

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**PRODUÇÃO DE CONCRETO: VERIFICAÇÃO DA
VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO
CONCRETO EM EMPRESAS CONSTRUTORAS DA CIDADE
DE CHAPECÓ.**

Silvio Edmundo Pilz

Porto Alegre
março 2006

SILVIO EDMUNDO PILZ

**PRODUÇÃO DE CONCRETO: VERIFICAÇÃO DA
VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO
CONCRETO EM EMPRESAS CONSTRUTORAS DA CIDADE
DE CHAPECÓ.**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia na
modalidade Profissionalizante

Porto Alegre

março 2006

P643p PILZ, Silvio Edmundo

Produção de Concreto: verificação da variabilidade da resistência à compressão do concreto em empresas construtoras da cidade de Chapecó / Silvio Edmundo Pilz. – 2005.

180 f. : il. ; 30 cm

Trabalho de Conclusão (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, BR-RS, 2006.

Orientação do Prof. Dr. Ruy Alberto Cremonini.

1. Variabilidade. 2. Produção-Concreto. 3. Controle-Concreto. 4. Engenharia Civil. I. Cremonini, Ruy Alberto, orient. II. Título.

CDD 620.136

SILVIO EDMUNDO PILZ

**PRODUÇÃO DE CONCRETO: VERIFICAÇÃO DA
VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO
CONCRETO EM EMPRESAS CONSTRUTORAS DA CIDADE
DE CHAPECÓ.**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, março 2006

Prof. Ruy Alberto Cremonini
Dr. pela EPUSP
Orientador

Prof. Carin Maria Schmitt
Coordenadora do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernanda Macedo Pereira Vieira (CIEN TEC/RS)
Dr. pelo PPGEM/UFGRS

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho (UFRGS)
Ph.D. pela University of Leeds/Inglaterra

Prof. Denise Coitinho Carpena Dal Molin (UFRGS)
Dr. pela EPUSP

À Maquida, Daniel e Patrícia.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Ruy Alberto Cremonini pela tranquilidade e serenidade durante a orientação deste trabalho e pela contribuição na minha formação profissional, um agradecimento especial.

A minha ex-aluna e amiga engenheira Endriana pela contribuição valiosa para o desenvolvimento neste trabalho.

A Unochapecó pelo apoio recebido, em especial pela utilização do laboratório de materiais.

Aos professores do mestrado profissional, em que todos, sem exceção, foram muitos valiosos para mim.

Aos colegas da terceira turma do mestrado profissionalizante, pela amizade, pelo apoio, pelos grandes momentos proporcionados e pela amizade que fica.

Às empresas que participaram deste trabalho, por terem possibilitado a realização dos ensaios em suas obras.

Aos meus pais e a minha irmã.

A todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse possível.

A Deus por um sentido maior na vida.

RESUMO

PILZ, S.E. **Produção de concreto: Verificação da variabilidade da resistência à compressão do concreto em empresas construtoras da cidade de Chapecó.** 2005. 180 f. Trabalho de conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFGRS, Porto Alegre, 2006.

A produção de concreto com a finalidade estrutural é uma das atividades mais importantes na construção civil, que necessita de conhecimento tecnológico para sua realização e de efetivo controle para que possa atender aos critérios de aceitação estabelecidos nas normas técnicas. Porém, ainda há muito concreto sendo produzido de forma empírica, especialmente aquele produzido no canteiro de obras. A atual versão da NBR 12655 estabelece condições para a produção de concreto, que tem sido contestada por pesquisadores, em especial quando da definição da resistência de dosagem. A proposta de revisão da NBR 12655 ainda não contempla alguns dos aspectos que estão em desacordo com a atual NBR 6118, porém propõe mudanças no desvio-padrão para o estabelecimento da resistência de dosagem, bem como muda critério de aceitação do concreto, entre outras mudanças, pela pretensão de se tornar norma Mercosul. O presente trabalho tem por objetivo verificar um valor corrente do desvio-padrão de produção de concreto para empresas construtoras da cidade de Chapecó, através de estudos de caso, bem como verificar a influência dos programas de qualidade no valor deste desvio-padrão, considerando as normas técnicas vigentes e a proposta de revisão da NBR 12655, fazendo um estudo crítico destas normas. Este trabalho justifica-se pelo fato de que na grande maioria das obras nas cidades e pequeno e médio porte do Brasil, boa parte ou todo o concreto é produzido em obra, em parte por não haver centrais dosadoras de concreto. Entre os resultados obtidos através dos estudos de caso, verificou-se que os valores propostos pela revisão da norma 12655 para o desvio-padrão de dosagem são mais adequados que a atual versão, pois se obteve valores entre 2,5 e 4,0 MPa, e que um treinamento de um programa de qualidade, conforme se apresentou nos estudos de caso, apresenta tendência para a diminuição do desvio-padrão de produção, bem como sua importância na aceitação do concreto.

Palavras chave: variabilidade; produção concreto; controle concreto.

ABSTRACT

PILZ, S.E. **Produção de concreto: Verificação da variabilidade da resistência à compressão do concreto em empresas construtoras da cidade de Chapecó.** 2005. 180 f. Trabalho de conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFGRS, Porto Alegre, 2006.

Production of concrete: Verification of the variability of resistance to compression of concrete in construction companies in the city of Chapecó.

The production of concrete for a structural application is one of the most important activities in civil construction which requires technological knowledge for its undertaking and effective control so that it can meet the criteria of acceptance established in the technical standards. However, this is still a lot of concrete being produced in an empirical form, especially that which is produced on the worksite. The current version of NBR 12655 establishes conditions for the production of concrete, which has been contested by researchers, especially in relation to the definition of resistance of the mix. The proposal for the revision of NBR12655 still does not contemplate some of the aspects which are in disagreement with the current NBR6118, however it does propose changes in the standard deviation production for the establishment of the mix resistance, as well as changing the criteria for the acceptance of the concrete, among other changes, with the intention of becoming the Mercosur standard. The present work has as its objective to verify the present level of standard deviation production of concrete by construction companies in the city of Chapecó, through case studies, as well as verifying the influence of quality control programs on the value of this standard deviation production, considering the existing technical standards and the proposal for the revision of NBR 12655, making a critical study of these standards. This work justifies itself by the fact that in the great majority of construction works in cities of small and medium size in Brazil, a large part or all of the concrete is produced on site, in part for not having central concrete mixers. Among the results obtained through the case studies, the values proposed by the revision of the 12655 standard for standard deviation mixing were verified as the closest to the current version, even though values of 2.5 and 4.0 MPa were obtained, and that a program quality training, alike its showed in case studies, to present tendency for reduction of standard deviation production, as well as its importance in the acceptance of concrete.

Key words: Variability, concrete production, concrete control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: modelo do processo de conversão para a produção de concreto	26
Figura 2: modelo de processo da Nova Filosofia da Produção	26
Figura 3: modelo de processo de produção enxuta através do controle efetivo	27
Figura 4: influência dos materiais no resultado da resistência à compressão potencial do concreto medida no ensaio de controle	35
Figura 5: influência dos materiais nas propriedades do concreto	35
Figura 6: sentido de evolução de diversos parâmetros da dosagem em função da trabalhabilidade, da resistência mecânica e do custo	37
Figura 7: influência do ensaio nos resultados da resistência à compressão potencial do concreto medida no ensaio de controle	37
Figura 8: desvio-padrão dentro dos ensaios (S_e)	40
Figura 9: efeito do tempo da mistura sobre a resistência à compressão do concreto	42
Figura 10: influência dos equipamentos no resultado da resistência à compressão potencial do concreto medida no ensaio de controle	45
Figura 11: inter-relação de uma cadeia produtiva	47
Figura 12: gráfico evolutivo dos níveis de qualificação em relação ao percentual de requisitos atendidos	49
Figura 13: quadro de procedimentos de ensaios colocado em obra	51
Figura 14: desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto	58
Figura 15: significado da resistência à compressão do concreto obtida através do controle do concreto	64
Figura 16: padrões de controle do concreto	64
Figura 17: frequência de distribuição dos valores de resistência e distribuição normal correspondente	66
Figura 18: curvas de frequência normais para diferentes desvio-padrão	67
Figura 19: relação entre resistência média e desvio-padrão dos níveis de controle de qualidade proposto pelo comitê ACI 318	72
Figura 20: relação entre resistência média e desvio-padrão dos níveis de controle de qualidade da norma neo-zelandeza	73
Figura 21: desvio-padrão de dosagem esperado, segundo o tipo de controle efetuado ...	74
Figura 22: classificação de controle de concretos, conforme ACI 247/89	74
Figura 23: valores de ψ_6	77
Figura 24: carta de controle de qualidade de produção com base em resultados individuais	80
Figura 25: carta de controle de qualidade de produção com base no desvio-padrão do processo de produção e ensaio (S_c)	81

Figura 26: gráfico de diferenças de resultados em relação à resistência de dosagem	82
Figura 27: resistência de dosagem da mistura quando não se conhece o desvio-padrão	85
Figura 28: desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto - proposta	90
Figura 29: fator de correção para o desvio-padrão quando são avaliados menos que 30 exemplares	94
Figura 30: estudo de dosagem de concreto, conforme proposta de revisão da NBR 12655	95
Figura 31: dados da obra 1	102
Figura 32: corte esquemático da estrutura da obra 1	103
Figura 33: carrinho padiola para dosagem de concreto	104
Figura 34: estocagem de agregado miúdo na obra 1	105
Figura 35: betoneira usada na obra 1	106
Figura 36: concretagem da laje do 3º tipo da obra 1	109
Figura 37: lotes formados, com respectivos volumes, local da amostra, número da amostra e data da moldagem na obra 1	110
Figura 38: carta de valores com base nos resultados individuais para a obra 1	113
Figura 39: carta de valores com base no desvio-padrão para a obra 1	114
Figura 40: dados da obra 2	117
Figura 41: vista da obra 2	118
Figura 42: baias de agregados com vista em primeiro plano da carregadeira da betoneira na obra 2	120
Figura 43: vista do local de produção de concreto na obra 2, com depósito de cimento à direita, e baias de agregados ao fundo	121
Figura 44: colocação de padiolas de agregados no carregador da betoneira	123
Figura 45: lotes formados, com respectivos volumes, local da amostra, número da amostra e data da moldagem na obra 2	125
Figura 46: carta de valores com base nos resultados individuais para a obra 2	128
Figura 47: carta de valores com base no desvio-padrão para a obra 2	129
Figura 48: dados da obra 3	131
Figura 49: vista da obra do terceiro estudo de caso	132
Figura 50: forma de estocagem dos agregados na obra 3	133
Figura 51: instruções do programa de qualidade expostas na obra 3	134
Figura 52: lotes formados, com respectivos volumes, local da amostra, número da amostra e data da moldagem na obra 3	137
Figura 53: carta de valores com base nos resultados individuais para a obra 3	139
Figura 54: carta de valores com base no desvio-padrão para a obra 3	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: resistência à compressão dos diferentes lotes amostrados, com o seu desvio-padrão, na obra 1	111
Tabela 2: variabilidade devido aos ensaios com a verificação do desvio-padrão na obra 1	116
Tabela 3: resistência à compressão dos diferentes lotes amostrados, com o seu desvio-padrão, na obra 2	126
Tabela 4: variabilidade devido aos ensaios com a verificação do desvio-padrão na obra 2	130
Tabela 5: resistência à compressão dos diferentes lotes amostrados, com o seu desvio-padrão, na obra 3	137
Tabela 6: variabilidade devido aos ensaios com a verificação do desvio-padrão na obra 3	140
Tabela 7: valor do desvio-padrão real (S_{creal}) em função do desvio-padrão encontrado dentro dos ensaios (MPa)	150

LISTA DE SIGLAS

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ACI: American Concrete Institute

IPT: Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo

PBQP-H: Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat

PPGEC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

f_{ck} : resistência característica do concreto à compressão

f_{cj} : resistência média do concreto à compressão, para a idade de j dias

f_{ckest} : valor estimado da resistência característica à compressão

S_d : desvio-padrão da dosagem

n: normalmente empregado para designar o número de exemplares de uma amostra

a/c: relação água / cimento, em massa

γ : massa específica

C”n”: classe do concreto com correspondente resistência “n” em MPa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 PRESSUPOSTO	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 PRODUÇÃO DE CONCRETO	20
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	20
2.2 PRODUÇÃO DE CONCRETO E CONTROLE DE QUALIDADE	23
2.2.1 Controle de qualidade	25
2.2.1.1 Conceitos iniciais	25
2.2.1.2 Controle de qualidade do concreto	29
2.2.2 A variabilidade no processo de produção do concreto	33
2.2.2.1 Variabilidade devida aos materiais	34
2.2.2.2 Variabilidade devida aos ensaios	36
2.2.2.3 Variabilidade devida aos equipamentos de produção	41
2.2.2.4 Variabilidade devida à operação	44
2.3 PRODUÇÃO DE CONCRETO E O PBQP-H	46
2.3.1 Níveis de qualificação	47
2.3.2 O controle do concreto e o PBQP-H	50
3 DOSAGEM DE CONCRETO	52
3.1 OBJETIVOS DA DOSAGEM DE CONCRETO	52
3.2 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DE DOSAGEM	55
3.3 MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETOS	60
4 CONTROLE DE PRODUÇÃO DO CONCRETO	63
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	63
4.2 FUNÇÕES ESTATÍSTICAS	66
4.3 CONTROLE DO CONCRETO – HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS	67
4.4 ALGUNS CRITÉRIOS ATUAIS RELATIVOS AO CONTROLE DO CONCRETO NO BRASIL	75
4.4.1 Introdução	75

4.4.2 Aceitação do concreto	76
4.4.3 Sistema de controle da produção – carta de valores	79
4.5 CRITÉRIOS INTERNACIONAIS E PERSPECTIVAS PARA A NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA	82
4.5.1 Critérios internacionais	83
4.5.1.1 Argentina	83
4.5.1.2 Estados Unidos	86
4.5.1.3 Hong Kong	87
4.5.1.4 Rússia	88
4.5.2 Perspectivas para a normalização brasileira	89
5 METODOLOGIA	97
6 ESTUDOS DE CASO	101
6.1 INTRODUÇÃO	101
6.2 ESTUDO DE CASO – OBRA 1	102
6.2.1 Contextualização da obra 1	102
6.2.2 Controles realizados pela empresa na produção de concreto e variáveis controladas na pesquisa – obra 1	104
6.2.2.1 Controle dos materiais - obra 1	105
6.2.2.2 Controle dos equipamentos – obra 1	106
6.2.2.3 Controle da operação – obra 1	107
6.2.2.4 Controle dos procedimentos – obra 1	108
6.2.3 Obtenção de dados – obra 1	108
6.2.4 Resultados obtidos: resistência à compressão na obra 1	109
6.3 ESTUDO DE CASO – OBRA 2	117
6.3.1 Contextualização da obra 2	117
6.3.2 Controles realizados pela empresa na produção de concreto e variáveis controladas na pesquisa – obra 2	119
6.3.2.1 Controle dos materiais – obra 2	119
6.3.2.2 Controle dos equipamentos – obra 2	121
6.3.2.3 Controle da operação - obra 2	122
6.3.2.4 Controle dos procedimentos – obra 2	123
6.3.3 Obtenção de dados - obra 2	124
6.3.4 Resultados obtidos – resistência à compressão na obra 2	124
6.4 ESTUDO DE CASO – OBRA 3	131
6.4.1 Contextualização da obra 3	131

6.4.2 Controles realizados pela empresa na produção de concreto e variáveis controladas na pesquisa – obra 3	132
6.4.2.1 Controle dos materiais - obra 3	132
6.4.2.2 Controle dos equipamentos - obra 3	133
6.4.2.3 Controle da operação – obra 3	134
6.4.2.4 Controle dos procedimentos – obra 3	135
6.4.3 Obtenção de dados – obra 3	136
6.4.4 Resultados obtidos – resistência à compressão na obra 3	136
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS	142
7.1 INFLUÊNCIA NA VARIABILIDADE DEVIDO AS VARIÁVEIS CONTROLADAS	142
7.1.1 Introdução	142
7.1.2 Análises devido as variáveis controladas	143
7.1.2.1 Devido ao operador da betoneira	143
7.1.2.2 Devido aos agregados	143
7.1.2.3 Devido a forma e local de estocagem dos materiais	144
7.1.2.4 Devido ao cimento	144
7.1.2.5 Devido aos equipamentos de produção	145
7.1.2.6 Devido ao traço do concreto	145
7.1.2.7 Devido ao preparo do concreto	145
7.1.3 Variáveis controladas – análises finais	146
7.2 ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CONCRETO NOS ESTUDOS DE CASO	147
7.2.1 A ocorrência da variabilidade menor	147
7.2.2 A ocorrência da variabilidade maior	149
7.2.3 Análise da variabilidade dos ensaios durante a pesquisa	149
7.3 RESULTADO OBTIDOS CONFRONTADOS COM A NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA ATUAL E PROPOSTA	150
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
REFERÊNCIAS	160
ANEXO A – Instrução de serviço 26 (IS 26)	168
ANEXO B – Níveis de qualificação do PBQP-H	175
ANEXO C – Resultados individuais dos corpos-de-prova dos estudos de caso 1, 2 e 3	177

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As estruturas em concreto armado são, numa analogia com o corpo humano, o esqueleto das edificações: dão a sustentação à obra. O concreto é um dos elementos de maior importância que compõe esta estrutura, daí a necessidade de conhecer profundamente seu processo de produção, bem como os seus materiais componentes: brita, areia, cimento, água, aditivos e adições.

O concreto é entre os materiais de construção civil um dos mais pesquisados, seja na condição de concreto armado ou concreto simples, seja na análise estrutural ou no processo de produção, onde nos últimos anos têm se avançado muito, em especial nas pesquisas do concreto de alto desempenho. Estas pesquisas têm gerado uma gama muito grande de conhecimento e de novas tecnologias aplicadas à produção de estruturas em concreto armado.

Mas também o concreto emprestou uma fisionomia totalmente diferente à arquitetura contemporânea e que somada ao uso crescente de novas tecnologias, introduziu conceitos plásticos revolucionários nessa área. Considerando a diversidade de aplicações a que o concreto se aplica, pode-se afirmar que a sua utilização não tem limites (SBRIGHI NETO; BATTAGIN, 2001).

Nas grandes cidades, as empresas construtoras e incorporadoras de médio e grande porte, em suas obras, têm utilizado estas novas tecnologias para gerar obras mais econômicas e mais duráveis. Porém, na grande maioria das cidades de pequeno e médio porte do Brasil, as construtoras em geral, com algumas exceções e, nas pequenas empresas construtoras de grandes cidades, ainda não utilizam este conhecimento, produzindo concreto em obra, sem nenhum processo de racionalização e nenhum controle tecnológico. Cavalheiro (2004) levantou dados na região de Chapecó, no ano de 2002, estimando um volume de concreto consumido de 90 a 100 mil metros cúbicos de concreto ao ano, sendo que um percentual de 35 a 40 % é produzido em central dosadora. Observa-se que há um volume estimado em torno

de 60 mil metros cúbicos de concreto produzido em obra, sendo que no ano de 2002 não mais que 05 empresas realizavam algum controle sobre a produção de concreto.

Toda atividade humana, de um modo geral, tem seus tabus, ou talvez verdadeiras crendices, que se cristalizaram a partir de informações distorcidas ou mal interpretadas. O concreto é um dos materiais em que se encontram muitos “*conhecedores*” pelo mundo afora e, portanto, não poderia escapar dessa sorte (GIAMMUSSO, 1987). Ressalta ainda Giammusso (1987), citando frase de Neville: “Um dos grandes problemas do concreto é que qualquer doido pensa que sabe fazer concreto, mas o pior problema, mesmo, é que ele faz”. Esta é uma condição que ocorre pelo Brasil afora e é com esta realidade que, muitas vezes, é necessário produzir concreto para as mais diferentes características de obra.

Sendo crescente sua responsabilidade é também crescente a necessidade do estabelecimento de parâmetros que orientem a maneira de preparar o concreto, que estabeleçam como realizar seu controle tecnológico e que imponham limites de aceitação. Para abranger esta imensa gama de condições de produção do concreto, a NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) estabeleceu estes parâmetros, tanto para a produção, assim como para a aceitação ou rejeição do concreto.

Atualmente esta norma estabelece três condições de preparo do concreto elaborado pelo executante na obra, sendo que a condição **A** praticamente exclui a produção em obra e a condição **B** limita esta produção, sendo que, portanto, na grande maioria das obras das empresas de pequeno e médio porte, a condição que se aplica é a condição **C**. Esta estabelece desvio-padrão mais elevado, resultando assim uma necessidade de produção de um concreto com resistência média muito elevada, para se obter a resistência característica especificada pelo projetista da estrutura. Por conseqüência, ocorre aumento dos custos deste concreto. Estas condições de preparo do concreto podem ser consideradas conservadoras, em especial para o desvio-padrão de dosagem para misturas proporcionadas em volume (condição **C**) conforme constatações de vários pesquisadores (PRUDÊNCIO JR; GAVA; LENGLER, 1995; HELENE, 1990; CREMONINI, 1994).

Desta forma a norma NBR 12.655 coloca todas as empresas classificadas na condição **C** na mesma condição, enquanto pesquisas realizadas (CREMONINI, 1994; PRUDÊNCIO JR; GAVA; LENGLER, 1995) demonstram o contrário: empresas que elaboram misturas proporcionadas em volume têm muitas vezes obtido, em função de sua real condição de

produção, desvio-padrão bem inferiores ao estabelecido pela referida Norma, decorrentes de melhorias introduzidas no processo, tais como qualificação de funcionários, programas de treinamento, programas de qualificação evolutiva.

O objetivo deste trabalho é determinar um valor corrente do desvio-padrão de dosagem (S_d) e compará-lo com o estabelecido pela NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), através de uma pesquisa experimental e baseada em estudos de caso em empresas de pequeno e médio porte da cidade de Chapecó-SC, participantes de programas de qualidade, em específico o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H. Serão também analisados os valores obtidos em função dos diferentes níveis de qualificação das empresas com base no PBQP-H.

Tem ainda por objetivo este trabalho verificar quais as variáveis envolvidas no processo de produção do concreto e quais as influências das mesmas no desvio-padrão de dosagem, se acontecer, e também as alterações ocorridas no desvio-padrão de produção em função das melhorias introduzidas no processo, devido à qualificação evolutiva das empresas.

Este trabalho justifica-se pelo fato de que na maioria das obras das cidades de pequeno e médio porte do Brasil, boa parte ou todo o concreto é produzido em obra. Isto ocorre em função de não haver centrais dosadoras de concreto, em função do custo do concreto usinado, quando comparado ao concreto produzido em obra.

Levantamento efetuado pelo autor indica que na região oeste e extremo oeste de Santa Catarina existem 05 centrais dosadoras de concreto, para um universo de 85 municípios¹ pertencentes à região que estão no raio de atendimento destas centrais. Porém na prática este atendimento não acontece, não somente pela distância, pois o município mais distante de uma central dosadora nesta região está a 110 km, mas pelo terreno muito acidentado, característica desta região, atendidas por estradas vicinais, que exige muito da frota de caminhões betoneiras das centrais dosadoras, fazendo com que o preço praticado em relação ao município onde a central está estabelecida, aumente em até 20%².

Pode-se dizer ainda que em muitas obras, quando o concreto em quase sua totalidade é proveniente de centrais dosadoras, ainda se produz concreto no local, principalmente quando

¹ Segundo dados da FECAM – Federação Catarinense de Municípios (www.fecam.org.br) acessado em 22.03.2005

² Dados de maio/2005:concreto f_{ck} 20 MPa aumenta de R\$ 230,00 /m³ para R\$ 275,00 / m³.

há pequeno volume a concretar envolvido, como por exemplo, na concretagem de fundações, pilares e escadas.

Sendo assim, é necessário verificar se os atuais valores propostos pela NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) são elevados, e identificar a variabilidade do processo de produção, medindo-a, considerando as empresas do estudo de caso.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Com a pesquisa se objetiva a determinação de um valor atual do desvio-padrão de produção, em condições de obra para empresas construtoras da cidade de Chapecó, em função das atuais condições de produção de concreto das empresas, baseado em estudos de casos.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) verificação das diferenças do desvio-padrão de produção do concreto em empresas em processos de certificação pelo PBQP-H, em seus vários níveis;
- b) contribuição com dados estatísticos do desvio-padrão de dosagem para futura revisão da NBR-12.655/1996;
- c) identificação das variáveis das condições de produção e do controle de qualidade das empresas, para a diminuição do desvio-padrão de dosagem (S_d).

1.3 PRESSUPOSTO

As atuais condições de produção e controle das empresas construtoras da cidade de Chapecó possibilitam a produção de concreto dosado em obra, com uma resistência de dosagem menor que a exigida pela NBR 12.655/1996.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido, além do presente, em capítulos estruturados de forma a obter uma seqüência lógica deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta algumas considerações sobre a produção de concreto, do que se trata, de conceitos de controle de qualidade aplicados à produção de concreto, da variabilidade no processo, suas origens e diferentes causas e como o PBQP-H atua na questão do controle de qualidade na produção de concreto;

No capítulo 3, apresenta-se a dosagem do concreto, com um breve histórico, dos seus objetivos, de como se calcula a resistência de dosagem dos concretos efetuando uma breve comparação da atual versão da norma 12655, com a proposta de revisão e comenta-se sobre os métodos de dosagem;

O controle de produção do concreto, do histórico e da evolução dos conceitos aplicados ao controle do concreto, é tratado no capítulo 4, e apresenta os critérios atuais relativos ao controle do concreto, quais são os principais critérios internacionais e a perspectiva para a normalização brasileira em função da proposta de revisão da NBR 12655;

No capítulo 5, é apresentada a metodologia utilizada para a obtenção de dados e demais métodos utilizados nesta pesquisa.

Os resultados dos três estudos de caso realizados, desde as variáveis controladas, das observações efetuadas e dos resultados da resistência à compressão obtida durante esta pesquisa são apresentados no capítulo 6.

O capítulo 7 apresenta a análise dos resultados referente aos três estudos de caso, desde a influência ou não na variabilidade dos resultados, devidos as variáveis controladas durante a

pesquisa com análise desta variabilidade e, efetua-se a análise da variabilidade do processo de produção das obras do estudo de caso, e finaliza-se com a discussão dos resultados obtidos frente a normalização brasileira atual e proposta;

As considerações finais deste trabalho são efetuadas no capítulo 8, onde também são apresentadas sugestões de trabalhos futuros.

O anexo A apresenta um modelo de instrução de serviço para a produção de concreto, empregado pelas empresas em seus programas de qualidade e treinamento dos funcionários.

O anexo B apresenta os diversos níveis de qualificação das empresas no PBQP-H, que é o programa de qualidade empregado pelas empresas neste trabalho.

O anexo C apresenta os resultados individuais obtidos nos corpos-de-prova para cada estudo de caso.

2 PRODUÇÃO DE CONCRETO

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Aitcin (2000), em 1900 a produção mundial de cimento era de 10 milhões de toneladas e em 1998 era de 1,6 bilhões de toneladas. Isto representa, considerando o consumo médio de 250 kg de cimento por m³ de concreto, que em 1900 somente 40 milhões de toneladas de concreto foram produzidos, enquanto em 1998 esta quantidade foi de 6,4 bilhões de toneladas, representando mais do que 1 m³ de concreto por ano por pessoa no mundo. O concreto perde somente para a água como o material de maior consumo no mundo (AITCIN, 2000; MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Foi nos últimos 30 anos que a ciência do concreto tem atraído cientistas para a pesquisa pura. O concreto é fruto de uma tecnologia simples e de uma ciência complexa que somente agora está começando a ser dominada, mas não em todos os seus detalhes, pois, de fato, o endurecimento do concreto atual é resultado de reações entre amorfos ou produtos minerais, água e moléculas orgânicas e alguns casos, sais minerais (AITCIN, 2000; MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Mesmo sendo o concreto um dos materiais de construção civil mais difundido e pesquisado no mundo (NEVILLE, 1997), na grande maioria das cidades de pequeno e médio porte do Brasil, as construtoras em geral, com algumas exceções e, as pequenas empresas construtoras de grandes cidades, ainda não utilizam este conhecimento, produzindo concreto em obra, muitas vezes sem nenhum processo de racionalização e nenhum controle tecnológico (CAVALHEIRO, 2004).

Exemplificando o desconhecimento por parte dos profissionais sobre tecnologia do concreto e suas propriedades, Giammusso (1987) relata:

Em uma palestra sobre um certo método construtivo, o apresentador, ao ser inquirido sobre quais os cuidados para evitar a perda de água pelo concreto nas primeiras idades, ou seja, a cura, respondeu mais ou menos assim: “Essa questão é o

que menos nos preocupa, pois nós fazemos o concreto com bastante excesso de água. Mesmo que se perca água por evaporação, não vai faltar para a hidratação do cimento.

Há uma infinidade de casos semelhantes a estes que ilustram a falta de conhecimento sobre a produção do concreto. As diversas manifestações patológicas encontradas nas estruturas pelo Brasil afora, explicitadas em diversas pesquisas (ANDRADE; DAL MOLIN, 1998; DAL MOLIN, 1988; DAL MOLIN; ANDRADE, 1997) comprovam que mesmo pela simplicidade aparente do processo, a produção de concreto envolve certo grau de conhecimento para a obtenção de um produto final com qualidade.

Neville (1997) ressalta que um concreto ruim – muitas vezes uma substância com consistência inadequada, resultando num elemento endurecido, com falhas – é feito simplesmente misturando-se cimento, agregados e água, porém os ingredientes de um bom concreto são exatamente os mesmos! O que causa esta diferença é apenas o conhecimento, com o apoio do entendimento.

Phelan (2002) sugere que as especificações para o concreto devem ser sempre um guia com os requisitos de projeto e, estas especificações devem ser claras, corretas e atuais sendo que deveriam, tendo como base um de padrão de especificações ser atualizadas anualmente com as mais recentes pesquisas.

As operações necessárias para a obtenção de um concreto podem ser definidas, segundo Giammusso (1995), como sendo:

- a) dosagem ou quantificações de materiais;
- b) mistura dos materiais, de forma a obter homogeneidade e uniformidade;
- c) transporte para a obra, no caso de concreto dosado em central;
- d) transporte dentro da obra, desde o local de produção até o local de aplicação;
- e) lançamento, ou colocação do concreto nas formas ou outro local a ser aplicado;
- f) adensamento, que é a operação de eliminar os vazios;
- g) cura, que são os cuidados do concreto nas primeiras idades.

A grande maioria das causas de problemas de execução do concreto reside principalmente em procedimentos errados, ou, pelo menos, inadequados. Muitas destas causas poderiam ser evitadas com treinamento das pessoas envolvidas, com uma supervisão adequada, ou, num conceito amplo, através de um controle de qualidade (GIAMMUSSO, 1986, 1988, 1995; HELENE; TERZIAN, 1992; ISAIA, 1988). Neville (1997) destaca que o controle da produção do concreto quando comparado com outras tecnologias construtivas, por exemplo, o aço, é bem inferior, até porque o pessoal que trabalha em concreto ainda não tem o treinamento e tradição de algumas outras atividades da construção, sendo essencial, portanto, a supervisão do engenheiro na obra.

Porém, boa parte das empresas tem dificuldade de identificar onde deve ser iniciado o controle da produção do concreto. Giammusso (1988) comenta que Bryan Mather em seu artigo “*Quando é suficientemente cedo*”³ conclui que é oportuno o controle do concreto desde a escolha dos materiais, seu local de armazenagem e antes da colocação na betoneira. Comenta ainda que o controle estatístico através da resistência é somente uma constatação de tudo o que se apresenta, pois nada corrige e nada acrescenta ao concreto.

Segundo a ASCC⁴ (apud RWELAMILA; WISEMAN,1995), estima-se que seja gasto de 10 a 15% do custo total da estrutura para corrigir e efetuar retrabalhos sobre o concreto, para obter um nível aceitável de qualidade, sendo que normalmente as empresas têm escolhido pagar este custo, mas que poderiam pagar pelo controle durante a construção, que seria mais econômico.

Entretanto, apesar da importância que o elemento concreto tem nas tipologias das construções pelo Brasil afora, em especial em cidades de pequeno e médio porte, ainda há profissionais que produzem concreto sem o conhecimento adequado, usando, por exemplo, tabelas empíricas elaboradas para locais específicos e com materiais específicos, aplicando em suas obras. Muitas vezes, até há o interesse de controlar o concreto, porém novamente há a barreira do desconhecimento para levar a termo este controle.

Quando se faz uma análise simplista do material concreto, pode-se pensar que é um material tradicional, do qual se conhece e domina-se tudo. Porém, trata-se de um material de evolução

³ Do original : “How soon is soon enough?”

⁴ ASCC – American Society for Concrete Construction

permanente, e que ainda não se alcançou seus limites e talvez seja impossível determiná-lo (VALOIS, 1994).

Exemplificando o desconhecimento por parte dos profissionais do processo de controle de concreto, Giammusso (1987), conta uma história que representa bem esta questão:

Um colega nosso, em visita a obra, perguntou ao encarregado se o concreto estava sendo controlado. “Claro, e muito bem controlado. Veja os corpos de prova!” E mostrou uma porção de cilindros de concreto, pelo menos aparentemente, de acordo com as normas. “E a que idade eles serão rompidos?” perguntou o nosso colega. “Mas os corpos de prova têm que ser rompidos???”

2.2 PRODUÇÃO DE CONCRETO E CONTROLE DE QUALIDADE

De acordo com a NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) as etapas de execução do concreto são as seguintes:

- a) caracterização dos materiais componentes do concreto, conforme a NBR 12654;
- b) estudo de dosagem do concreto;
- c) ajuste e comprovação do traço de concreto ;
- d) preparo do concreto.

E o preparo do concreto é assim definido:

Consiste nas operações de execução do concreto, desde o armazenamento dos materiais, sua medida e mistura, bem como a verificação das quantidades utilizadas desses materiais. Esta verificação tem por finalidade comprovar que o proporcionamento da mistura atende ao traço especificado e deve ser feita uma vez por dia, ou quando houver alteração do traço.

A produção de concreto, por ser uma atividade humana, elaborada a partir de matérias-primas e através de um processo, é suscetível de ser controlada. Helene e Terzian (1992) descrevem um sistema de garantia da qualidade de todas as etapas da construção. Porém, não só os produtos, mas também os processos e serviços são passíveis de serem controlados. A obtenção ou produção do concreto, segundo Giammusso (1986a), é uma seqüência de

operações e todas devem ser bem executadas e controladas, não se podendo compensar as deficiências de uma delas com a execução mais cuidadosa de outra.

Segundo o Comitê CEB/CIB/FIP/RILEM (1975), o controle da produção do concreto descreve o sistema ou método usado pelo produtor para encontrar o caminho mais econômico para atender as especificações. Cita como exemplo, que um determinado produtor pode achar que o meio mais econômico é dedicar seus esforços de controle sofisticando os testes no concreto, usando os resultados como base para a ação de controle a adotar para atingir os requisitos de qualidade exigidos, enquanto outro produtor pode encontrar como meio mais econômico assegurando a uniformidade da matéria prima e na operação de supervisão de produção.

O controle da produção do concreto tem a finalidade de obter um material uniforme, com as propriedades exigidas, ao fim que se destina, da forma mais econômica, com informações obtidas sobre a constância do processo, sua uniformidade e o nível de resistência atingido (HELENE, 1986). Segundo Valois (1994) é um conjunto de métodos ou medidas necessárias para que o material escolhido seja constante, a mão-de-obra de boa qualidade e que a mistura, transporte e aplicação sejam corretos. Em síntese, se busca que o produto final (concreto), a partir de seus insumos (materiais), sofrendo a transformação através de um processo, atenda aos requisitos de qualidade, num processo de conversão.

O controle da produção deve ser uma medida pró-ativa para obter informações para a estabilidade do processo de produção do concreto e um nível de qualidade desejado. O objetivo é obter informações para disparar as medidas de correção para esta desejada qualidade, sendo que a atitude corretiva decorre da resposta às seguintes perguntas (COMITTEE CEB/CIB/FIP/RILEM, 1975; HELENE, 1986):

- a) que aspecto do processo de produção mudou?
- b) quanto mudou?
- c) quando mudou?
- d) por quanto tempo persistirá a mudança?

Um controle eficiente exige uma rápida retro-alimentação das medidas das variáveis controladas que se correlacionam com os requisitos especificados.

2.2.1 Controle de qualidade

2.2.1.1 Conceitos iniciais

A indústria brasileira tem passado por importantes mudanças ao longo dos últimos anos, provocadas pelo aumento de competitividade, do nível de exigência dos clientes entre outros. Diversos diagnósticos realizados no Brasil e no exterior indicam que a maioria dos problemas que resultam em baixa qualidade na construção civil têm origem em problemas gerenciais (ISATTO, 2000).

Segundo Isatto (2000), as empresas, na busca da melhoria da qualidade têm aplicado diversas tendências e teorias, citando-se a Gestão da Qualidade Total (Total Quality Management – TQM), desde os meados da década de 80, mas que atendeu somente de forma parcial as necessidades das empresas, devido à falta de profundidade nas questões relacionadas à eficiência e eficácia do sistema de produção. Ao longo dos anos 90, um novo referencial teórico tem sido construído para a gestão de processos na construção civil, tendo sido denominado de Produção Enxuta (Lean Production) e Nova Filosofia da Produção (KOSKELA, 1992).

Segundo Koskela (1992), o modelo dominante na construção civil define a produção como um conjunto de atividades de conversão. Este modelo transforma os insumos (materiais) em produtos, sejam finais ou intermediários, através de um processo (ou dividido em sub-processos).

Observa-se que a produção de concreto é ainda uma atividade tradicional do modelo de conversão, conforme figura 1. Assim assume-se que o valor⁵ de um concreto somente pode ser melhorado através da utilização de materiais de melhor qualidade ou com uma mão-de-obra mais qualificada.

⁵ O conceito de valor está bem definido no trabalho de Koskela (2000), estando diretamente vinculado a satisfação do cliente (interno / externo). Koskela L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Espoo, Finlândia, VTT, 2000. Ph.D. Thesis.

