar um desvio padrão de 4 MPa. Finalmente pela fórmula 1, com f_{ck} igual a 30 MPa e S_d igual a 4 MPa, tem-se uma resistência f_c igual à 36,6 MPa para ambas as obras em estudo.

Os dados analisados referentes à obra 1 e 2 foram obtidos junto à equipe de engenharia da obra, porém o responsável pelos resultados dos ensaios de resistência à compressão é um laboratório de controle tecnológico contratado.

A formação de lotes obedeceu aos limites da NBR 12655. O controle de recebimento foi realizado para todos os caminhões betoneiras que chegavam à obra e foram moldados 4 corpos de prova para cada caminhão nas dimensões 10 x 20 cm, para determinação da resistência à compressão, sendo 2 exemplares para ensaio aos 7 dias e 2 exemplares para ensaio aos 28 dias. Neste trabalho só são utilizados os ensaios aos 28 dias.

4.1 APRESENTAÇÃO DA OBRA 1

A obra 1 estudada caracteriza-se por um condomínio vertical residencial de médio à alto padrão, composto por 2 torres. Cada torre tem 18 pavimentos tipo e mais o térreo e ainda possui 2 pavimentos de sub solo. O pavimento tipo apresenta 4 apartamentos por andar e uma área de aproximadamente 500 m². A empresa responsável pelo concreto fornecido nesta obra é a concreteira 1 e o cimento utilizado na produção do concreto de toda obra foi do tipo CP V-ARI. O quadro 9 apresenta um resumo das características da obra.

Quadro 9 – Resumo da obra 1

Tipo:	Residencial
Área construída:	16000 m ² *
Torres:	2
Número de pavimentos:	18
Período estudado:	19/08/11 à 20/04/12
Concreto f_{ck}:	30 MPa
Volume de concreto (aprox.):	7000 m ³ *
* Valores aproximados	

(fonte: elaborado pelo autor)

Para fins desta pesquisa, é analisada somente a torre B até o 8º pavimento, onde o concreto tem uma resistência à compressão de projeto de 30 MPa. Acima do 8º pavimento não será estudado, pois apresenta uma resistência abaixo de 30 MPa.

4.1.1 Resultados dos ensaios de resistência à compressão

A tabela 1 apresenta as informações de cada concretagem, com suas respectivas datas, locais concretados e número de caminhões necessários para abastecer cada peça estrutural. Foram necessárias 19 concretagens e recebidos 145 caminhões betoneiras para abastecê-las.

Tabela 1 – Concretagens estudadas da obra 1

Concretagem	Data	Caminhões	Local
1	24/11/2011	7	Contrapiso 2º Subsolo
2	26/11/2011	2	Pilares 2º Subsolo
3	03/12/2011	11	Laje e vigas do 1º Subsolo
4	09/12/2011	4	Pilares do 1º Subsolo
5	15/12/2011	12	Laje e vigas do Térreo
6	26/12/2011	5	Pilares do Térreo
7	03/01/2012	15	Laje e vigas do 2º Pav
8	11/01/2012	3	Pilares do 2º Pav
9	17/01/2012	12	Laje e vigas do 3º Pav
10	24/01/2012	4	Pilares do 3º Pav
11	27/01/2012	11	Laje e vigas do 4º Pav
12	06/02/2012	4	Pilares do 4º Pav
13	09/02/2012	11	Laje e vigas do 5º Pav
14	16/02/2012	4	Pilares do 5º Pav
15	20/02/2012	12	Laje e vigas do 6º Pav
16	24/02/2012	4	Pilares do 6º Pav
17	29/02/2012	11	Laje e vigas do 7º Pav
18	06/03/2012	3	Pilares do 7º Pav
19	09/03/2012	10	Laje e vigas do 8º Pav

(fonte: elaborado pelo autor)

As resistências potenciais para cada amostragem são apresentadas na tabela 2, em que 2 corpos de provas moldados por caminhão e ensaiados aos 28 dias, já foram eliminados os valores de resistência mais baixas e considerada somente a resistência potencial para cada amostragem de caminhão.

Tabela 2 – Resistência potencial da obra 1

Concre- tagem	Resistência potencial aos 28 dias (MPa)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	37,2	33,4	35,6	36,0	32,4	32,6	33,1								
2	39,7	40,1													
3	33,0	34,2	33,3	34,4	30,5	32,4	35,1	33,6	32,1	33,4	35,7				
4	35,7	36,4	39,3	35,6											
5	36,8	40,3	36,4	38,2	42,1	37,3	36,2	40,4	37,3	36,3	37,8	37,9			
6	34,3	36,1	33,7	35,1	38,2										
7	47,7	43,5	42,6	46,1	43,5	48,5	43,2	44,3	50,1	50,2	45,2	51,0	43,4	47,8	43,4
8	36,8	36,8	41,1												
9	47,4	42,8	48,3	46,1	51,8	46,6	45,6	38,7	43,7	46,9	44,5	35,2			
10	43,1	57,8	38,8	42,1											
11	47,2	49,1	48,4	41,0	39,0	41,8	47,2	44,1	42,4	42,1	40,5				
12	48,9	47,2	52,8	52,1											
13	46,1	40,2	38,5	41,0	48,1	43,7	40,2	38,0	40,5	42,0	39,4				
14	42,6	32,7	41,6	40,8											
15	43,1	44,4	40,3	47,7	44,7	41,3	43,0	42,6	47,0	48,3	46,3	42,5			
16	42,5	39,7	40,3	41,5											
17	43,5	39,6	52,0	49,6	46,1	45,5	48,3	51,5	53,8	44,7	39,3				
18	41,6	41,8	43,1												
19	33,3	46,5	45,9	40,1	43,9	43,5	42,6	46,1	48,5	44,6					

(fonte: elaborado pelo autor)

4.1.2 Controle estatístico do concreto conforme norma NBR 12655/2006 para a obra 1

Neste estudo foi realizado um controle estatístico por amostragem total (100%), onde foram ensaiados corpos de prova de todos os caminhões recebidos na obra e para o cálculo do valor para a resistência característica estimada, no caso de o número de exemplares por lote ser inferior a 20, ordena-se em ordem crescente a resistência dos exemplares, adotando a primeiro valor como a resistência característica estimada, ou seja, a menor resistência encontrada. A tabela 2 representa a resistência potencial de cada amostra, sendo ordenados para obter a resistência característica estimada, apresentada na tabela 3.

Caso a resistência estimada seja maior que a resistência característica de 30 MPa, o lote é aceito. A tabela 3 também mostra a resistência característica efetiva para cada lote, onde é possível observar que todos os lotes foram aceitos. O pior caso foi para a concretagem 3, com 30,5 MPa e a maior resistência estimada encontrada foi de 47,2 MPa para a concretagem 12.

Tabela 3 – Resistência característica estimada para obra 1

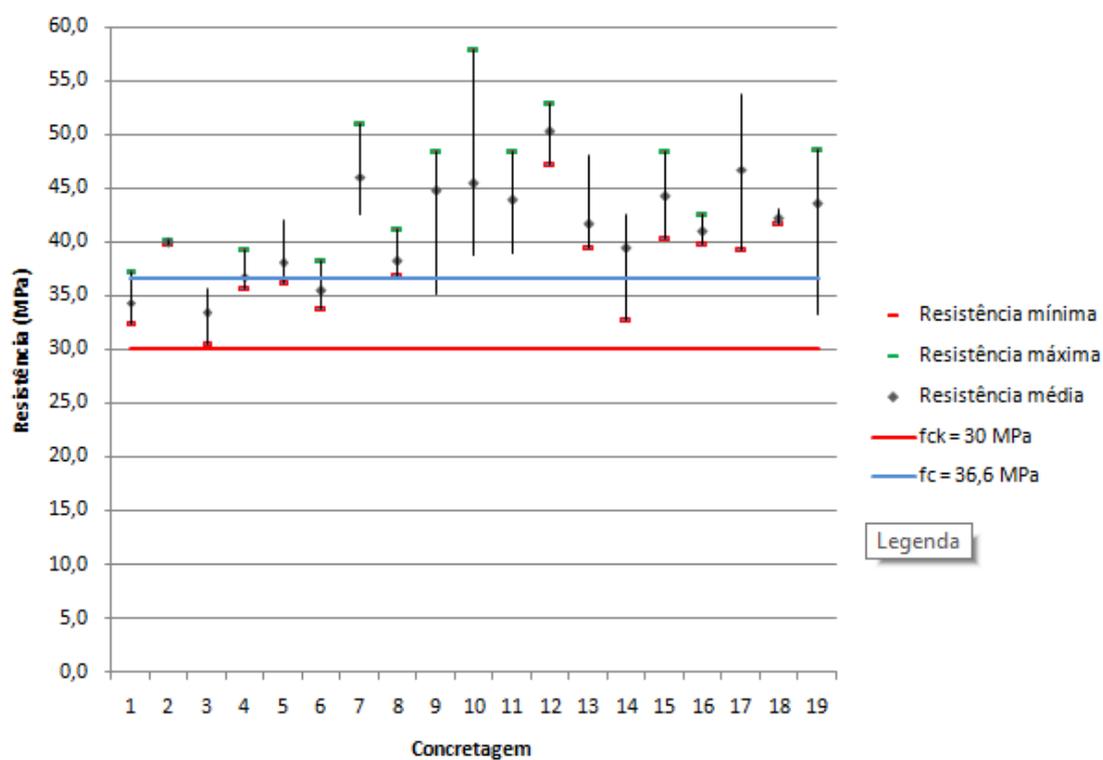
Concretagem	Resistência característica estimada	Aceitação
1	32,4	Aceito
2	39,7	Aceito
3	30,5	Aceito
4	35,6	Aceito
5	36,2	Aceito
6	33,7	Aceito
7	42,6	Aceito
8	36,8	Aceito
9	35,2	Aceito
10	38,8	Aceito
11	39,0	Aceito
12	47,2	Aceito
13	38,0	Aceito
14	32,7	Aceito
15	41,3	Aceito
16	39,7	Aceito
17	39,3	Aceito
18	41,6	Aceito
19	33,3	Aceito

(fonte: elaborado pelo autor)

4.1.3 Análises sobre a variabilidade da obra 1

Para começo desta análise foi plotado o gráfico 1, que apresenta a variação da resistência à compressão máxima, média e mínima, onde pode-se observar a amplitude ocorrida em cada lote. Foi possível identificar alguns casos onde ocorreu uma amplitude bastante significativa.

Gráfico 1 – Variação da resistência máxima, mínima e média para a obra 1



(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 4 mostra essas amplitudes em valores, onde o pior caso foi de 19 MPa na concretagem 10 e a menor amplitude ocorreu na concretagem 2, de 0,4 MPa.

Tabela 4 – Análises da média, desvio padrão e coef. de variação para a obra 1

Concre- tagem	Média	Desvio Padrão	Coef. De Variação	Resist. Mínima	Resist. Máxima	Amplitude
1	34,3	1,90	0,055	32,4	37,2	4,8
2	39,9	0,28	0,007	39,7	40,1	0,4
3	33,4	1,45	0,043	30,5	35,7	5,2
4	36,8	1,74	0,047	35,6	39,3	3,7
5	38,1	1,88	0,049	36,2	42,1	5,9
6	35,5	1,77	0,050	33,7	38,2	4,5
7	46,0	2,94	0,064	42,6	51,0	8,4
8	38,2	2,48	0,065	36,8	41,1	4,3
9	44,8	4,40	0,098	35,2	51,8	16,6
10	45,5	8,44	0,186	38,8	57,8	19,0
11	43,9	3,51	0,080	39,0	48,4	9,4
12	50,3	2,65	0,053	47,2	52,8	5,6
13	41,6	3,16	0,076	38,0	48,1	8,1
14	39,4	4,54	0,115	32,7	42,6	9,9
15	44,3	2,58	0,058	40,3	48,3	8,0
16	41,0	1,25	0,030	39,7	42,5	2,8
17	46,7	4,83	0,103	39,3	53,8	14,5
18	42,2	0,81	0,019	41,6	43,1	1,5
19	43,5	4,27	0,098	33,3	48,5	15,2