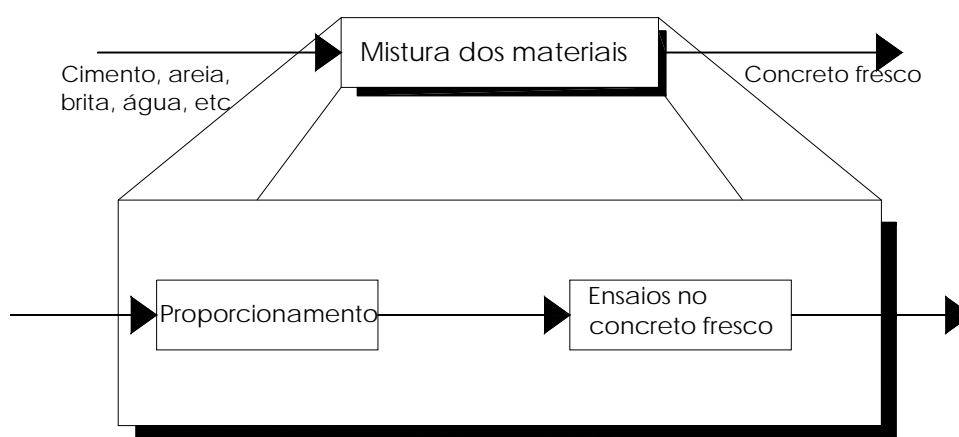


Figura 1: modelo de processo de conversão para a produção do concreto. (baseado em: KOSKELA, 1992)

O modelo de processo de Construção Enxuta de Koskela, conforme Isatto (2000), assume que o processo consiste em um fluxo de materiais, desde a matéria-prima até o produto final, sendo o mesmo constituído por atividades de transporte, espera, processamento e inspeção, conforme modelo apresentado na figura 2.

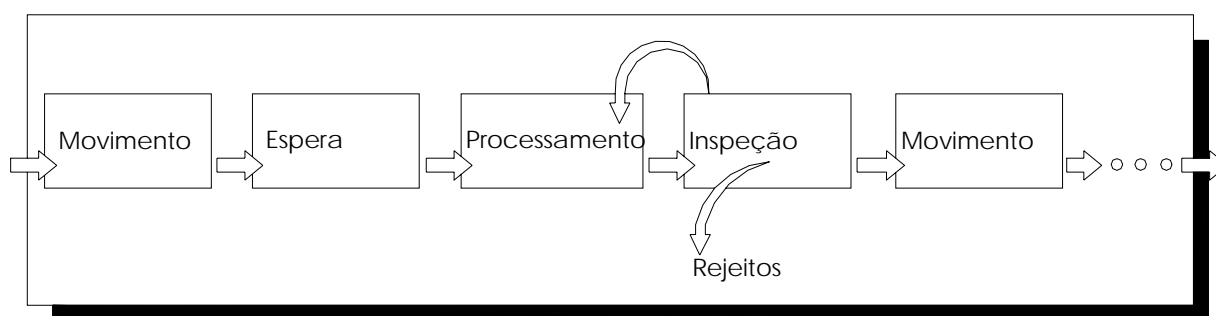


Figura 2: modelo de processo da Nova Filosofia da Produção. (fonte: KOSKELA, 1992)

Neste modelo, a geração de valor é um aspecto que caracteriza fortemente os processos na Construção Enxuta (KOSKELA, 1992). Na produção de um concreto, para quem efetua o lançamento e o adensamento, o valor está na facilidade do concreto se ajustar às fôrmas, enquanto para o calculista, o valor está na obtenção do f_{ck} especificado. Para o incorporador, entretanto, o valor está na menor variabilidade do processo, que implicará num concreto com resistência de dosagem inicial menor e, portanto, num menor custo, por exemplo.

Porém, como todo processo gerencial, a produção de concreto envolve objetivos a serem atingidos (resistência, trabalhabilidade, durabilidade, etc.) e determinação de meios para atingi-los (caracterização dos materiais, dosagem, correta aplicação, etc.). Porém este processo somente é efetivo se for acompanhado de controle (FORMOSO, 1993).

No modelo de Koskela (1992), o controle está em todo o processo, conforme figura 3. Este controle ocorre, por exemplo, sobre os materiais, equipamentos, processo de mistura, aplicação, adensamento. Pode-se dizer que um maior grau de controle irá diminuir a variabilidade do processo de produção do concreto, identificado através do S_d , diminuindo a necessidade de uma resistência inicial de dosagem mais elevada.

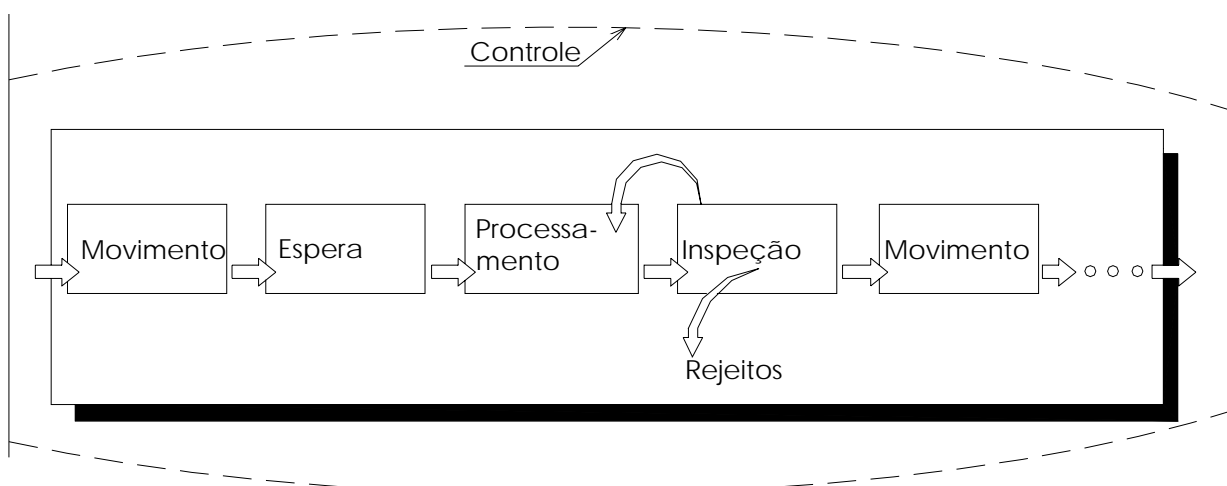


Figura 3: modelo de processo produção enxuta através de controle efetivo. (baseado em: KOSKELA, 1992)

O objetivo principal do controle de qualidade é a obtenção de obras que apresentem os requisitos necessários para atender as exigências dos usuários. Pode-se dizer que estas exigências vão além de conforto, mas também de segurança e durabilidade. Isto será atendido através da concepção adequada de projeto e especificações, além da correta execução, observando-se as características dos materiais e componentes e sua conformidade com normas técnicas e procedimentos pré-estabelecidos (ISAIA, 1988).

Segundo Meseguer (1991), o controle da qualidade, já há muitos anos, foi desenvolvido e implantado na indústria, porém a indústria da Construção Civil ficou muito aquém no

desenvolvimento desta técnica. O motivo principal deste descompasso foi motivado por uma errônea interpretação de que os conceitos de controle da qualidade não poderiam ser aplicados neste tipo de indústria, em função de suas características tão diversas das outras. É evidente que os conceitos básicos podem ser efetivamente aplicados, desde que sejam adaptados para se ter uma resposta ao nível esperado. Tem-se que admitir que o controle da qualidade que atualmente é realizado na construção é insatisfatório. Tradicionalmente, o controle da qualidade na construção vem sendo identificado com a fiscalização na obra e a realização de alguns ensaios (MESEGUER, 1991).

O processo de construção, em busca da qualidade, pode ser idealizado em cinco atividades principais: planejamento, projeto, materiais, execução e uso-manutenção. A deficiência de muitos processos de construção é de somente considerar as três atividades centrais do processo, mais ligadas ao âmbito técnico, ignorando as outras duas (planejamento e uso). Mas a qualidade é um conceito global que não pode ser dividido. Porém por outro ângulo, a qualidade é um conceito relativo, onde cada interveniente de uma idéia diferente de acordo com os seus interesses (MESEGUER, 1991).

Assim considerando, a organização do controle da qualidade é um mecanismo duplo, articulado entre si e constituído por dois tipos de controle: da produção (CP) e da recepção (CR). O controle da produção é exercido por aquele que executa a atividade correspondente, tratando-se assim de um controle interno. O controle de recepção ocorre na transição de uma atividade para outra, sendo neste caso o receptor que leva a cabo o controle. Por fim, conforme Meseguer (1991) pode-se dizer que o controle de qualidade (CQ) é um somatório dos dois controles conforme equação 1.

$$CQ = CP + CR \quad \text{(equação 1)}$$

Onde:

CQ = controle da qualidade;

CP = controle da produção;

CR = controle da recepção.

Meseguer (1991) sustenta que ao se implantar um sistema de controle é conveniente definir previamente vários níveis de controle, como é feito em diversas normas. Estes níveis dependem do grau de precisão que se pretende obter no controle de qualidade.

Ao se montar um sistema de garantia da qualidade, na construção civil, conforme Helene e Terzian (1992), merecem atenção especial três ações:

- a) definição de qualidade: a qualidade deve ser claramente definida em todos os seus aspectos, utilizando-se parâmetros técnicos mensuráveis, e deve ser objetiva, com os parâmetros quantitativos.;
- b) treinamento e motivação das equipes: esta deve ser uma atividade permanente na construção civil;
- c) gestão do sistema: utilização de técnicas gerenciais adequadas

2.2.1.2 Controle de qualidade do concreto

Os fatores intervenientes no estudo tecnológico do concreto, onde o controle de qualidade ocupa função primordial de servir de elo entre as especificações (propriedades), dosagem, produção, alimentando e sendo alimentado de informações para tomada de decisões, com a finalidade de se obter o produto dentro da especificação, conforme Isaia (1988) pode ser assim resumido:

- a) ensaio contínuo dos materiais componentes;
- b) verificação da dosagem empregada, com conferência dos pesos ou volumes e controle de consistência;
- c) controle de resistência do concreto;
- d) controle das fases de produção;
- e) ensaios especiais sobre o concreto;
- f) análise e interpretação dos resultados
- g) aceitação da estrutura.

Cornick, (apud RWELAMILA, WISEMAN,1995), comentam que pode haver muita confusão reinante sobre os vários termos usadas no conceito de qualidade do concreto, e que podem ser esclarecidos da seguinte forma:

- a) o objetivo é qualidade, que é definido como conformidade aos requisitos;
- b) o método é gerenciamento que possibilita a melhoria às não conformidades dos requisitos;
- c) o resultado é segurança ou garantia, demonstrando que a conformidade aos requisitos ocorreu;
- d) o mecanismo é controle, que assegura que a melhoria e o compromisso com a qualidade sempre ocorram.

Em Portugal, segundo Aguiar (1996), foi publicado o Decreto Lei 330/95 onde são estabelecidos que a produção, aplicação e atendimento aos requisitos de conformidade dos concretos devem satisfazer a Norma Portuguesa NP ENV 206 e a aplicação desta norma exige a elaboração de um manual de qualidade. Segundo o autor, o controle da produção de concretos faz parte de um conjunto de controles que deve ser feito para que as obras possuam um nível de qualidade desejável e que, por vezes, pensa-se que a qualidade se consegue apenas com o controle da qualidade dos materiais de acabamento.

Conforme Aguiar (1996), em Portugal, os materiais estruturais às vezes são desprezados, talvez, porque são conhecidos os coeficientes de segurança elevados utilizados no dimensionamento e supõe-se que os materiais de acabamento escondam o que se passa de errado na estrutura. A norma NP ENV 206 apresenta um conjunto de inspeções e ensaios que devem ser realizados, tanto nos materiais, como nos equipamentos, processo de produção e com relação as propriedades do concreto fresco, bem como inspeções e ensaios no concreto endurecido (AGUIAR, 1996).

Em estudo realizado na África do Sul, com dez empresas de Westhern Cape, que contratavam obras de concreto, sobre a melhoria no controle de qualidade sobre o concreto, definiu-se alguns elementos essenciais para a implementação efetiva do controle de qualidade do concreto (RWELAMILA, WISEMAN,1995):

- a) uma equipe completa de controle;
- b) planejamento adequado e entendimento dos requisitos;

- c) conhecimento dos requisitos para um concreto durável;
- d) uso de documentação contratuais;
- e) efetiva comunicação entre as partes;
- f) procedimentos para efetivo controle de qualidade.

Segundo Valois (1994), referindo-se ao concreto de alta resistência, o controle da qualidade na produção deve ser efetuado em todas as etapas do processo, podendo o modelo ser aplicado aos concretos convencionais, nos seus aspectos específicos, e que compreendem:

- a) recebimento da matéria-prima, através de inspeções, coletas de amostras e quando necessário, ensaios para verificar o atendimento ao previamente especificado;
- b) medição da quantidade dos componentes;
- c) mistura destes componentes;
- d) transporte;
- e) lançamento, adensamento e cura;
- f) verificações do concreto acabado.

A segurança, em termos de resistência mecânica, é a propriedade mais valorizada pelos engenheiros projetistas, até pelo fato de que muitas outras propriedades do concreto, como o módulo de elasticidade, estanqueidade, impermeabilidade e resistência às intempéries são diretamente relacionadas ou deduzidas dos dados da resistência (MEHTA; MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

Porém, tem sido crescente a conscientização da necessidade de construir obras duráveis (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Aitcin (2000) comenta que é necessário saber por quanto tempo estará segura esta estrutura, ou seja, a sua vida útil. Muitas normas não enfatizam sobre a durabilidade do concreto, tanto quanto a sua resistência, isto nos tempos atuais, como por exemplo, era o caso da anterior versão da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980), que estava em vigor até início de 2004.

Nos últimos anos, nos projetos de estruturas, as características de durabilidade do concreto têm sido avaliadas com o mesmo cuidado que outros aspectos, tais como resistência mecânica e custo (MEHTA; MONTEIRO, 1994). É essencial que as estruturas em concreto

desempenhem suas funções atribuídas, durante um período de vida previsto, no ambiente no qual estejam inseridas e este é o aspecto durabilidade (NEVILLE, 1997).

Considerando ainda o aspecto segurança, conforme Fusco (1976 apud ISAIA, 1988), para ser alcançado, deve ser tratado em cada uma das etapas do processo construtivo:

- a) planejamento, onde serão especificadas as margens de segurança adequadas;
- b) projeto, em que introduz-se as margens de segurança especificadas no planejamento;
- c) direção, executando a obra de modo que tenham as margens de segurança prevista;
- d) operação, controlando a utilização da construção para usos indevidos não previstos no projeto.

Com relação ao aspecto durabilidade, problemas encontrados em obras no Canadá, Europa e Estados Unidos, com concretos de resistência à compressão de 20 MPa, devido à acelerada carbonatação, presença de bactérias, germes, musgos e líquens que estão se desenvolvendo nos poros do concreto, tais como a “*thiobacillus ferroxidans*”, que produz o sulfato cálcico no ataque ao calcário, tem ressaltado a necessidade de se projetar concretos com o viés de durabilidade (AITCIN, 2000).

Então, durante a sua vida útil o concreto deve resistir aos processos físicos, químicos e físico-químicos de deterioração, tais como desgaste, ataque de cloretos, carbonatação, fissuração, fogo, entre outros (NEVILLE, 1997; MEHTA; MONTEIRO, 1994; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a).

Aitcin (2000) destaca que no futuro, o concreto será “*verde, verde e verde*”, com alusão a sua durabilidade, como um fator ecológico. Concretos com baixa relação água cimento serão amplamente utilizados, e os empreiteiros e proprietários terão em mente não somente o preço do metro cúbico do concreto, mas de preferência o uso de mais 1 MPa ou mais 1 ano de vida útil da estrutura.

Em termos de normas técnicas no Brasil, a durabilidade somente com a versão de 2003 da NBR 6.118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a) foi tratada como um assunto de igual importância como as demais propriedades do concreto. Na edição

de 1980 da NBR 6.118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980), o aspecto durabilidade era colocado tão somente:

Quando o concreto for usado em ambiente reconhecidamente agressivo, deverão ser tomados cuidados especiais em relação à escolha dos materiais constituintes, respeitando-se o consumo mínimo de cimento e o máximo valor da razão água / cimento compatíveis com a boa durabilidade do concreto.

Por sua vez, a edição de 1996 da NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) não entrou no aspecto durabilidade, remetendo esta consideração à NBR 6.118/1980, porém especificando que a responsabilidade deste aspecto cabe ao profissional responsável pelo projeto estrutural.

Na edição de 2003, a NBR 6.118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a), em seu capítulo 6, tratou de forma mais profunda deste aspecto ao determinar diretrizes para a durabilidade das estruturas em concreto e estabelecendo no capítulo 7 critérios de projeto que visam a durabilidade, principalmente com o aumento do cobrimento da armadura em relação à edição de 1980, e com o estabelecimento de uma máxima relação água / cimento para as diversas classes de concreto, bem como estabelecendo uma resistência à compressão mínima em função da classe de agressividade ambiental.

Portanto, é com relação aos diversos aspectos citados, que o controle de qualidade na produção de concreto deve ser efetivo, ocorrendo, portanto, em todas as etapas do processo. Pelo exposto, pode-se dizer que o controle de qualidade na produção do concreto alcançou seus objetivos quando, entre outros, diminuiu a variabilidade no processo de produção que irá se refletir na variabilidade da resistência potencial do concreto.

2.2.2 A variabilidade no processo de produção do concreto

Serão consideradas nesta pesquisa as três primeiras etapas do processo definidas anteriormente por Valois (1994), onde o controle é efetuado que são:

- a) recebimento da matéria-prima, através de inspeções, coletas de amostras e quando necessário, ensaios para verificar o atendimento ao previamente especificado;

- b) medição da quantidade dos componentes;
- c) mistura destes componentes.

Devem-se buscar os motivos e causas das variabilidades na produção, que se refletem, por exemplo, na resistência do concreto, medida nos resultados dos corpos-de-prova. Estas etapas concordam sobre as etapas de execução do concreto descritas na NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), anteriormente citadas.

Segundo Porrero (1983), as medidas necessárias para diminuir a variabilidade da qualidade do concreto, se exercem mediante o controle de qualidade de cada uma das variáveis envolvidas e quanto mais eficiente for este controle, mais homogêneo e de melhor qualidade será o concreto produzido. As variações nos resultados dos ensaios do concreto, relativas à produção do mesmo têm duas origens: as decorrentes do material e sua produção e as variações aparentes devidas a imprecisão própria dos ensaios (PORRERO, 1983). A variabilidade que ocorre na produção e que resulta na variabilidade das propriedades finais do concreto, tanto fresco quanto endurecido, são resultantes das variabilidades individuais de cada uma das etapas acima, decorrentes da variabilidade da matéria-prima (materiais), dos equipamentos (máquina), da operação (fator humano) (VALOIS, 1994), porém também é necessário identificar a variabilidade devido aos procedimentos de ensaios.

2.2.2.1 Variabilidade devida aos materiais

Segundo Helene e Terzian (1992), inúmeras pesquisas têm comprovado experimentalmente que a variabilidade das propriedades mecânicas dos materiais obedece a propriedades aleatórias, sendo que a uniformidade do concreto decorre da uniformidade apresentada pelos seus componentes. Além disso, sendo a mistura do concreto derivada de um processo mecânico, é passível de apresentar dispersão em torno de um valor médio. Salientando esta colocação, a NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) considera a caracterização dos materiais componentes do concreto uma etapa importante na execução do concreto.

O quadro da figura 4 apresenta uma indicação quantitativa máxima da influência na resistência à compressão do concreto considerando os materiais como causa da variação.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	EFEITO MÁXIMO NO RESULTADO (%)
<i>Materiais</i>	
Variabilidade na resistência do cimento	± 12
Variabilidade da quantidade total de água	± 12
Variabilidade dos agregados (principalmente miúdos)	± 12

Figura 4: influência dos materiais no resultado da resistência à compressão potencial do concreto medido no ensaio de controle. (fonte: adaptado de HELENE; TERZIAN, 1992, p.135)

A variação de volume dos materiais também é responsável pela variabilidade dos resultados que sempre se encontram quando são feitas as quantificações de volume de material em pátios de obra. Podem se evitar estas variações verificando com frequência as características dos materiais, calculando-se novos volumes de padiolas sempre que houver variações significativas. Quando o cimento é dosado em sacos, por exemplo, a sua variabilidade nos resultados é muito pequena, da ordem de 1% a 2%, podendo ser considerada satisfatória (GIAMMUSSO, 1986).

Componente	Propriedade	Influência
Agregado graúdo	Natureza	Pequena
	Forma	Variável
	Granulometria	Pequena
	Resistência	Variável
Agregado miúdo	Natureza	Pequena
	Forma	Média
	Granulometria	Média
	Finura	Grande
	Impurezas	Grande
Cimento	Tipo	Variável
	Procedência	Variável
Água	Impurezas nocivas	Grande

Figura 5: influência dos materiais na propriedades do concreto. (fonte: GIAMMUSSO, 1995, p.70)

No controle dos materiais para a produção do concreto, as alterações das propriedades dos materiais podem ter uma influência maior ou menor nas propriedades do concreto, tanto

fresco quanto endurecido. Giammusso (1995) apresenta estas alterações no quadro da figura 5.

O armazenamento inadequado dos agregados também pode provocar a variabilidade nos resultados da resistência à compressão do concreto. Terzian (1999) relaciona alguns cuidados relativos ao armazenamento dos materiais:

- a) evitar a contaminação dos materiais, pelo solo onde se depositam, ou até pela poeira, sugerindo o depósito em locais afastados de circulação de veículos;
- b) alturas elevadas de agregado miúdo podem levar a um gradiente de umidade acentuado;
- c) em dias de intenso calor, a temperatura do agregado, sob o sol, aumenta a temperatura final do concreto fresco, prejudicando a trabalhabilidade e havendo um aumento do risco de fissuração;
- d) excessiva altura das pilhas de agregado graúdo provoca a segregação dos grãos de maior diâmetro, que rolam e se concentram ao pé da pilha de estocagem.

Tartuce e Giovannetti (1990) também relacionam em um quadro a influência dos agregados e da água na trabalhabilidade e na resistência, possibilitando um rápido entendimento de como o construtor ou produtor de concreto pode variar os parâmetros em busca da trabalhabilidade ou da resistência, sendo que Helene e Terzian (1992) incorporam o parâmetro de custo, conforme quadro da figura 6.

2.2.2.2 Variabilidade devida aos ensaios

Dispersões na coleta de exemplares, moldagem, cura, capeamento e ruptura dos corpos-de-prova também podem introduzir variações na resistência que não correspondem a variações no concreto do ensaio (HELENE; TERZIAN, 1992). A indicação quantitativa máxima da variação está apresentada no quadro da figura 7.

Fatores de dosagem do concreto	Concreto fresco	Concreto endurecido	Para redução do custo
	Para uma boa trabalhabilidade	Para uma boa resistência	
Granulometria do agregado miúdo	de preferência fina	de preferência grossa	grossa
Relação grão / miúdo	a diminuir	a aumentar	a maior possível
Consumo de água	a aumentar até certo ponto	a diminuir	a aumentar
Granulometria total	preferível contínua	preferível descontínua	a disponível
Dimensão máxima característica do agregado	de preferência média	de preferência pequena	a maior possível
Geometria do grão do agregado grão	de preferência esférica	de preferência irregular	esférica

Figura 6: sentido de evolução de diversos parâmetros da dosagem em função da trabalhabilidade, da resistência mecânica e do custo. (fonte: HELENE; TERZIAN, 1992, p.75)

CAUSAS DE VARIAÇÃO	EFEITO MÁXIMO NO RESULTADO (%)
<i>Procedimento de ensaio</i>	
Coleta imprecisa	- 10
Adensamento inadequado	- 50
Cura	± 10
Capeamento	-30 a -50
Ruptura (velocidade de carregamento)	± 5

Figura 7: influencia do ensaio nos resultados da resistência à compressão potencial do concreto medida no ensaio de controle. (fonte: adaptado de HELENE; TERZIAN, 1992, p.135)

Já em 1944, Staton Walker (apud HELENE, 1980), chamava a atenção para o fato das dispersões dos resultados, não só devidos à variabilidade inerente ao processo de produção, mas a variabilidade extrínseca originada nas operações de ensaio.

Porrero (1983) apresenta as principais fontes de variação devido aos ensaios:

- a) tomada inadequada da amostra, da parte segregada da mistura;
- b) remistura inadequada da amostra;

- c) moldes deficientes, desgastados, deformados ou feitos de material inadequado;
- d) técnicas inadequadas de compactação
- e) transporte prematuro do molde, que levam a golpes ou vibração;
- f) conservação inadequada dos corpos-de-prova antes de serem desmoldadas;
- g) cura inadequada dos corpos-de-prova;
- h) capeamento excessivamente grosso ou mal executado;
- i) má execução do ensaio, devido à excentricidade do corpo-de-prova na prensa;
- j) prensas mal calibradas ou não calibradas.

Gebler (1990) apresenta uma série de 25 causas que a PCA⁶ publicou e que podem levar a erros nos resultados dos testes, devido aos procedimentos de ensaio, e que podem ser resumidamente descritos como:

- a) manuseio e amostragem : segregação;
- b) compactação: choques, vibração, compactação manual;
- c) tamanho e formato: tamanho do corpo-de-prova, irregularidade molde;
- d) cura: cura não úmida, temperatura inadequada, idade;
- e) capeamento: material capeamento, eixo do corpo-de-prova, planimetria;
- f) máquina de teste: centragem, velocidade de carga.

Helene (1980) comenta que a fonte de variabilidade decorrente do processo de produção e das operações de ensaio são provenientes de fenômenos independentes e que podem ser traduzidas na equação 2:

$$s_c^2 = s_c^2 \text{ real} + s_e^2 \quad (\text{equação 2})$$

onde:

⁶ PCA – Portland Cement Association

s_c^2 = variância total decorrente do processo de produção e ensaio do concreto

s_c^2 *real* = variância real decorrente do processo de produção do concreto

s_e^2 = variância decorrente dos procedimentos de ensaio e controle

A variação da resistência à compressão do concreto devido a erros de ensaios, denominada de variação dentro do ensaio segundo Correa (1980), é avaliada pela medida da dispersão observada nos resultados correspondentes a uma mesma amostragem.

A avaliação desta variação pode ser efetuada da seguinte forma (CORREA, 1980; AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990):

- a) obtêm-se a amplitude (R) de um exemplar⁷ que é a diferença entre o maior (f_{\max}) e o menor resultado (f_{\min}), conforme equação 3:

$$R = f_{\max} - f_{\min}; \quad (\text{equação 3})$$

- b) após n amostras determina-se a amplitude média \bar{R}
- c) calcula-se o desvio-padrão destas amplitudes (S_e) que é determinado a partir da expressão, conforme equação 4:

$$S_e = \frac{1}{d_2} \times \bar{R}, \quad (\text{equação 4})$$

- sendo que o valor de $1/d_2$ (coeficiente estatístico) é dado por:
 - para 02 corpos de prova = 0,8865
 - para 03 corpos de prova = 0,5907

⁷ Exemplar segundo a ACI é um grupo de corpos-de-prova de uma mesma série

Com o valor correspondente de S_e , pode-se avaliar o valor real do desvio-padrão do processo de produção de concreto.

Segundo o American Concrete Institute (1982) o erro dentro do ensaio é determinado como:

$$\frac{S_e}{f_{cj}} \quad (\text{equação 5})$$

onde:

f_{cj} = valor médio da distribuição do universo que apresenta uma densidade de probabilidade de 50 %.

Considerando a equação 5, valores acima de 0,05 indicam que o ensaio não é satisfatório e que irá influenciar significativamente no aumento da dispersão, o que poderia levar ao produtor a modificar o seu processo de produção de concreto, apesar do mesmo não ter culpa pela variação observada.

Porrero (1983) comenta que deve se medir a magnitude da variação dos ensaios para que os mesmos não produzam falsos valores do índice de qualidade do concreto e sugere os seguintes valores indicados no quadro da figura 8 para o desvio-padrão dentro dos ensaios, para concreto moldado em obra ou para concreto moldado em laboratório.

TIPO DE CONTROLE			
(valores em MPa)			
	Ruim	Usual	Excelente
Na obra	> 1,5	0,9 a 1,2	< 0,8
Em laboratório	> 1,2	0,7 a 0,9	< 0,5

Figura 8: desvio-padrão dentro dos ensaios (S_e) (fonte: adaptado de PORRERO, 1983)

Em trabalho coordenado por Helene, em 1982/1983, o IPT desenvolveu pesquisa para identificar a variabilidade típica da resistência dos concretos, e entre os resultados obtidos, o desvio-padrão das operações de ensaio apresentaram valores que variaram de um mínimo de 0,2 MPa a um máximo de 3,5 MPa, com um valor médio de 1,1 MPa (HELENE; TERZIAN, 1992).

Portanto, é aconselhável realizar um número suficiente de ensaios de maneira que cada tipo diferente de concreto, lançado num dado período ou dia, será representado, pelo menos, por um exemplar. Se estes exemplares forem retirados a cada dia de duas betonadas diferentes, oferecerão dados de maior confiabilidade. Também é aconselhável confeccionar uma série de corpos-de-prova de uma única amostra, permitindo, assim, verificar a variação dentro do ensaio (AMERICAN CONCRETE INTITUTE, 1990).

2.2.2.3 Variabilidade devida aos equipamentos de produção

Giammusso (1986) ressalta: “O bom estado do equipamento não só assegura as qualidades do concreto, como a sua economia, pois permite ciclos mais curtos e, portanto, obtenção de maiores quantidades de concreto em menor tempo”.

A influência dos equipamentos de produção de concreto na variabilidade dos resultados também deve ser observada, como por exemplo, na mistura. Mistura é uma operação importante na produção de concretos, em busca da homogeneidade da massa. Nas obras, muitas vezes a tendência é misturar o concreto o mais rapidamente possível e, por este motivo, é importante saber qual o tempo mínimo de mistura necessário para se obter um concreto com composição uniforme (NEVILLE, 1997).

Giammusso (1986; 1995) e Neville (1997) apresentam no gráfico da figura 9, dados típicos obtidos em experiência, por Shalon e Reitnitz⁸, com betoneiras ou misturadores, relacionando as resistências do concreto com o tempo da mistura. Nota-se que após cerca de 100 segundos a melhoria é bem pequena, sendo, portanto o tempo ótimo em torno desse valor. Segundo Giamusso (1995), cada equipamento tem suas próprias curvas e para um mesmo equipamento

⁸ R. Shalon and R.C. Steinitz. Mixing time of concrete – technological and economic aspects. Research Paper n.7. Bulding Research Station, Technion, Haifa, 1959.

a curva pode se deslocar para a direita, exigindo, portanto, tempos maiores, em função da perda de eficiência ou de operação inadequada e, por vezes, não ocorre um simples deslocamento destas curvas, mas também, um distanciamento maior entre as curvas de máximos e mínimos.

A rigor, não deve ser o tempo de mistura o critério para uma mistura adequada, mas sim o número de revoluções da betoneira, sendo que este número é em torno de vinte. Como cada betoneira tem uma velocidade ótima de mistura, recomendada pelo fabricante, o número de revoluções e o tempo estão relacionados (NEVILLE, 1997).

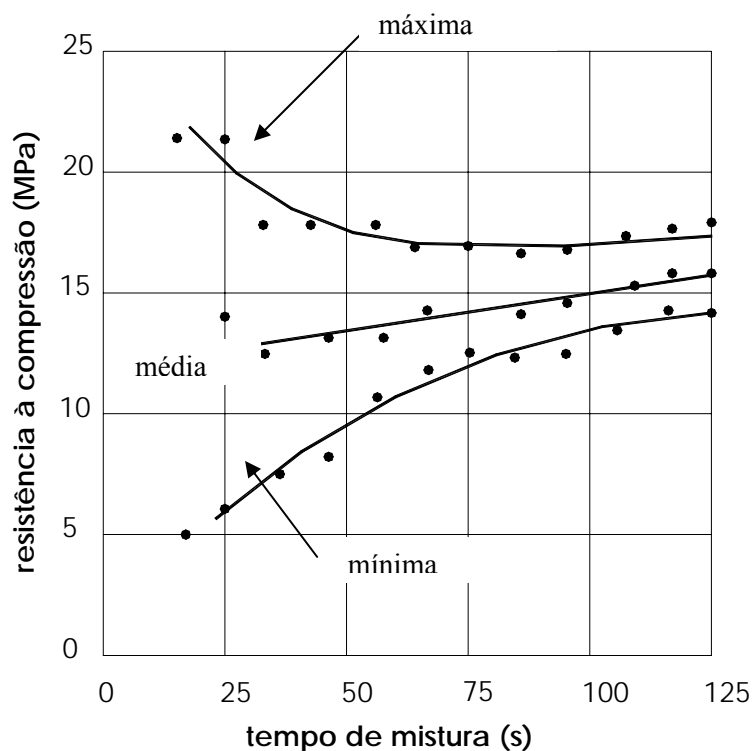


Figura 9: efeito do tempo de mistura sobre a resistência à compressão do concreto. (fonte: GIAMMUSSO, 1995)

Porém, também há a diferença entre os equipamentos, segundo Bauer (1991) e Neville (1997), havendo aqueles que fazem a mistura por tombamento do material (por exemplo, a betoneira comum e alguns tipos de misturadores) e os que fazem a mistura forçada (agitando o material de um lado para o outro, sem tombar). Giannusso (1986, 1989a) comenta que para mistura forçada o tempo entre 60 a 90 segundos é suficiente. Já por tombamento, o tempo pode variar entre 60 e 180 segundos. Em qualquer caso, o estado do interior da betoneira deve

ser verificado: partes internas desgastadas podem formar incrustações que prejudicam a eficiência da mistura, exigindo tempos maiores de mistura e, às vezes, ainda assim, não se conseguindo uma mistura boa.

A atual NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), estabelece que o tempo mínimo de mistura em betoneira estacionária é de 60 segundos, devendo este tempo ser aumentado em 15 segundos para cada metro cúbico de capacidade nominal da betoneira ou conforme especificação do fabricante, podendo este tempo mínimo de mistura ser diminuído mediante comprovação de uniformidade. A versão proposta na revisão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001) manteve o mesmo texto.

Na proposta da nova norma argentina, Regulamento CIRSOC 201 (CIRSOC, 2001) que se baseia na norma ACI 318-02, o tempo mínimo estabelecido para betoneira com capacidade menor que $1,0 \text{ m}^3$ é de 90 segundos, porém deve atender a homogeneidade da mistura determinada pela Norma IRAM 1 666-86.

A norma ASTM C-94 (GIAMMUSSO, 1986) estabelece que, para avaliar o estado de uma betoneira, para uma amassada completa, devemos dividir a descarga em oito partes, aproximadamente iguais, com certo tempo entre elas, e que, entre a primeira e a última, as amostras de concreto (abatimento e resistência, por exemplo) não devem apresentar diferenças maiores que 20 mm ou 20% da média do abatimento e 7,5% da média da resistência à compressão aos sete dias.

Misturas por tempo prolongado levam a um endurecimento desta mistura, isto é, a consistência se altera. Aumento no tempo de mistura, a priori, deve ser descartada, especialmente em dias quentes e para concretos com cimento de hidratação acelerada, pois a modificação da consistência leva a necessidade de compensar a trabalhabilidade com adição de água e que normalmente esta é uma prática comum, porém com a conseqüente diminuição da resistência (KIRCA, TURANLI, ERDOGAN, 2002).

Em estudos realizados com concretos classe C25 e C35, em betoneira de 330 litros, demonstrou-se que em técnicas adequadas de re-mistura, com uso de aditivos superplastificante, é possível de se manter a resistência, sem perda de consistência, por até quatro horas (KIRCA, TURANLI, ERDOGAN, 2002).

Baskoca, Ozkul e Artirma (1998), comentam que freqüentemente concretos dosados em central estão sujeitos a misturas por tempo prolongado, mas que também concretos produzidos em obra podem estar sujeitos a este fato. Em obra normalmente se deve descartar este concreto, principalmente por não se ter disponível no local aditivo adequado, tais como redutores de água baseados em ligno-sulfatos ou aditivos retardadores de pega baseados em gluconatos. Em estudos realizados pelos autores, misturas agitadas por até seis horas mostraram que concretos com aditivos adequados mantêm resistência à compressão semelhante ao concreto referência.

A ordem de colocação dos materiais na betoneira também tem certa influência na eficiência da mistura e por conseqüente nos resultados dos corpos-de-prova (GIAMMUSSO, 1986; 1989a).

A ordem mais usual de mistura para concretos convencionais, sem aditivos ou adições, produzidos em obra, com betoneiras comuns, é a colocação da água de forma parcial, seguida do agregado graúdo, pois estes dois materiais retiram a argamassa que geralmente fica retida nas palhetas internas, da betonada anterior. Em seguida se coloca o cimento, pois assim haverá uma boa distribuição de água para cada partícula de cimento, havendo uma moagem dos grãos de cimento pela ação de arraste do agregado graúdo na água, contra o cimento. Finalmente se coloca o agregado miúdo que realiza o tamponamento dos materiais já colocados, completando com a água necessária (BAUER, 1991; GIAMMUSSO, 1986a, 1995; TERZIAN, 1999).

O quadro da figura 10 apresenta uma indicação quantitativa da influência da mistura nos resultados do concreto à compressão medida nos corpos-de-prova.

2.2.2.4 Variabilidade devida à operação

Para assegurar procedimentos adequados e, diminuir a variabilidade da operação, Giammusso (1989b) sugere que são necessários treinamento e supervisão. O autor considera como procedimento “o conjunto de operações necessárias para a obtenção do concreto a partir do material e equipamentos disponíveis”. Os procedimentos, juntamente com os materiais e os

equipamentos, constituem os fatores necessários e suficientes para a obtenção de serviços ou produtos com características que atendam à finalidade a qual se propõem.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	EFEITO MÁXIMO NO RESULTADO (%)
<i>Equipamento</i>	
Ausência de aferição de balanças	- 15
Mistura inicial, sobrecarregamento, subcarregamento, correias, etc	-10

Figura 10: influência dos equipamentos no resultado da resistência à compressão potencial do concreto medido no ensaio de controle.
(fonte: adaptado de HELENE; TERZIAN, 1992, p.135)

O controle de procedimentos é chamado por Giammusso (1995) como o coroamento do conjunto de controles, pois considera que de nada adianta se temos o controle dos materiais eficiente, ou seja, o conhecimento de todas as suas características, ou o controle do equipamento, ou seja, equipamentos eficientes para a finalidade proposta e em perfeito estado de funcionamento, se os procedimentos necessários para as diversas operações não forem devidamente conduzidos. Giammusso (1989b) exemplifica:

Com efeito, para exemplificar, de nada adianta escolher o melhor material (cimento, agregados, aditivos), o melhor equipamento (balanças fiéis e sensíveis, misturadores e vibradores eficientes) se, por exemplo, se opera a balança de forma errada, reduz-se o tempo de mistura, os vibradores são aplicados de modo errado, etc. É um avião superequipado (com computador, comandos automáticos, programado, etc) com um excelente combustível, com um piloto que não sabe pilotar.