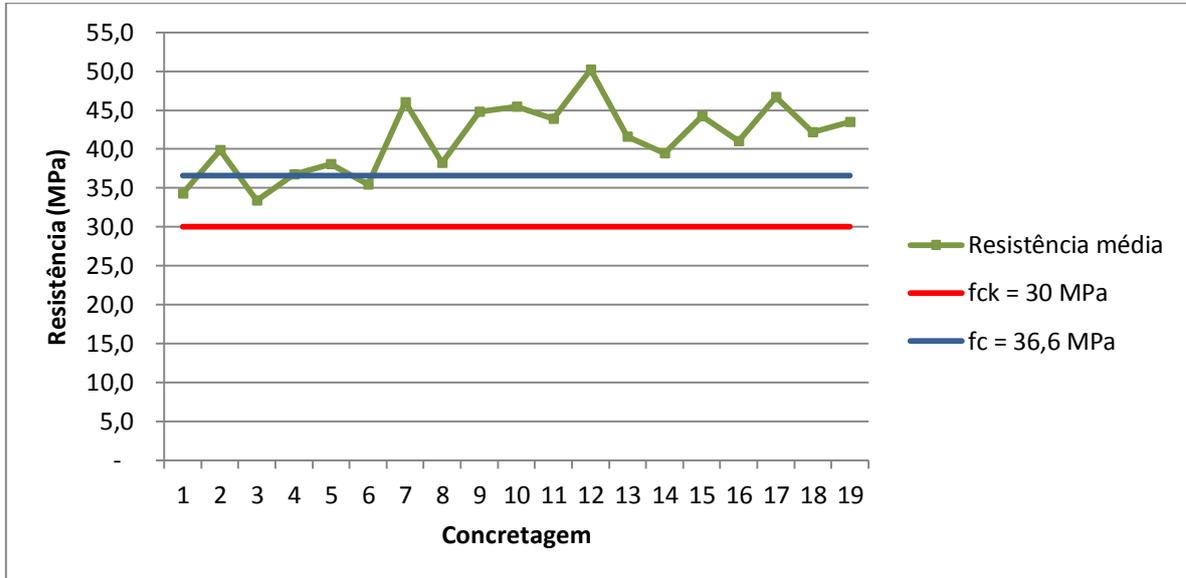
(fonte: elaborado pelo autor)

Através destes dados também foi possível observar que apesar de todas as resistências potenciais terem atingido a resistência característica, nem todas atingiram a resistência de dosagem calculada, de 36,6 MPa. Na tabela 4 pode-se observar que o lotes 9, com um desvio padrão de 4,40 MPa, o lote 10 com 8,44 MPa, o 14 com 4,54 MPa, o 17 com 4,83 MPa e o lote 19 com 4,27 MPa de desvio padrão, apresentaram valores significativamente altos, se comparado com ao desvio padrão de 4 MPa, utilizado pela norma para calcular a resistência de dosagem. Isso corresponde a aproximadamente 26,3% dos lotes com um desvio padrão elevado, acima dos 4 MPa da norma.

Utilizando a tabela 4, foi possível plotar o gráfico 2, apresentando as resistências à compressão média por lote. Neste gráfico foi possível observar que todas as médias estão acima da resistência característica e 15,8% das resistências médias não atingiram o valor calculado para a resistência de dosagem f_c , correspondendo a 3 dos 19 lotes analisados. Pode-se observar também uma variabilidade bastante significativa pela estrutura gráfica

apresentada, onde inicialmente os lotes apresentam uma variabilidade menor com as resistências mais próximas da resistência característica e depois por algum motivo de segurança, a resistência tende a subir e apresentar uma variabilidade maior.

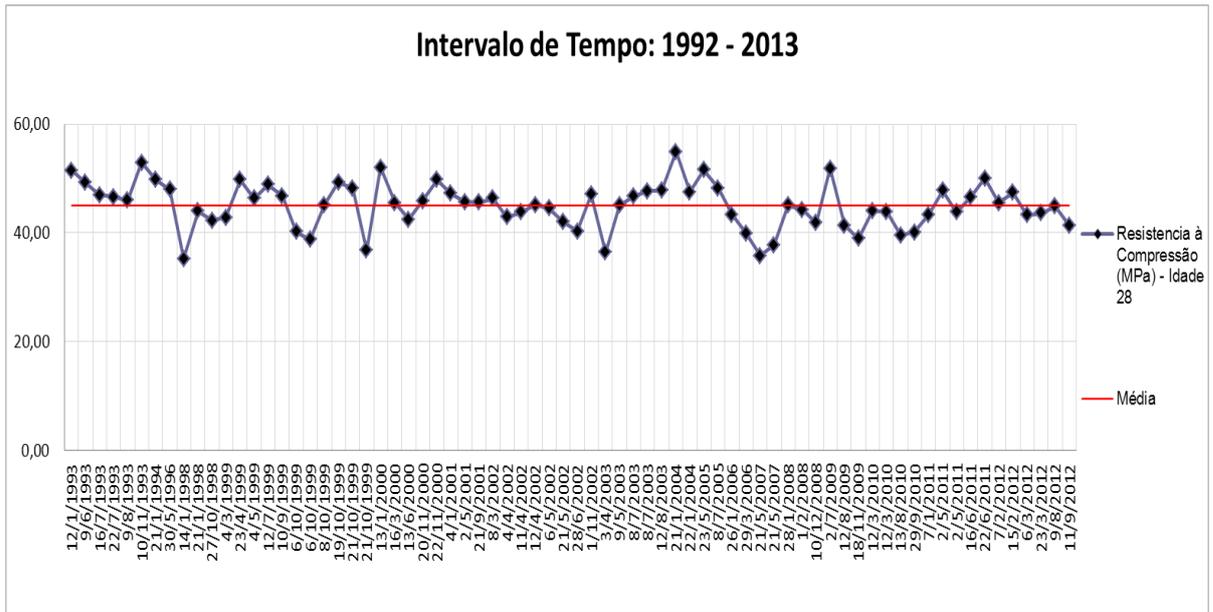
Gráfico 2 – Variação da resistência média para a obra 1



(fonte: elaborado pelo autor)

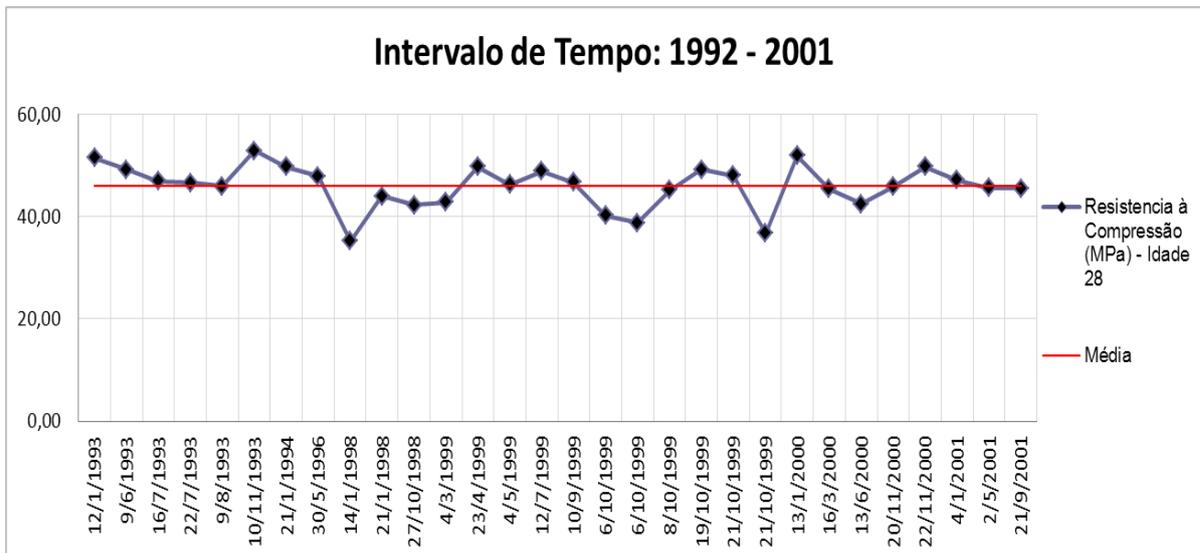
Pode-se observar que da concretagem 6 para a 7 ocorre a virada do ano de 2011 para 2012, justamente onde começa a apresentar uma variabilidade bem mais elevada. Esta variabilidade pode-se atribuir a diversos motivos, como influência dos materiais utilizados ou dos procedimentos do ensaio. Um dos principais aspectos que pode explicar essa variabilidade na resistência do concreto é a própria variação na resistência do cimento, conforme demonstra o gráfico 3 e 4 da variabilidade do cimento CP V-ARI de marcas diferentes, que é o cimento que foi utilizado em toda produção de concreto desta obra.

Gráfico 3 – Variação da resistência do cimento CP V-ARI da marca A



(fonte: GIRARDI, 2014)

Gráfico 4 – Variação da resistência do cimento CP V-ARI da marca B



(fonte: GIRARDI, 2014)

Para todos esses dados foram obtidos também a média das médias, desvio padrão médio e o coeficiente de variação médio que estão representados na tabela 5. A média das médias obtida foi de 41,8 MPa, ficando acima da resistência característica de 30 MPa e acima da resistência de dosagem de 36,6 MPa. O desvio padrão obtido foi de 5,45 MPa, considerado um valor alto

ao se comparar com o desvio padrão de 4 MPa, utilizado pela norma para calcular a resistência de dosagem.

Tabela 5 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação para a obra 1

Resultados gerais	
Média	41,8
Desvio Padrão	5,451
Coef. De Variação	0,130

(fonte: elaborado pelo autor)

4.2 APRESENTAÇÃO DA OBRA 2

A obra 2 estudada caracteriza-se por um condomínio vertical residencial de médio a alto padrão, composto por 2 torres. Cada torre tem 14 pavimentos tipo, o térreo e o 2º de estacionamento e o 3º pavimento de área de lazer. O pavimento tipo apresenta 4 apartamentos por andar e uma área de aproximadamente 500 m². A empresa responsável pelo concreto fornecido nesta obra é a concreteira 2 e o cimento utilizado na produção do concreto de toda obra foi do tipo CP II Z-32. O quadro 10 apresenta um resumo das características da obra.

Quadro 10 – Resumo da obra 2

Tipo:	Residencial
Área construída:	18000 m ² *
Torres:	2
Número de pavimentos:	17
Período estudado:	03/01/13 à 01/10/13
Concreto f_{ck}:	30 MPa
Volume de concreto (aprox.):	6000 m ³ *
* Valores aproximados	

(fonte: elaborado pelo autor)

Para fins desta pesquisa, é analisada somente a torre 1 completa.

4.2.1 Resultados dos ensaios de resistência à compressão

A tabela 6 apresenta as informações de cada concretagem, com suas respectivas datas, locais concretados e número de caminhões necessários para abastecer cada peça estrutural. Foram necessárias 38 concretagens e recebidos 299 caminhões betoneiras para abastecê-las.

Tabela 6 – Concretagens estudadas da obra 2

Concretagem	Data	Caminhões	Local
1	03/01/2013	4	Pilares do 1º Pav
2	07/01/2013	4	Pilares do 1º Pav
3	14/01/2013	10	Laje do 2º Pav
4	17/01/2013	12	Laje do 2º Pav
5	04/02/2013	4	Pilares do 2º Pav
6	07/02/2013	4	Pilares do 2º Pav
7	15/02/2013	12	Laje do 3º Pav
8	19/02/2013	10	Laje do 3º Pav
9	11/03/2013	4	Pilares do 3º Pav
10	18/03/2013	12	Laje do 4º Pav
11	21/03/2013	4	Pilares do 4º Pav
12	28/03/2013	13	Laje do 5º Pav
13	05/04/2013	6	Pilares do 5º Pav
14	12/04/2013	12	Laje do 6º Pav
15	22/04/2013	4	Pilares do 6º Pav
16	26/04/2013	13	Laje do 7º Pav
17	08/05/2013	4	Pilares do 7º Pav
18	11/05/2013	12	Laje do 8º Pav
19	18/05/2013	4	Pilares do 8º Pav
20	25/05/2013	10	Laje do 9º Pav
21	03/06/2013	5	Pilares do 9º Pav
22	06/06/2013	11	Laje do 10º Pav
23	13/06/2013	4	Pilares do 10º Pav
24	19/06/2013	12	Laje do 11º Pav
25	27/06/2013	4	Pilares do 11º Pav
26	03/07/2013	12	Laje do 12º Pav
27	12/07/2013	4	Pilares do 12º Pav
28	19/07/2013	12	Laje do 13º Pav
29	26/07/2013	4	Pilares do 13º Pav
30	01/08/2013	12	Laje do 14º Pav
31	09/08/2013	3	Pilares do 14º Pav
32	17/08/2013	12	Laje do 15º Pav
33	26/08/2013	3	Pilares do 15º Pav
34	31/08/2013	12	Laje do 16º Pav
35	10/09/2013	3	Pilares do 16º Pav
36	16/09/2013	12	Laje do 17º Pav
37	25/09/2013	4	Pilares do 17º Pav
38	01/10/2013	12	Laje Cobertura

(fonte: elaborado pelo autor)

As resistências potenciais para cada amostragem são apresentadas na tabela 7, onde dos 2 corpos de provas moldados por caminhão e ensaiados aos 28 dias, já foram eliminados os valores de resistência mais baixas e considerada somente a resistência potencial para cada amostragem de caminhão.