O treinamento da mão-de-obra deve ser uma atividade permanente, não se limitando ao técnico ou pessoa responsável pelo controle do concreto, mas de toda a equipe operacional. O controle só será bem sucedido de houver uma conscientização de todos os envolvidos no processo produtivo.

Formoso, Boggio e Silva (1994) destacam que para o setor da construção civil a necessidade da empresa adotar estratégias para uma maior competitividade através da qualidade e, entre as tendências apontadas, citam a gestão do processo, que busca aumentar o domínio da empresa sobre o processo de trabalho. Recomendam os autores que através do treinamento é possível a implantação de uma correta tecnologia. Exemplificam através de cursos específicos,

realizados através de módulos, que fazem parte de um curso para a qualidade das estruturas em concreto, onde se destacam dois módulos específicos para a produção do concreto:

- a) o primeiro: para a determinação das características dos materiais constituintes do concreto e controle no recebimento e estocagem dos mesmos, que objetiva desenvolver um espírito crítico nos treinandos sobre o assunto;
- b) o segundo: com recomendações técnicas para a produção de concreto que objetiva alertar os participantes sobre os principais intervenientes no processo de produção do concreto.

A supervisão é o acompanhamento constante dos serviços de forma a assegurar que os procedimentos adequados foram seguidos. O supervisor deve conhecer bem o serviço ou processo, ter capacidade de liderança e comunicação. Uma supervisão bem exercida produz resultados comparáveis aos de um bom treinamento. Pouco treinamento da mão-de-obra exige maior supervisão e vice-versa, mas uma supervisão bem exercida treina e é, cada vez menos, solicitada.

A ACI 214 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990), coloca que uma obra em que todas as operações de concreto são supervisionadas por um engenheiro, oferece ótima oportunidade de controle e estimativas precisas de confiabilidade. Da mesma forma, uma vez que as operações estejam ocorrendo sem anormalidade, os ensaios realizados, a cada dia ou turno, dependendo obviamente do volume de concreto produzido, são suficientes para fornecerem dados que reflitam as variações do concreto em uma estrutura (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990).

2.3 PRODUÇÃO DE CONCRETO E O PBQP-H

O Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H) é um programa do Governo Federal, que visa a implantação da qualidade evolutiva no setor da construção, com o objetivo de combater a não-conformidade, promover a qualidade de materiais e serviços e aumentar a produtividade em todos os segmentos do setor (PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT, 2002; SENAI, 2003).

Este programa tem caráter evolutivo, pró-ativo, de abrangência nacional e é de caráter público. No país, o PBQP-H é gerenciado em nível estadual, cabendo, portanto, a cada Estado a organização de programas de adesão e de treinamento, com adesão da Caixa Econômica Federal com instituição financeira, os governos estaduais como instituição pública e as empresas de construção como setor privado.

Este programa visa atender toda a cadeia produtiva da construção civil, desde agentes financiadores até o cliente final, interferindo na inter-relação entre todos os elos da cadeia. Na figura 11, apresenta-se uma cadeia produtiva integrada. A integração busca a garantia da qualidade do produto final em termos de requisitos do cliente e especificações com normas técnicas (SENAI, 2003).



Figura 11: inter-relação de uma cadeia produtiva.(fonte: adaptado de SENAI, 2003)

2.3.1 Níveis de qualificação

O SIQ-Construtoras – Sistema de Qualificação Evolutiva de Empresas de Serviços e Obras é um dos projetos desenvolvidos pelo PBQP-H que tem como objetivo estabelecer um sistema de qualificação evolutiva, adequado às características específicas das empresas atuantes no setor da construção civil, mais especificamente as empresas construtoras (SENAI, 2003).

Este sistema tem as seguintes características:

Produção de concreto: verificação da variabilidade da resistência à compressão do concreto em empresas construtoras da cidade de Chapecó

- a) é um sistema evolutivo de atendimento aos requisitos;
- b) prevê a possibilidade de qualificação em quatro níveis (A, B, C e D);
- c) consolida cada passo e ponto ganho em relação à qualidade;
- d) define a lista de 25 serviços obrigatoriamente controlados na execução de obras;
- e) contempla os mesmos requisitos da ISO 9000;
- f) é de adesão voluntária.

Este projeto é implantado nas empresas construtoras através de programas de treinamento e, implementados por empresas de apoio e consultoria, como por exemplo, o SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e o SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, de forma individual, em grupo ou em nível setorial (SENAI, 2003).

O SIQ-Construtoras, segundo Senai (2003), adota a abordagem de processo para o desenvolvimento, implementação e melhoria da eficácia do sistema de gestão de qualidade da empresa., onde um dos pontos principais da abordagem de processo é a implementação da metodologia conhecida como PDCA (do inglês *Plan, Do, Check e Act*).

As principais diferenças entre os programas da série ISO e o SIQ-Construtoras é que na série ISO não há níveis de certificação, sendo necessária a implantação de todos os requisitos para solicitação de auditoria e não há estipulado quais ou quantos materiais e serviços deverão ser controlados. O PBQP-H fundamenta-se na ISO, por ser esta última uma referência internacional, amplamente reconhecida, porém de caráter genérico, enquanto o SIQ-Construtoras tem certificação evolutiva, à medida que são implantados os requisitos, estipulando serviços e materiais obrigatoriamente a serem controlados (PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT, 2002; SENAI, 2003; BUREAU VERITAS QUALITY INTERNATIONAL, 2003).

No PBQP-H, requisito é uma série de medidas gerenciais para a obtenção do objetivo que é a garantia de qualidade do produto final. Cita-se como exemplo a avaliação do fornecedor do material (identificação e rastreabilidade), inspeção e ensaios no recebimento, durante o processo e no final deste processo. No anexo B apresentam-se os requisitos necessários conforme a qualificação evolutiva da empresa no programa. Denomina-se serviço a atividade produtiva que deverá atender a uma série de requisitos previamente estabelecidos

(PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT, 2002).

O gráfico da figura 12 mostra a relação entre os níveis de qualificação do PBQP-H e NBR ISO 9000 e o grau de atendimento dos requisitos.

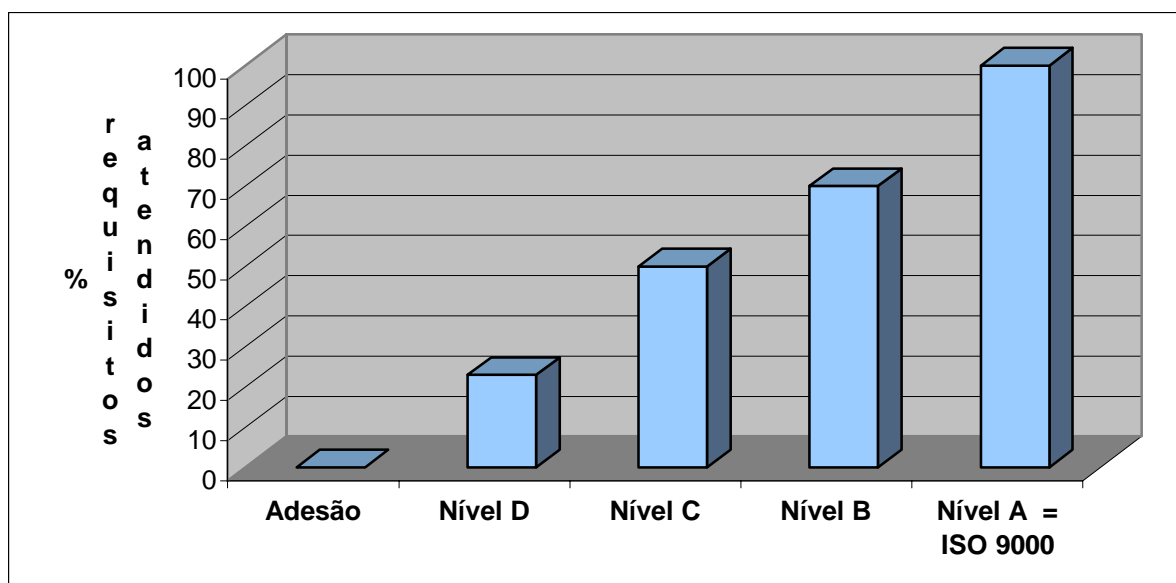


Figura 12: gráfico evolutivo dos níveis de qualificação em relação ao percentual de requisitos atendidos.(fonte: adaptado de SENAI, 2003)

Observa-se no gráfico da figura 12, que na qualificação evolutiva da empresa, no nível **D**, a empresa deverá atender somente um percentual mínimo de requisitos, porém neste nível não há materiais e serviços a serem controlados. Somente no nível **C**, a empresa deve relacionar quais os serviços a serem controlados, de uma relação estabelecida no programa SIQ- Construtoras (PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT, 2002). Neste nível a percentagem de serviços controlados deve ser de 15%.

Para a certificação no nível **B**, o percentual de serviços controlados sobe para 40%, sendo comum, porém não obrigatório, neste nível o controle do concreto e observa-se que o percentual de requisito a atender sobe para 80 % para atingir o nível **A** de qualificação, que corresponde também o atendimento aos requisitos da NBR ISO 9000 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997; PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT, 2002).

2.3.2 O controle do concreto e o PBQP-H

No projeto SIQ-Construtoras a implantação normalmente é efetuado através de programas de treinamento por empresas de treinamento e consultoria, como, por exemplo, o SENAI, conforme citado anteriormente.

A forma de treinamento varia conforme o programa e a necessidade de cada empresa. Normalmente, é efetuado através de IS - Instruções de Serviços, na qual a empresa recebe treinamento específico em todos os seus níveis, gerenciais e operacionais, para a implantação da melhoria.

No programa implantado pelo SENAI, a produção do concreto estrutural em obra é controlada através da IS 26⁹ (Anexo A) onde em nível operacional participam desde o servente que irá produzir o concreto, pedreiro e ao mestre de obras. Em nível gerencial, o controle será efetuado pelo preposto da empresa, seja o engenheiro de obra, ou estagiário indicado para tanto.

Na IS 26, as instruções vão desde a determinação do teor de umidade da areia, até o controle do concreto, através do abatimento de tronco de cone e moldagem dos corpos-de-prova para ensaios de resistência à compressão.

Além do treinamento do pessoal, é implantada na obra toda uma comunicação visual, de forma que os procedimentos estejam na obra, não somente da forma documental, mas, principalmente de forma visual, clara e de fácil interpretação pelo pessoal operacional. A figura 13 mostra um exemplo de um quadro orientando sobre a forma de realizar o controle do concreto através do ensaio de abatimento e moldagem dos corpos-de-prova.

Pelo exposto neste capítulo, observou-se que apesar do concreto ser um dos materiais mais estudados e utilizados no mundo, ainda há muito desconhecimento por parte dos profissionais do seu processo de produção e que isto tem levado a um gasto desnecessário com retrabalhos ou com correções devido à manifestações patológicas.

Observou-se ainda que o controle de produção é parte do processo, na atual filosofia de produção, para que os objetivos desta produção sejam atingidos.

⁹ IS 26 – Produção de concreto estrutural em obra

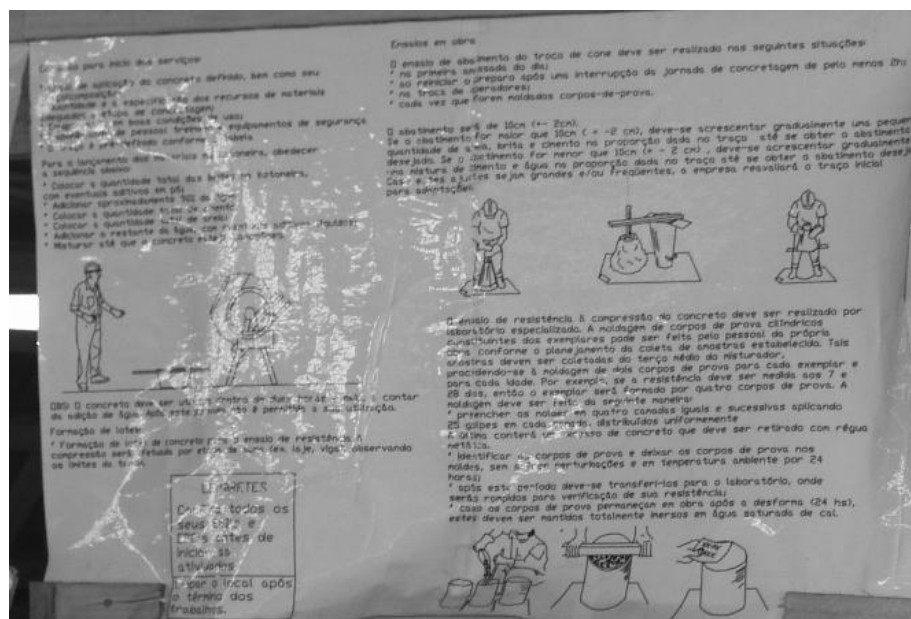


Figura 13: quadro de procedimentos de ensaios colocado em obra.

Também foi observado que há variabilidade no processo de produção de concreto, sendo esta inerente ao processo, sendo intrínseca a ele, e que é a soma das variabilidades individuais decorrentes em todo processo, inclusive aquela devida aos ensaios realizados, devendo estas últimas ser devidamente quantificadas para não induzir o produtor a decisões errôneas, inclusive a modificar o seu processo de produção indevidamente. Porém, a sua redução somente é possível através de um controle de qualidade efetivo, em todo o processo, identificando as causas e a forma de intervir.

Foi ainda apresentado brevemente o PBQP-H, e de que forma este programa de qualidade pode melhorar o processo de produção de concreto de uma empresa que implante este programa.

3 DOSAGEM DE CONCRETO

3.1 OBJETIVOS DA DOSAGEM DE CONCRETO

É de conhecimento da comunidade da construção que para atingir a resistência à compressão mínima, os concretos dosados em obra empregam um consumo excessivo de cimento, elevando o custo final do concreto e que por vezes esta resistência ainda assim acaba não sendo alcançada. Entre os motivos principais, sem dúvida está exatamente na mudança das propriedades do concreto fresco, tal como o aumento da trabalhabilidade requerido pelos funcionários que atuam no lançamento e adensamento do concreto, e que acontece simplesmente pelo aumento de água. Estes procedimentos acontecem pela falta de conhecimento dos encarregados da produção do concreto e pela falta de controle.

O engenheiro Fernando Luiz Lobo Carneiro (Carneiro, 1953), em face destes fatos já destacava:

É, pois indispensável propagar entre os mestres de obra a noção fundamental de que o concreto deve ser fabricado com a menor quantidade de água possível, mas, depois de endurecido, deve ser irrigado com a maior quantidade de água possível; infelizmente a maioria deles tem a tendência a realizar exatamente o inverso.

Portanto, é notório que há muita variabilidade no processo, principalmente devido à falta de controle do processo e da não existência de procedimentos. Em síntese, este fato deve-se por ser pouco utilizada pelos construtores a dosagem racionalizada e controle do processo. Este fato se agrava, pois se sabe que atualmente é necessário buscar uma nova realidade em dosagens de concretos convencionais de baixa resistência, com vistas para a durabilidade.

No Brasil, nas pequenas e em boa parte das médias construções ainda se adotam traços de concreto baseados em tabelas empíricas, definidas para materiais característicos de uma determinada região, porém sendo aplicadas de forma indiscriminada em outras regiões. A rigor, esta forma não deveria ser chamada de procedimento de dosagem, pois na realidade, neste caso, é simplesmente seguir traços pré-definidos.

O procedimento de dosagem é um processo científico e assim deve ser conduzido, e, segundo Torres (1927), Carneiro (1953) e complementado por Mehta e Monteiro (1994), dosagem é o proporcionamento dos materiais através do qual é obtida a melhor proporção entre cimento, agregados, água, aditivos e adições para produzir um concreto que atenda a certas especificações prévias.

De acordo com Tartuce e Giovannetti (1990) e Neville (1997) o objetivo da dosagem é a determinação mais adequada de aglomerantes, agregados miúdos e graúdos, água e eventualmente aditivos e adições para se possa obter um concreto que quando fresco seja trabalhável, e que, quando endurecido apresente as propriedades exigidas pelo projeto estrutural.

O'Reilly Díaz (1998) enfatiza que uma dosagem racionalizada não é elaborar regras de aplicação geral, mas criar uma metodologia que leve em conta as condições próprias de cada lugar através dos materiais locais disponíveis, para atingir os objetivos de economia de cimento e com maior durabilidade do concreto.

Helene e Terzian (1992) consideram que a dosagem do concreto objetiva atender a cinco condições principais:

- a) exigências de projeto, tais como resistência, acabamento, impermeabilidade e outras mais que o concreto endurecido deve apresentar a partir de uma certa idade;
- b) condições de exposição e operação, onde o proporcionamento deve levar em conta as características de agressividade da atmosfera, do solo e eventuais produtos em contato com a estrutura;
- c) tipo de agregado disponível economicamente, apesar de que, a princípio, deveriam fazer parte das variáveis e não dos requisitos, mas nem sempre é possível dispor-se no local da obra de agregados ideais quanto à forma e textura ou que não apresentem reatividade;
- d) técnicas de execução, que são relacionadas a operações de transporte, lançamento e adensamento do concreto;
- e) custo, onde admite-se que um concreto é econômico quando consegue atender às condições anteriores com um consumo mínimo de cimento, pois que o custo do cimento é, na grande maioria das vezes, bem superior ao dos agregados.

Mehta e Monteiro (1994) consideram que a dosagem de concreto é mais uma arte do que uma ciência e que o exercício desta arte é muito recompensador porque os efeitos da proporção dos materiais no custo e propriedades dos concretos, tanto quando frescos quanto após endurecidos, podem ser claramente vistos.

Para os mesmos autores, proporcionar misturas adequadas para o concreto, mesmo para o convencional não é um processo fácil, pois envolve a arte de balancear requisitos conflitantes. Extensivos testes em laboratório precisam frequentemente ser realizados, até alcançarem proporções satisfatórias de materiais.

Enquanto em outros países, citando como exemplo, os Estados Unidos, a dosagem e o controle dos concretos tem normas específicas, como a ACI 211 e ACI 214 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1982; 1991), para tratar do assunto, de uma forma mais aprofundada, no Brasil os critérios tanto para obtenção da resistência de dosagem e controle da resistência característica, são abordados somente sob alguns aspectos (HELENE; TERZIAN, 1992), através da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), porém sem definir critérios mais específicos.

Comentam ainda os autores que, no Brasil, em nenhum momento parece ter havido movimentação ou interesse do meio técnico para a elaboração de uma norma específica sobre dosagem dos concretos, como ocorre nos EUA, bem como em outros países. No Brasil, este assunto limitou-se sempre a especificação do cálculo da resistência de dosagem e, agora com a nova edição da NBR 6.118 de 2003 com alguns aspectos de durabilidade, principalmente na limitação da relação água / cimento.

No projeto de revisão da norma 12655 ou anteprojeto de norma Mercosul 05:03:0502 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), ainda não há uma metodologia de dosagem clara, porém no item 5.5.3.3.3, pelo exposto, comenta que dosagem do concreto deve ser estabelecida a partir de misturas experimentais, e partir destas misturas (no mínimo três) com relações água/cimento diferentes deverão ser traçadas curvas que estabeleçam a relação entre a resistência à compressão à idade especificada e a relação água/aglomerantes, num procedimento similar ao método de dosagem do IPT.

Uma das proposições de inclusão de um método de dosagem seria a utilização do método AMEBA¹⁰, proposto pelo prof. Carlos Eduardo S. Tango (TANGO, 2001), já que este método se aplica ao controle e a dosagem do concreto, compatíveis com as recomendações da ACI 318, que estão sendo acatadas atualmente na Argentina, desta forma compatibilizando com a proposição brasileira de uma norma para o Mercosul. Com base no método do IPT, o método AMEBA usa o controle antecipado da resistência do concreto, com o objetivo de reduzir o tempo de espera de cura dos corpos-de-prova dos ensaios de verificação e segundo o autor podendo-se antever ganhos de eficiência e qualidade em obras futuras a partir de seu emprego.

Pelo exposto, segundo Helene e Terzian (1992), pode-se afirmar que a dosagem é um processo bastante abrangente, exigindo um grande conhecimento do concreto, tanto em seu estado fresco como endurecido. É necessário, portanto a adoção de método de dosagem, pois estes permitem obter teórica e analiticamente um primeiro traço, considerado mais provável, que será ajustado através de ensaios experimentais em laboratório, em busca da melhor aproximação da resistência de dosagem.

Também há a necessidade da comunidade acadêmica e profissional de discutir a inclusão ou não de um método de dosagem nas normas técnicas brasileiras.

3.2 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DE DOSAGEM

Segundo a NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) uma das etapas de execução do concreto é o seu estudo de dosagem, seja ela racional e experimental ou empírica. Porém, a dosagem empírica somente pode ser utilizada para concreto classe C10, atendendo um consumo mínimo de 300 kg de cimento por metro cúbico. Determina ainda a referida Norma que todo concreto de classe C15 ou superior a ser utilizado deve ser definido através de dosagem racional e experimental.

Em contrapartida, a NBR 6.118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a), apesar de remeter de volta a NBR 12.655 sobre as condições de execução e controle

¹⁰ O nome AMEBA é uma alusão às idades de controle antecipado do concreto: idade alta “**a**” usual de 28 dias, idade média “**me**” usual de 7 dias e idade baixa “**ba**” usual de 1 ou 3 dias.

do concreto, estabelece que para nenhum elemento estrutural, com armadura passiva ou ativa, deve ser utilizado concreto com classe inferior a C20. Exceção é feita às fundações, onde pode ser utilizado concreto classe C15 ou superior. Neste sentido a NBR 6.118 sepulta definitivamente a possibilidade de se utilizar dosagem empírica para concreto estrutural, apesar de que raras são as obras em que ainda se utilizavam concreto classe C10, com exceção a pisos, mas que mesmo assim pode apresentar elevado desgaste, além de outras propriedades não atingidas conforme requisitos necessários.

De acordo com a NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) o cálculo da resistência de dosagem, depende da modalidade de preparo do concreto, ou seja: concreto preparado pelo executante na obra e concreto preparado por empresas de serviços de concretagem. As condições necessárias para a segunda modalidade não serão abordadas neste trabalho.

Para o concreto preparado pelo executante, a NBR 12.655/1996 estabelece que a resistência de dosagem deva atender às condições de variabilidade prevalecentes durante a construção, sendo esta variabilidade medida pelo desvio-padrão S_d e é levado em conta no cálculo da resistência de dosagem, conforme equação 6:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d \quad (\text{equação 6})$$

onde:

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

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

S_d = desvio-padrão de dosagem, em megapascals.

O cálculo da resistência de dosagem do concreto, conforme a NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) , depende das condições de preparo do concreto, definidas como:

- a) condição **A**, aplicável para concretos de classe C10 a C80, devendo o cimento e os agregados serem medidos em massa, e a água em massa ou volume, com dispositivo dosador, porém deve ser corrigida a água total em função da umidade dos agregados;
- b) condição **B**, sendo esta condição subdividida em outras duas, aplicáveis para:
- concreto classes C10 até C25, devendo o cimento ser medido em massa, a água medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinado com volume, devendo o canteiro dispor de meios para medir a umidade da areia, e que possa efetuar as devidas correções da água necessárias, além de possuir balanças com capacidade e precisão aferidas, para permitir a conversão dos agregados de massa para volume;
 - concreto de classe C10 até C20, devendo o cimento ser medido em massa, a água medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em volume, sendo a umidade do agregado miúdo determinada pelo menos três vezes durante o serviço do mesmo turno de concretagem e o volume do agregado miúdo deve ser corrigido através da curva de inchamento estabelecida para este material.
- c) condição **C**, aplicável somente para concretos classe C10 e C15, onde o cimento é medido em massa, os agregados medidos em volume e, a água é medida em volume e sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto.

O valor do desvio-padrão de dosagem (S_d) a ser aplicado na equação 6, conforme a NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), pode ser conhecido ou desconhecido. É considerado conhecido, quando o concreto for elaborado com os mesmos materiais, mediante equipamentos similares e sob condições equivalentes, com o valor numérico de S_d fixado com no mínimo 20 resultados consecutivos obtidos no intervalo de 30 dias, em período imediatamente anterior, devendo ser maior ou igual a 2 MPa, sendo este assunto discutido no capítulo 4.

Se não se conhece o valor de S_d , deve-se adotar para cálculo da resistência de dosagem o valor apresentado pela NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), de acordo com as condições de preparo acima estabelecidas, e deve ser mantida permanente durante a construção. Estes valores estão apresentados no quadro da figura 14. Estabelece ainda a NBR 12.655/1996 que para a condição **C**, enquanto não se conhece o desvio-padrão, exige-se que os concretos da classe C15 tenham consumo de cimento de 350 kg por metro cúbico, sendo esta condição mantida na proposta de revisão ou

anteprojeto de norma Mercosul 05:03:0502 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001).

Condição	Desvio-padrão
	MPa
A	4,0
B	5,5
C	7,0

Figura 14: desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto. (fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, p. 6)

Porém o grande descompasso atual entre as normas NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) e NBR 6.118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a), juntamente com a NBR 14.931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b), está no fato de que ao estabelecer que para a superestrutura o concreto deverá ser classe C20 ou superior. Desta forma, inviabiliza que se utilize a condição **C** para o preparo do concreto, pois esta estabelece que esta condição é aplicável apenas aos concretos de classe C10 e C15.

Em comparação com a proposta de revisão da norma 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), em que as diferentes condições de preparo do concreto, quando não se conhece o desvio-padrão estão estabelecidas no seu anexo A, a condição **C** ainda está limitada a classe de concreto C10 e C15, ou seja, como concreto estrutural, pode ser usado somente em fundações, não podendo ser usado na superestrutura, não se consistindo em avanço da norma, portanto.

Para concretos produzidos em obra onde os materiais são medidos em massa combinado com volume, na atual versão, é aplicada a segunda alínea referente à condição **B** da NBR 12.655, onde os agregados podem ser medidos em volume, sendo que a umidade do agregado miúdo deve ser determinada pelo menos três vezes durante o serviço do mesmo turno¹¹ de concretagem, sendo aplicável para concretos classe C10 a C20.

¹¹ A NBR 12.655 não definiu o termo turno de concretagem, dando margens a interpretações.

A proposta de revisão em nada foi alterada, sendo esta a condição definida como **B2**, mantendo os limites de concretos C10 até C20.

Para que o construtor ou produtor de concreto em obra possa aplicar a primeira alínea da condição **B** da atual versão da NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), produzindo concretos da classe C10 a C25, medindo os agregados em volume, a obra deve dispor de meios para medir a umidade da areia para efetuar as correções necessárias, além de balanças com capacidade e precisão aferidas para permitir a rápida e prática conversão de massa para volume dos agregados.

A proposta de revisão em nada foi alterada, manteve o texto, colocando esta condição como **B1**.

A condição **A** da proposta de revisão, somente alterou no sentido de que se aplicam as todas as classes de concreto enquanto que na atual a aplicabilidade se referia à concretos classe C10 a C80.

Observa-se que o construtor, em sua preocupação de produzir concreto com qualidade, visando atender ao disposto tanto na NBR 6.118/2003 e NBR 12.655/1996, em cidades onde não haja empresas de serviço de concretagem, ou onde a distância destas empresas fica inviabilizada pelo custo, deverá adotar um controle muito rigoroso dos materiais, medir com freqüência a umidade do agregado miúdo e ter na obra balança para efetuar a conversão dos agregados de massa para volume.

A necessidade apresentada anteriormente, porém, não é uma realidade em grande parte dos canteiros de obra do Brasil, ficando muitas questões a serem resolvidas pela revisão da NBR 12.655/1996.

A discussão do desvio-padrão a adotar na equação 6, em função do variabilidade do processo de produção e a proposição da revisão da NBR 12655/1996, será analisada nos capítulos subseqüentes e na análise dos resultados.

3.3 MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETOS

Há uma variedade grande de métodos de dosagem, tanto no Brasil, como no exterior. Alguns métodos são bastante simplificados, outros métodos bastante trabalhosos, quase que praticamente inviáveis para uso em obra, aplicáveis somente com a existência de um laboratório na obra ou na empresa.

Na Venezuela, por exemplo, Rutlland F^o (1983) sugere um método de dosagem de concretos baseado no uso do gráfico de Shilstone – Voelker, que estabelece uma porcentagem ótima de agregados miúdos em relação de um percentual de grãos chamado de grãos para trabalhabilidade¹² versus uma relação que leva em conta um percentual de agregado chamado de grãos de qualidade (maiores que 3/8”, sendo no Brasil peneira abertura 9,5 mm) e de agregados chamados de grãos de interferência (menores que 3/8” e menores que # 8). Porém o gráfico padrão se refere a um consumo específico de cimento, devendo ser corrigido através de uma relação quando se pretende trabalhar com consumos diferentes de cimento. Este método também sugere correções do percentual de finos em função do tipo de estrutura, do tipo de adensamento empregado, da forma de lançamento do concreto, das características do agregado, entre outros.

No Brasil nunca houve (HELENE; TERZIAN, 1992) e até a data de abril de 2005 não há uma norma específica que trata de dosagem de concreto. Desta forma, há uma falta de consenso sobre os procedimentos e parâmetros de dosagem, o que levou a diversos pesquisadores a proporem seus métodos, citando:

- a) método de dosagem do IPT, proposto por Ary Frederico Torres em 1927 (TORRES, 1927);
- b) método INT – Instituto Nacional de Tecnologia, proposto por Lobo Carneiro (CARNEIRO, 1953);
- c) método do ITERS – Instituto Tecnológico do Estado do Rio Grande do Sul, proposto por Eládio Pretucci;
- d) método da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, proposto por Ary Torres e Carlos Rosmann;

¹² Agregados menores que # 8 (no Brasil peneira 8) e maiores que # 100 (no Brasil peneira 0,15 mm).

- e) método CIENTEC-RS – Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul.

Em qualquer método a ser empregado, devem ser conhecidas condições iniciais da obra, algumas retiradas do projeto estrutural, outras das condições de produção da obra e informações sobre os materiais componentes. Resumidamente, as informações principais podem ser assim relacionadas, sendo variáveis as informações necessárias, conforme o método a empregar (HELENE; TERZIAN, 1992; MEHTA; MONTEIRO, 1994; RODRIGUES, 1995;):

- a) resistência característica do concreto (f_{ck}) e idade de referência;
- b) resistência de dosagem do concreto;
- c) massa específica do concreto (leve, média, alta);
- d) tipo do cimento, massa específica e nível de resistência aos 28 dias;
- e) dimensão máxima do agregado;
- f) análise granulométrica, massa específica e unitária dos agregados disponíveis;
- g) coeficiente de inchamento do agregado miúdo;
- h) consistência desejada do concreto fresco, medida pelo abatimento do tronco de cone;
- i) acabamento desejado ao concreto;
- j) relação água / cimento máxima;
- k) informações sobre aditivos e adições, quando empregados
- l) condições de exposição;
- m) durabilidade pretendida;
- n) técnicas de execução (transporte, lançamento, adensamento);

A grande quantidade de métodos de dosagem faz imaginar que determinar um traço de concreto é uma atividade muito teórica, complicada e maçante, porém, generalizar a idéia de que todo mestre e pedreiro sabem fazer concreto pode criar uma desmotivação no engenheiro jovem a um estudo aprofundado do assunto, o que normalmente faz com que recorra às famosas tabelas de traços de concreto. Este fato acaba por refletir no sistema de ensino da

engenharia, aliado ao fato da facilidade da oferta do produto por empresas de serviço de concretagem (HELENE; TERZIAN, 1992).

Entre os métodos existentes, um dos mais utilizados é o método do IPT, por ser experimental e parte do princípio de que os materiais a empregar já tenham sido escolhidos e não há necessidade de reconfiguração de materiais, partindo dos materiais disponíveis, sendo que o objetivo é estabelecer um traço de concreto que proporcione ao construtor a consistência requerida, atendo a resistência à compressão média f_{cj} a j dias de idade, respeitando as restrições de durabilidade.

Este método proposto em 1927 pelo Ary Frederico Torres sofreu algumas modificações do método do ITERS, descrito por Eládio Petrucci e vem sendo utilizado com sucesso há mais de setenta anos (TANGO, 1993).

Pelo exposto neste capítulo verifica-se que a dosagem do concreto tem como principal objetivo à determinação adequada dos seus componentes visando atender a várias propriedades do concreto, tanto fresco como endurecido. Observa-se que na determinação da resistência de dosagem é fundamental o conhecimento do desvio-padrão de dosagem, ou no desconhecimento deste, a adoção de um valor conforme a condição de preparo do concreto e que de acordo com as normas atuais vigentes há um descompasso para a condição C estabelecida na NBR 12.655/1996 e NBR 6.118/2003.

Também fica a questão da necessidade ou não da revisão da NBR 12655 explicitar um método de dosagem. Há uma tendência de que na futura revisão seja efetuada uma compatibilização com a norma americana ACI 318, que é bastante acatada na Argentina e de grande aceitação no Brasil, segundo Tango (2001).

4 CONTROLE DE PRODUÇÃO DO CONCRETO

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O uso do controle estatístico para a aceitação do concreto relaciona-se com a variabilidade do processo de produção e ensaio do concreto, sendo uma ferramenta que mede o quanto um construtor ou produtor controla o seu processo de produção. Helene (1990) comenta que todo produtor corre o risco de ter sua produção, ou uma certa quantidade de concreto rejeitado, mesmo que este esteja de acordo com o especificado (traço, por exemplo). Porém, este risco de rejeição será tanto menor, quanto mais acima da resistência especificada (f_{ck}) esteja a média e o valor característico de sua produção. Para tanto são realizados ensaios diversos no concreto.

Contudo, o controle de qualidade da resistência do concreto se restringe à resistência potencial do concreto, medida na saída da betoneira ou caminhão-betoneira, esquematizado na figura 15, estando indicado nesta figura o escopo desta pesquisa.

Segundo Mentone et al. (1994), as vantagens de se conhecer e controlar a variabilidade da resistência do concreto à compressão está vinculado aos critérios de segurança da estrutura e ao incentivo ao produtor de concreto de adotar medidas de melhorias, de forma a dar uniformidade no processo produtivo, diminuindo a variabilidade e uma conseqüente economia.

A norma americana ACI 214 é uma das normas consideradas modelos para o controle estatístico do concreto, em especial para o sistema de produção de controle de produção através das cartas de controle (HELENE, 1986). Segundo a norma ACI 214 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990), a resistência de corpos-de-prova de controle constitui uma evidência tangível da qualidade do concreto. O padrão de controle de concreto pode ser avaliado pelo desvio-padrão a ser encontrado para diferentes classes de controle, conforme o quadro da figura 16.

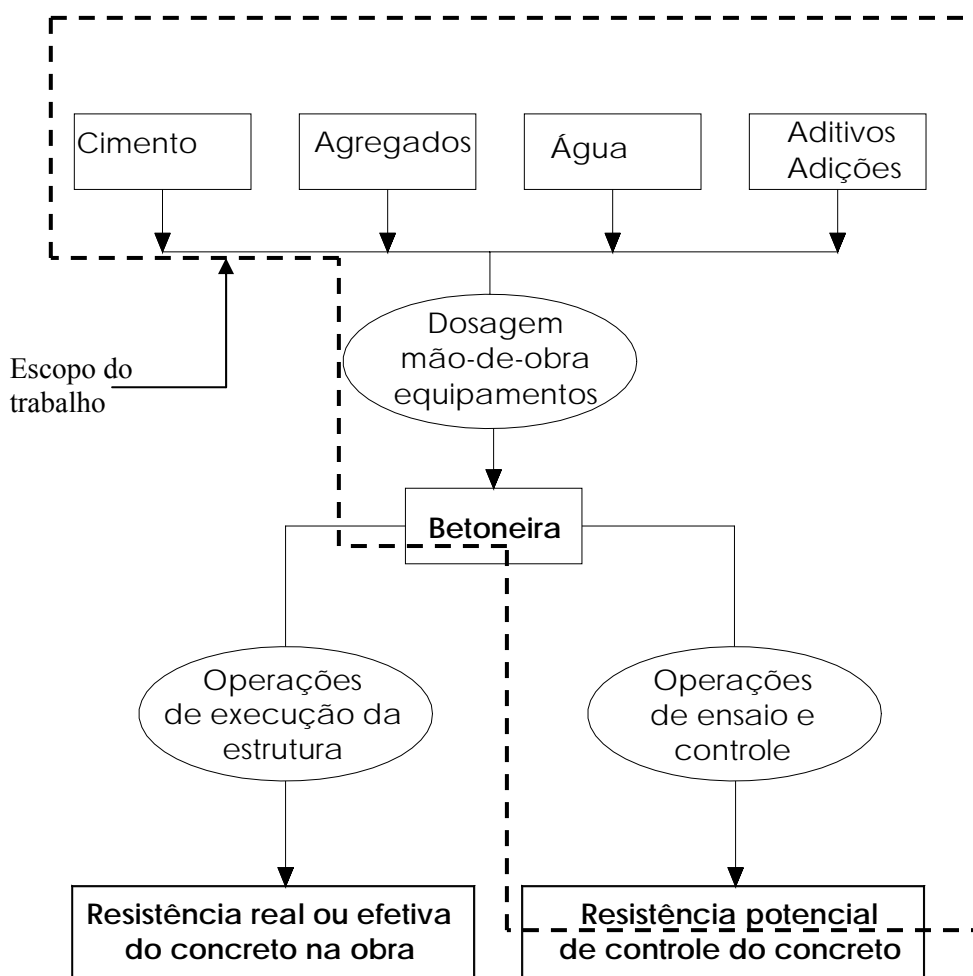


Figura 15: significado da resistência à compressão do concreto obtida através do controle do concreto. (fonte: HELENE; TERZIAN, 1992)

Classe de operação	Desvio-padrão para classes diferentes de controle (MPa)				
	Excelente	Muito bom	Bom	Razoável	Deficiente
Ensaio de construção em geral	Inferior a 2,81	2,81 a 3,52	3,52 a 4,22	4,22 a 4,92	Superior a 4,92

Figura 16: padrões de controle do concreto. (fonte: adaptado de AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990)

O American Concrete Institute (1982) comenta que os objetivos dos ensaios de resistência do concreto são os de verificar, deterministicamente sua conformidade com a especificação de resistência e medir sua variabilidade, pois, sendo o concreto uma mistura de materiais heterogêneos, está sujeito à influência de inúmeras variáveis. A variabilidade do processo de produção, bem como a variabilidade de cada um dos componentes do concreto pode causar variações na sua resistência final (resistência potencial).