Tabela 7 – Resistência potencial para obra 2

Concre- tagem	Resistências potenciais aos 28 dias (Mpa)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	34,6	33,2	35,1	33,6									
2	38,4	35,1	31,6	35,3									
3	34,2	35,1	35,6	36,9	34,1	40,0	35,7	34,7	36,2	36,8			
4	40,3	38,6	41,0	38,1	41,4	37,2	37,1	39,2	41,3	36,1	33,4	39,1	
5	32,3	33,1	33,5	32,7									
6	32,0	32,6	31,6	33,1									
7	33,7	35,0	32,3	33,0	32,0	39,0	32,7	30,3	30,7	33,0	30,1	36,1	
8	34,3	32,6	32,2	30,7	32,6	31,0	35,4	32,2	33,3	32,6			
9	41,3	36,9	38,2	38,2									
10	31,7	38,1	36,8	31,7	31,7	32,7	37,6	30,1	35,4	35,4	40,0	33,4	
11	33,7	37,5	33,7	31,3									
12	32,1	30,8	36,8	35,7	31,4	36,8	34,2	32,5	34,1	32,6	38,1	33,0	32,4
13	37,1	33,6	35,3	33,5	32,3	33,2							
14	32,3	31,5	30,8	30,1	31,2	33,8	32,6	31,7	31,3	31,2	31,1	30,5	
15	32,6	31,2	30,5	30,8									
16	32,4	34,1	36,0	33,4	36,3	32,7	32,1	37,0	35,5	33,4	33,0	32,6	35,1
17	33,1	31,4	31,0	32,1									
18	33,2	32,8	31,3	31,7	31,5	31,5	31,5	32,6	32,7	31,3	31,2	31,5	
19	38,1	37,2	35,6	35,2									
20	31,5	31,8	35,7	38,3	32,1	26,1	31,4	31,9	31,3	32,6			
21	30,7	30,3	31,3	30,8	30,1								
22	32,2	34,0	32,1	30,8	32,7	30,6	33,0	32,3	33,8	32,0	30,5		
23	31,4	34,2	35,1	33,6									
24	34,4	32,6	36,1	38,2	35,6	36,3	32,2	33,0	35,1	32,0	34,1	35,1	
25	33,3	34,1	36,4	37,6									
26	36,5	36,1	37,2	32,2	33,9	38,7	36,5	36,7	36,8	32,3	35,2	32,2	
27	37,8	32,7	35,1	34,9									
28	30,5	28,6	27,2	26,8	31,2	28,5	30,7	31,2	30,2	31,1	31,2	25,1	
29	34,7	37,1	32,2	34,0									
30	33,4	35,1	33,9	31,7	33,8	31,3	32,1	36,4	35,8	33,0	34,2	31,9	
31	31,6	33,6	32,8										
32	34,1	32,6	35,2	33,1	37,4	35,5	34,9	32,6	33,4	33,5	41,6	40,9	
33	34,5	31,6	32,3										
34	32,3	33,3	32,4	33,7	32,2	31,5	31,7	32,4	31,6	31,4	32,6	31,4	
35	31,7	33,6	34,1										
36	41,4	37,3	38,1	42,3	37,4	37,4	36,2	38,3	41,4	36,7	36,2	35,7	
37	37,2	37,8	39,6	35,2									
38	36,8	37,5	36,3	34,2	35,6	35,9	33,1	33,9	36,1	37,2	37,8	36,7	

(fonte: elaborado pelo autor)

4.2.2 Controle estatístico do concreto conforme norma NBR 12655/2006 para a obra 2

Neste estudo foi realizado um controle estatístico por amostragem total (100%), onde foram ensaiados corpos de prova de todos os caminhões recebidos na obra e para o cálculo do valor para a resistência característica estimada, no caso de o número de exemplares por lote ser inferior a 20, ordena-se em ordem crescente a resistência dos exemplares, adotando a primeiro valor como a resistência característica estimada, ou seja, a menor resistência encontrada. A tabela 8 representa a resistência potencial de cada concretagem, sendo ordenadas para obter a resistência característica estimada, apresentada na tabela 8.

Caso a resistência estimada seja maior que a resistência característica de 30 MPa, o lote é aceito. A tabela 8 também mostra a resistência característica efetiva para cada lote, onde é possível observar que os lotes 20 e 28 não foram aceitos, com resistência característica efetiva de 26,1 MPa e 25,1 MPa, respectivamente. A maior resistência característica efetiva ocorreu na concretagem 9 e foi de 36,9 MPa.

Tabela 8 – Resistência característica estimada para obra 2

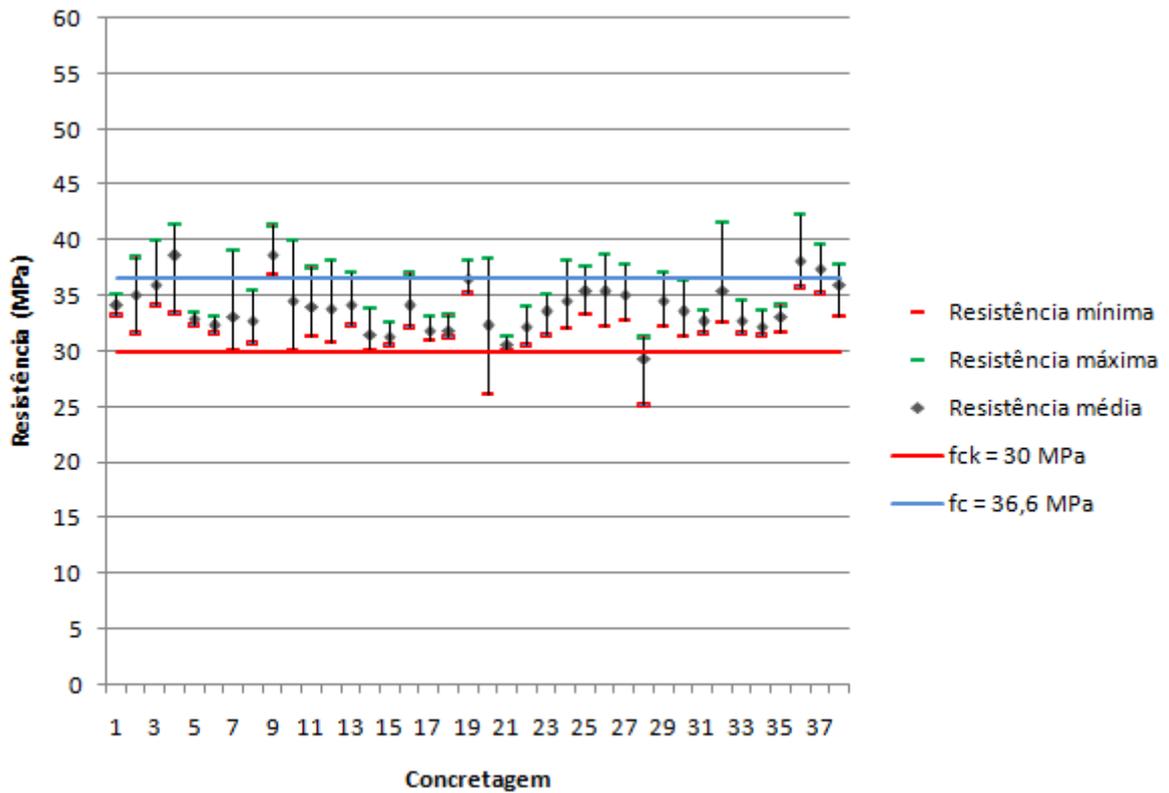
Concretagem	Resistência característica estimada	Aceitação
1	33,2	Aceito
2	31,6	Aceito
3	34,1	Aceito
4	33,4	Aceito
5	32,3	Aceito
6	31,6	Aceito
7	30,1	Aceito
8	30,7	Aceito
9	36,9	Aceito
10	30,1	Aceito
11	31,3	Aceito
12	30,8	Aceito
13	32,3	Aceito
14	30,1	Aceito
15	30,5	Aceito
16	32,1	Aceito
17	31,0	Aceito
18	31,2	Aceito
19	35,2	Aceito
20	26,1	Rejeitado
21	30,1	Aceito
22	30,5	Aceito
23	31,4	Aceito
24	32,0	Aceito
25	33,3	Aceito
26	32,2	Aceito
27	32,7	Aceito
28	25,1	Rejeitado
29	32,2	Aceito
30	31,3	Aceito
31	31,6	Aceito
32	32,6	Aceito
33	31,6	Aceito
34	31,4	Aceito
35	31,7	Aceito
36	35,7	Aceito
37	35,2	Aceito
38	33,1	Aceito

(fonte: elaborado pelo autor)

4.2.3 Análises sobre a variabilidade

Para começo desta análise foi plotado o gráfico 5, que apresenta a variação da resistência à compressão máxima, média e mínima, onde pode-se observar a amplitude ocorrida em cada lote. Foi possível identificar alguns casos onde ocorreu uma amplitude bastante significativa.

Gráfico 5 – Variação da resistência máxima, mínima e média para a obra 2



(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 9 mostra essas amplitudes em valores, onde o pior caso foi de 12,2 MPa na concretagem 20 e as menores amplitudes ocorreram nas concretagens 5 e 21, de 1,2 MPa.

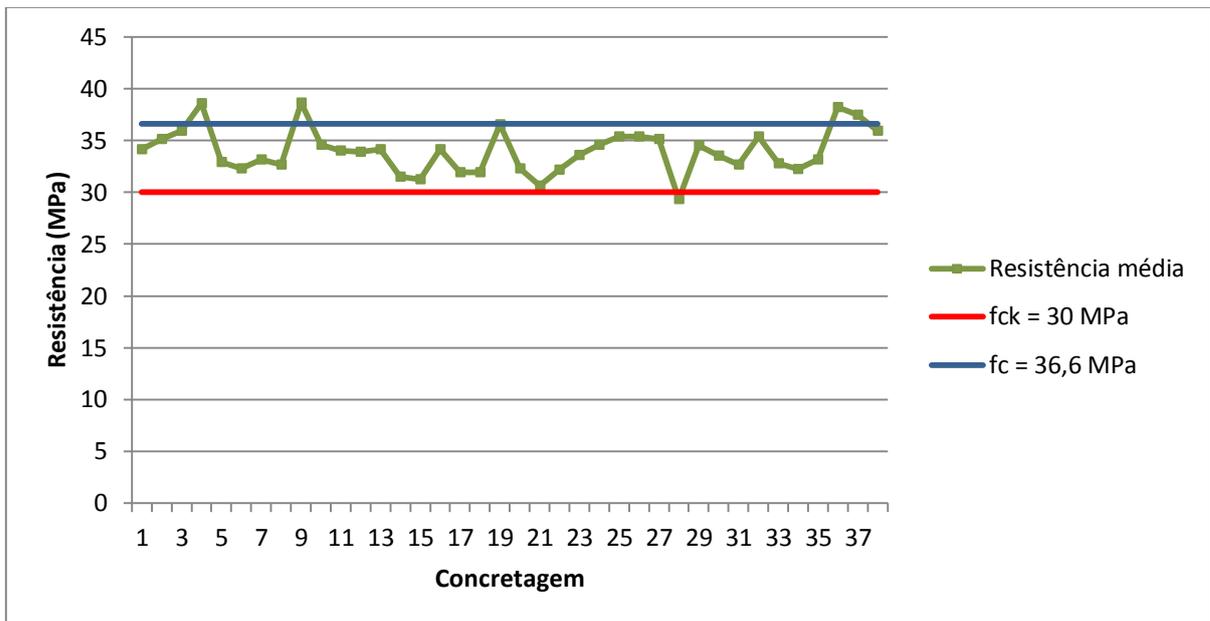
Tabela 9 – Análises da média, desvio padrão e coef. de variação para a obra 2