Explicitando os fatores que intervêm na resistência potencial do concreto, Mercer (1954 apud HELENE, TERZIAN, 1992) listou sessenta causas de variação da resistência à compressão do concreto. Sparkes (1954 apud HELENE, TERZIAN, 1992), simplificou e reuniu estas sessenta causas em apenas oito, consideradas mais importantes. Giammusso (1992) cita que os norte-americanos Gilbert Haddad e Sidney Freeman relacionaram 60 causas da variação da resistência do concreto, desde variações no próprio ensaio, das características dos materiais, das proporções da mistura e outras. Helene e Terzian (1992) colocam que fica claro que os fatores que mais influenciam na resistência a compressão são:

- a) variabilidade do cimento;
- b) variabilidade dos agregados;
- c) variabilidade da água (quantidade);
- d) variabilidade dos aditivos e da proporção relativas destes;
- e) qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura;
- f) eficiência das operação de ensaio e controle.

Porém, o controle de recepção do produto concreto, que envolve um juízo de aceitação ou rejeição, difere do controle de produção em dois aspectos fundamentais, segundo Helene e Terzian (1992):

- a) a finalidade da decisão é simplesmente julgar se determinada porção de concreto tem conformidade com o especificado, não se tratando de análise de estabilidade do processo de produção, ou seja, sua uniformidade;
- b) não envolve fatores econômicos da produção, pois só importa aceitar o concreto com o f_{ck} atendido, seja qual for a dispersão e a média de produção daquele concreto.

Em resumo, o controle da produção atua sobre o processo e o controle da aceitação atua sobre o produto, sendo o primeiro efetuado pelo produtor e o segundo exercido pelo consumidor (FUSCO, 1981).

4.2 FUNÇÕES ESTATÍSTICAS

A resistência dos corpos-de-prova de concreto de uma obra controlada se distribui segundo uma curva semelhante à curva de distribuição normal, conforme figura 17.

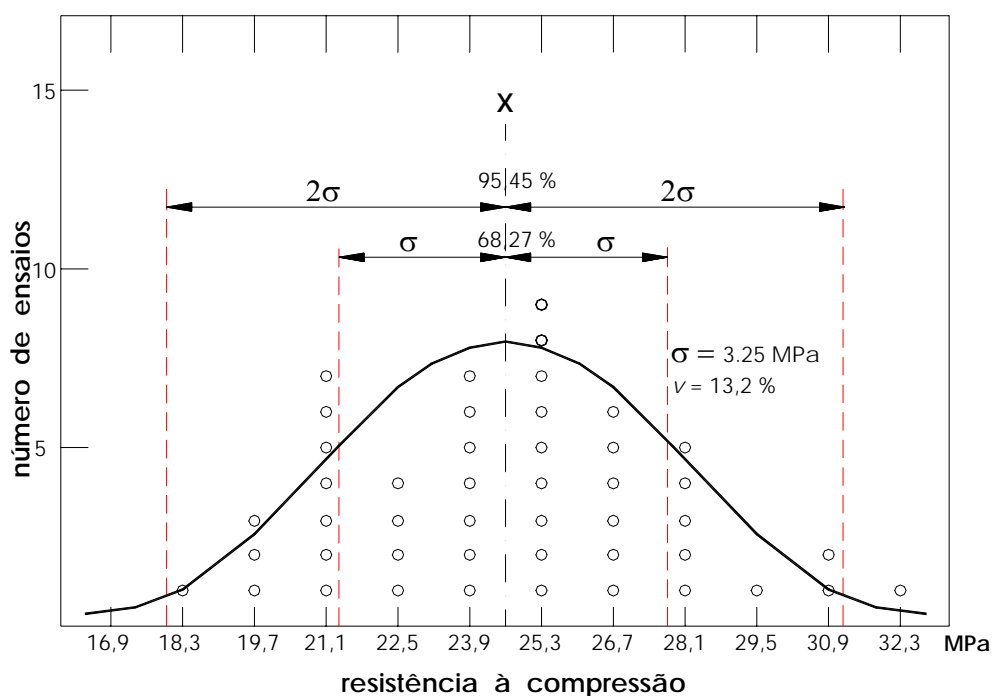


Figura 17: freqüência de distribuição dos valores de resistência e distribuição normal correspondente. (fonte: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990)

Quando existe um controle eficiente, os valores de resistência se agruparão perto da média, e a curva será alta e estreita. Em obras com grande variabilidade dos valores de resistência, ou seja, obras com controle deficiente, os valores se espalham e a curva se torna baixa e larga, conforme figura 18 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1982; HELENE; TERZIAN, 1992; ISAIA, 1988).

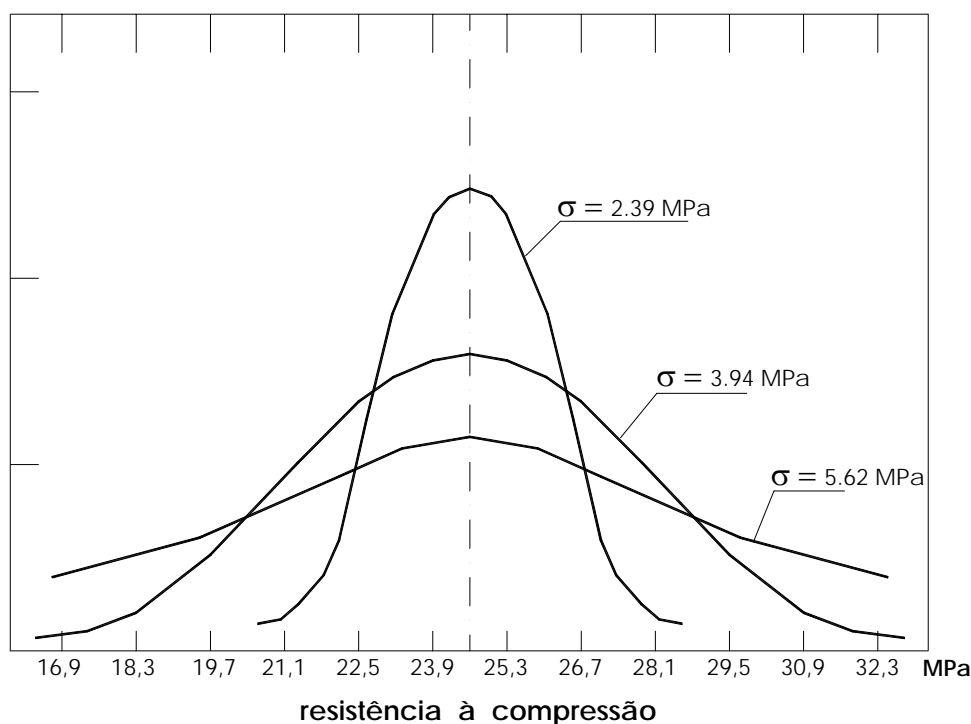


Figura 18: curvas de frequência normais para diferentes desvio-padrão.(fonte: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990)

Para indicar e interpretar esta variação na produção, a aplicação de métodos estatísticos apropriados constituem uma base necessária. Entre as funções estatísticas citamos: média \bar{X} , desvio padrão σ , coeficiente de variação v , amplitude R .

4.3 CONTROLE DO CONCRETO – HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS

No Brasil, as normas somente a partir de 1960 passaram a considerar a variabilidade da resistência mecânica do concreto dos outros fatores, tais como as ações, com a edição naquele ano da NB 1. As edições de 1940, 1943 e 1950 não explicitavam esta metodologia, dando a entender apenas que controle era função da média dos resultados dos ensaios à compressão, sem considerar a variabilidade da resistência (MENTONE, 1994).

O regulamento para construções em concreto armado de 1931 não fazia distinção das resistências dos materiais da variabilidade das características geométricas dos componentes estruturais, não incentivando uma melhoria de qualidade dos materiais e da qualidade de

execução, sendo que este conceito perdurou nas normas de 1937, 1940, 1943 e 1950 (HELENE, 1980). Nestas normas o controle da resistência à compressão do concreto era feito pela média dos resultados, com pelo menos um ensaio por dia de concretagem, porém, isto fica somente subentendido, pois não há indicação explícita (HELENE, 1980; MENTONE, 1994; CREMONINI, 1994).

O regulamento para construções em concreto armado de 1937 ainda não há indicação explícita de como controlar a resistência. Entende-se que deve ser feito pela média dos resultados, não se aceitando concretos representados por corpos-de-prova cujos resultados são em média inferiores a 12,5 MPa, sendo que não se permite dosar concreto empiricamente com resistência à compressão maior que 17,5 MPa (HELENE, 1980; 1986), nem produzir concretos com consumos iguais ou inferiores a 200 kg de cimento por metro cúbico de concreto.

Na edição de 1960 da NB1 há uma grande evolução no controle da resistência à compressão, onde fica definida a resistência básica do concreto (σ_R), com uso de ferramentas estatísticas, tal como o coeficiente de variação e a média. Este valor pode ser obtido a partir de 32 resultados estando implícito o quantil de 5% da curva de distribuição normal, conforme o tipo de controle exercido. Os controles definidos eram do tipo rigoroso, razoável ou regular, sendo o valor de σ_R obtidos a partir dos resultados (σ_{c28}) e assumia o valor de $\sigma_R = \frac{3}{4} \sigma_{c28}$, $\sigma_R = \frac{2}{3} \sigma_{c28}$ ou $\sigma_R = \frac{3}{5} \sigma_{c28}$, conforme o controle, respectivamente.

Assim se apresentava, pela primeira vez, um critério que incentivava o produtor a investir na melhoria do processo para obtenção de uma uniformidade, para baixar o custo do concreto, baixando a resistência de dosagem (MENTONE, 1994; HELENE, 1980; 1990).

Com relação ao tamanho da amostra, foi demonstrado através de conceitos estatísticos fundamentais, para que o erro relativo não supere o valor determinado com 95% de probabilidade, que o valor de 32 resultados é aquele que define uma grande amostra. Conforme Fusco (1981), embora se saiba que possa existir um erro relativo de 25%, este fato é ignorado, admitindo que o desvio-padrão encontrado seja o adotado.

Em 1978, a ABNT publica uma nova revisão da NB1, passando a se chamar NBR 6118 em 1980 e atualiza os critérios e recomendações e, passa a considerar as resistências de dosagem

dos materiais e ações, como variáveis aleatórias e admite uma distribuição estatística destas variáveis e fixa o chamado valor característico, sendo uma simplificação do método probabilístico puro. Esta norma considera que na resistência dos materiais há causas de incertezas na variabilidade dos materiais, da correlação corpo-de-prova com a realidade e erros de ensaios, com o estabelecimento do coeficiente de ponderação parcial (γ_m). (MENTONE, 1994; HELENE, 1986; 1990; CREMONINI, 1994). Pode-se dizer que os fatores que intervêm na resistência potencial do concreto são exclusivamente os relacionados aos materiais, à mistura e ao procedimento de ensaio.

A resistência de dosagem então, passa a ser definida não mais baseada no coeficiente de variação, mas no desvio-padrão do processo de produção e ensaio do concreto, como sendo o valor característico de uma produção. Assim a definição da resistência de dosagem é uma regra de decisão, a partir da adoção de um valor para o desvio-padrão de dosagem.

Helene (1990) comenta que esta alteração se justifica por resultados de experiências internacionais ocorridas entre os anos de 1960 e 1978, período que vigorou a NB1/1960, citando o trabalho de Racwitz que realizou estudo de 800 diferentes obras, onde as distribuições de frequências dos resultados puderam ser ajustadas a uma distribuição normal. Comenta ainda Helene (1990), que este estudo comprovou a característica de normalidade da resistência à compressão do concreto e que confirmou o trabalho de Gitahy, que apontava para a constância do desvio-padrão da produção e ensaio do concreto, para valores de resistência média do concreto superiores a 20 MPa. Finaliza citando ainda que outros pesquisadores ingleses e americanos comprovaram ser o desvio-padrão de um processo de produção de concreto praticamente constante para resistências médias acima de 20 MPa.

Segundo ACI 214 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990), a decisão de adotar o desvio-padrão ou coeficiente de variação como medida de dispersão depende qual dos dois meios se aproxima mais de um valor constante. Ressalta, porém, que para resistências superiores a 21,1 MPa o desvio-padrão se mantém praticamente constante e é considerado o mais apropriado.

Um dos maiores esforços realizados e que resultou em estudos realizados sobre o controle de qualidade do concreto, foi quando em junho de 1966, representantes do CEB, CIB, FIP e

RILEM¹³ resolveram instituir um comitê para estudo do controle estatístico da qualidade do concreto (COMMITTE CEB/CIB/FIP/RILEM, 1975). Entre os problemas estudados foram:

- a) dispersão da resistência do concreto produzido em obra e determinação dos ensaios padrão que influenciam nos parâmetros, tais como o tempo e tamanho da produção de concreto, controle da produção, variabilidade da composição do concreto no lote e variabilidade da composição do concreto entre lotes;
- b) métodos eficientes para controle da produção;
- c) tratamento estatístico dos resultados, de preferência para métodos a serem utilizados na obra;
- d) qual resistência do concreto pode ser definida, tais como valor médio, valor mínimo e que valor corresponde a um determinado percentual de defeitos.

Este comitê discutiu as considerações do balanço entre a técnica, economia e consequência sociais de uma possível falha e o custo da redução do risco de falha e também ponderou que a resistência de um dado concreto não é representada por um único valor, sendo mais bem descrita por uma população de infinitos valores.

Concluiu ainda que se o concreto é produzido sob condições estáveis, a distribuição desta população pode ser considerada gaussiana (distribuição normal) e que pode ser descrita completamente por dois parâmetros: média e desvio-padrão (COMMITTE CEB/CIB/FIP/RILEM, 1975).

Assim como no Brasil, em muitos países também houve estudos e discussões sobre o uso da frequência dos resultados serem ajustados à uma curva de distribuição normal, utilizando o desvio-padrão ao coeficiente de variação.

Balaguru e Ramakrishnan (1987), comentando sobre os critérios da ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1982), dizem que o uso de distribuição normal, com o uso do desvio-padrão é adequado para representar os resultados para a estimativa da resistência média, para atingir a resistência característica especificada, porém sugerem que este critério é mais aceitável quando os valores médios são mais elevados e concluem, com base em 51

¹³ CEB – Comitê Européen du Béton; CIB – Conseil International du Bâtiment; FIP – Fédération Internationale de la Précontrainte; RILEM – Réunion Internationale des Laboratoires d’Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions.

ensaios também que o valor de t adotado pela ACI 214 é conservador para atingir a resistência média, conforme equação 7.

$$f'_{cr} = f'_c + t s \quad (\text{equação 7})$$

onde:

f'_{cr} = resistência média

f'_c = resistência à compressão especificada (característica)

t = multiplicador ou também conhecido por “ t ” de Student

s = desvio-padrão dos resultados

Torrent (1988), comentando sobre o trabalho de Balaguru e Ramakrishnan (1987), diz que em estudos anteriores analisou a adequabilidade do uso da distribuição normal e sugere que o uso de distribuição log-normal é mais adequado, especialmente para valores inferiores de resistência à compressão (menores que 50 MPa). Porém, Balaguru e Ramakrishnan (1987), apesar de concordar que a curva log-normal representa uma inclinação melhor, quando se usa trinta ou mais resultados, a curva da distribuição normal, para a obtenção do desvio-padrão é suficientemente eficaz.

Segundo Neville (1997), as discussões no comitê 214 da ACI sobre a medida apropriada para dispersão, o desvio-padrão ou o coeficiente de variação, naquela data ainda prosseguiram, quando da mudança para a versão de 1989 para a revisão de 1992. A conveniência do cálculo e a simplicidade da abordagem, às vezes levadas as discussões, não são o critério correto para apoio das decisões de qual dos dois métodos deve ser usado, o do desvio-padrão ou do coeficiente de variação. O que importa é o comportamento real do concreto (NEVILLE, 1997).

Neste sentido é importante conhecer alguns valores sugeridos por diversas normas e autores com relação ao desvio-padrão, em função do controle do concreto.

Tait (1986) ao analisar em seu artigo o risco de falha na utilização dos valores sugeridos pela ACI em 1983, para a revisão da ACI 301-72 da utilização dos valores de média e desvio-padrão, apresenta os valores sugeridos pelo comitê de revisão relativo ao controle de concreto, para o produtor saber se está adequado ou não, conforme indicado no gráfico da figura 19.

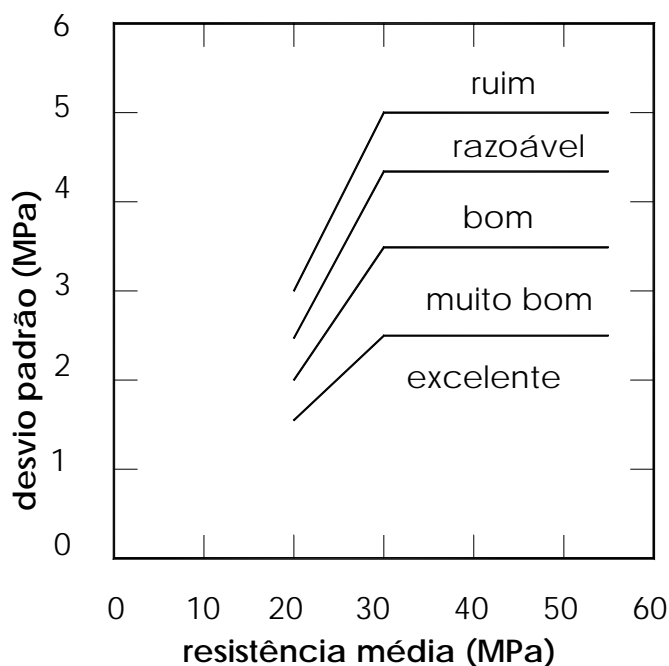


Figura 19: relação entre resistência média e desvio-padrão dos níveis de controle de qualidade proposto pelo comitê ACI 318.(fonte: adaptado de TAIT, 1986)

De modo semelhante, a norma neo-zelandeza, que utiliza o coeficiente de variação (TAIT, 1986) estabelecia através de especificações padrões um limite de aviso para a média do coeficiente de variação para diferentes classes de concreto, ou seja, um limite máximo plausível para um bom controle do concreto, conforme gráfico da figura 20.

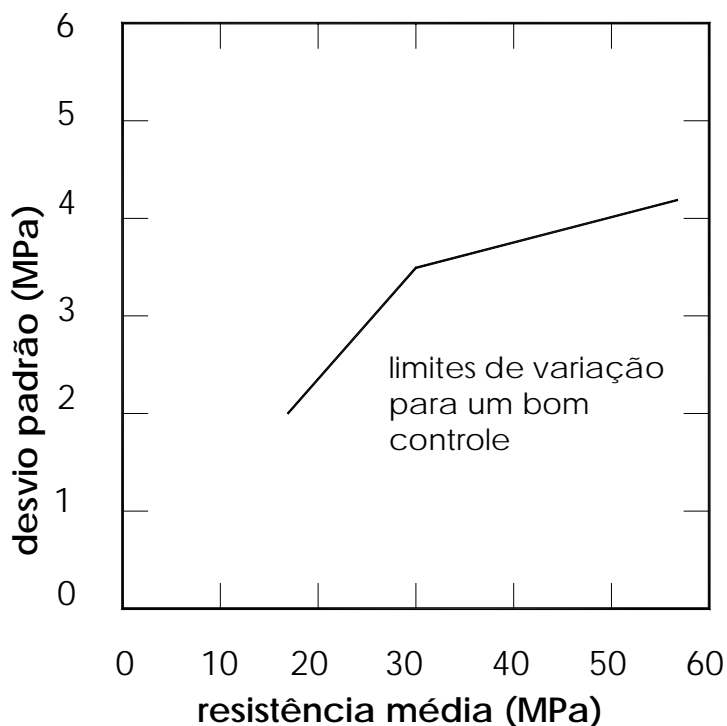


Figura 20: relação entre resistência média e desvio-padrão dos níveis de controle de qualidade da norma neo-zelandeza. (fonte: adaptado de TAIT, 1986)

Segundo Porrero (1983), na Venezuela, para se atingir a resistência característica do concreto (f_c), deve-se dosar o concreto com uma resistência maior chamada de resistência média de dosagem (f_{cr}), sendo este valor estabelecido em função de um desvio-padrão (σ), sendo que este valor deve ser calculado com base em antecedentes e ensaios realizados em misturas preparadas com os mesmos materiais, mesma equipe e tecnologia utilizada no local onde será empregado o concreto, num procedimento semelhante a NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996).

Porém, quando não se conhece o valor de σ , este deve ser estimado em função de uma variabilidade geral que ocorre na produção de concretos, como indicado no quadro da figura 21, salientando Porrero (1983), que estes valores são, sem dúvida, imprecisos.

Tipo de controle	Valor de σ (MPa)
Sem nenhum controle	7,0
Controle visual dos agregados e descarte daqueles que apresentam péssima qualidade e controle visual das misturas – controle ruim	5,0
Como no item anterior, porém com materiais onde se efetuou ensaios de granulometria e se efetua de vez em quando ensaios de abatimento – controle médio	4,0
Controle granulométrico dos agregados, controle de umidade dos agregados, dosagem por peso, ensaios de abatimento sistemático – controle bom	3,2
Como no item anterior, porém com margem de controle mais restritos – controle excelente	2,5

Figura 21: desvio-padrão de dosagem esperado, segundo o tipo de controle efetuado.(fonte: adaptado de PORRERO, 1983)

A ACI 214/89¹⁴ classifica o controle dos concretos em função do desvio-padrão, sendo válida para concretos até 35 MPa, indicado no quadro da figura 22 (NEVILLE, 1997).

Classificação	Desvio-padrão (MPa)	
	Na obra	No laboratório
Excelente	< 3,0	< 1,5
Muito bom	3,0 a 3,5	1,5
Bom	3,5 a 4,0	1,5 a 2,0
Razoável	4,0 a 5,0	2,0 a 2,5
Insatisfatório	> 5,0	> 2,5

Figura 22: classificação de controle de concretos, conforme ACI 214/89.(fonte: adaptado de NEVILLE, 1997)

Mather (2004) sugere ainda que o controle referente à durabilidade do concreto deve ser efetuado ainda em obras existentes, pois o concreto que está em serviço por um longo período

¹⁴ Na referência citada por várias vezes o autor coloca como ACI 247/77

necessita ser inspecionado, testado e validado; e os resultados analisados; e a conclusão dos trabalhos é se o concreto é durável ou não.

Durável não é um atributo do concreto em geral, ou de uma classe de concreto, com uma série de propriedades, mas, de preferência, uma conclusão no âmbito sobre os objetivos específicos do ambiente em que se encontra e Mather (2004), conclui que um concreto é durável se, no ambiente em que se encontra, tem a sua vida útil esperada, sem custos elevados de manutenção e reparos por degradação ou deterioração.

4.4 ALGUNS CRITÉRIOS ATUAIS RELATIVOS AO CONTROLE DO CONCRETO NO BRASIL

4.4.1 Introdução

A resistência do concreto é variável com os materiais, equipamentos e métodos de ensaio. Esta variação é traduzida no tempo com a mudança da média dos valores e da dispersão, avaliada através do desvio-padrão. No entanto, este concreto é aplicado na obra em lugares determinados da estrutura, havendo então, maior interesse em julgar as peças individualmente do que a estrutura conjuntamente.

Para efeito de inferência estatística, onde a partir de uma amostra se julga um lote, é imprescindível que este lote de concreto tenha as mesmas características, ou seja, o mesmo traço, materiais de mesma partida, mesmo equipamento de mistura e mesma técnica de ensaio (CARMONA FILHO; HELENE, 1986).

Inicialmente, se torna necessário à apresentação dos termos utilizados no controle do concreto segundo o anteprojeto de norma Mercosul 05:03:0502 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001) e Helene e Terzian (1992):

- a) **lote:** quantidade de concreto que tendo sido produzida em condições sensivelmente iguais (mesma população) é submetido a julgamento de uma só vez, podendo ser aceito ou rejeitado;

- b) **unidade de produto:** corresponde a cada produção, qualquer que seja o volume da betoneira;
- c) **amostra:** conjunto de exemplares que se admite como representativos de um lote;
- d) **tamanho da amostra:** corresponde ao número de exemplares que constituem uma amostra;
- e) **exemplar:** parte individualizada de um lote que se toma para compor uma amostra representativa do mesmo e deve corresponder a uma unidade uniforme de concreto (uma betonada, um caminhão betoneira, etc), sendo que é composto de dois corpos-de-prova para ruptura em uma mesma idade.

4.4.2 Aceitação do concreto

Os critérios estabelecidos pela NB1/1978 e NBR 6.118 de 1980 vigoraram durante 14 anos, até 1992 quando foi publicada a NBR 12.655, porém, devido ao número considerável de sugestões, sua revisão foi iniciada em 1993, sendo que em maio de 1994 foi encerrada e colocada em votação (MENTONE, 1994), sendo que a edição de 1996 é a que está em vigor.

Atualmente, além do controle da resistência à compressão do concreto, há a tendência de todas as normas nacionais e internacionais adotarem critérios para efetuar verificações (ou controles) sobre a durabilidade do concreto.

Segundo a NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) a aceitação do concreto consiste em duas etapas: uma provisória que é a aceitação do concreto fresco que deve ser feita durante a descarga da betoneira e consiste em verificar a conformidade das propriedades especificadas para este estado e uma definitiva que deve ser efetuada através de ensaios de controle e consiste em verificar o atendimento a todos os requisitos especificados para o concreto endurecido. Estabelece a norma que os lotes de concreto serão aceitos sempre que for atendida a relação $f_{ck,est} \geq f_{ck}$, sendo o $f_{ck,est}$ calculado em conformidade com o que estabelece a Norma.

O fundamento do procedimento vigente de controle do concreto é o cálculo do $f_{ck,est}$ usando a fórmula do estimador espanhol, para amostragem parcial, conforme equação 8:

$$f_{ck,est} = \left(2 \cdot \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} \right) - f_m \quad (\text{equação 8})$$

onde:

$f_{ck,est}$ = valor estimado da resistência à compressão do concreto na idade especificada.

f_1, f_2, \dots, f_n = valores da resistência dos exemplares, em ordem crescente.

$m = n/2$, desprezando-se o valor mais alto de n , se for ímpar.

Deverá ainda o valor do $f_{ck,est}$ atender a condição da equação 9 adiante.

Para casos excepcionais, a versão atual da norma NBR 12655 tem critério diferenciado. Entende-se como caso excepcional quando o lote é menor que 10 m^3 e a amostra tem um número de exemplares entre 2 e 5. Neste caso a aceitação do concreto é feita quando:

$$f_{ck,est} = \psi_6 \cdot f_1 \quad (\text{equação 9})$$

onde ψ_6 é dado no quadro da figura 23, conforme a condição de preparo do concreto e número de exemplares.

Condição de preparo	Número de exemplares (n)							
	2	3	4	5	6	7	8	...
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	...
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	...

Figura 23: valores de ψ_6 .(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996)

Este critério de adoção adotado em casos excepcionais é mais usual para obras em que somente se concretiza os pilares com concreto produzido em obra, devido ao pequeno volume envolvido, ou quando se concretiza algum elemento estrutural em separado.

A NBR 12655/1996 define ainda que possa ser aplicado em casos especiais o controle do concreto por amostragem total (100%), correspondente a se obter exemplares para cada amostragem de concreto, não havendo limitação para o número de exemplares do lote. Neste caso o valor estimado da resistência característica é dado em função do número de exemplares (n) sendo:

$$\text{Para } n \leq 20 \quad f_{ckest} = f_1 \quad (\text{equação 10})$$

$$\text{Para } n > 20 \quad f_{ckest} = f_i \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

$i = 0,05 n$. Quando o valor de i for fracionário, deve se adotar o valor inteiro imediatamente superior.

As características genéricas mais importantes nas metodologias brasileiras atuais de dosagem e controle são (TANGO, 2001; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996):

- a) cálculo da resistência de dosagem do concreto como a resistência média de uma distribuição normal, na qual o f_{ck} seja o quantil de 5% da distribuição dos resultados, conforme descrito no capítulo 4, e equação 2;
- b) no controle, divisão da estrutura em lotes, considerando o lote como uma parte da obra com concreto de características semelhantes;
- c) representação do lote por uma amostra de um certo número mínimo de exemplares, estabelecida pela NBR 12.655, sendo que cada exemplar é constituído de pelo menos dois corpos-de-prova;

- d) cálculo do $f_{ck,est}$ por um modelo matemático de estimativa do quantil de 5% da distribuição dos resultados da amostra;
- e) aceitação do lote quando $f_{ck,est} > f_{ck}$.

Segundo Tango (2001), ainda são feitas críticas a NBR 12.655, citando-se, por exemplo, a manutenção do uso do modelo matemático para cálculo do $f_{ck,est}$ do concreto. Apesar de a metodologia permitir a realização do controle do concreto a contento, precisa ser compatibilizada com as metodologias mais importantes do mundo, medida necessária ao crescente fenômeno da globalização.

4.4.3 Sistemas de controle da produção – cartas de valores

Mesmo estando implícito que o controle da produção deve ter sua atenção voltada para o controle dos fatores que intervêm na qualidade, no Brasil, e de certa forma no mundo, o uso da resistência à compressão do concreto como um parâmetro de processo de produção é o mais utilizado.

Um dos sistemas mais divulgados no mundo e também aceito no Brasil é aquele efetuado através das cartas de valores ou cartas de controle (HELENE, 1986) e recomendado pela norma americana ACI 214 (AMERICAN CONCRETE INTITUTE, 1982), empregado, por vezes, com algumas mudanças. Neste sistema, através de um gráfico estão indicados todos os resultados obtidos de cada exemplar, conforme figura 24.

Este tipo de ferramenta possibilita de forma visual a verificação se houve mudança na centragem da produção. (HELENE, 1986; GEBLER, 1990). Por exemplo, através de cálculos estatísticos, sabe-se que a probabilidade de que seis resultados consecutivos fiquem situados de um mesmo lado em relação ao valor médio (seja a média esperada ou a média de exemplares anteriores) é de 1,56% (HELENE, 1986). Modelados com base nos resultados obtidos anteriormente, e dentro dos limites por estes indicados, tão logo os novos resultados sejam plotados, tornam-se as tendências graficamente aparentes (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990).

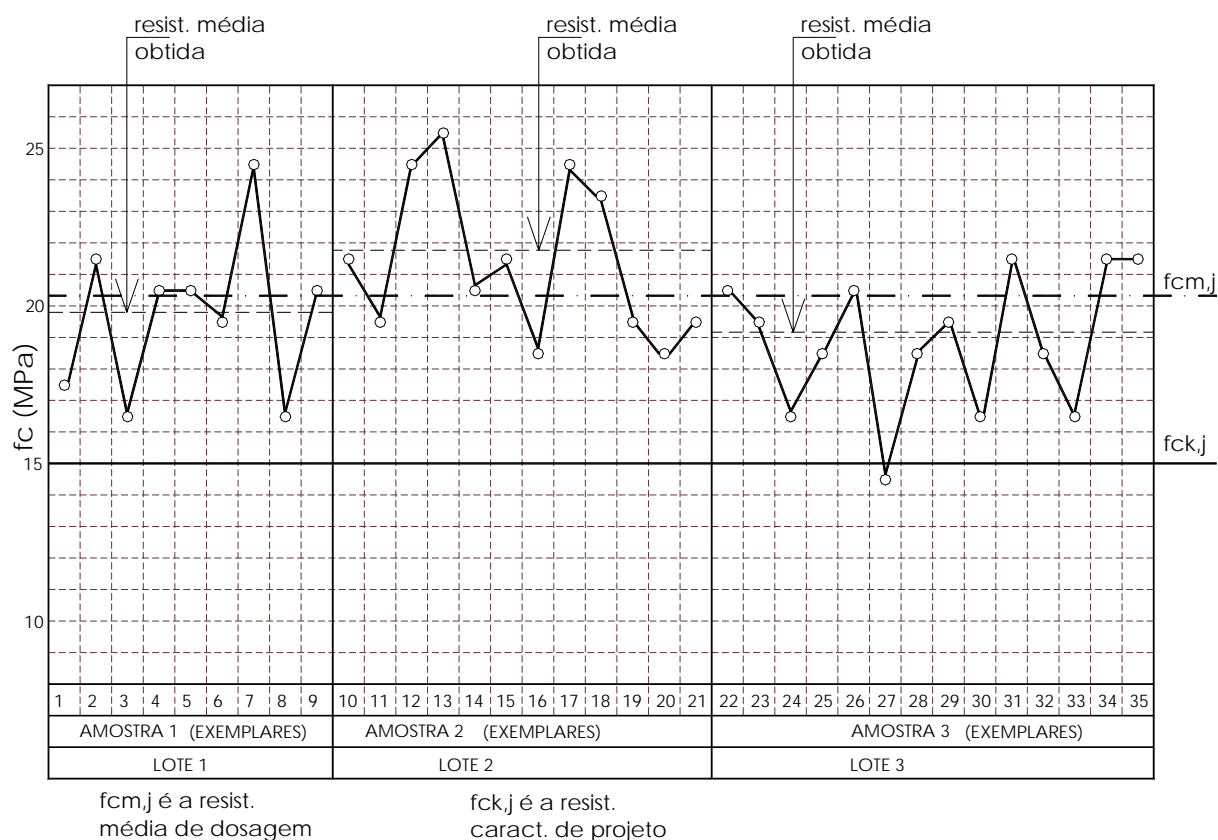


Figura 24: carta de controle de qualidade de produção com base em resultados individuais. (fonte: adaptado de HELENE, 1986)

Outro exemplo de verificação nas cartas de valores indica, no caso de considerando um conjunto de seis resultados consecutivos, haver dois exemplares com valores abaixo do f_{ck} (probabilidade de 6%) (HELENE, 1986), que houve mudança nos parâmetros do processo de produção, e no caso destes resultados serem consecutivos, de que há uma grande probabilidade de que este concreto seja deficiente.

Helene (1986) considera que acompanhar a evolução, através das cartas de valores, do desvio-padrão, conforme figura 25, em vez de somente da resistência à compressão é o aspecto mais importante do controle de qualidade do processo de produção, pois que este é um parâmetro inerente ao processo de produção e que influencia diretamente no custo do m^3 do concreto.

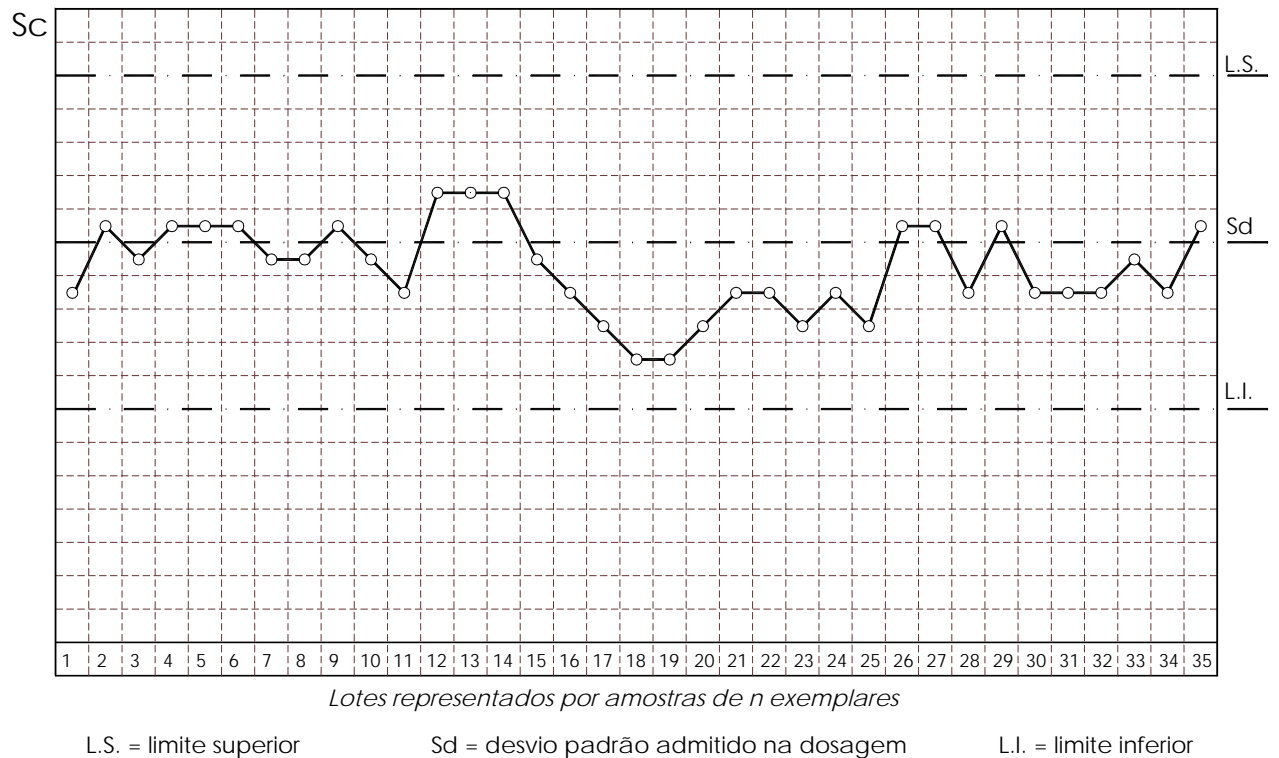


Figura 25: carta de controle de qualidade de produção com base no desvio-padrão do processo de produção e ensaio (Sc). (fonte: adaptado de HELENE, 1986)

Dewar e Anderson (1992) sugerem que a carta de valores plotada sobre o valor da resistência especificada (resistência de dosagem), como eixo principal, sobre a diferença de resultados em relação à resistência de dosagem, é um sistema de monitoramento adequado, descrito pelo Concrete Society Digest nº 6, conforme observa-se na figura 26, onde uma linha “zigzag” em torno do valor esperado é uma situação ideal e vemos uma leve tendência de valores acima do esperado em direção ao ponto A e uma tendência de resultados menores descendo ao ponto B.

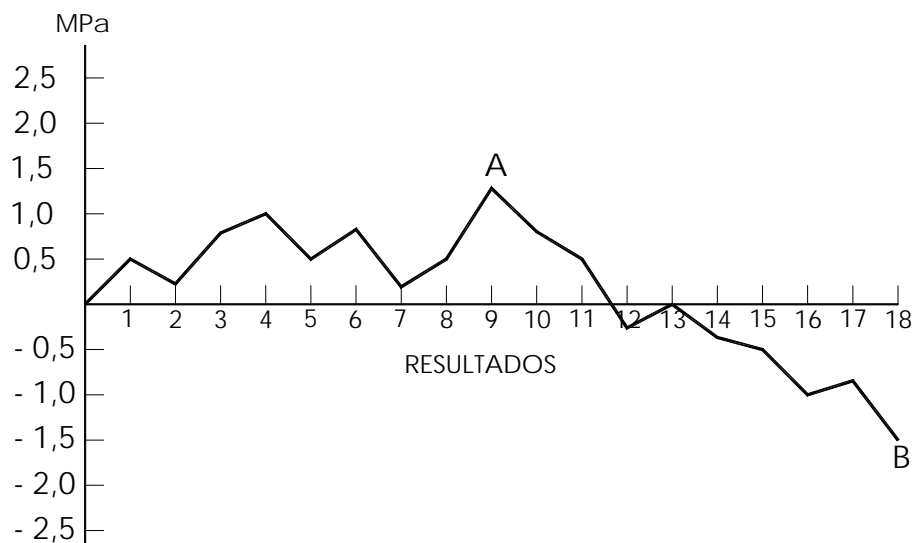


Figura 26: gráfico de diferenças de resultados em relação à resistência de dosagem.(fonte: adaptado de DEWAR; ANDERSON, 1992)

Atualmente este sistema e outros, podem ser informatizados, facilitando o controle e fornecendo um correto e eficaz arquivamento dos resultados de rompimento dos corpos-de-prova, com todos os seus atributos (traço, data de moldagem, idade de ruptura, a que lote pertence, peça concretada, etc.), citando como exemplo o ControlCON (VASCONCELOS; VASCONCELOS NETO, 1998)

4.5 CRITÉRIOS INTERNACIONAIS E PERSPECTIVAS PARA A NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA

A norma brasileira NBR 12.655 está sendo adaptada para se tornar norma do Mercosul, procurando atender também uma compatibilização com as metodologias mundiais mais importantes (TANGO, 2001).

No processo de revisão da NBR 12.655 e norma Mercosul se tomou, inicialmente, como referência internacional o projeto da Norma Européia EN 206 de maio de 1999. Diferente do Mercosul, as normas européias são estabelecidas a partir de critérios básicos definidos em Diretrizes Específicas. A norma européia não define a metodologia de dosagem, mas toma como base o conceito de famílias de concreto e de ensaios iniciais, que devem comprovar que o estudo de dosagem escolhido e efetuado atende as exigências.

Porém constatou-se que a metodologia de recebimento do concreto, proposta na EN 206, além de não ser adequada às nossas condições regionais não estabelece critérios satisfatórios para o controle de pequenas obras, que representam ainda parcela significativa do mercado brasileiro (SBRIGHI NETO; BATTAGIN, 2001).

4.5.1 Critérios internacionais

Antes de apresentar as perspectivas para a normalização brasileira, apresenta-se a seguir alguns critérios de normas internacionais.

4.5.1.1 Argentina

O critério Argentino (IRAM, 1986 apud TANGO; GIAMMUSSO (2002) tem importância especial dada a participação deste país no Mercosul. Segundo este critério, ambas as condições seguintes devem ser atendidas:

- a) a média móvel de três resultados tem que se apresentar igual ou acima de $f_{ck} + 2,5$ MPa para concretos de classe \leq H-17¹⁵ ou $f_{ck} + 3,0$ MPa para concretos de classe $>$ H-17;
- b) nenhum resultado individual poderá ter resistência menor que $0,85 \cdot f_{ck}$

A proposta de revisão da norma Argentina (CIRSOC, 2001) estabelece dois modos de controle a serem aplicados conforme a modalidade de produção de concreto: modo 1 para concreto produzido em central dosadora e modo 2 para concreto produzido em obra.

Para o modo 1, concreto produzido em central dosadora, a aceitação se dará, com atendimento as seguintes condições:

- a) a resistência média móvel de todas as séries possíveis de três ensaios consecutivos deve ser maior que a resistência especificada :

¹⁵ H17 – Classe de concreto equivalente a resistência à compressão de 17 MPa

$$f'_{cm3} \geq f'_c; \quad (\text{equação 12})$$

- b) o resultado de cada um dos exemplares deve ser maior que a resistência especificada menos 3,5 MPa:

$$f'_{ci} \geq f'_c - 3,5 \text{ MPa} \quad (\text{equação 13})$$

Para o modo 2, concreto produzido em obra, as condições de aceitação são mais rigorosas. Inicialmente deve-se efetuar aceitação de concreto pertencente a uma mesma classe (mesmos materiais, equipamentos similares e condições equivalentes) e considera-se aceito quando atende aos seguintes requisitos:

- a) a resistência média móvel de todas as séries possíveis de três resultados consecutivos é maior que a resistência especificada mais 5 MPa:

$$f'_{ci} \geq f'_{cm3} + 5,0 \text{ MPa} \quad (\text{equação 14})$$

- b) O resultado de cada exemplar deve ser maior que a resistência especificada;

$$f'_{ci} \geq f'_c; \quad (\text{equação 15})$$

O resultado de um exemplar é tomado como a média dos corpos-de-prova, sendo o mínimo de dois, sendo que a diferença entre cada corpo-de-prova em relação à média não pode ser maior que 15%, sendo então descartado o ensaio. Caso sejam utilizados três corpos-de-prova e o resultado não satisfazer o critério anterior, mas a diferença entre dois deles não divergir mais

que 10% da média, descarta-se o terceiro resultado e adota-se como resultado do exemplar a média dos corpos-de-prova aceitos (CIRSOC, 2001).

Na proposta da revisão da norma Argentina (CIRSOC, 2001) a resistência de dosagem (f'_{cr}), depende do modo de controle de concreto, sendo os modos identificados anteriormente.

Para o modo 1, a resistência de projeto segue os mesmos critérios das equações 13 e 14, sendo que se deve adotar o maior valor.

Para o modo 2, a resistência de dosagem deve ser maior que o valor resultante na equação 16

$$f'_{cr} = (f'_c + 5,0) + 1,34 \cdot s \text{ (MPa)} \quad \text{(equação 16)}$$

O desvio-padrão a utilizar, nos dois modos, em nenhum caso deve ser menor que 3,0 MPa, quando do início da obra. No caso de se dispor de resultados de ensaios, durante a construção da obra, deve se reajustar a mistura, porém, o valor mínimo do desvio-padrão será de 2,0 MPa.

Em caso de não se conhecer o desvio-padrão, devem ser adotados os valores do quadro da figura 27 (CIRSOC, 2001).

Resistência especificada (f'_c) (MPa)	Resistência de dosagem da mistura (f'_{cr}) (MPa)
Igual ou menor que 20	$f'_c + 7,0$
Entre 20 e 35, inclusive	$f'_c + 8,5$
Maior que 35	$f'_c + 10,0$

Figura 27: resistência de dosagem da mistura quando não se conhece o desvio-padrão. (Fonte: adaptado de CIRSOC, 2001)

Observa-se que o critério em estudo da norma argentina para a adoção do desvio-padrão tem como base somente a resistência característica do concreto, e varia em função deste valor,

sem, porém estimular o produtor na melhoria do seu processo de produção, já que não possibilita a adoção de valores menores, em função do tipo de controle do processo efetuado. Este procedimento praticamente obriga o produtor a adotar medidas de controle de aceitação do concreto para que a partir destes resultados, se obtenha o valor do desvio-padrão de produção, para assim poder reduzir a resistência de dosagem e em consequência o custo do concreto.

4.5.1.2 Estados Unidos

A norma da ACI 214 adota para o recebimento do concreto o critério de médias móveis de resultados de ensaios, onde cada resultado deve ser a média dos valores obtidos nos ensaios normalizados de dois corpos-de-prova do mesmo concreto (mesma betonada). As informações relevantes quanto à aceitação do concreto são (TANGO, 2001, SBRIGHI NETO; BATTAGIN, 2001; TANGO; GIAMMUSSO, 2002):

- a) a resistência de dosagem é calculada como a resistência média de uma distribuição normal, na qual a resistência característica de projeto seja o valor abaixo do qual a probabilidade de cair 1% das médias de cada três resultados consecutivos, ou a probabilidade similar de haver resultados individuais mais de 3,5 MPa abaixo da referida resistência característica, conforme equação 21;
- b) não existe o conceito de lote, sendo todo concreto (de mesma classe) pertencente a estrutura, tratado globalmente, sendo estabelecidos critérios de quantidades mínimas de amostras por período, área construída ou volume de produção;
- c) considera-se o concreto como satisfatório se ambos os requisitos são atendidos:
 - toda média de quaisquer três resultados consecutivos (média móvel de três resultados) de resistência à compressão exceder a f_c' ;
 - nenhum resultado individual de resistência cair abaixo do valor limite dado por $(f_c' - 3,5 \text{ MPa.})$
- d) se, em um dado momento, qualquer dos requisitos acima não for atendido, providências imediatas para aumentar a média das resistências seguintes devem ser tomadas. Se o requisito b) não for atendido, deve-se ainda verificar e garantir a capacidade de carga da estrutura.

A resistência de dosagem da norma da ACI 214 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990; TANGO, (2001), SBRIGHI NETO; BATTAGIN, (2001); TANGO; GIAMMUSSO (2002)), para a média de cada três resultados consecutivos, pode ser então assim definida na equação 17:

$$f_{cm} = f'_c + 1,34 \cdot S_d \quad (\text{equação 17})$$

onde:

f_{cm} = resistência de dosagem

f'_c = resistência característica de projeto

S_d = desvio-padrão de produção

Para a probabilidade de haver resultados individuais mais de 3,5 MPa abaixo da referida resistência característica, pode-se escrever a equação 18:

$$f_{cm} = f'_c + 2,33 \cdot S_d - 3,5 \text{ (MPa)} \quad (\text{equação 18})$$

Portanto, para a adoção da resistência de dosagem, deve ser adotado o maior valor obtido entre as equações 17 e 18.

4.5.1.3 Hong Kong

Segundo Liu (1997), em Hong Kong, o concreto é o material de construção mais usual para estruturas, sendo que as classes de concreto mais utilizadas vão de C15 a C40 e que para atingir a resistência característica à compressão, utiliza-se uma margem de segurança que pode chegar, normalmente a 12 MPa, onde teríamos, por exemplo, para concreto C30, a necessidade da resistência à compressão dos cubos ter a média de 42 MPa. Em estudos

realizados para a montagem de uma rede neural de controle do concreto, os autores sugerem em dados obtidos que a margem de segurança de 5,4 MPa para concretos até classe C30 e uma margem de 7,9 MPa para concretos classe C35 é possível.

4.5.1.4 Rússia

Assim como em muitos países, nas normas russas para estruturas, a resistência à compressão do concreto é caracterizada por dois valores: resistência característica à compressão (B_n) e resistência à compressão de projeto (R_d), onde $R_d = B_n / \gamma_c$, sendo que em 95% das vezes a resistência à compressão do concreto obtida em ensaios deverá ser maior que B_n (KRAKOSVKI, 1995).

Na norma russa “GOST 18105-86 – Concrete- Rules for Strenght Control”, o concreto é aceito ou rejeitado em lotes, sendo a resistência à compressão estimada por corpos-de-prova cúbicos de 15x15x15 cm, sendo o resultado dado por uma média de 3 corpos-de prova. A resistência de um lote é dada pela média de vários resultados, não menores que dois, sendo que o lote é aceito se a média dos resultados é maior que a resistência à compressão mínima exigida com atendimento ao coeficiente de variação no lote (KRAKOSVKI, 1995).

Este coeficiente de variação no lote é presumido como constante num certo período, chamado de período de checagem, sendo que o coeficiente de variação e outras características estatísticas são calculados através de dados obtidos em períodos prévios, chamados de período básico. Segundo Krakosvki (1995), a duração do período de checagem e do período básico, vão desde uma semana a dois meses, sendo usual o período de um mês. A cada período básico é calculado um novo coeficiente de variação do lote e este é utilizado no período de checagem e assim por diante. O número de resultados em cada período básico não pode ser menor que 30. O controle para aceitação do concreto é baseado no modelo matemático da simulação Monte Carlo.

4.5.2 Perspectivas para a normalização brasileira

A proposta brasileira para a Norma Mercosul de aceitação do concreto pode ser definida, em linhas gerais, como se segue (TANGO, 2001, SBRIGHI NETO; BATTAGIN, 2001; TANGO; GIAMMUSSO, 2002; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001):

- a) a resistência de dosagem (f_{cm}), ao menos no Brasil, continuaria a ser calculada segundo os critérios atuais das Normas Brasileiras, ou seja:

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,65 \cdot s \quad (\text{equação 19})$$

- b) manutenção do conceito de lote, que têm se mostrado útil como auxiliar na rastreabilidade;
- c) os critérios de aceitação e de intervenção no processo de produção do concreto poderiam ficar aparentemente iguais aos das recomendações da ACI, usando-se o parâmetro f'_c como referência para a média móvel de 3 resultados ou para cada resultado individual.

Com relação aos critérios de aceitação e de intervenção, a comissão de estudos da revisão da norma (PNM 05:03:0502), estabeleceu:

- a) critério para intervenção no processo, onde o valor da média móvel de três resultados consecutivos devem atender a condição dada na equação 20:

$$\bar{f}_{c3} \geq f_{ck} + 0,7 \cdot s \quad (\text{equação 20})$$

- onde:
- \bar{f}_{c3} = média móvel e quaisquer três resultados consecutivos, em megapascal.
- s = desvio-padrão, conhecido ou acordado entre as partes, em megapascal;

- b) critério para aceitação e rejeição, juntamente com o anterior é de nenhum resultado individual de resistência à compressão (exemplar) deve ser menor que f_{ck} menos 2,0 MPa.

Caso este requisito *a)* anterior não seja atendido, deve-se tomar providências visando aumentar a média dos resultados subseqüentes de resistência. Este critério pressupõe o conhecimento do desvio-padrão s ou sua adoção com o auxílio da tabela da figura 28, estabelecido no anexo A da proposta de revisão. (SBRIGHI NETO; BATTAGIN, 2001; TANGO; GIAMMUSSO, 2002; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), sendo que a diferença entre as condições A, B e C da NBR 12655/1996 e a proposta de revisão foi elucidada no item 3.3 anterior.

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão MPa	
	Classes de resistência	
	C20 a C30	C35 a C80
A	3,0	0,09 f_{ck}
B	4,0	*
C	5,5	*

* não aplicável

Figura 28: desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto - proposta. (Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001)

O critério do requisito *b)* anterior independe do conhecimento do desvio-padrão, sendo que a probabilidade de rejeição no caso limite varia em função do desvio-padrão s efetivamente existente no processo produtivo (TANGO; GIAMMUSSO, 2002). Caso este requisito não seja atendido, exigências relativas à verificação da capacidade resistente da estrutura devem ser cumpridas (SBRIGHI NETO; BATTAGIN, 2001).

Observa-se que em ambos os critérios a probabilidade de rejeição diminui quando o desvio-padrão s é menor, sendo este um fator estimulador da uniformidade na produção (TANGO; GIAMMUSSO, 2002).

Segundo Sbrighi Neto e Battagin (2001) e Tango e Giammusso (2002), a nova proposta para a metodologia de preparo, controle e recebimento de concreto:

- a) tem objetivos bem definidos, abrangendo concretos de classe de resistência C10 a C80;
- b) inclui a atribuição de responsabilidades da norma atual;
- c) prescreve requisitos de durabilidade da estrutura em função do concreto utilizado;
- d) inclui critérios de aceitação do concreto que induzem à economia, portanto maior competitividade;
- e) estimula o uso dos concretos de menor desvio-padrão;
- f) inclui critérios de controle e aceitação do concreto para obras de pequeno, médio e grande porte;
- g) é relativamente fácil de empregar;
- h) segue as tendências internacionais, possibilitando amplo intercâmbio tecnológico;
- i) alerta para a intervenção do processo produtivo do concreto quando necessário.

Para a revisão da norma brasileira NBR 12655, há uma alteração em relação ao critério atual, que prevê como resultado do exemplar o maior dos valores obtidos no ensaio do exemplar. A proposta é do uso da média dos resultados, sendo que, se a diferença entre o menor e o maior resultados de resistências for maior que 2,5 MPa ou 8% da média (o menor destes limites), deve ser adotado o valor mais alto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996; 2001).

Contudo, esta proposição, para o resultado do exemplar, diverge do conceito de resistência potencial do concreto, presente na norma atual. Se determinado corpo-de-prova atinge determinado resultado, é porque potencialmente o concreto ensaiado pode atingir esta resistência à compressão. O critério da norma atual é mais coerente com este conceito.

Outra modificação proposta é que se refere ao número de exemplares para constituir uma amostra. Na versão atual, este número varia em função do tipo de controle que irá se efetuar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996):

- a) por amostragem parcial: as amostras devem ter no mínimo seis exemplares para concretos classe até C50, inclusive e para concretos classe superiores a C50 deve ser formada a amostra com no mínimo doze exemplares;
- b) por amostragem total: o número de exemplares deve ser tanto quanto for o número de amassadas do concreto e se aplica a casos especiais;
- c) caso excepcional (item 7.2.3.3 da NBR 12655): se divide o lote com no máximo 10 m^3 , o número de exemplares deve ficar entre dois e cinco.

Na versão de revisão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), não há mais a separação em função do tipo de controle, mas somente a diferenciação do número de exemplares em função da classe de concreto: para concretos classe até C50, deve se ter no mínimo cinco exemplares e concretos de classe superior, mínimo de dez exemplares, e no caso do número de betonadas for menor que o número mínimo de exemplares, deve ser retirado um exemplar de cada betonada.

Este critério proposto é mais adequado para grandes volumes a concretar, porém, para pequenos volumes de concreto, em especial aquele produzido em obra, para concretagem de elementos estruturais em separado, como os pilares, por exemplo, com lotes pequenos (até 10 m^3) o critério de adoção de caso excepcional da atual versão atendia ao interesse do pequeno produtor.

Como se trata ainda de um estudo de revisão, a comissão de revisão deverá observar uma condição específica para estes pequenos lotes e contemplá-la na versão final, para não prejudicar e inviabilizar as pequenas obras, pois poderia ficar subentendido que deveria ser retirado um exemplar de cada amassada.

Como o conceito de amassada não está definido nem na versão atual e nem na proposta de revisão, pode haver dificuldade de interpretação, se consideramos o conceito de betonada¹⁶ colocado na proposta de revisão. Se utilizarmos como exemplo a concretagem de uma escada de um determinado andar de um prédio, que tenha um volume de $1,6 \text{ m}^3$, sendo o concreto produzido em obra com uma betoneira de 320 L, que tem uma capacidade nominal de aproximadamente 200 L, teríamos que tirar cinco exemplares (número mínimo proposto) da

¹⁶ O conceito de betonada proposta na revisão da NBR 12655 é: “Menor quantidade de concreto dosado e misturado, que pode ser considerado como unidade de execução”.

oito betonadas previstas, sendo que dois exemplares já poderiam representar adequadamente o concreto produzido.

Na proposta de revisão também houve alterações com relação ao número de resultados necessários para a presunção de um desvio-padrão conhecido.

A atual versão da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), no seu item 6.4.3.2, o desvio-padrão pode ser considerado conhecido e utilizado no cálculo da resistência de dosagem, quando o concreto for elaborado com os mesmos materiais, mediante equipamentos similares e sob condições equivalentes e com um número mínimo de 20 resultados consecutivos obtidos num intervalo de 30 dias.

Sem uma definição clara do que significa 20 resultados em 30 dias, pode ficar subentendido que se trata de 20 concretagens realizadas neste período, condição praticamente inviável para concreto produzido em obra, condição somente atingida normalmente por empresas de serviços de concretagem.

Porém, pode haver outra interpretação para este item 6.4.3.2. Se uma empresa produz concreto em obra e pretende concretar um andar (vigas e lajes), não raras vezes necessita três dias de concretagem; se produzir o concreto em betoneiras estacionárias de 320 L ou de 500 L, conforme a condição de transporte do concreto na obra, teremos seis ou mais turnos de concretagem, e se retirar 04 exemplares de concreto em cada turno, obteremos pelo menos 24 resultados em três dias. Então ao efetuar a análise dos resultados poderá a empresa obter um desvio-padrão.

Porém, será que este valor irá representar realmente a variabilidade do seu processo de produção? Em três dias tem-se uma efetividade no processo de produção de concreto? Estes dados podem ser utilizados para ajuste da resistência de dosagem?

A proposta de revisão da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), estabelece que quando a resistência de dosagem (f_{cm}) for comprovada por resultados de ensaios, estes devem representar os materiais, os processos de controle de qualidade e condições similares às esperadas para preparação do concreto.

Assim o desvio-padrão se torna conhecido quando for calculado com no mínimo 30 exemplares consecutivos, obtidos em período de tempo não maior que 45 dias. Contudo a

proposta de revisão abre a possibilidade de cálculo e conhecimento do desvio-padrão, quando se tem entre 15 a 29 exemplares consecutivos, obtido no período de 45 dias, corrigindo o valor encontrado, com um fator de correção, conforme o quadro da figura 29. Para menos que 15 resultados o valor do desvio-padrão é aquele indicado no quadro da figura 28. Este mesmo procedimento, com os mesmos valores está previsto na revisão da norma argentina (CIRSOC, 2001).

Número de exemplares*	Fator de correção para o desvio-padrão
15	1,16
20	1,08
25	1,03
>30	1,00

*Interpolair para quantidade intermediária de exemplares

Figura 29: fator de correção para o desvio-padrão quando são avaliados menos que 30 exemplares. (Fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001)

Contudo os mesmos questionamentos efetuados para atual versão continuam.

Finalizando, a proposta da revisão da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), apresentou um resumo, através de uma figura, para a obtenção da resistência de dosagem e do estudo de dosagem do concreto, que pode ser observado na figura 30.

Pelo exposto neste capítulo, observa-se que o controle estatístico do concreto, para a sua aceitação, tem a ver com a variabilidade do processo, expressa pelo desvio-padrão de produção e que há uma perspectiva para a alteração da atual NBR 12.655, que pode estimular ao produtor a busca pela maior uniformidade na produção.

Porém, a proposta de revisão ainda tem pontos a esclarecer, como o número de resultados e o período para obtenção dos resultados que possa representar o desvio-padrão, bem como o próprio valor do desvio-padrão a adotar quando não se tem resultados conhecidos, conforme será comentado na análise dos estudos de caso.

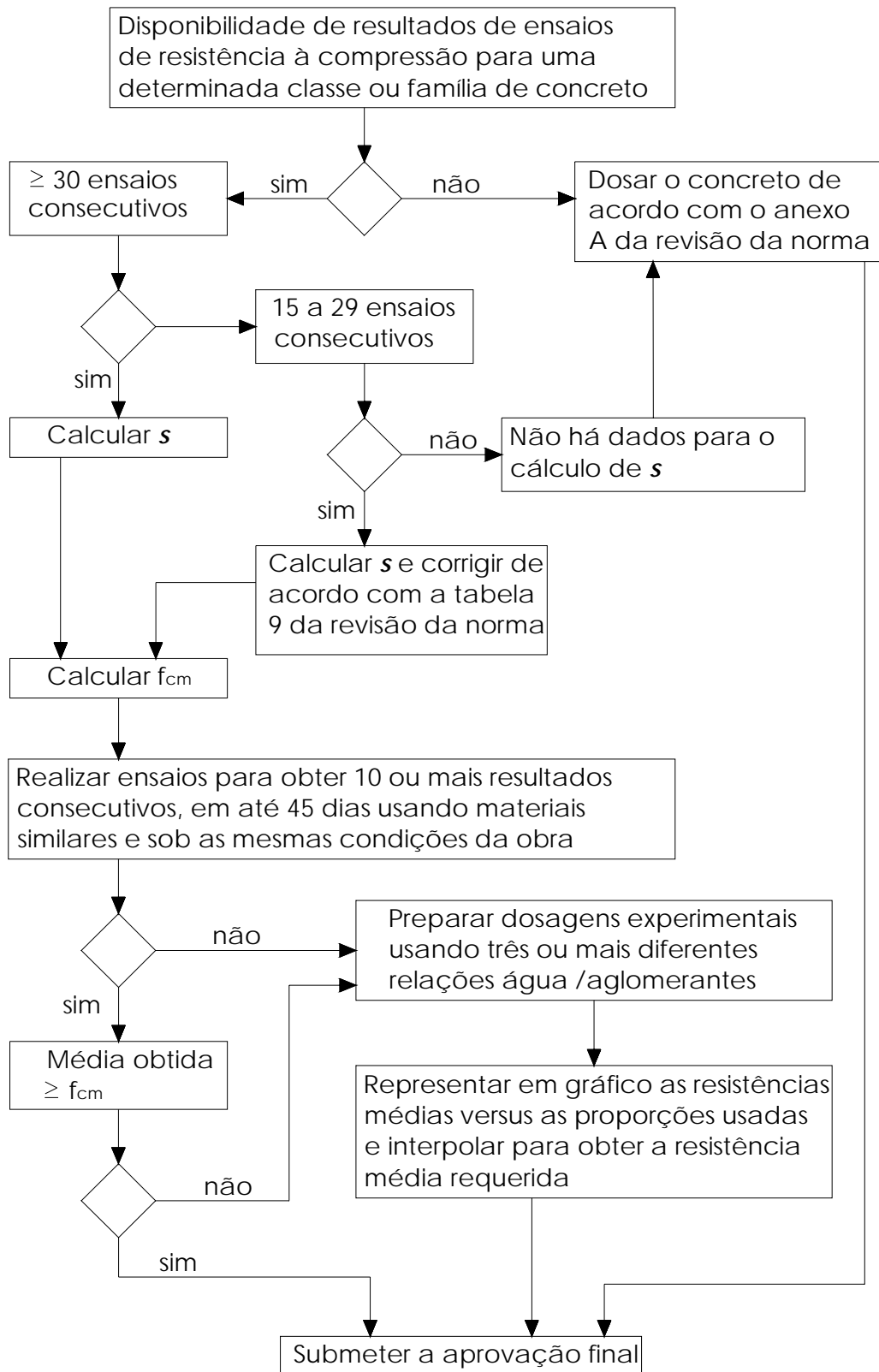


Figura 30: estudo de dosagem do concreto, conforme proposta de revisão da NBR 12655. (Fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001)

Viu-se ainda que em alguns países, o valor de desvio-padrão, em função do tipo de controle tem valores inferiores que aqueles apresentados na atual versão da NBR 12655.

Observou-se que os critérios para a aceitação do concreto serão alterados, principalmente com o uso de média móvel de três resultados, ficando mais próximo dos critérios internacionais, em especial ao da ACI e das normas argentinas.

Contudo, deve se ter consciência de que o controle estatístico através da resistência é apenas uma constatação de tudo o que se apresenta, pois nada corrige e nada acrescenta ao concreto, assim como deve ser lembrado que os erros na execução do concreto nunca se anulam ou se compensam, ao contrário, sempre se somam (GIAMMUSSO, 1988).

Pode-se dizer que, como numa corrente, a obtenção de um bom concreto, ou seja, a produção de um concreto que atende todos os requisitos especificados tem em cada uma de suas etapas um elo e, tal como uma corrente, depende de todos os elos: rompendo-se um deles, rompe-se a corrente.

5 METODOLOGIA

Inicialmente houve a definição das empresas em que se fariam os estudos de caso. A seleção e escolha das empresas e das obras obedeceram aos seguintes critérios principais:

- a) estar participando de um programa de qualidade e, de preferência com uma evolução qualitativa dos seus processos de produção, em especial o de concreto;
- b) ter obra onde estivesse produzindo concreto em obra, de forma continuada, com traço de concreto definido.

Cabe aqui observar que inicialmente, para fins comparativos, foram selecionadas outras obras de empresas que não participavam de nenhum programa de qualidade, porém a falta de comprometimento destas empresas com a pesquisa, não repassando ao pesquisador seu planejamento e programação das datas de concretagem, levou a que os resultados obtidos eram muito dispersos e esporádicos, não resultando em uma base de dados confiável.

Já nas empresas participantes de programa de qualidade, o comprometimento com a pesquisa foi amplo, inclusive pelo interesse próprio da empresa em identificar as variações do seu processo de produção de concreto, para futuras intervenções e melhoria do sistema de qualidade.

Definidas as empresas e obras que fariam parte da pesquisa, foi definido-se a metodologia para a coleta e análise dos dados.

Para cada obra, inicialmente, realizou-se uma vistoria na obra para identificar as condições de produção de concreto, a forma de controle desta produção em função dos requisitos dos programas de qualidade e, definir as variáveis a controlar. Estas variáveis seriam aquelas de fácil identificação e que representassem, quando da ocorrência de alterações, resultados significativos na resistência à compressão.

De forma genérica, com variações pequenas em cada obra, as variáveis controladas têm a finalidade de identificar os prováveis desvios nos resultados da resistência à compressão e

assim quantificar a grandeza, quando possível, de cada desvio e sua relação com as demais variáveis. Para esta pesquisa foram controladas as possíveis alterações:

- a) do operador da betoneira, verificando se os procedimentos adotados sofriam mudanças de procedimento ou se ocorria troca de operador e em caso positivo, qual seria a influência nos resultados;
- b) da granulometria dos agregados, verificando a variação granulométrica, conforme limites estabelecidos pela NBR 7211/83 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983), sendo sempre coletadas amostras dos agregados;
- c) da forma e local de estocagem dos agregados;
- d) do tipo de cimento e seu local de estocagem;
- e) dos equipamentos de produção (betoneira);
- f) do traço do concreto, com relação aos volumes e uso ou não de aditivos;
- g) no preparo do concreto verificando alterações significativas tempo de mistura e da ordem de colocação dos materiais.

A qualidade da água não foi colocada como uma variável controlada, pois todas as obras utilizaram água da rede pública para a produção de concreto e é satisfatório admitir que se a água é potável, é adequada para o concreto, com raras exceções (NEVILLE, 1997), onde águas de regiões áridas são geralmente salobras e contém teor excessivo de cloretos e de algumas águas minerais que contém teores indesejáveis de carbonatos alcalinos.

A coleta de dados foi efetuada, cada vez que houvesse produção de concreto em obra e a disponibilidade de obtenção de amostras, sendo que além da obtenção das amostras (representadas pelos corpos-de-prova), eram anotadas as alterações das variáveis acima descritas.

Durante o desenvolvimento da pesquisa não houve qualquer interferência dos pesquisadores com relação aos procedimentos e técnicas empregadas pela empresa, nem sugestões para melhorias do processo. Tão somente disponibilizaram-se os resultados dos valores de resistência à compressão, para que a empresa pudesse, com estes dados, efetuar a comparação com os resultados dos corpos-de-prova moldados por ela.

Para a definição dos lotes de concreto, foi obedecido o critério da NBR 12655/96, porém como a finalidade da pesquisa era identificar o desvio-padrão de produção e não observar a aceitação ou rejeição dos lotes de concreto, em função de um controle estatístico, foi estabelecido que este controle, se houvesse, seria enquadrado no item 7.2.3.3 da referida norma, que estabelece que para casos excepcionais os exemplares que compõe o lote pudessem estar entre dois e cinco.

A adoção deste critério se justifica pelos pequenos volumes de concreto envolvidos em cada lote, pois que na maioria dos dados coletados, o concreto se destinava a pilares, inviabilizando a adoção do controle estatístico do concreto por amostragem parcial¹⁷, conforme item 7.2.3.1 da NBR 12655/96, pois poderia haver lotes que não tivessem exemplares mínimos exigidos (seis exemplares). A adoção do critério de amostragem total não foi possível, porque como as betoneiras utilizadas nos três estudos de caso são de 320 L, tem capacidade nominal de 200 L, o que daria na média para cada lote 35 exemplares ou 70 corpos-de-prova, para cada lote, considerando o universo da pesquisa.

Todos os corpos-de-prova moldados foram de formato cilíndrico de diâmetro de 100 mm com altura de 200 mm e todos os resultados foram obtidos pelo rompimento destes aos 28 dias de idade. Os corpos-de-prova eram moldados na obra e permaneciam até o dia seguinte na obra, onde eram posteriormente transferidos para o Laboratório de Engenharia Civil da Unochapecó, onde eram desmoldados e permaneciam em cura úmida até o dia do rompimento.

O suporte da parte laboratorial foi possível através do Laboratório de Engenharia Civil da Unochapecó, desde o fornecimento de moldes para determinação do abatimento do tronco de cone e moldagem dos corpos-de-prova, até o fornecimento de material para capeamento e da prensa para rompimento dos mesmos.

Cabe destacar que durante todo o trabalho a prensa se encontrava devidamente aferida, trabalho este efetuado por uma empresa especializada e terceirizada pela Unochapecó. O capeamento utilizado nos corpos-de-prova foi enxofre. O rompimento dos corpos-de-prova obedeceu aos critérios estabelecidos pela NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994b)

¹⁷ A amostragem continua sendo parcial, porém o controle será o estabelecido para casos excepcionais (7.2.3.3).

Produção de concreto: verificação da variabilidade da resistência à compressão do concreto em empresas construtoras da cidade de Chapecó

Salienta-se que no decorrer desta pesquisa foi alterada a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994a; 2003) que trata da moldagem e cura dos corpos-de-prova. Ao iniciar a pesquisa era válida a versão de 1994, sendo que a partir de 30 de janeiro de 2004 entrou em validade a versão de dezembro de 2003.

Na versão de 1994, estabelecia que os corpos-de-prova de dimensão básica de 100 mm fossem moldados em duas camadas com quinze golpes por camada, adensados com a haste de aço padronizada. Na atual versão, permanece o número de camadas de duas, porém o número de golpes em cada camada foi reduzido para doze.

Como houve alteração na forma de moldagem dos corpos-de-prova, e para que esta alteração não representasse desvio do procedimento de ensaio, foi mantida durante toda a pesquisa a forma de moldagem estabelecida na versão de 1994 da NBR 5738.

Além dos procedimentos estabelecido nas normas específicas para ensaios no concreto fresco e endurecido, assim como nos agregados, também foram seguidos às recomendações pela Associação Brasileira de Cimento Portland (2000).

Poderá ser observado que em determinados lotes, o número de exemplares foi maior que em outros, porém este aumento foi adotado para verificar com maior precisão em determinada etapa da pesquisa qual era o desvio-padrão dos ensaios e assim fazer uma avaliação mais precisa dos procedimentos de ensaios, tal como recomenda Helene (1986) e a ACI 214 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1990).

Para as obras 1 e 3, o responsável pela moldagem, capeamento e rompimento dos corpos-de-prova durante o período da coleta de dados foi sempre o mesmo. Para a obra 2, para os lotes 01 a 07, o responsável pela moldagem foi modificado, sendo que o responsável pelos lotes 08 a 13 pela moldagem, capeamento e rompimento dos corpos-de-prova, bem como pelo capeamento e rompimento dos corpos-de-prova dos lotes 01 a 13 foi o mesmo das obras 1 e 3.

6 ESTUDOS DE CASO

6.1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa foi efetuada com base em estudos de casos, para a obtenção de dados que demonstrem a variação da resistência à compressão do concreto produzido em obra em empresas de pequeno e médio porte da cidade de Chapecó e que possam ser traduzido em desvio-padrão de produção.

As empresas selecionadas participam do programa de qualidade do PBQP-H, sendo que duas destas empresas (estudo de caso 1 e 2) ao início desta pesquisa estavam qualificadas no nível **C** e evoluíram para o nível **B** e a terceira empresa (estudo de caso 3) estava qualificada no nível **B** e não apresentou qualificação evolutiva ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Para que houvesse a possibilidade de comparação e discussão de resultados, foram definidas três obras de três empresas distintas, sendo que para uma das obras (obra 1) foi definido que o tempo de coleta de dados fosse realizado no período mínimo de um ano, para que as amostras pudessem ser representativas, não somente em quantidade, mas ao longo de um período em que houvesse as mais diferentes condições de produção de concreto, seja em função do clima, mas também das condições de trabalho na obra.

A opção de se adotar somente uma obra para este período de tempo de um ano, pois foi a única em que houve garantia, à época do início da pesquisa, de que se pudessem realizar ensaios neste período de tempo, conforme cronograma de obra e comprometimento da empresa com a pesquisa.

Porém, no desenvolvimento da pesquisa, em dois estudos de caso o período de coleta de dados foi superior a um ano, possibilitado um número de dados mais significativos e uma melhor análise dos resultados.

Cada uma das obras apresentou valores distintos de resistência característica do concreto especificada pelo projetista da estrutura. Os valores do f_{ck} eram de 15 MPa, 18 MPa e 20 MPa, para as obras 1, 2 e 3, respectivamente.

6.2 ESTUDO DE CASO – OBRA 1

6.2.1 Contextualização da obra 1

As características principais da obra apresentam-se no quadro da figura 31. O corte esquemático da obra está apresentado na figura 32.

Os lotes 01 a 07 foram obtidos com a empresa estando certificada no nível **C** e buscando obter a qualificação no nível **B**. Os lotes 08 a 12 foram formados com a empresa qualificada no nível **B** e buscando a qualificação no nível **A**.