Concre- tagem	Média	Desvio Padrão	Coef. De Variação	Resist. Mínima	Resist. Máxima	Amplitude
1	34,13	0,88	0,026	33,2	35,1	1,9
2	35,10	2,78	0,079	31,6	38,4	6,8
3	35,93	1,73	0,048	34,1	40,0	5,9
4	38,57	2,38	0,062	33,4	41,4	8,0
5	32,90	0,52	0,016	32,3	33,5	1,2
6	32,33	0,66	0,020	31,6	33,1	1,5
7	33,16	2,56	0,077	30,1	39,0	8,9
8	32,69	1,40	0,043	30,7	35,4	4,7
9	38,65	1,87	0,048	36,9	41,3	4,4
10	34,55	3,12	0,090	30,1	40,0	9,9
11	34,05	2,56	0,075	31,3	37,5	6,2
12	33,88	2,30	0,068	30,8	38,1	7,3
13	34,17	1,74	0,051	32,3	37,1	4,8
14	31,51	1,00	0,032	30,1	33,8	3,7
15	31,28	0,93	0,030	30,5	32,6	2,1
16	34,12	1,66	0,049	32,1	37,0	4,9
17	31,90	0,92	0,029	31,0	33,1	2,1
18	31,90	0,71	0,022	31,2	33,2	2,0
19	36,53	1,36	0,037	35,2	38,1	2,9
20	32,27	3,14	0,097	26,1	38,3	12,2
21	30,64	0,47	0,015	30,1	31,3	1,2
22	32,18	1,19	0,037	30,5	34,0	3,5
23	33,58	1,58	0,047	31,4	35,1	3,7
24	34,56	1,88	0,054	32,0	38,2	6,2
25	35,35	1,99	0,056	33,3	37,6	4,3
26	35,36	2,20	0,062	32,2	38,7	6,5
27	35,13	2,09	0,059	32,7	37,8	5,1
28	29,36	2,08	0,071	25,1	31,2	6,1
29	34,50	2,03	0,059	32,2	37,1	4,9
30	33,55	1,65	0,049	31,3	36,4	5,1
31	32,67	1,01	0,031	31,6	33,6	2,0
32	35,40	3,06	0,087	32,6	41,6	9,0
33	32,80	1,51	0,046	31,6	34,5	2,9
34	32,21	0,74	0,023	31,4	33,7	2,3
35	33,13	1,27	0,038	31,7	34,1	2,4
36	38,20	2,25	0,059	35,7	42,3	6,6
37	37,45	1,81	0,048	35,2	39,6	4,4
38	35,93	1,49	0,041	33,1	37,8	4,7

(fonte: elaborado pelo autor)

Através destes dados também foi possível observar que 2 lotes das resistências potenciais não atingiram a resistência característica, representando 5,26%. Na tabela 9 pode-se observar que nenhum dos lotes estudados apresentou um desvio padrão acima de 4 MPa, valor recomendado pela norma para calcular a resistência de dosagem. Utilizando a tabela 9, foi plotado o gráfico 6, apresentando as resistências à compressão média por lote. Neste gráfico pode-se observar também uma variabilidade pouco acentuada.

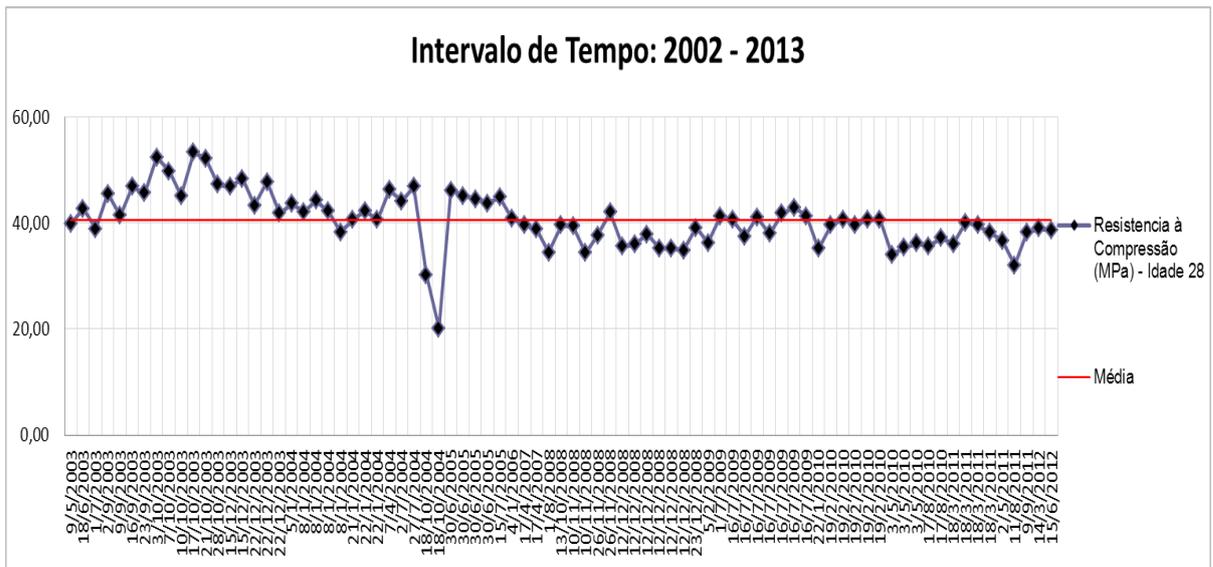
Gráfico 6 – Variação da resistência média para a obra 2



(fonte: elaborado pelo autor)

Esta elevada variabilidade pode-se atribuir a diversos motivos, como influência dos materiais utilizados ou dos procedimentos do ensaio. Um dos principais aspectos que pode explicar essa variabilidade na resistência do concreto é a própria variabilidade do cimento, conforme demonstra o gráfico 7 da variabilidade do cimento CP II Z-32, que é o cimento que foi utilizado em toda produção de concreto desta obra.

Gráfico 7 – Variação da resistência do cimento CP II Z-32 da marca C



(fonte: GIRARDI, 2014)

Para todos esses dados foram obtidos também a média das médias, desvio padrão médio e o coeficiente de variação médio que estão representados na tabela 10. Foi obtida uma média das médias de 34 MPa, ficando acima da resistência característica de 30 MPa, porém abaixo da resistência de dosagem de 36,6 MPa. O desvio padrão obtido foi de 2,86 MPa, considerado um valor bom ao se comparar com o desvio padrão de 4 MPa, utilizado pela norma para calcular a resistência de dosagem.