Tipo:	Residencial e comercial
Área construída:	5.247,97 m ²
Número de pavimentos:	13
Período estudado:	08/07/2003 a 15/07/2004
Nível de certificação PBQP-H:	Ao início: C Ao término: B
Concreto f_{ck}:	18 MPa slump 80 ± 20 mm
Volume de concreto:	Total: 852 m ³ (1) Usinado: 726 m ³ (1) Produzido no local: 126 m ³ (1)

(1) Valores aproximados

Figura 31: dados da obra 1

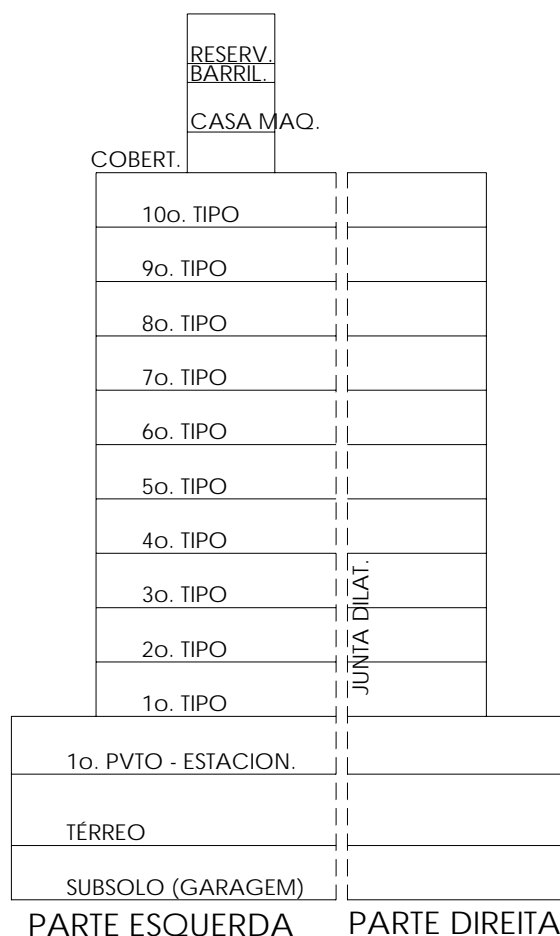


Figura 32: corte esquemático da estrutura da obra 1

Nessa obra o concreto utilizado para as vigas, lajes e escadas foram adquiridos de uma central dosadora de concreto da cidade. Exceção é feita aos pilares, em função de seu volume ser reduzido, sendo que este foi todo produzido pelo executante da obra.

Devido à junta de dilatação, a empresa construtora dividiu a execução em partes separadas. Iniciava sempre a execução da estrutura pela parte esquerda da obra, com área em planta maior, com aproximadamente 60 % da área em planta, e posteriormente executava a parte direita da obra.

Por questões operacionais esta concretagem podia se estender por mais de um dia, causando breves interrupções na produção do concreto.

O concreto foi produzido em uma betoneira de queda livre e eixo inclinado com capacidade de 320 litros, auto carregável, sua caçamba era abastecida com 25 litros de água, podendo

chegar a 32 litros conforme a consistência desejada e umidade da areia. O abastecimento dos agregados na betoneira era feito através de carrinhos padiolas, conforme figura 33. Não foram utilizados aditivos ou adições no concreto produzido em obra.



Figura 33: carrinho padiola para dosagem concreto

6.2.2 Controles realizados pela empresa na produção de concreto e variáveis controladas na pesquisa – obra 1

Os dados dos controles realizados pela empresa e das variáveis controladas foram agrupados, conforme modelo estabelecido por Giammusso (1989b, 1995), sendo este modelo válido para os demais estudos de caso, sendo os seguintes controles:

- a) dos materiais, sendo neste tipo de controle verificada a granulometria dos agregados, a forma e local de estocagem dos agregados e o tipo de cimento utilizado;
- b) dos equipamentos;
- c) da operação, sendo neste tipo de controle verificado a manutenção ou não do traço, da influência do operador da betoneira e na forma de preparo de concreto;
- d) dos procedimentos, sendo este controle a realização de ensaios.

6.2.2.1 Controle dos materiais – obra 1

O **controle dos materiais** pela empresa consiste em:

- a) O agregado miúdo e o agregado graúdo são comprados sempre do mesmo fornecedor. São armazenados em local coberto, com contrapiso de concreto e inclinação de tal modo que a água escorra no sentido inverso da retirada de material, próximo à betoneira e ao equipamento de transporte vertical, conforme figura 34, num local que permita acesso de caminhões; esta rotina faz parte dos controles estabelecidos pela empresa em seu programa de qualidade.
- b) o cimento utilizado durante esta pesquisa sempre foi do mesmo tipo (CP II-Z 32) e fabricante. O armazenamento é realizado no barracão da empresa, com altura no máximo de 10 sacos e afastado das paredes em 30cm;



Figura 34: estocagem do agregado miúdo na obra 1

Durante toda a pesquisa não houve alteração significativa na granulometria dos agregados. Quanto à forma e local dos agregados e do cimento não houve mudanças durante a pesquisa.

6.2.2.2 Controle dos equipamentos – obra 1

O **controle dos equipamentos** pela empresa consiste de manutenção periódica dos mesmos e limpeza das pás e da cuba a cada término de concretagem, para que não houvesse acúmulo de concreto endurecido nas partes internas.

Na produção do concreto durante a pesquisa, sempre foi utilizada a mesma betoneira, com estado semi-nova ao início, com eixo inclinado, de 320 L e capacidade nominal de produção de 200 L, que produz um volume de concreto em que se necessita normalmente um saco de cimento, conforme figura 35. Como o volume de produção de concreto durante esta pesquisa foi pequeno, por ser efetuado concreto somente para os pilares, não houve desgaste acentuado no equipamento, não exigindo manutenção de grande monta.

As padiolas não sofreram alterações de dimensões e sempre se mantiveram em boas condições de uso.



Figura 35: betoneira utilizada na obra 1

6.2.2.3 Controle da operação – obra 1

O **controle da operação** pela empresa consiste em que sempre se destinem os mesmos funcionários para a operação de preparo do concreto, pois estes já possuem treinamento adequado, evitando-se assim que haja uma variabilidade nos procedimentos. Este treinamento faz parte da implantação do programa de qualidade da empresa, assim garante-se que, por exemplo, o tempo de mistura dos materiais seja sempre aproximadamente o mesmo.

A **ordem de mistura dos materiais** obedeceu ao que sugere Bauer (1991), Giamusso (1986a) e Terzian (1999), conforme descrito no item 2.2.2.3 anteriormente.

Durante a pesquisa, para os lotes 1 a 7 do quadro da figura 37, o responsável foi o operador A e nos demais lotes foi o operador B, e não houve alteração da ordem de colocação dos materiais e o tempo de mistura pouco variou ao longo da pesquisa ficando em torno de 80 ± 15 segundos.

O **controle da dosagem dos materiais** é efetuado da seguinte forma:

- a) a empresa possui um traço já testado, considerando uma umidade média da areia de 4%, sendo que não havendo mudança da resistência desejada, os materiais empregados sendo de mesma procedência, o cimento sempre do mesmo tipo, este traço permaneceu o mesmo durante toda a pesquisa, não sendo utilizados aditivos;
- b) os agregados são medidos em volume, através de padiolas definidas, havendo padiolas em separado para a areia e a brita;
- c) o cimento é medido em massa, sendo que a medida do volume de produção é dado em betonada, e para cada betonada corresponde a uma massa de um saco de cimento, evitando-se assim que não haja variação na quantidade de cimento por betonada, ou conforme Giamusso (1986), são muito pequenas;
- d) o controle da relação água/cimento, é fator primordial, pois que esta relação é que define a resistência desejada do concreto e é efetuada através da obtenção da consistência pretendida, pois que mantida a consistência, mantidos os mesmos materiais, será mantida, praticamente, a mesma relação água/cimento. Assim toda vez que se inicia um processo de concretagem, são misturados os materiais, sendo que a água é adicionada até a obtenção do mesmo abatimento do tronco de cone, garantindo assim que a água total na mistura não varie em função da umidade da areia e assim determinando a água necessária para o concreto naquele momento de produção.

Controlando-se a consistência, a maior variação dentro de um mesmo lote ocorreu no lote 3, sendo que o primeiro exemplar o abatimento ficou em torno de 50 mm e no exemplar 2 ficou em torno de 100 mm.

Em função da necessidade de comprovação periódica do traço do concreto e também da obtenção da resistência à compressão do concreto produzido em obra, para sua aceitação, para cada lote de concretagem, a empresa realiza ensaios de resistência à compressão, onde também se constatou que os valores obtidos pela empresa correspondem aos valores obtidos nesta pesquisa. Os valores obtidos pela empresa não foram utilizados neste trabalho.

6.2.2.4 Controle dos procedimentos – obra 1

O **controle dos procedimentos** efetuado pela empresa consiste de ao início de nova concretagem e após qualquer interrupção efetuar o ensaio de abatimento, servindo o ensaio para verificar a trabalhabilidade desejada e o controle da umidade da areia. Cabe ao encarregado da obra e/ou ao estagiário verificar ao início de cada turno de concretagem a realização dos ensaios necessários, sendo eventual a participação do engenheiro.

O **controle da resistência à compressão** consiste em moldagem de corpos-de-prova, com número de amostras propostas pelo programa de qualidade da empresa. Este procedimento é exigido por este programa, para que o concreto produzido em obra tenha a validação necessária, conforme o nível de qualificação da empresa.

6.2.3 Obtenção de dados – obra 1

O estágio em que a obra se encontrava, quando foi iniciada esta pesquisa (julho de 2003) é de conclusão da laje do térreo e dos pilares do térreo da parte esquerda e sendo efetuadas as fôrmas para a concretagem dos pilares do térreo da parte direita, conforme indicado na figura 36.

Portanto, num dado andar era efetuada a concretagem dos pilares em pelo menos 02 lotes (parte esquerda e parte direita).

Para os lotes 8 e 9 o tamanho da amostra foi maior, pois estes lotes foram obtidos exatamente na época em que a empresa estava em auditoria para mudança no nível de certificação do PBQP-H e, observou-se que havia uma preocupação maior dos funcionários neste sentido. Portanto, procurou-se obter resultados mais confiáveis, bem como também verificar neste instante, o desvio-padrão dos ensaios.

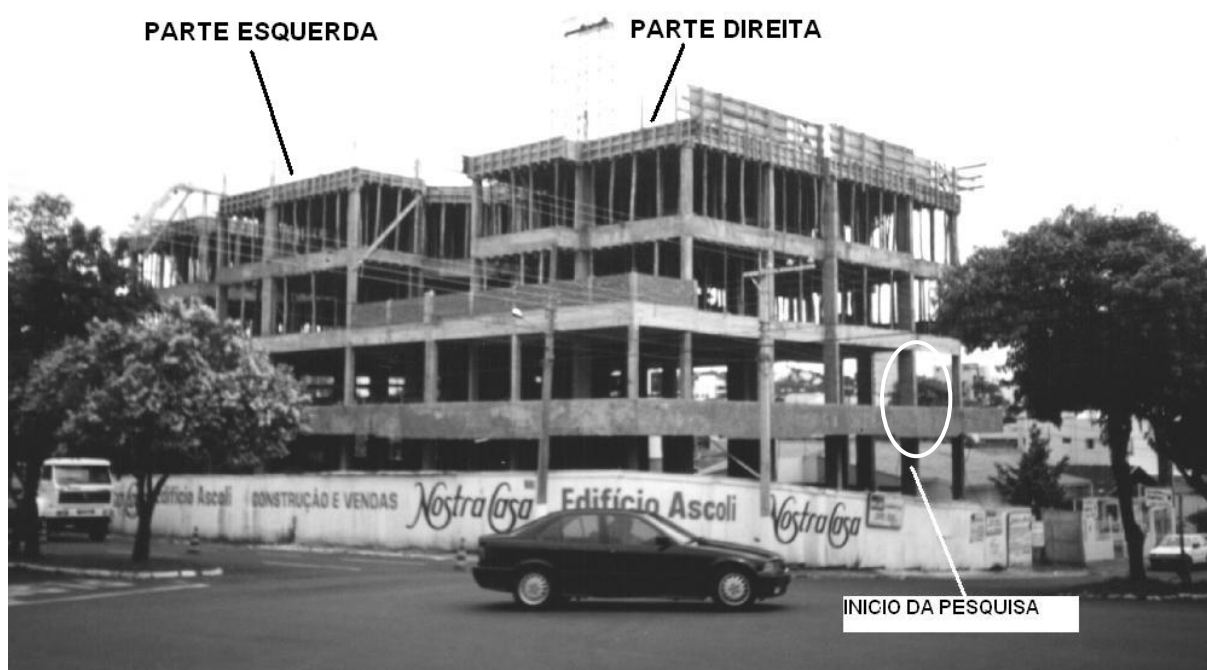


Figura 36: concretagem da laje do 3º tipo da obra 1

6.2.4 Resultados obtidos – resistência à compressão na obra 1

No quadro da figura 37 apresenta-se a formação dos lotes, com a sua localização na obra, bem como o volume do lote, a data da formação da amostra (moldagem dos corpos de prova) e o tamanho da amostra, atendidas as exigências da NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996).

Os resultados de resistência à compressão dos diferentes lotes produzidos na obra estão apresentados na tabela 1, onde temos a resistência obtida para cada exemplar, a resistência média de cada lote, bem como o desvio-padrão. Apresenta-se ainda o desvio-padrão total de

todas as amostras retiradas. No anexo C apresentam-se os resultados individualizados dos corpos-de-prova.

Lote	Volume (m³)	Local	Amostra (exemplares)	Data amostra (moldagem)
1	8,54	Pilares térreo direita	03	08/07/2003
2	8,54	Pilares garagem superior direita	04	07e 08 /08/2003
3	9,96	Pilares tipo 1 esquerda	02	14/10/2003
4	6,64	Pilares tipo 1 direita	02	20/10/2003
5	9,96	Pilares tipo 2 esquerda	03	01/12/2003
6	6,64	Pilares tipo 3 direita	03	06 e 07/01/2004
7	5,20	Pilares tipo 3 esquerda	02	08 e 09/01/2004
8	7,80	Pilares tipo 6 esquerda	08	12 e 13/04/2004
9	5,20	Pilares tipo 6 direita	08	14, 15 /04/2004
10	5,10	Pilares tipo 7 esquerda	03	15/05/2004
11	4,20	Pilares tipo 8 esquerda	03	16 /06/2004
12	4,20	Pilares tipo 9 esquerda	04	15/07/2004

Figura 37: lotes formados, com respectivos volumes, local da amostra, número de amostras e data da moldagem na obra 1.

Observa-se que apesar da mudança de operador, este fato não representou representativo aumento ou diminuição da variabilidade do processo de produção, conforme observa-se na tabela 1. Com o operador A o desvio-padrão dos lotes 1 a 7 variou entre 0,08 MPa e 3,31 MPa, ficando com um valor médio de 2,10 MPa, e com o operador B o desvio-padrão dos lotes restantes variou entre 0,83 e 1,81 MPa, ficando com um valor médio de 2,01 MPa.

Tabela 1 : resistência à compressão dos diferentes lotes amostrados, com o seu desvio-padrão, na obra 1

Lote	Exemplares (MPa)				Média (MPa)	Slump médio (mm)	Desvio-padrão (MPa)
	1	2	3	4			
1	25,95	24,34	26,60		25,63	70	1,16
2	25,15	24,33	26,62	24,15	25,06	80	1,12
3	31,03	26,34			28,68	70	3,31
4	29,08	28,97			29,02	70	0,08
5	25,81	28,78	28,52		27,70	80	1,64
6	30,23	30,31	27,5		29,35	70	1,60
7	27,79	27,5			27,65	70	0,20
8	31,80	30,01	30,59	30,46	31,40	50	1,01
	31,31	31,73	33,01	32,33			
9	26,14	27,73	27,05	30,16	28,90	70	1,70
	29,90	30,89	29,53	29,83			
10	27,71	26,05	26,88		26,88	80	0,83
11	26,59	28,79	30,19		28,52	70	1,81
12	27,45	26,86	29,39	30,02	28,43	70	1,51
Lote 1 a 7					27,31		2,10
Lote 8 a 12					29,32		2,01
Total					28,60		2,43

Esta condição se verificou devido que os dois operadores tiveram igual treinamento para a produção do concreto e observou-se que também tinham procedimentos praticamente idênticos em suas atividades, em especial na realização do ensaio de abatimento e ajuste da água a acrescentar com base neste ensaio.

Pelos resultados apresentados na tabela 1, observa-se que o desvio-padrão da produção foi de 2,43 MPa, podendo ser considerado valor baixo, quando comparado ao valor especificado de 7,0 MPa pela norma 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), no qual se enquadraria a empresa, conforme o seu processo de produção, apesar do

período de tempo da pesquisa ser de 12 meses e de se ter utilizado várias remessas de materiais diferentes e ter ocorrido mudança no operador da betoneira.

Na figura 38 que representa a tradução dos resultados dos exemplares, por lote, numa carta de valores, pode se observar que os valores sempre próximos aos valores da resistência de dosagem, sempre bem acima da resistência característica da obra, porém sem grandes variações, traduzindo resultados em cada lote, muito próximo dos valores médios de cada lote.

Ao se analisar o valor do desvio-padrão de produção, considerando o valor médio da resistência à compressão (f_{cj}) de 28,6 MPa e o valor do f_{ck} determinado para a obra de 18 MPa, obtém-se o valor de $S_d = 6,42$ MPa que é menor que a condição C determinada pela NBR 12.655, porém 2,64 vezes mais que o valor real do desvio-padrão de 2,43 MPa.

Isto representa uma diferença no consumo de cimento e que leva a custo mais elevado do concreto, em relação ao necessário, porém isto se deve ao desvio-padrão inicial de dosagem adotado pela empresa para a elaboração do traço, que foi de 5,5 MPa. A empresa ao ter um valor de desvio-padrão de produção já determinado durante a obra poderia ter efetuado um ajuste de traço, para a diminuição do custo do concreto, mas segundo informações do pessoal responsável pela obra, preferiu manter o traço e nas próximas obras efetuar este ajuste e, inclusive, aumentar o valor da resistência de projeto, já para atender as exigências da NBR 6118.

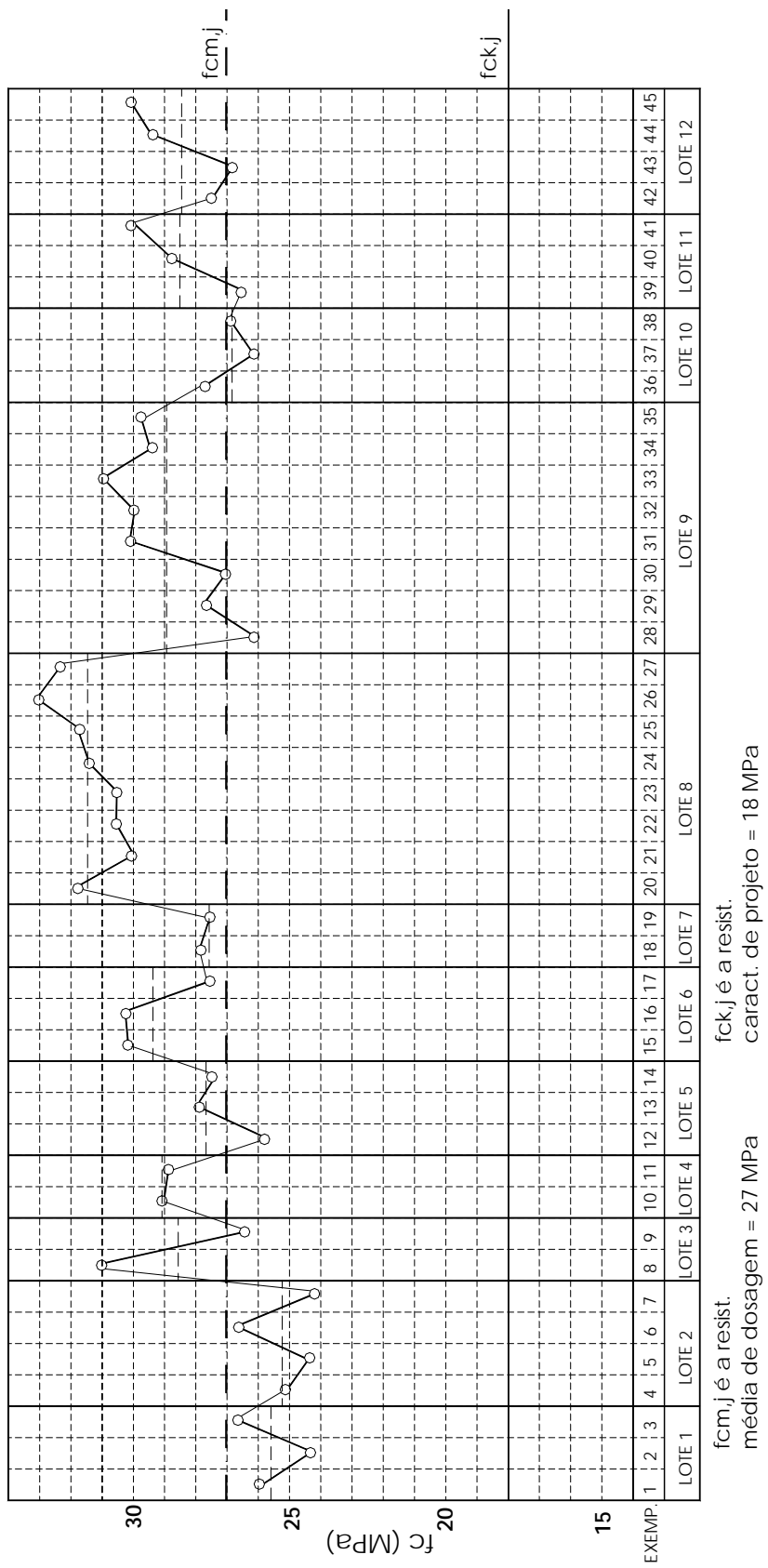


Figura 38: carta de valores com base nos resultados individuais para a obra 1

Porém, como o que representa realmente a estabilidade do processo de produção é a variação do desvio-padrão de produção, na figura 39 temos uma carta de valores para o desvio-padrão, conforme sugere Helene (1986), sendo definido como o limite inferior o menor valor que deve ser adotado para a determinação da resistência de dosagem conforme a NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) que é de 2,0 MPa e, como o limite superior o maior valor a adotar quando não se conhece o desvio-padrão de dosagem, estabelecido para a condição C, que é de 7,0 MPa.

Podemos observar que os valores por muitas vezes estão abaixo do limite inferior, demonstrando uma variação muito pequena em cada lote. Cabe observar que o valor médio do desvio-padrão indicado na figura 39 e indicado no total da tabela 1 se refere ao total da produção, em todos os lotes, por isto somente um resultado deu acima deste valor médio.

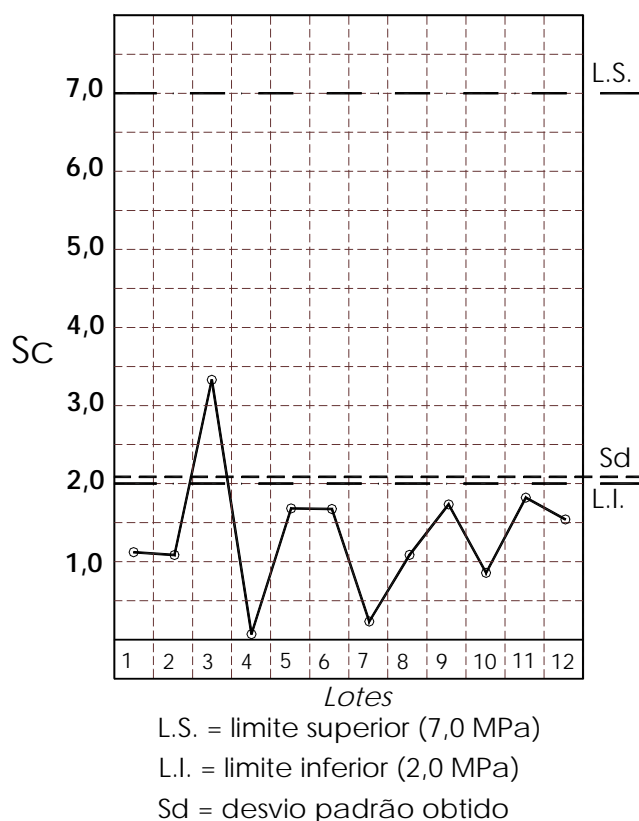


Figura 39: carta de valores com base no desvio-padrão para a obra 1

O maior desvio-padrão de produção ocorrido foi de 3,31 MPa, no lote 3, que pode ser analisado pela maior diferença na relação água/cimento, entre os exemplares, refletida pela

maior diferença de abatimento entre os exemplares, sendo para o exemplar 1 o abatimento foi de 50 mm e no exemplar 2 de 100 mm.

Os menores valores de resistência à compressão dos lotes obtidos foram no início da obra, de 25,63 MPa e 25,03 MPa, para os lotes 1 e 2, respectivamente. Os fatores que podem ter ocasionado este menor valor em relação à média são:

- a) por se tratar de início de obra, as condições de proteção dos agregados observadas eram menos adequadas que as condições de proteção observadas após na formação do lote 3, por ter a projeção da obra ocupado praticamente todo o terreno, havia pouco espaço físico para uma organização melhor do “lay-out”, o que melhorou a partir do terceiro lote, pois havia outras lajes concretadas;
- b) o operador A estava em fase de aprendizado dos procedimentos utilizados pela empresa para a produção do concreto e que levou a pequena alterações nos volumes dos carrinhos padiolas, afetando, portanto, o traço.

O maior valor de resistência à compressão dos lotes observados durante esta pesquisa, foi encontrado no lote 8 com valor de 31,40 MPa. Este resultado é facilmente constatado pelo fato de que neste lote os abatimentos de tronco de cone observados foram menores que os de todos os demais lotes de 80 ± 20 mm. No lote 8 o abatimento observado foi em média de 50 mm.

Esta redução do abatimento ocorreu exatamente entre a mudança do nível de qualificação da empresa, na época em que seria efetuada a auditoria. Isto acabou gerando uma preocupação maior dos funcionários da empresa de que o controle do concreto que fazia parte dos itens a serem auditados fosse aprovado. Esta preocupação excessiva acabou gerando este abatimento menor, mas mantendo a variabilidade baixa, refletida no desvio-padrão. Porém, por ser aplicado em pilares, onde a taxa de armadura foi menor, não houve problema de lançamento e adensamento do concreto, fato constatado após a desforma e posterior inspeção do concreto onde não se verificou falhas de concretagem.

No lote seguinte (lote 9) verificou-se que o abatimento voltou aos níveis anteriores antes da auditoria, que eram os preconizados para o traço, bem como os valores médios de resistência à compressão do concreto.

O valor de 2,43 MPa para o desvio-padrão, mantido durante um período de 12 meses, mostra a estabilidade do processo de produção da empresa, demonstrando que é possível obter-se desvio-padrão de dosagem menores que aqueles preconizados pela norma, seja na versão atual ou na proposta de revisão.

Apesar de não ser escopo da pesquisa a verificação da aceitação do concreto, pode-se obter o valor do f_{ckest} , conforme a equação 09 e valores de ψ_6 obtidos do quadro da figura 24. Temos para o lote 2 (onde ocorreu o menor valor de resistência à compressão de exemplares), formado por 04 exemplares, com o valor de $f_1 = 24,15$ MPa e o valor de $f_{ckest} = 20,28$ MPa e para o lote 3 (com o menor número de exemplares), o valor de $f_1 = 26,34$ MPa e o valor de $f_{ckest} = 19,76$ MPa, sendo desta forma todos os lotes aceitos, pois sempre obteve-se $f_{ckest} > f_{ck}$.

A variabilidade devida aos ensaios, necessária para a validação dos procedimentos de ensaio, foi analisada nos lotes onde foram retirados 06 ou mais corpos-de-prova, resultando 03 ou mais exemplares e encontra-se na tabela 2.

Tabela 2 : variabilidade devido aos ensaios com a verificação através do desvio-padrão na obra 1

Lote	Desvio-padrão Exemplares (MPa)				Desvio-padrão do lote – média (MPa)
	1	2	3	4	
2	0,66	0,82	0,96	1,02	0,86
5	1,46	0,33	0,52	-	0,77
6	1,61	0,62	0,54	-	0,92
8	0,40	0,36	0,78	0,85	0,60
9	1,76	0,55	0,72	1,15	1,05
12	0,92	0,78	0,55	1,14	0,85
				Média	0,86

Observando os dados da tabela 2, verificamos que o desvio-padrão médio devido aos ensaios, de todos os lotes para a obra 1 durante a pesquisa, foi de 0,86 MPa.

A dispersão dos resultados devido a erros de ensaio, conforme estabelece o American Concrete Institute (1982) deve ser conforme a equação 5 anterior, e desta forma obteve-se o valor geral de 0,030 e o valor médio das médias de 0,040 que são menores que 0,05 e que representam ensaios satisfatórios.

Se efetuarmos o cálculo do desvio-padrão real decorrente do processo de produção de concreto, conforme sugere Helene (1980), segundo a equação 2 anterior, o valor de S_e (desvio-padrão do ensaio) como sendo de 0,86 MPa, S_c (desvio-padrão de produção) sendo 2,43 MPa e o valor de S_{creal} (desvio-padrão real da produção) de 2,27 MPa.

Verifica-se, portanto que o valor obtido do desvio-padrão de produção ficou próximo do desvio-padrão real, em virtude da pequena variação dos valores dos ensaios, o que indica que os cuidados tomados durante os ensaios foram válidos.

6.3 ESTUDO DE CASO – OBRA 2

6.3.1 Contextualização da obra 2

As características principais da obra apresentam-se no quadro da figura 40 e conforme se observa na figura 41.

Tipo:	Residencial e comercial
Área construída:	5.703,32 m ²
Número de pavimentos:	11
Período estudado:	04/11/2003 a 05/11/2004
Nível de certificação PBQP-H:	Ao início: C Ao término: B
Concreto f_{ck}:	15 MPa slump 100 ± 20 mm
Volume de concreto:	Total: 986 m ³ Produzido no local: 986 m ³ (1)

(1) Valores aproximados

Figura 40: dados da obra 2.



Figura 41: vista da obra 2.

Os lotes 01 a 07 foram obtidos com a empresa certificada no nível **C** e os demais lotes com a empresa certificada no nível **B**. A partir do lote 8 a empresa efetuou ajuste no traço, por entender que o traço anterior levaria a um consumo elevado de cimento por metro cúbico de concreto e que para este traço anterior, a partir de um bom controle o valor da resistência à compressão (potencial) chegaria a valores maiores que 30 MPa, valor considerado elevado, pois que considerando a resistência característica de 15 MPa e o desvio de produção inicial de 5,5 MPa, valor obtido nos lotes anteriores, a resistência de dosagem inicial seria de 24,1 MPa.

Para os lotes 1 a 6 a empresa não realizou nenhum ensaio do concreto fresco, pois no escopo definido para os itens controlados pelo programa de qualidade no nível **C** não fora definido o concreto produzido na obra como um item a controlar. O único controle era do encarregado ou dos oficiais pedreiros que reclamavam da trabalhabilidade do concreto, solicitando ao pessoal da produção o ajuste. Este ajuste sempre foi realizado somente com a mudança de quantidade da água, no caso, sempre o acréscimo.

Como a empresa buscava a qualificação no nível **B**, e neste nível um dos itens a ser controlado é o concreto produzido em obra, o lote 7 foi obtido com a empresa qualificada no ainda no nível **C**, porém já com início de treinamento da equipe para a obtenção no nível **B**,

sendo que neste lote a empresa já realizou o controle do concreto fresco pelo ensaio de abatimento e a correção da água através deste ensaio.

A partir do lote 8 estando a empresa certificada no nível B, a cada início de concretagem realizava o ensaio de abatimento para correção da água do concreto, sendo este procedimento repetido a cada interrupção de concretagem ou quando o encarregado de obra identificasse que o concreto tivesse consistência diferente do esperado, sendo o procedimento idêntico ao realizado pela empresa do estudo de caso 1.

Como todo o concreto foi produzido em obra, a origem de formação dos lotes variou, não sendo formado somente de concreto para pilares, como estabelecido na obra do primeiro estudo de caso, mas ora formado por concreto para lajes e vigas. Houve casos que a concretagem se estendeu por dois dias, conforme identificado no quadro da figura 45, permanecendo o mesmo lote, para efeito de verificação de variabilidade do processo de produção e não de aceitação do concreto, pois que foram mantidas as condições de produção.

O concreto em obra era produzido em uma betoneira auto-carregável, de queda livre e eixo inclinado, com capacidade de 320 litros. O agregado miúdo era constituído de aproximadamente de 60% de areia natural quartzosa e 40% de areia industrial (artificial) de origem basáltica. Não foram utilizados aditivos ou adições no concreto produzido em obra.

6.3.2 Controles realizados pela empresa na produção de concreto e variáveis controladas na pesquisa – obra 2

6.3.2.1 Controle dos materiais – obra 2

O **controle dos materiais** pela empresa consiste em:

- a) O agregado miúdo e graúdo nem sempre foram comprados do mesmo fornecedor, porém provindo da mesma região, para a areia natural (areia do rio Iguaçu, da cidade de União da Vitória-PR), sendo solicitado na ordem de compra, areia para concreto. A areia artificial, sempre foi obtida do mesmo fornecedor. Os agregados eram depositados sobre a laje do

térreo, em baias para cada agregado, porém sem cobertura, conforme se observa na figura 42.

- b) O cimento utilizado durante a pesquisa, permaneceu o mesmo (CP II-Z 32), porém houve mudança do fabricante a partir do lote 8. O armazenamento era em local coberto, fechado, em depósito, conforme se observa na figura 43 onde vemos o local de produção de concreto.



Figura 42: baias de agregados com vista em primeiro plano da carregadeira da betoneira na obra 2.

Durante a pesquisa não houve alteração significativa na granulometria dos agregados. Quanto à forma e local de estocagem não houve mudanças durante a pesquisa. Para o lote 10 houve pequena contaminação do agregado graúdo por areia natural, pois a baia desta areia extravasou sobre a baia da brita, e não houve a preocupação em separação destes materiais.



Figura 43: vista do local de produção de concreto na obra 2, com depósito de cimento à direita, e baias de agregados ao fundo.

6.3.2.2 Controle dos equipamentos – obra 2

O **controle dos equipamentos** realizado pela empresa consiste na realização de vistoria periódica dos mesmos. A betoneira ao início da obra foi adquirida nova, e durante a pesquisa se verificou pequeno desgaste nas pás, identificado a partir do lote 08. Este fato se deve a uma produção de concreto maior que na obra do primeiro estudo de caso, pelo volume maior produzido. Não foi efetuada manutenção destas pás, por entender a empresa que não afetaria no concreto produzido.

As padiolas utilizadas foram alteradas a partir do lote 8, em função da alteração do traço do concreto, porém sempre mantidas em boas condições de uso.

6.3.2.3 Controle da operação – obra 2

O **controle da operação** nesta obra, que ocorreu somente a partir do lote 7, e de forma efetiva a partir do lote 8, foi destinar pessoal treinado para a produção de concreto, conforme treinamento efetuado em conformidade ao programa de qualidade implantado na empresa. O controle mais efetivo era de que ao início de cada concretagem o encarregado da obra lembrasse as instruções da produção de concreto com o funcionário encarregado da betoneira.

A **ordem de mistura dos materiais**, em todos os lotes, neste estudo de caso foi idêntica ao adotado pela obra do estudo de caso 1.

Durante o período da pesquisa os responsáveis pelos procedimentos de produção do concreto foram dois. Para os lotes 1 a 7 o responsável foi o operador C e os demais lotes foi o operador D e nestes lotes não havendo alteração da ordem de colocação dos materiais e o tempo mistura decorrido variou entre 70 ± 20 segundos.

O **controle da dosagem dos materiais** na obra 2, observado a partir do lote 8, era efetuado da seguinte maneira:

- a) a empresa utilizou traço testado e aprovado, procurando mantê-lo constante;
- b) manteve sempre as dimensões das padiolas e a sua quantidade para cada agregado, havendo padiolas específicas para cada agregado, conforme se verifica na figura 44, identificado por marcas na mesmas;
- c) cimento medido em massa, com medida de volume dado por betonada, sendo que cada betonada corresponde a um saco de cimento;
- d) controle da variação da relação água/cimento em função da trabalhabilidade desejada e testada em função do traço, não havendo alteração desta para os diferentes elementos à concretar. Este controle é realizado a cada turno de concretagem pelo ensaio de abatimento do tronco de cone. Esta forma de controle somente ocorreu de forma efetiva a partir do lote 8, sendo que anteriormente não havia nenhum tipo de controle.



Figura 44: colocação de padiolas de agregados no carregador da betoneira.

6.3.2.4 Controle dos procedimentos – obra 2

O **controle dos procedimentos** realizado pela empresa, somente constatado de forma efetiva a partir do lote 8, consistiu em efetuar o ensaio de abatimento ao início de cada turno e a cada alteração significativa percebida na trabalhabilidade do concreto.

Não era efetuada alteração dos volumes de agregados miúdos em função do seu inchamento, com a mudança de umidade, pois o traço em volume utilizado pela empresa foi estipulado em função de uma umidade padrão para o agregado miúdo.

A responsabilidade do controle de procedimento cabe principalmente ao encarregado da obra e ao estagiário da empresa, sendo rara a presença do engenheiro responsável na produção do concreto.

O **controle da resistência à compressão** pela empresa não foi efetiva, pois que a retirada de corpos-de-prova era esporádica, não sendo efetuada para cada lote. Isto ocorria somente pela

necessidade de verificação e comprovação de que o traço ainda seria adequado, pois a empresa não possui controle de aceitação do concreto.

A partir do lote 8, pela necessidade de atendimento ao programa de qualidade, houve uma maior preocupação com a retirada de corpos-de-prova, porém não havia preocupação com a forma de guarda e cura destes corpos de prova, nem com a idade da ruptura dos mesmos. Normalmente os corpos-de-prova permaneciam na obra, sem cura, e eram rompidos em datas que variaram desde 07 dias até 45 dias. Não foram confrontados os dados desta pesquisa com os resultados obtidos pela empresa.

6.3.3 Obtenção de dados – obra 2

O estágio em que a obra se encontrava, ao início desta pesquisa na obra 2 (novembro de 2003) é após conclusão da laje do 2º. tipo e sendo efetuados as fôrmas para a concretagem dos pilares do 2º. tipo.