Tabela 10 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação para a obra 2

Resultados gerais	
Média	34,0
Desvio Padrão	2,860
Coef. De Variação	0,084

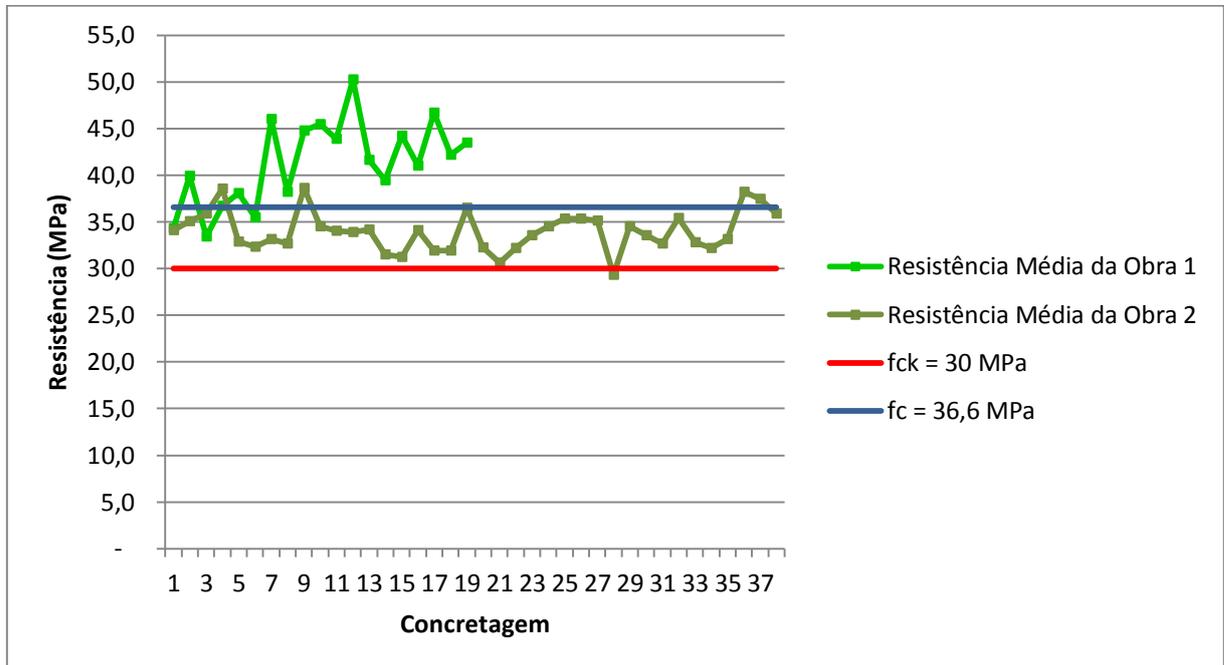
(fonte: elaborado pelo autor)

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A OBRA 1 E OBRA 2

Para que fosse possível essa análise comparativa, foram selecionadas duas obras apresentando a mesma resistência característica, de 30 MPa, com fornecedores de concreto diferentes e uma única empresa responsável pelo controle tecnológico. Deve-se levar em conta também que os períodos de estudos de cada obra são diferentes, assim como o cimento utilizado por cada uma das centrais dosadoras o que impede que esta comparação, tornando esta comparação menos relevante. Por fim, esta análise comparativa tem como objetivo um breve estudo entre as duas centrais dosadoras envolvidas.

Com os dados produzidos até aqui, foi plotado o gráfico 8, onde pode-se comparar e fazer observações quanto a obra 1 e 2. Pode-se perceber uma variabilidade bem mais elevada da central dosadora 1, com uma amplitude da resistência média de 16,8 MPa contra 9,29 MPa de amplitude da central 2 porém com resultados mais efetivos quanto ao objetivo de satisfazer a resistência característica de 30 MPa das obras.

Gráfico 8 – Resistência média da obra 1 e 2



(fonte: elaborado pelo autor)

Também pode-se observar um desvio padrão bastante inferior da concreteira 2, de 2,86 MPa se comparado ao da concreteira 1, com 5,451 MPa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado teve como objetivo analisar a qualidade do concreto usinado de duas obras na cidade de Porto Alegre abastecidos por duas diferentes concreteiras, através da NBR 12655 e de uma análise sobre a variabilidade.

A concreteira da obra 1 apresentou um desempenho satisfatório quanto a atender a resistência característica da obra, porém, mostrou uma variabilidade bastante elevada. Como pode ser verificado, apresentou 26,3% dos desvios padrão por lote acima do sugerido pela norma NBR 12655, de 4 MPa. Também obteve um desvio padrão médio de 5,45 MPa, considerado bastante alto. Foi possível visualizar a elevada variabilidade da resistência à compressão da concreteira 1, registrando-se a menor resistência característica estimada por concretagem de 30,5 MPa e a maior resistência característica estimada de 47,2 MPa.

A concreteira da obra 2 apresentou um desempenho insatisfatório quanto a atender a resistência característica da obra, porém, mostrou uma variabilidade razoavelmente constante. Como pode ser verificado, não apresentou nenhum dos desvios padrão por lote acima do sugerido pela norma NBR 12655. Também obteve um desvio padrão médio de 2,86 MPa, considerado razoável. Foi possível visualizar a pequena variabilidade da resistência à compressão da concreteira 2, chegando a menor resistência característica estimada por concretagem de 25,1 MPa e a maior resistência característica estimada de 36,9 MPa.

Na análise comparativa, através dos dados apresentados e do gráfico 8, pode-se observar que a concreteira da obra 1 apresentou uma variabilidade muito elevada ao se comparar com a concreteira da obra 1. No entanto, a concreteira 1 atendeu a resistência característica de 30 MPa em todos os lotes, mostrando mais confiável, diferente da concreteira 2, que apresentou 2 lotes com resistência inferior aos 30 MPa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico da utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002. Boletim Técnico BT-106.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 7212**: execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007b.

_____. **NBR 5738**: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 5739**: concreto – ensaios de compressão de corpos-de-provas cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007a.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, **Consumo anual de cimento**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>

GIRARDI, R. **Contribuição ao estudo da variabilidade do cimento Portland brasileiro**. Porto Alegre, 2014.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle o concreto**. São Paulo: Pini, 1993 (reimpressão 2001).

ISAIA, G. E. (Ed), **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo. IBRACON, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto & Construções**, ano XXXVIII n. 53, p. 14-19, jan./fev./mar. 2009.

PETRUCCI, G. R. P. **Concreto de cimento Portland**. 12 ed. São Paulo: Globo, 1993.