Entre os lotes 7 e 8 houve uma interrupção na obtenção de dados, época em que a empresa estava em auditoria e mudança do nível de certificação.

6.3.4 Resultados obtidos – resistência à compressão na obra 2

No quadro da figura 45, apresenta-se a formação dos lotes, com a localização dos elementos na obra e volume do lote, a data da amostra e o seu tamanho.

Os resultados da resistência à compressão dos diferentes lotes do concreto produzido estão apresentados na tabela 3, indicando a resistência de cada exemplar, a resistência média do lote, bem como o desvio-padrão. Apresenta-se ainda o desvio-padrão total de todas as amostras retiradas. No anexo C apresentam-se os resultados individualizados dos corpos-de-prova.

Lote	Volume (m³)	Local	Amostra (exemplares)	Data amostra (moldagem)
1	5,50	Pilares 2°. tipo	08	04 e 05/11/2003
2	3,60	Pilares 2°. tipo	04	06/11/2003
3	7,50	Pilares 2°. tipo	06	19 e 20/11/2003
4	21,30	Lajes e vigas 3°. tipo	08	14 e 15/01/2004
5	10,50	Lajes e vigas 3°. tipo	04	16/01/2004
6	21,30	Pilares 3°. tipo	06	28 e 29/01/2004
7	4,20	Pilares 4°. tipo	03	26 e 27/02/2004
8	1,45	Escada 8°. tipo	03	25/06/2004
9	21,30	Laje e vigas 9°. tipo	06	28 e 29/06/2004
10	10,50	Laje e vigas 9°. tipo	04	30/06 e 01/07/2004
11	21,30	Lajes e vigas cobertura	06	29 e 30/09/2004
12	1,10	Pilares cobertura	03	01/10/2004
13	2,30	Lajes e vigas casa máquinas	04	04 e 05/11/2004

Figura 45: lotes formados, com respectivos volumes, local da amostra, número de amostras e data de moldagem na obra 2.

Observa-se, pela tabela 3, que a mudança do operador mudou significativamente o desvio-padrão da produção de concreto. Para os lotes 1 a 6, com o operador C, o desvio-padrão ficou em 5,29 MPa, considerando todos os resultados, e os resultados dos lotes variaram entre 3,72 MPa e 5,79 MPa. O valor de 2,88 MPa com o operador D no lote 7 foi obtido numa fase de transição, onde houve uma preocupação o controle da relação água/cimento, com o ensaio de abatimento, porém sem consolidação dos procedimentos.

A partir do lote 8, inclusive, com o operador D, o desvio-padrão, considerando todos os resultados, ficou em 1,25 MPa, com valores de desvio-padrão de lote variando de 0,40 MPa a 1,16 MPa.

Tabela 3 : resistência à compressão dos diferentes lotes amostrados, com o seu desvio-padrão, na obra 2

Lote	Exemplares (MPa)				Média (MPa)	Slump médio (mm)	Desvio-padrão (MPa)
	1	2	3	4			
1	17,08	28,50	19,50	24,67	21,93	120	3,72
	21,28	24,59	19,16	20,64			
2	15,07	27,39	24,10	27,25	23,45	120	5,79
3	22,98	27,17	25,50	30,50	27,43	90	4,03
	24,63	33,79					
4	14,09	21,46	18,31	19,02	18,98	130	3,76
	14,92	20,00	18,66	25,40			
5	14,50	23,72	19,09	19,29	19,15	130	3,76
6	20,33	29,75	20,86	30,23	24,52	110	4,37
	22,93	23,03					
7	16,01	14,24	10,37		13,54	150	2,88
8	18,60	18,90	19,40		18,97	110	0,40
9	19,02	20,00	19,09	17,78	19,54	90	1,16
	21,14	20,18					
10	20,38	21,96	21,59	20,92	21,21	90	0,70
11	18,01	19,00	18,52	17,95	18,14	110	0,67
	18,33	17,01					
12	18,56	18,44	19,33		18,35	110	0,66
13	19,01	19,63	17,88	17,93	18,61	100	0,86
Total Lotes 1 a 6					21,79		5,29
Total Lotes 8 a 13					19,17		1,25

Esta mudança não foi somente obtida com o treinamento do operador D, mas com uma mudança gerencial da empresa, que a partir do lote 8, tinha o concreto como um dos itens a controlar, dentro de seu programa de qualidade, onde os demais funcionários, em especial aqueles responsáveis pelo lançamento e adensamento do concreto, passaram a não mais exigir do operador o aumento da trabalhabilidade do concreto, que anteriormente era obtido as custas de simples aumento da água. No treinamento da empresa, todos os funcionários que se envolviam na concretagem foram treinados nos procedimentos e da importância para a obtenção de um concreto adequado.

Colocando-se os valores da tabela 3 numa carta de valores, conforme figura 47, observa-se visualmente a mudança que ocorreu no processo de produção a partir do lote 8. Nos lotes 1 a 6, a forma do gráfico como um “zig-zag” demonstra que a cada exemplar há uma grande variação nos resultados obtidos, sendo uma clara demonstração da instabilidade na produção, que se refletiu no desvio-padrão de produção elevada e que irá se refletir na aceitação do concreto. Quando os valores pouco variam em torno de um valor médio, indica que há uma estabilidade no processo de produção, conforme se observa visualmente a partir do lote 8.

Analisando-se os dados da tabela 3 e figura 46, nos lote 1 a 6 observa-se que os valores médios são diferentes, variando de 18,98 MPa à 27,43 MPa, bem como as resistências dos exemplares dentro de cada lote apresenta uma variação significativa. No lote 2, obteve-se um desvio-padrão de produção que chegou ao valor de 5,79 MPa, com uma amplitude entre 27,39 MPa e 15,07 MPa.

Esta diferença entre os exemplares deve-se não a mudança da quantidade de agregados ou de cimento, mantida constante por uso de padiolas, mas sim da quantidade de água acrescentada, identificado no abatimento, que neste caso variou de 50 a 170 mm. Ressalte-se que na obra 2 não se realizava ensaios de abatimento nos lotes 1 a 6 e que os valores obtidos foram dos ensaios realizados pelo pesquisador.

Da mesma forma que na obra 1, ao se analisar o valor do desvio-padrão de produção, considerando o valor médio da resistência à compressão (f_{cj}) de 19,17 MPa e o valor do f_{ck} determinado para a obra de 15 MPa, obtém-se o valor de $S_d = 2,53$ MPa que é bem menor que a condição C determinada pela NBR 12.655, porém 2,0 vezes mais que o valor real do desvio-padrão de 1,25 MPa,.

Pode-se afirmar que nesta situação o traço está adequado, não sendo necessário ajustes em função de economia, pois um valor de $S_d = 2,53$ MPa é muito próximo do mínimo de $S_d = 2,0$ MPa indicado pela NBR 12655.

A figura 47 representa a carta de valores do desvio-padrão de cada lote, onde se observa claramente a mudança ocorrida na empresa entre os lote 6 a 8, refletida nos resultados obtidos. Porém, mesmo sem nenhum controle de produção, pode se observar que os valores obtidos sempre estiveram abaixo do valor limite sugerido pela NBR 12655, na condição C.

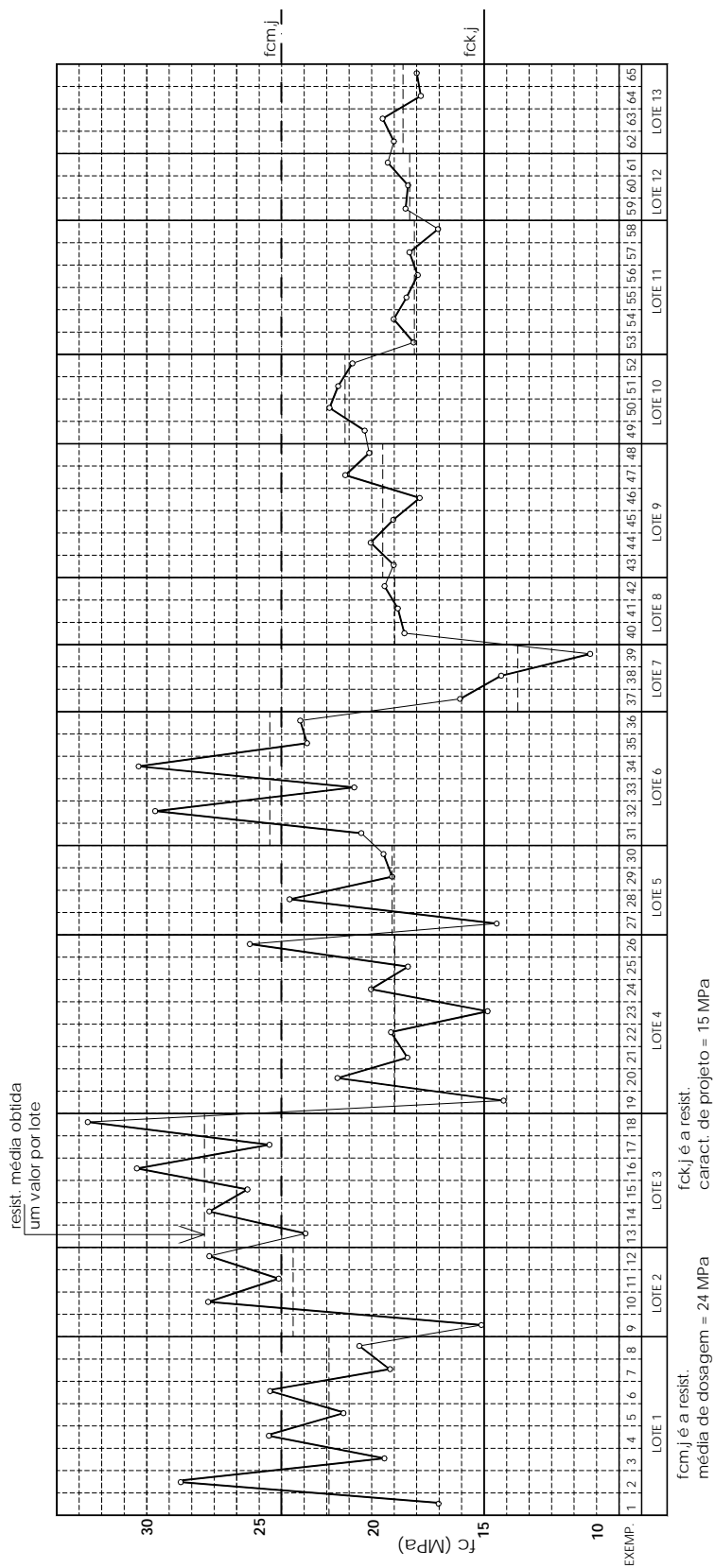


Figura 46: carta de valores com base nos resultados individuais para a obra 2.

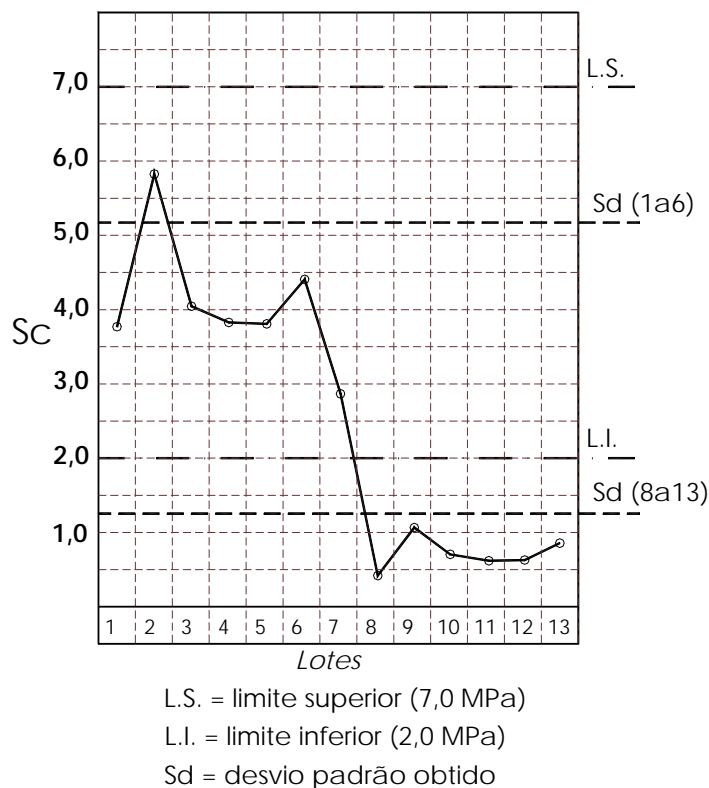


Figura 47: carta de valores com base nos desvio-padrão para a obra 2.

Com relação à aceitação do concreto, observa-se que utilizando o procedimento anteriormente utilizado na obra 1, utilizando-se a equação 09 e dados do quadro da figura 24, os lotes 2, 4, 5 e 7 não seriam aceitos, pois apresentaram valores individuais abaixo do f_{ck} da obra, onde os valores do $f_{ck_{est}}$ seriam de:

- 12,65 MPa para o lote 2;
- 13,10 MPa para o lote 4;
- 12,18 MPa para o lote 5 ;
- 8,30 MPa para o lote 7.

Porém a partir do lote 8, todos seriam aceitos, pois o observado-se o lote 8 com menor número de exemplares, o tem-se $f_{ck_{est}} = 14,9$ MPa (valor muito próximo do f_{ck}) e o lote com menor resultado individual (lote 11), teria-se $f_{ck_{est}} = 15,13$ MPa.

Cabe destacar que até o encerramento do levantamento dos dados desta pesquisa, não foram tomadas providências para verificação dos lotes 1 a 7, que não foram aceitos.

Desta forma observa-se que a mudança de procedimentos a partir do lote 8 não somente afetou o desvio-padrão de produção, mas produziu concretos com maior possibilidade de aceitação.

A variabilidade devida aos ensaios encontra-se na tabela 4.

Tabela 4 : variabilidade devido aos ensaios com a verificação através do desvio-padrão na obra 2

Lote	Desvio-padrão Exemplares (MPa)								Desvio-padrão do lote – média (MPa)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0,74	0,85	1,27	1,35	0,96	1,42	1,35	1,23	1,15
3	1,48	0,35	0,63	1,25	0,87	1,64			1,03
4	0,98	1,38	0,35	0,77	1,80	1,40	1,21	0,76	1,08
6	1,12	1,03	0,86	1,31	1,18	1,21			1,12
9	1,03	1,36	0,83	0,82	0,77	1,09			1,00
11	0,77	0,92	1,03	0,66	0,67	0,76			0,80
13	0,92	0,51	0,88	1,14					0,86
									Média lote 1 a 6
									1,09
									Média lote 8 a 13
									0,88
									Média total
									1,01

Observando os dados da tabela 4, verificamos que o desvio-padrão médio devido aos ensaios, de todos os lotes para a obra 2 durante a pesquisa, foi de 1,01 MPa.

A dispersão dos resultados devido a erros de ensaio, conforme estabelece o American Concrete Institute (1982) e conforme a equação 5 anterior, obtemos o valor de 0,050 para os lotes 1 a 6 e o valor de 0,046, para os lotes 8 a 13, com um valor geral de todos os lotes 0,050 sendo portanto considerado os ensaios satisfatórios.

Se efetuarmos o cálculo do desvio-padrão real decorrente do processo de produção de concreto, segundo a equação 2 anterior, o valor de S_e (desvio-padrão do ensaio) como sendo de 1,09 MPa, S_c (desvio-padrão de produção) sendo 5,09 MPa e o valor de S_{creal} (desvio-padrão real da produção) de 4,97 MPa, para os lote 1 a 6. Para os lotes 8 a 13 teríamos $S_e = 0,88$ MPa $S_c = 1,25$ MPa e $S_{creal} = 0,88$ MPa

6.4 ESTUDO DE CASO – OBRA 3

6.4.1 Contextualização da obra 3

As características principais da obra 3 apresentam-se no quadro da figura 48 e conforme se observa na figura 49.

Tipo:	Hospital
Área construída:	6.121,18 m ²
Número de pavimentos:	02
Período estudado:	26/02/2004 a 23/04/2004
Nível de certificação PBQP-H:	Ao início: B Ao término: B
Concreto f_{ck}:	20 MPa slump 100 ± 20 mm
Volume de concreto:	Total: 1.090 m ³ (1) Usinado: 1.000 m ³ (2) Produzido no local: 90 m ³ (2)

(1) Volume estimado, pois não estava definido todo o projeto

(2) Volume previsto, pois dependeria do ritmo da obra, em andamento durante pesquisa

Figura 48: dados da obra 3.

Praticamente todo o concreto utilizado na obra era adquirido de central dosadora, devido ao prazo para a execução da obra ser bastante reduzido. Porém, em alguns lotes, devido ao pequeno volume de concreto envolvido, no caso específico de pilares e, a não possibilidade de entrega imediata de concreto pela central dosadora, a empresa produziu concreto na obra.

O concreto era produzido em uma betoneira, de queda livre e eixo inclinado, com capacidade de 320 litros. O abastecimento da betoneira era efetuado através de padiolas. O agregado miúdo era constituído de areia natural quartzosa e o agregado graúdo é de origem basáltica. Não foram utilizados aditivos ou adições.



Figura 49: vista da obra do terceiro estudo de caso.

6.4.2 Controles realizados pela empresa na produção de concreto e variáveis controladas na pesquisa – obra 3

6.4.2.1 Controle dos materiais – obra 3

O **controle dos materiais** pela empresa consiste em:

- a) O agregado miúdo e graúdo sempre é comprado do mesmo fornecedor, bem como o tipo de agregado na solicitação de compra foi sempre o mesmo; tanto os agregados graúdos, bem como os agregados miúdos eram depositados a céu aberto, não havendo baias específicas, sendo somente a separação efetuada por montes diferentes; eram depositados diretamente sobre estrados de madeira (chapas de compensado), conforme observa-se na figura 50 e cobertura com lona plástica na areia para evitar chuva sobre a mesma; o local para a armazenagem não sofreu alteração, durante a pesquisa;

- b) o cimento utilizado durante a pesquisa, permaneceu o mesmo (CP II-Z 32) e, sem mudança do fabricante; o armazenamento era em local coberto, fechado, em depósito, de forma adequada.

Durante a pesquisa não houve alteração significativa na granulometria dos agregados, nem em relação à forma e ao seu local de estocagem.



Figura 50: forma de estocagem dos agregados na obra 3

6.4.2.2 Controle dos equipamentos – obra 3

O **controle dos equipamentos** realizado pela empresa consiste na realização de vistoria periódica dos mesmos. A betoneira ao início da obra foi adquirida nova, e durante a pesquisa não se verificou nenhuma alteração no equipamento que pudesse influenciar nos resultados, até pelo pequeno volume de concreto produzido, e pelo prazo da pesquisa reduzido.

O estado da betoneira (pás, cuba e engrenagens) pouco se alterou durante o período da pesquisa e as padiolas sempre estiveram em boas condições de uso.

6.4.2.3 Controle da operação – obra 3

O **controle da operação** nesta obra foi destinar pessoal treinado para a produção de concreto, conforme treinamento efetuado em conformidade ao programa de qualidade implantado na empresa. O controle mais efetivo era de que ao início de cada concretagem o encarregado da obra lembrasse as instruções da produção de concreto com o funcionário encarregado da betoneira, bem como próximo à betoneira havia as instruções, de forma visível e didática, conforme se observa no plano geral na figura 51, e de forma ampliada na figura 14, de como produzir o concreto, e como efetuar os ensaios necessários, bem do traço em volume a utilizar, conforme exigência do programa de qualidade da empresa.



Figura 51: instruções do programa de qualidade expostas na obra 3.

A **ordem de mistura dos materiais**, neste estudo de caso foi idêntica aos dois estudos de casos anteriores.

Durante o período da pesquisa não houve alteração do operador da betoneira e nem na ordem de colocação dos materiais e o tempo mistura decorrido variou entre 70 ± 10 segundos.

O **controle da dosagem dos materiais** na obra era efetuado da seguinte maneira:

- a) a empresa utilizou traço já testado e aprovado, procurando manter sempre o mesmo traço, porém sem especificar se era adequado aos agregados existentes, sendo este mesmo traço adotado em outras obras da empresa, mesmo em cidades distintas, porém segundo informações da empresa, para a granulometria de brita 1 e areia grossa;
- b) manteve sempre as dimensões das padiolas e a sua quantidade para cada agregado, havendo padiolas específicas para cada agregado, identificado por legendas na mesmas;
- c) utilizou sempre o cimento em massa, com medida de volume dado por betonada, sendo que cada betonada corresponde a um saco de cimento;
- d) controle da variação da relação água/cimento em função da trabalhabilidade desejada e testada em função do traço, sendo que o controle é realizado de forma empírica, sem ensaio de abatimento para correção da água em função da trabalhabilidade, apenas pela experiência do operador;

6.4.2.4 Controle dos procedimentos – obra 3

O **controle dos procedimentos** realizado pela empresa consistiu em instruir os funcionários da produção de concreto, lembrando dos procedimentos do programa de qualidade e da importância de se manter a trabalhabilidade, não acrescentando água além da necessária para não comprometer a resistência.

Não era efetuada a alteração dos volumes de agregados miúdos em função do seu inchamento, com a mudança de umidade, pois o traço em volume utilizado pela empresa, conforme informação do encarregado da obra foi estipulado em função de uma umidade padrão para o agregado miúdo.

A responsabilidade do controle de procedimento cabe principalmente ao encarregado da obra e ao supervisor da obra, sendo rara a presença do engenheiro responsável da obra, na produção do concreto.

O **controle da resistência à compressão** pela empresa não foi efetiva, pois que a retirada de corpos-de-prova, apesar de ser efetuada em cada lote de concreto produzido em obra, não atendia ao número de amostras exigidas pela NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), nem tampouco com relação à forma do controle.

Em parte, este procedimento errôneo se deve à empresa auditora que efetuou a certificação no nível **B**. Apesar da empresa ter recebido treinamento adequado, a empresa auditora instruiu de forma errada o pessoal responsável pela produção e controle do concreto, citando-se o fato, por exemplo, de que cada exemplar de uma amostra, é constituído de dois corpos-de-prova, mas que somente um deveria ser rompido, e caso este desse resultado satisfatório, o outro corpo-de-prova ficaria como contraprova para o futuro¹⁸.

6.4.3 Obtenção de dados – obra 3

Ao início da pesquisa, a obra já estava em andamento. O número de lotes formado nesta obra foi menor que nas duas primeiras, pois a empresa não comunicava com antecedência a sua programação de utilização de concreto produzido na obra, combinado ao fato de ter sido produzido pouco concreto em obra. Todos os lotes foram obtidos com as mesmas condições de produção, num período aproximado de dois meses.

6.4.4 Resultados obtidos – resistência à compressão na obra 3

No quadro da figura 52, apresenta-se a formação dos lotes, com a localização dos elementos na obra e volume do lote, a data da amostra e o seu tamanho.

Os resultados da resistência à compressão dos diferentes lotes do concreto produzido em obra estão apresentados na tabela 5, indicando a resistência de cada exemplar, a resistência média do lote, bem como o desvio-padrão. Apresenta-se ainda o desvio-padrão total de todas as amostras retiradas.

Observa-se pelos dados da tabela 5 que apesar de não realizar ensaio de abatimento, para efetuar a alteração da água a acrescentar em função da umidade da areia, como realizado na obra 1, os resultados foram mais uniformes que na obra 2, nos lotes iniciais de 1 a 6. O controle visual da consistência do concreto, aliada à experiência do operador, foi o diferencial

¹⁸ Não se obteve a informação se o auditor era ou não engenheiro ou que tivesse experiência em tecnologia do concreto.

que possibilitou a obtenção de valores relativamente baixos para o desvio-padrão de produção.

Lote	Volume (m³)	Local	Amostra (exemplares)	Data amostra (moldagem)
1	2,40	Pilares térreo bloco 2	03	26/02/2004
2	3,30	Pilares térreo bloco 4/5	03	14/03/2004
3	2,18	Pilares superior bloco 4	03	29/03/2004
4	3,35	Pilares superior bloco 5	03	23/04/2004

Figura 52: Lotes formados, com respectivos volumes, local da amostra, número de amostras e data da moldagem na obra 3.

Tabela 5 : resistência à compressão dos diferentes lotes amostrados, com o seu desvio-padrão, na obra 3.

Lote	Exemplares (MPa)			Média (MPa)	Slump médio (mm)	Desvio-padrão (MPa)
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>			
1	27,15	21,80	27,70	25,55	120	3,26
2	30,96	27,70	30,48	29,71	80	1,76
3	26,65	27,15	28,15	27,32	100	0,76
4	32,51	30,30	27,06	29,96	80	2,74
Total				28,41		2,75

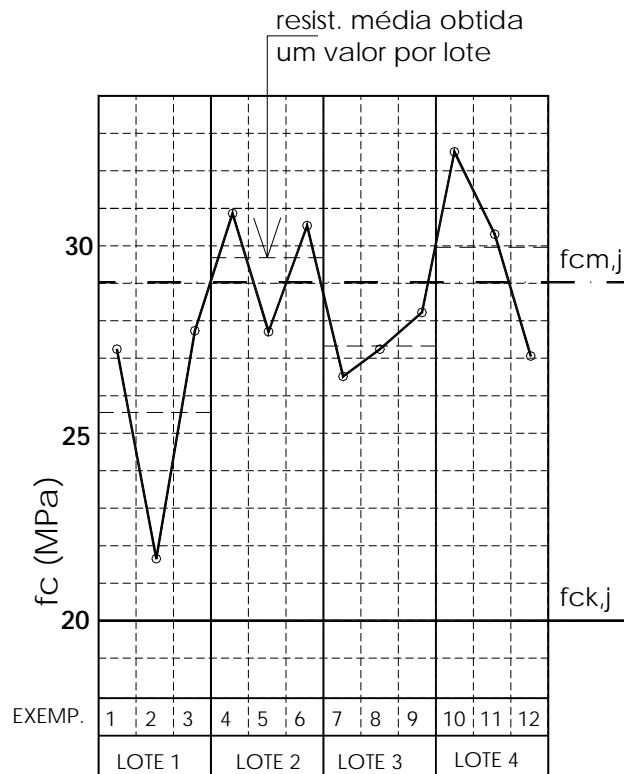
Decorre este fato devido à constante cobrança dos procedimentos do encarregado junto ao operador e também pelo fato de que o pessoal responsável pelo lançamento e adensamento do concreto não fazerem exigências de maior trabalhabilidade do concreto. Além disto, contribuiu para este fato de que o agregado miúdo estava sempre coberto por uma lona plástica, não havendo mudanças significativas na umidade da areia.

Ao se analisar o valor do desvio-padrão de produção, considerando o valor médio da resistência à compressão (f_{cj}) de 28,41 MPa e o valor do f_{ck} determinado para a obra de 20

MPa, obtém-se o valor de $S_d = 5,09$ MPa que é menor que a condição **C** determinada pela NBR 12.655, porém praticamente o dobro do que o valor real do desvio-padrão de 2,75 MPa.

Como a resistência de dosagem foi estabelecida com um desvio-padrão de dosagem inicial de 5,0 MPa, poderia a empresa em função do seu real desvio-padrão de produção diminuir a resistência de dosagem, mas segundo informações dos encarregados, o traço será mantido, pois preferem trabalhar com certa margem de segurança na produção de concreto, inclusive por ser pequeno o volume de concreto produzido em obra e devido às condições da obra não serem as mais adequadas.

Plotando os resultados da tabela 5 numa carta de valores, obtém-se a figura 53, onde se observa que, com exceção do lote 2, os valores variaram sempre em torno do valor da resistência média de dosagem, indicando uma certa estabilidade no processo, porém como o número de dados não é elevado, esta afirmação não pode ser conclusiva. Mas deve ser observado que há intervalo, na média, de 14 a 21 dias entre a obtenção dos corpos-de-prova, e de praticamente 60 dias no total, o que representa um espaço de tempo considerável, quando se trata de obter um desvio-padrão de produção e também os resultados servem de indicativo de que a empresa tem a capacidade de obter a estabilidade do processo de produção de concreto.

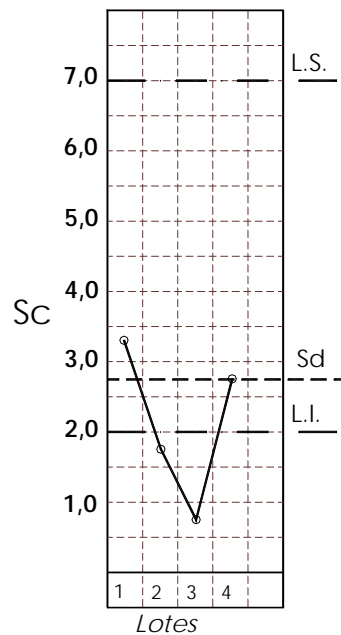


$f_{cm,j}$ é a resist. média de dosagem = 29 MPa $f_{ck,j}$ é a resist. caract. de projeto = 20 MPa

Figura 53: carta de valores com base nos resultados individuais para a obra 3.

A figura 54 representa a carta de valores do desvio-padrão de cada lote, onde se observa claramente que os valores do desvio-padrão de produção estão próximos ao limite inferior, indicando uma estabilidade na produção de concreto.

A variabilidade devida aos ensaios encontra-se na tabela 6.



L.S. = limite superior (7,0 MPa)

L.I. = limite inferior (2,0 MPa)

Sd = desvio padrão obtido

Figura 54: carta de valores com base nos desvio-padrão para a obra do estudo de caso 3.

Tabela 6 : variabilidade devido aos ensaios com a verificação através do desvio-padrão na obra 3

Lote	Desvio-padrão Exemplares (MPa)			Desvio-padrão do lote – média (MPa)
	1	2	3	
1	1,14	0,86	0,77	0,92
2	1,55	1,81	0,38	1,25
3	0,78	0,83	1,01	0,87
4	0,96	1,03	1,36	1,12
	Média			1,04

Observando os dados da tabela 6, verificamos que o desvio-padrão médio devido aos ensaios, de todos os lotes para a obra 2 durante a pesquisa, foi de 1,04 MPa.

A dispersão dos resultados devido a erros de ensaio, conforme estabelece o American Concrete Institute (1982) e conforme a equação 5 anterior, obtemos o valor de 0,036, com um

valor de 0,046 para a média das médias, considerado bom, validando os procedimentos de coletas de amostras e ensaios realizados.

Se efetuarmos o cálculo do desvio-padrão real decorrente do processo de produção de concreto, segundo a equação 2 anterior, o valor de S_e (desvio-padrão do ensaio) como sendo de 1,04 MPa, S_c (desvio-padrão de produção) sendo 2,75 MPa e o valor de S_{creal} (desvio-padrão real da produção) de 2,55 MPa o que demonstra pela proximidade dos dois últimos valores que a variabilidade nos ensaios teve pouca influência no valor do desvio-padrão de produção.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

7.1 INFLUÊNCIA NA VARIABILIDADE DEVIDO AS VARIÁVEIS CONTROLADAS

7.1.1 Introdução

Os dados para esta pesquisa, nos diferentes estudos de caso foram obtidos num período máximo de 12 meses, sendo que durante este período as concretagens ocorreram durante as mais variadas condições de obra e condições climáticas e que poderiam resultar numa variabilidade das propriedades dos materiais e em consequência uma variabilidade na resistência à compressão.

O controle das variáveis durante a pesquisa teve como finalidade principal verificar se a mudança de alguma condição destas variáveis pudesse ser causa da mudança do desvio-padrão de produção e que poderia influenciar na análise do resultado final deste desvio-padrão. Em caso positivo, poder analisar de forma separada as variações do desvio-padrão de produção, nos lotes onde houve esta mudança; em caso negativo, fazer a análise dos lotes no conjunto, sem que a variável tenha sido causa principal de alteração do desvio-padrão de produção.

Esta alteração de variáveis controladas somente teve influência nos resultados da obra 2, pela mudança do operador, pela mudança do traço e principalmente pela mudança dos procedimentos adotados pela empresa, a partir do lote 8.

Com relação às demais variáveis, nas três obras, a influência, se houve, não foi identificada, podendo ser assim analisado o processo de produção de uma forma mais clara, sem nenhum interveniente.

7.1.2 Análises devido as variáveis controladas

7.1.2.1 Devido ao operador da betoneira

Pelos resultados anteriormente apresentados observa-se que há influência do operador nos resultados da resistência à compressão do concreto e no valor do desvio-padrão de produção, quando o mesmo não tiver o devido treinamento sobre os procedimentos a serem adotados nesta função.

Os dados da obra 1 demonstram que mesmo havendo alteração do operador, mas com o mesmo treinamento, os valores do desvio-padrão de produção mantiveram-se praticamente iguais. Em contrapartida, os dados da obra 2 demonstram claramente a diferença obtida no desvio-padrão de produção entre os dois operadores, porém considerando que a melhoria não foi obtida somente com o treinamento adequado do segundo operador, mas em função de uma mudança gerencial da empresa.

Observando-se os dados da obra 3, deve ser destacado o fato de que mesmo sem efetuar correção da quantidade de água através do ensaio de abatimento de tronco de cone, a preocupação do operador em manter um concreto uniforme em sua consistência levou a obter um valor baixo do desvio-padrão de produção, ressaltando a importância do treinamento. Convém salientar que na obra 3 não eram realizados ensaios de abatimento de tronco de cone porque não havia os equipamentos necessários na obra, porém, destacou o encarregado, que em outras obras da empresa este ensaio era realizado, havendo experiência do pessoal envolvido em produzir concreto com qualidade.

7.1.2.2 Devido aos agregados

Pode-se considerar que a pequena variação granulométrica dos agregados, durante a pesquisa, nas três obras não causou influência nos resultados da resistência à compressão potencial do concreto, pois o efeito deste material, havendo pequena variabilidade não é significativo (HELENE; TERZIAN, 1992; GIAMMUSSO, 1995), não sendo possível identificar se as variações das resistências se devem a variação dos agregados.

7.1.2.3 Devido à forma e local de estocagem dos materiais

Pelos resultados obtidos e pelo anteriormente exposto, pode-se afirmar que esta variável não teve influência significativa nos resultados.

Somente na obra 2, no lote 10 houve uma pequena contaminação do agregado graúdo com a areia natural, pois a baia reservada à areia transbordou devido ao grande volume de areia depositada, não havendo preocupação do pessoal da obra em efetuar esta descontaminação, somente a preocupação de utilizar para o concreto a parte mais limpa do agregado graúdo. O resultado obtido neste lote, em relação aos demais, manteve-se dentro da média e desvio-padrão ocorrido neste período, não influenciando no valor final do desvio-padrão de produção.

Na obra 3, mesmo sendo o local e a forma de estocagem dos materiais inadequados, os resultados do desvio-padrão de produção foram baixos. Durante a pesquisa foi identificado que para o concreto houve a preocupação dos funcionários e do operador responsável para a não utilização de agregados contaminados e não foi observada pelo pesquisador no concreto produzido nenhuma contaminação.

Contudo, este cuidado em utilizar agregados não contaminados só foi possível pelo pequeno volume de concreto envolvido e, pelo ritmo da produção de concreto no local ser reduzido. Se o volume a concretar fosse maior e o ritmo mais acelerado, pode-se afirmar pelas condições observadas que, provavelmente, a contaminação ocorreria, e que poderia resultar alterações na resistência do concreto à compressão e na qualidade do concreto sob outros aspectos.

7.1.2.4 Devido ao cimento

Nas obras 1 e 3 como não houve alterações nem do fabricante e nem do tipo de cimento, pode-se considerar que não houve influência desta variável nos resultados obtidos.

Para a obra 2, apesar de haver mudança do fabricante do cimento, a partir do lote 8, pela falta de ensaios específicos, não foi possível identificar uma eventual influência na variabilidade da produção do concreto. Porém salienta-se que o tipo utilizado (CP II-Z 32) não foi alterado.

7.1.2.5 Devido aos equipamentos de produção

Como as condições dos equipamentos utilizados se mantiveram estáveis durante toda a pesquisa, nas três obras, pode-se afirmar que esta variável não teve influência significativa nos resultados obtidos.

7.1.2.6 Devido ao traço do concreto

A influência do **traço do concreto** como uma das variáveis controladas, se refere ao fato do operador estar fazendo alterações não controladas no concreto.

Porém nas obras 1 e 3 não foi identificado mudança no traço padronizado pela empresa, seja na quantidade, no tamanho ou no grau de enchimento das padiolas. Também em nenhuma obra foi utilizado nenhum tipo de aditivo no concreto.

Para a obra 2, a partir do lote 8 foi utilizado novo traço, em função da empresa ter alterado seus procedimentos e se manteve constante nos lotes seguintes. Conforme já comentado, os resultados a partir do lote 8 estão analisados em separados, possibilitando uma análise deste desvio sem influência da mudança do traço entre os lotes 1 a 7 e lotes 8 a 13.

7.1.2.7 Devido ao preparo do concreto

Quanto à forma de **preparo do concreto**, procurou-se verificar se houve alteração no procedimento do tempo de mistura e ordem de colocação dos materiais que pudessem representar alterações nos resultados.

Na obra 1 e 3 não houve alterações nos procedimentos que pudessem resultar em alterações significativas nos resultados obtidos.

Para a obra 2, houve mudança de operador, a partir do lote 8, porém manteve-se padronizado os itens controlados de tempo de mistura e ordem de colocação dos materiais, estando os resultados analisados em separados.

7.1.3 Variáveis controladas – análises finais

Analisando os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, com as informações contidas nas variáveis controladas, e nas observações efetuadas nas obras, constatou-se que:

- a) as variações ocorridas nos resultados devido à pequena variação granulométrica dos agregados, do tipo de cimento, do local e da forma de estocagem e devido aos equipamentos de produção, nesta pesquisa, são muito pequenas, não sendo possível se quantificar qual a influência destes nos resultados finais;
- b) o correto treinamento do operador e do pessoal envolvido na produção é fator fundamental para a obtenção de um baixo desvio-padrão de produção, observado em todos os lotes da obra 1, e nos lotes 8 a 13 da obra 2;
- c) é também importante que o pessoal envolvido no lançamento e adensamento do concreto tenha treinamento e conhecimento da importância de manter a trabalhabilidade constante, representada pelo abatimento, pois assim não passarão a exigir um concreto mais trabalhável às custas de acréscimo de água, diminuindo a pressão sobre o pessoal da produção do concreto, fato este observado na obra 2;
- d) a manutenção de um traço, em especial, a quantidade de água a acrescentar foi fato decisivo para os resultados observados na obra 1 e nos lotes 8 a 13 da obra 2, neste casos com o auxílio do ensaio de abatimento;
- e) O ensaio de abatimento foi uma ferramenta importante para manter o desvio-padrão de produção em valores reduzidos, para a obra 1 e para os lotes 8 a 13 da obra 2, pois que possibilitou a correção da água presente nos agregados miúdo e constitui-se uma ferramenta muito útil nos canteiros como uma verificação da variação da umidade do agregado;
- f) o controle visual para a correção do traço também pode funcionar como uma ferramenta de controle, mas não sendo recomendável, pois que exige grande experiência do pessoal da produção e uma constância dos materiais, podendo se observar que na obra 3 onde este tipo de controle foi feito houve bons resultados no desvio-padrão de produção (2,75 MPa), porém na obra 2, nos lotes 1 a 6 com o mesmo procedimento o resultado não foi adequado (desvio de 5,29 MPa), devido à inexperiência e falta de treinamento do operador;
- g) padronização da forma de preparo do concreto, conforme as técnicas já consagradas também é fundamental para valores reduzidos do desvio-padrão de produção do concreto e esta é função de um treinamento dos funcionários, com base em procedimentos estabelecidos nos programa de qualidade;

- h) a qualificação evolutiva de uma empresa em um programa de qualidade, irá introduzir melhorias no seu processo produtivo, podendo ser observado claramente na obra 2, onde nos lotes 1 a 7, a empresa, em seu atual nível de qualificação, que naquele momento era nível C, não tinha a produção de concreto como item a controlar e a partir do lote 8 havia esta exigência, fez baixar o desvio-padrão de produção de 5,29 MPa para 1,25 MPa,;
- i) esta busca da qualidade no processo de produção de concreto exige o envolvimento da empresa em todos os níveis, desde o nível mais elevado, disponibilizando recursos para compra de equipamentos de controle e treinamento da mão de obra, até o nível operacional mais inferior, em entender a importância da produção de um concreto com qualidade.

Finalizando, observando-se os resultados obtidos nos diversos lotes das três obras, pode-se concluir que o fator fundamental para a obtenção de valor reduzido do desvio-padrão é o controle dos procedimentos.

Os procedimentos devem ser disseminados em toda a empresa, não somente na obra, pois a alta gerência da empresa entendendo a importância da busca da qualidade irá exigir o controle destes procedimentos e na avaliação dos resultados, poderão intervir se necessário no processo produtivo.

Entre os procedimentos, o mais decisivo observado nos estudos de caso foi a realização do ensaio de abatimento pelo tronco de cone, para ajustar a quantidade de água a acrescentar, corrigindo assim a umidade presente na areia, mantendo a relação água/cimento praticamente constante, refletido nos baixos valores desvio-padrão de produção obtidos na obra 1 e dos lotes 8 a 13 da obra 2, onde foi realizado o ensaio de abatimento.

7.2 ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CONCRETO NOS ESTUDOS DE CASO

7.2.1 A ocorrência da variabilidade menor

Observando-se os resultados apresentados da resistência à compressão do concreto e dos valores do desvio-padrão de produção, obtidos na tabela 1 da obra 1 e nos lotes 8 a 13 da

tabela 3 da obra 2, observa-se a importância de um programa de qualidade, treinamento do pessoal e o controle do processo de produção. Constatou-se que as empresas, como no caso da obra 1, por terem implantado um programa de qualidade e que levou a procedimentos padronizados de produção do concreto tiveram bons resultados de variabilidade de produção.

Pelo observado na tabela 1 da obra 1, verificou-se que, havendo uma constância dos materiais, treinamento adequado dos funcionários, estocagem adequada dos materiais, traço testado e adequado e equipamentos em condições, é possível obter-se valores baixos do desvio-padrão de produção, que levarão a uma resistência de dosagem mais baixa e conseqüentemente a um custo menor do metro cúbico do concreto.

Analisando os dados da tabela 3 da obra 2, verifica-se que o valor do desvio-padrão de produção de 1,25 MPa obtido nos lotes 8 a 13 corroboram de forma praticamente idêntica a importância de um programa de qualidade, treinamento do pessoal e o controle do processo de produção, apesar deste valor ser obtido num período de tempo menor que na obra 1 (em torno de cinco meses), porém já indicam para uma estabilidade do processo de produção do concreto.

Na tabela 5 da obra 3, o valor encontrado de 2,75 MPa também pode ser considerado baixo, porém o controle da empresa, no caso a falta de ensaio de abatimento do tronco de cone, foi precário. Este valor pode ser atribuído mais à experiência do operador em identificar o “ponto certo” do concreto do que a procedimentos padronizados da empresa.

Também deve ser levado em consideração que o período de obtenção de dados foi menor que nas obras 1 e 2, cerca de dois meses, com somente 12 resultados divididos em quatro lotes e não pode ser considerado um valor definitivo do processo de produção de concreto da empresa, pois a variação do valor do desvio-padrão de produção entre lotes indica que não há uma estabilidade por definitiva do seu processo de produção do concreto.

Pode-se assim afirmar que, quando uma empresa, elimina as causas de variação que ocorre no seu processo, tendo os procedimentos muito semelhante a da obra 1, o desvio-padrão se manteve constante e estável em um valor pequeno.

7.2.2 A ocorrência da variabilidade maior

Analisando os dados da tabela 3, nos lotes 1 a 6 da obra 2, obtém-se o valor de 5,29 MPa do desvio-padrão de produção do concreto naquele período.

Pode-se afirmar que, principalmente se considerarmos o valor obtido nos lotes 8 a 13 de 1,25 MPa, e a falta de procedimentos adequados na produção e a falta do controle de produção, ficam evidentes que foram estes fatos levaram a valor maior do desvio-padrão. O simples fato de não haver constância na trabalhabilidade, sendo alterada em função da exigência do pessoal de lançamento e adensamento do concreto, à custa de acréscimo de água, sem modificação dos demais materiais, demonstra falta de procedimentos.

Neste caso, observa-se que o valor de 5,29 MPa, está muito próximo daquele sugerido pela proposta de revisão da NBR 12.655, de 5,5 MPa para a condição C, mesmo que a empresa não tenha efetuado a correção da água em função da umidade dos agregados e determinação da consistência.

7.2.3 Análise da variabilidade dos ensaios durante a pesquisa

Durante a pesquisa houve a preocupação em verificar se a variabilidade dentro do ensaio estivesse afetando a variabilidade final do processo de produção do concreto de forma significativa, que levasse a análise errônea.

Para a obra 1, conforme tabela 2, obteve-se um valor médio de 0,86 MPa, para a obra 2, conforme tabela 4, um valor médio de 1,01 MPa e para a obra 3, conforme tabela 6, temos um valor médio de 1,04 MPa. Segundo Porrero (1983), estes valores estão classificados como usual, podendo estar na faixa entre 0,9 a 1,2 MPa.

Os valores de dispersão de resultados conforme procedimento do American Concrete Institute (1982), apontaram para valores iguais ou inferiores a 0,050, indicando que os ensaios não tiveram influência significativa no valor do desvio-padrão de produção.

Se efetuarmos o cálculo do desvio-padrão real decorrente do processo de produção de concreto, conforme sugere Helene (1980) e segundo a equação 2 anterior, temos os seguintes valores, conforme indicado na tabela 7.

Tabela 7 : valor do desvio-padrão real ($S_{c\text{real}}$) em função do desvio-padrão encontrado dentro dos ensaios (MPa).

Obra / lote	S_e	S_c	$S_{c\text{real}}$
Obra 1	0,86	2,43	2,27
Obra 2 – lote 1 a 6	1,09	5,29	4,97
Obra 2 – lote 8 a 13	0,88	1,25	0,88
Obra 3	1,04	2,75	2,55

Observando os dados da tabela 7, verifica-se que o desvio-padrão real, em relação ao desvio-padrão total varia muito pouco, quando a variação dos ensaios é pequena, porém, deve ser sempre verificada, para evitar que o produtor faça modificações em seu processo indevidamente, quando não tem culpa da variabilidade encontrada.

Portanto, os valores da variabilidade dos ensaios, efetuados por pessoal treinado validam os resultados desta pesquisa.

7.3 RESULTADOS OBTIDOS CONFRONTADOS COM A NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA ATUAL E PROPOSTA

A NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) estabelece que, em função das condições de preparo e controle do concreto preparado em obra, o desvio-padrão de dosagem a ser adotado deve ser de $S_d = 4,0$, $S_d = 5,5$ ou $S_d = 7,0$ MPa, conforme condição **A**, **B** ou **C**, respectivamente, conforme observado anteriormente no item 3.3.

Estes valores sempre foram contestados por diversos pesquisadores como sendo muito conservadores e tornando a produção de concreto em obra muito onerosa (CREMONINI, 1994; 1997; HELENE, 1990; PRUDÊNCIO JR; GAVA; LENGELER, 1995).

Ao se adotar um desvio-padrão mais elevado do que realmente se obtém em obra, a resistência inicial de dosagem deve ser mais elevada, resultando num concreto de custo maior.

Para o caso da obra 1 em estudo, por exemplo, se adotarmos o desvio-padrão de $S_d = 7,0$ MPa, conforme exigência da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), na qual a empresa se enquadraria (condição C), teríamos uma resistência inicial de dosagem $f_{cj} = 29,55$ MPa, se desejássemos obter um concreto com resistência característica $f_{ck} = 18$ MPa.

Porém, se fosse adotado o desvio-padrão de produção obtido, sendo este desvio-padrão como o efetivamente ocorrido no processo de produção da empresa, e considerando o valor obtido de $S_d = 2,5$ MPa, a resistência inicial de dosagem baixaria para $f_{cj} = 22,1$ MPa, para o mesmo concreto com resistência característica $f_{ck} = 18$ MPa. Percebe-se que a redução de $f_{cj} = 29,6$ MPa para $f_{cj} = 22,1$ MPa é significativa (em torno de 25 %) o que implica numa redução do custo de concreto produzido em obra.

Segundo Helene (1990), considerando o fato já consagrado e usual de que a cada redução de 1,0 MPa na resistência média corresponde uma redução de 6 kg de cimento por metro cúbico de concreto, no estudo de caso, poder-se-ia considerar que o valor da resistência de dosagem baixaria em torno de 7,0 MPa, o que poderia acarretar uma redução em torno de 42 kg de cimento por metro cúbico de concreto.

Considerando uma obra do porte do estudo de caso 1 em que o volume total de concreto gira em torno de 800 – 850 m³, em toda estrutura, a redução do cimento em função da resistência inicial de dosagem menor seria em torno de 700 sacos de cimento. Considerando o preço médio do saco de cimento é de R\$ 20,00 (janeiro/2005), a economia estaria em torno de R\$ 14.000,00 (quinze mil reais).

Segundo informações do engenheiro responsável pelo controle do concreto na obra 1, este valor deste investimento para esta obra é aproximadamente R\$ 1.500,00 (mil e quinhentos reais), incluindo equipamento para moldagem de corpos-de-prova e de ensaio de abatimento do tronco de cone, ou seja em torno de 10% do valor da economia que pode ser obtida, sendo que parte deste investimento pode ser aproveitado em futuras obras, que é o aprendizado do funcionário, além dos equipamentos que podem ser utilizados em outras obras.

Neste sentido vários pesquisadores têm efetuado críticas a NBR 12655/1996 aos atuais valores a serem adotados (CREMONINI, 1994; 1997; HELENE, 1990; PRUDÊNCIO JR; GAVA; LENGLER, 1995), pois que na forma em que estão estabelecidos não possibilitam que as empresas possam produzir concreto em obra, com um valor de resistência inicial de dosagem mais baixo.

Ao permitir que as empresas adotem o real desvio-padrão da produção encontrado, premiaria-se as empresas que investem em controle de qualidade, em especial o controle de produção do concreto, incentivando que também pudessem investir em tecnologia e pesquisa.

A proposta de revisão da NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001), sugere a alteração dos valores do desvio-padrão das condições **A**, **B** e **C**, para $s = 3,0$ MPa, $s = 4,0$ MPa e $s = 5,5$ MPa, respectivamente. Estes valores são idênticos àqueles sugeridos por Helene (1990).

Pode-se dizer que pelos resultados encontrados, o valor proposto de 5,5 MPa, pelo menos para a condição **C**, observado nos três estudos de caso ainda é elevado, porém bem mais realista que o valor de 7,0 MPa da atual versão da NBR 12.655, para concretos nesta faixa de resistência à compressão (de 20 MPa a 30 MPa).

Porém a questão não é somente a alteração dos valores do desvio-padrão, mas a existência de valores distintos, para as diferentes condições de obra, num leque mais amplo do que somente as três condições especificadas, possibilitando à empresa que possua estabilidade no processo de produção adotar um valor diferenciado.

Deve ainda ser considerado, porém, que em muitas obras pelo Brasil afora teremos situação em que não haverá enquadramento em nenhuma condição (**A**, **B** ou **C**), como a que foi observada inicialmente nos lotes 1 a 6 da obra 2. Para o exemplo em questão o valor encontrado para o desvio-padrão de produção foi de 5,29 MPa, porém haverá situações em que este valor será maior.

Cabe aqui destacar que este tipo de condição de produção de concreto, não deve ser incentivado, mas sim, a busca pelos enquadramentos exigidos pela NBR 12655/1996, não devendo ser aceito nenhuma produção fora das prescrições desta norma.

Pode se exemplificar, quando é de conhecimento geral, que ainda há casos que se adotam dosagem empíricas, sem controle da relação água/cimento, principal responsável pela resistência à compressão, tal como nos lotes 1 a 6 da obra do estudo de caso 2, mas que além disto adotam correções de traços durante a produção, sem nenhum critério, que pode vir a aumentar a variabilidade do processo de produção do concreto.

Nesta situação o valor de 7,0 MPa a adotar para o desvio-padrão pode ser razoável, como aquele indicado por Porrero (1983) no quadro da figura 19, considerando ainda o que sugere a ACI 247/89 (NEVILLE, 1997) que controle insatisfatório do concreto tem desvio-padrão acima de 5,0 MPa.

Para obras que tenham realmente atendido às exigências estabelecidas como na condição **C**, conforme observado nas obras do estudo de caso, o valor de 4,0 MPa já é bem razoável. Para as demais condições (**A** e **B**), os valores a adotar irão depender de pesquisas futuras realizadas em diferentes obras de diferentes empresas, observadas o atendimento às condições estabelecidas, bem como para valores de f_{ck} mais elevados, acima de 30 MPa, por exemplo.

Com relação ao critério estabelecido na atual norma NBR 12.655, para o estabelecimento do desvio-padrão (desvio-padrão conhecido), com 20 resultados em 30 dias, a proposta de revisão deixou este critério mais flexível, porém, deve ser estabelecido de forma clara o que representa este número de resultados. O que importa para o produtor, em termos atuais de conceitos de controle de qualidade é a estabilidade do processo de produção do concreto, em torno de um valor que represente a variabilidade deste processo e não somente um determinado número de resultados em certo período de tempo.

Um determinado valor para o desvio-padrão, estável, obtido ao longo de um período de 12 meses, com 45 resultados, representa de forma mais adequada o processo de produção da empresa, do que aquele que poderia ser obtido com 24 resultados, obtido em 03 dias, num único lote, apesar de somente este último estar de acordo com os critérios da proposta de revisão da NBR 12.655. O ajuste do desvio-padrão em função de número de resultados menores constitui um avanço em relação a atual versão da NBR 12.655, principalmente por adotar critério da ACI 318, que são amplamente utilizados no Mercosul.

Porém, como a revisão da norma NBR 12.655 pretende ser uma norma para o Mercosul, haverá ainda ajustes a efetuar com relação à proposta de norma Argentina, baseada na norma

ACI 318. Cita-se como exemplo, a própria resistência de dosagem, quando não se conhece o desvio-padrão, que na proposta argentina, conforme se observa no quadro da figura 27, somente estabelece um valor para cada classe de concreto, para o aumento da resistência de dosagem em função da resistência característica.

Assim, por exemplo, para concretos de classe C20, se considerarmos o quantil de 5% o valor do desvio-padrão que atende o acréscimo de 7,0 MPa na resistência característica é de 4,24 MPa e para concretos classe acima de C20 até C35 é de 5,15 MPa.

Quanto à aceitação ou rejeição do concreto, este corre menor risco de ser rejeitado, quanto mais acima da resistência exigida esteja a média e o valor característico de sua produção. Não é pretensão de esta pesquisa verificar se o concreto produzido na obra dos diferentes estudos de caso pode ou não ser aceito, mas demonstrar que um baixo valor do desvio-padrão de produção fará que este concreto possa ter menor risco de rejeição, conforme pode se observar na obra 1 e 3, bem como na obra 2, nos lotes 8 a 13.

Com relação à proposta de revisão da norma NBR 12.655, quanto ao critério de aceitação, as alterações propostas com o uso de média móvel de três resultados e com valores individuais não inferiores a um determinado valor de resistência, vêm ao encontro das principais normas internacionais, que adotam este procedimento, em especial a das ACI que são utilizadas na Argentina.

Contudo, conforme observado no item 4.5.2 anterior, a proposta deve conter critérios de aceitação para lotes formados por número menor que 05 exemplares, principalmente para concreto dosado em obra, quando utilizado em concretagem de elementos estruturais em separado.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente competitividade na construção civil tem exigido das empresas uma busca da melhoria da qualidade, não só de seu produto final, mas de procedimentos para viabilizar um produto final com qualidade e preço competitivo. Este novo cenário desperta em todos a busca pela sobrevivência neste mercado cada vez mais exigente e competitivo. Para tanto, as empresas têm buscado a devida qualificação, que é refletida em sua certificação em programas de qualidade.

A produção de concreto tem sido um dos pontos principais das empresas, em seus itens controlados, já que a estrutura de concreto participa em torno de 17% a 30% do custo de uma obra, considerando um prédio vertical com destinação comercial ou residencial.

Para minimizar itens controlados, seja de mão-de-obra ou de materiais, o concreto produzido em central dosadora é freqüentemente utilizado. Porém, sempre haverá a necessidade de produção de concreto em obra, seja pelo pequeno volume envolvido, ou por diminuição do custo da estrutura e em certos casos pela não existência de central dosadora.

Observa-se que em obras da tipologia semelhantes à obra 1 e 2 desta pesquisa, normalmente o concreto para os pilares é produzido em obra, exatamente pelo pequeno volume de concretagem envolvido. E é exatamente este o elemento estrutural da superestrutura que normalmente tem a maior responsabilidade e onde a principal característica do concreto, que é a resistência à compressão é mais exigida.

A atual versão da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), tem exigido para a maioria das empresas que produzem concreto nestas condições um desvio-padrão de dosagem de 7,0 MPa, elevando o valor da resistência de dosagem, por considerar o desvio-padrão desconhecido, elevando assim o custo do concreto. Porém a forma que estipula a referida Norma para estabelecer ou conhecer o desvio-padrão de produção, em seu item 6.4.3.2 é praticamente inatingível para as obras da tipologia citada.

A atual versão da NBR 12.655/1996 não incentiva ao construtor a busca da melhoria da qualidade, pois não possibilita que a empresa, em função de procedimentos adotados possa produzir concreto com valores de resistência de dosagem menor.

A proposta brasileira para a nova versão da NBR 12.655 reduz os valores do desvio-padrão a adotar, conforme a condição de preparo do concreto quando não se conhece o desvio-padrão, de 7,0 MPa para 5,5 MPa, para a condição C, já se constituindo um avanço.

Também introduz melhorias para utilização do desvio-padrão com base em dados experimentais, possibilitando o uso de resultados de ensaios a partir de 15 exemplares consecutivos, obtidos em período não maior que 45 dias.

Porém, ainda não contempla uma proposta para medir e utilizar o desvio-padrão de produção na determinação da resistência de dosagem, em função de resultados obtidos em período mais longo de tempo, que comprovadamente demonstrem a tendência da variabilidade do processo de produção neste período, ou seja, a estabilidade do processo.

A proposta brasileira para a nova versão da NBR 12.655, porém pouca alteração faz com relação às classes de concreto aplicáveis às condições **A**, **B** e **C**, quando não se conhece o desvio-padrão. Houve alteração somente na condição **A**, propondo a aplicação a todas as classes de concreto, em substituição a aplicabilidade somente às classes C10 e C80.

No atual estágio de desenvolvimento das empresas, poderia a proposta prever o aumento das classes de concreto, dos atuais C10 e C15 da condição **C** para o patamar C25, por exemplo, e o aumento do patamar da classe C25 para a classe C30, por exemplo, para a condição **B**.

Observou-se neste trabalho, para as empresas dos estudos de caso, que com a adoção de alguns procedimentos, muitas vezes até simples, tais como a correção da quantidade de água a ser adicionada, presente na umidade da areia, por exemplo, através do ensaio do abatimento do tronco de cone, pode fazer com que o concreto tenha uma variação menor em suas propriedades, resultando assim um desvio-padrão de produção inferior ao da norma como observado ao longo desta pesquisa.

O procedimento que teve maior influência foi exatamente a realização do abatimento, com a finalidade de também medir a quantidade de água a acrescentar no traço especificado, mantendo assim um concreto homogêneo ao longo da produção.

Constatou-se ainda neste trabalho, que utilizar um valor menor de resistência de dosagem, não implica que o concreto tenha maior ou menor probabilidade de aceitação ou rejeição, mas que esta probabilidade é afetada, principalmente pelos procedimentos adotados para o controle da produção do concreto. Corre maior risco de rejeição do concreto a empresa que, mesmo que tenha maior resistência inicial de dosagem, para uma mesma resistência característica, não tenha procedimentos adequados de controle da produção.

Verificou-se ainda que, considerando as empresas dos estudos de caso, a participação das empresas construtoras em programas de qualidade, é fator importante para que a variabilidade da produção seja pequena, pois é exatamente em função destes programas que a empresa passa adotar procedimentos adequados e qualificando sua mão-de-obra para que adote estes procedimentos.

Pelo constatado durante a pesquisa, pode-se dizer que se a produção do concreto for efetuada sempre pelos mesmos operários, já treinados, evitar-se-á variabilidade nos procedimentos. Pelos resultados obtidos, e pelas observações efetuadas, este é o fundamental do processo de produção do concreto, que garante um baixo valor do desvio-padrão de produção.

Considerando que o custo investido com o controle tecnológico para qualquer resistência de concreto é o mesmo, a diferença dos valores de investimento, está no treinamento da mão-de-obra e nas horas-homem necessárias para efetuar todos os procedimentos para a melhora da produção do concreto.

Com relação ao comprometimento das empresas com relação junto à pesquisa, observou-se que o fato de estar participando de programas de qualidade, foi um fator importante, pois outros estudos de caso de empresas que não participavam de programas de qualidade, não foram levados a termo devido à falta de planejamento e programação de concretagem, e não houve aviso prévio ao pesquisador das concretagens, comprometendo estes estudos de caso.

Porém, nas empresas que participavam de programas de qualidade, havia previamente um planejamento das datas de concretagens, possibilitando o pesquisador uma programação para retirada de corpos-de-prova. Verificou-se que esta diferença se deve à própria necessidade da empresa, em obter informações para o controle de seu processo de produção de concreto, devido à imposição dos programas de qualidade.

Além disto, pelo exposto neste trabalho, observa-se que se torna necessário a atualização de conhecimentos relativos à produção de concreto, para que a comunidade científica e profissional tenha sempre uma referência atualizada sobre quais fatores, de que forma e em que escala intervêm no processo de produção de concreto.

As normas técnicas também devem ter a sua parcela de contribuição na atualização com as pesquisas atuais, emitindo periodicamente, por exemplo, boletins técnicos com as fontes de pesquisas recomendadas, para que o meio acadêmico e os profissionais, empreiteiros e construtores tenham sempre uma referência clara, correta e atual, tal como os boletins do American Concrete Institute, o ACI Journal, ou os boletins dos comitês responsáveis pelas normas britânicas, citando como exemplo, o boletim CP 15/76 (LEE; LAMB, 1978), onde basicamente há um relatório com as principais referências sobre determinado estudo relativo ao concreto.

No Brasil, infelizmente ainda não há a tradição da ABNT em emitir boletins referentes a temas específicos ou de somente relatórios referentes a referências atualizadas e utilizadas na elaboração de normas técnicas, o que pode ser considerado uma grande deficiência. Porém, com relação ao concreto, uma iniciativa do IBRACON¹⁹ em publicar um guia como referência do concreto²⁰, onde estarão presentes as maiores autoridades brasileiras no assunto, participando de capítulos específicos, são sem sombra de dúvida, uma das grandes realizações nesta área e que poderá suprir esta deficiência, já que também se pretende haver atualizações deste livro a cada cinco anos.

O conhecimento da tecnologia do concreto não somente é importante para o produtor, mas também para o projetista de estruturas, pois segundo Neville (1998) o projetista estrutural que não tem conhecimento sobre concreto não é um projetista verdadeiramente competente. Lamenta o autor que há uma falta de conhecimento sobre o comportamento do concreto, e grande parte da culpa está nas Universidades que não ensinam os conhecimentos básicos, citando como exemplo uma pesquisa da PCA²¹ de 1995, onde se constatou que somente 22 % dos engenheiros civis norte-americanos têm um semestre completo sobre tecnologia do concreto durante a graduação.

¹⁹ IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto.

²⁰ O livro Concreto: Ensino, pesquisa e realizações que tem como coordenador o prof. Dr. Geraldo Isaia, pretende ter 11 seções e 45 capítulos.

²¹ PCA – Portland Cement Association

O mesmo autor cita que durante a vida profissional a aquisição de conhecimento sobre concreto é muito fragmentada, por vezes dependente de acasos e sem um adequado rigor científico.

Sugerem-se pesquisas futuras com relação ao tema, citando como exemplo a análise da variabilidade do processo de produção de outras empresas que tenham o desvio-padrão já conhecido, para verificar os procedimentos que mais afetam a estabilidade ou não do seu processo de produção de concreto.

Também se tornam importantes pesquisas futuras com relação a programas de qualidade diferenciados ao apresentado pelas empresas neste trabalho, para a verificação dos procedimentos adotados e que influência estes têm na estabilidade ou não do processo de produção de concreto em obra.

Pesquisas relativas à variabilidade do processo de produção de concreto dosado em obra para resistências maiores que as desta pesquisa, como por exemplo, concretos classe C30 a C40, para verificar se estas classes de concreto podem ser produzidas em obra com verificação da estabilidade do processo de produção e também verificação da aceitação deste concreto, também são necessárias, apesar de que atualmente a NBR 12655 não permite esta possibilidade, porém é importante identificar se as atuais condições dos canteiros de obras das empresas construtoras, com processo de produção semelhante a este trabalho, possibilitam a obtenção de concreto, com qualidade de produção e aceitação do mesmo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J.L.B. **Controlo da produção de betões**. In: Revista do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho – Engenharia Civil - UM, n. 3, p. 49-60, 1996.

AITCIN, P.-C. **Cements of yesterday and today – Concrete of tomorrow**. Cement and Concrete Research. London: Pergamon Press, n. 30, p. 1349-1359, 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Controle estatístico do concreto, ACI 214-77**. Tradução Eduardo Santos Basílio. 5. ed. São Paulo: ABCP, 1990.

_____. **Recommended practice for evaluation of strength test results of concrete, ACI 214-77**. Detroit, 1982

_____. **Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete, ACI 211-89**. In: ACI – Manual of Concrete Practice – Part I. Detroit, 1991.

ANDRADE, J.J.O.; DAL MOLIN, D.C.C..Durabilidade das estruturas de concreto armado : análise dos elementos estruturais mais degradados no Estado de Pernambuco. Florianópolis, SC. 1998. v.1 p. 235-244. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7º, Florianópolis, 1998. **Anais ...** Florianópolis: ANTAC, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de ensaios de agregados, concreto fresco, concreto endurecido**. São Paulo: ABCP, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.118**: Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994a.

_____. **NBR 5739**: Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994b.

_____. **NBR 12.655**: Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR ISO9000**: Normas de gestão da qualidade e a garantia da qualidade – Parte 1: Diretrizes para seleção e uso. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR NM 33**: Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **Anteprojeto de Norma Mercosul 05:03-0502**. Concreto – Preparo, controle e recebimento. 4ª versão, Julho 2001.

_____. **NBR 6.118**: Projeto de estruturas em concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR 14931**: Execução de estruturas em concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: 2003b.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003c.

BALAGURU, P.N.; RAMAKRISHNAN, V. **Criteria for Estimating the required average strength f'_{cr} to comply with the specified compressive strength f'_c** . ACI Materials Journal, Detroit, ACI, p. 35-41, jan/feb. 1987.

BASKOCA, A.; OZKUL, M.H.; ARTIRMA, S. **Effect of chemical admixtures on workability and strength properties of prolonged agitated concrete**. Cement and Concrete Research. London: Pergamon Press, n. 5, vol. 28, p. 737-747, 1998.

BAUER, L.A.F. **Preparo do concreto: Mistura – Transporte – Lançamento - Adensamento**. São Paulo: RG Editores Associados, L.A. FALCÃO BAUER, CENTRO TECNOLÓGICO DE CONTROLE DA QUALIDADE, 1991. Boletim Técnico

BUREAU VERITAS QUALITY INTERNATIONAL. **Procedimento para certificação em sistemas evolutivos – PBQP-H**. [S.l.]: BVQI do Brasil, 2003. Boletim Técnico.

CARMONA FILHO, A.; HELENE, P.R.L. Propostas para calibragem dos capítulos 15 e 16 da NBR 6118. In: Reibrac - Reunião Anual do IBRACON, 1986. São Paulo. **Anais ...** Porto Alegre: Ibracon, 1986.

CARNEIRO, F. L.L. **Dosagem de concretos**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1953.

CAVALHEIRO, E.K. **Concreto dosado em obra na cidade de Chapecó: verificação da variabilidade da resistência como fator para otimização do binômio custo x desempenho**. 2004. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil, Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Chapecó.

CIRSOC – CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LOS REGLAMENTOS NACIONALES DE SEGURIDAD PARA LAS OBRAS CIVILES. **Reglamento CIRSOC 201**: Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Buenos Aires, 2001.

COMMITTEE CEB/CIB/FIP/RILEM. **Recommended principles for the control of quality and the judgement of acceptability of concrete**. RILEM – Matériaux et construction - Essais et recherches, RILEM, n. 47, vol. 8, p. 387-403, sep/oct. 1975.

CORREA, W.G. Tratamento estatístico de resultados de ensaios. In: Seminário Controle da Resistência do Concreto, 1980. São Paulo: **Anais: ...** São Paulo: Ibracon, 1980.

CREMONINI, R. A. **Análise de estruturas acabadas: Contribuição para a determinação da relação entre as resistências potenciais e efetiva do concreto**. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. A influência das condições de mistura na variabilidade da resistência do concreto. In: IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções, VI Congresso de Controle de Qualidade. Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: UFRGS/LEME/CPGEC, 1997.

DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em estruturas de concreto armado : análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Rio Grande do Sul**. 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DAL MOLIN, D.C.C.; ANDRADE, J.J.O – Considerações quanto aos trabalhos de levantamento de manifestações patológicas e formas de recuperação em estruturas de concreto armado. In: IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções, VI Congresso de Controle de Qualidade. Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: UFRGS/LEME/CPGEC, 1997.

DEWAR, J.D.; ANDERSON, R. **Manual of ready mixed concrete**. Glasgow: Chapman & Hall, 1992.

FORMOSO, C.T. Desenvolvimento de um modelo para a gestão da qualidade e produtividade em empresas de construção civil de pequeno porte. In: Seminário Qualidade na Construção Civil: Gestão e Tecnologia. Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre : UFRGS/Cpgec-Norie, 1993.

FORMOSO, C.T.; BOGGIO, A.; SILVA, M.F. Qualidade em estruturas em concreto: Recomendações para a implantação de uma correta tecnologia através de treinamento. In: Reibrac - Reunião Anual do IBRACON 36. 1994. Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: Ibracon, 1994, p.945-958.

FUSCO, P. B. Controle da resistência do concreto segundo a NB1-78. In: Simpatcon – 4º. Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto. 1981. Campinas. **Anais ...** Campinas:1981.

GARVIN, D.A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Trad. João Ferreira Bezerra de Souza. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GEBLER, S.H. **Interpretation of quality-control charts for concrete production**. ACI Materials Journal, Detroit, ACI, p. 3319-326, jul/aug. 1990.

GIAMMUSSO, S.E. Produção de concreto – 1ª parte. **A Construção Região Sul**, São Paulo, n. 215, p. 33-36, set. 1986.

GIAMMUSSO, S.E. Produção de concreto – 2ª parte. **A Construção Região Sul**, São Paulo, n. 216, p. 27-30, out. 1986.

_____. Casos ... concretos **A Construção Região Sul**, São Paulo, ns. 219, p. 29-32, jan. 1987

_____. O que é um bom concreto? **A Construção Região Sul**, São Paulo, n. 237, p.39-42, jul. 1988.

_____. Equipamentos para concreto. **A Construção Região Sul**, São Paulo, ns. 245/246, mar./abr. 1989a.

_____. Procedimentos. **A Construção Região Sul**, São Paulo, n. 247, p.37-40, mai. 1989b.

_____. **Manual do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

_____. **Preparo do concreto**. São Paulo: ABCP, 1995.

HELENE, P. **Controle de qualidade do concreto**. 1980. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. **Controle de qualidade do concreto**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo; 1986. Boletim técnico.

_____. **Propostas para calibragem dos capítulos 8, 15 e 16 da NBR-6.118 (NB-1 (1978) da ABNT) – Dosagem e controle da resistência do concreto – Aceitação da estrutura**. In: ENCO 10. 1990, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: SERGS, 1990, p.59-88.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

ISAIA, G.C. **Controle de qualidade das estruturas em concreto armado**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1988.

ISATTO, E.L. **Lean Construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na Construção Civil**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

KIRKA, O.; TURANLI, L.; ERDOGAN, T. **Effects of retempering on consistency and compressive strenght of concrete subjected to prolonged mixing**. Cement and Concrete Research. London: Pergamon Press, n. 32, p. 441-445, 2002.

KOSKELA, L. **Aplication of the new production philosophy to construction**. Stanford: Centre of Integrated Facility Engineering, 1992. Technical Report 72.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Espoo, Finlândia, VTT, 2000. Ph.D. Thesis.

KRAKOSVKI, M. B.; **Monte Carlo simulation of the acceptance of concrete**. Structural Safety. London: Elsevier Science Limited, n. 17, p. 43-56, 1995.

LEE, C.R.; LAMB, W. **Effects of various factors on the extensibility of concrete (CP15/76)**. In: Concrete: practical studies. Lancaster: The Construction Press, 1978.

LIU, N.K. **Quality prediction for concrete manufacturing**. Automation in Construction. London: Elsevier Science Limited, n. 5, p. 491-499, 1997.

MATHER, B. **Concrete durability**. Cement & Concrete Composites. London: Elsevier Science Limited, n. 26, p. 3-4, 2004.

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

MENTONE, F.J. et. al. Controle do concreto: Histórico da normalização, evolução dos conceitos e principais aspectos da norma em vigor. In: Reibrac - Reunião Anual do IBRACON 36. 1994. Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: Ibracon, 1994, p.735-742.

MESEGUER, A.G. **Controle e garantia da qualidade na construção**. Tradução Roberto José Falcão Bauer, Antônio Carmona F^o, Paulo Roberto do Lago Helene. São Paulo: Sinduscon-SP/Projeto/PW, 1991.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto**. Trad. Salvador E. Giammusso. 2^a ed. ver. Atual. São Paulo: Pini, 1997.

_____. **Concrete Technology – an essential element of structural design**. ACI International, Farmington Hills, vol. 20, n. 7, p. 39-41, jul. 1998.

O'REILLY DIAZ, V. **Método de dosagem de concreto de elevado desempenho**. São Paulo: PINI, 1998

PHELAN, W.S. **Specifications: are they clear, correct and current**. Concrete International, New York, p. 58-60, sep. 2002.

PORRERO, J. **Evaluación de los ensayos de resistencia del concreto**. In: Boletín INME – Instituto de Materiales y Modelos Estructurales da Facultat de Ingenieria da Universidade Central de Venezuela, n. 72/73, vol. 21, p.165-207, ene/dic. 1983.

PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT. **Itens e requisitos do sistema de qualificação de empresas de serviços e obras – Construtoras**. Brasília: Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, 2002.

PRUDÊNCIO Jr, L.R.; GAVA, G. P.; LENGLER, L.M. Estudo da variabilidade da resistência à compressão de concretos estruturais produzidos em canteiros de obra. In: Encontro Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 95. Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: ANTAC, 1995, p.769-778.

RODRIGUES, P.P.F. **Parâmetros de dosagem do concreto**. 2 ed. ver. atual. São Paulo: ABCP, 1995.

RUTLLAND Fº, JORGE. **Compensacion y control de algunas variables que afectan la calidad y costos de los concretos**. Caracas: Asociacion Venezolana de Productores de Cementos, 1983.

RWELAMILA, P.D.; WISEMAN, G.T. **Concrete quality management: a research study of the general contractor in South Africa**. Construction and Building Materials, London: Elsevier Science Limited, n. 3, vol. 9, p. 173-183, 1995.

SBRIGHI NETO, C.; BATTAGIN, I.L.S. As novidades na revisão da norma técnica “Preparo, controle e recebimento do concreto”. **Revista IBRACON**, São Paulo; n. 27, p. 33-39, nov./dez. 2001.

SENAI. **Cartilha do PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat**. Porto Alegre: SENAI, FIERGS, 2003.

TAIT, J.B. **Making the most of concrete strenght test results**. ACI Journal, Technical Paper. Detroit, ACI, p. 383-388, may/jun. 1986.

TANGO, C.E.S. Mistura sem mistério. **Revista Techné**, São Paulo; n. 4, p. 20-23, mai/jun. 1993.

_____. Dosagem e controle do concreto antecipados: aplicação às normas da ACI e tendências de uma norma para a Mercosul. **Revista Techné**, São Paulo; n.50, p.59-64, jan./fev. 2001.

TANGO, C.E.S.; GIAMMUSSO, S.E. Probabilidades de aceitação e rejeição do concreto na proposta brasileira para a Norma Mercosul e nova NBR 12.655. **Revista IBRACON**, São Paulo; n. 28, p. 21-25, jan./mar. 2002.

TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. **Princípios básicos sobre concreto de cimento Portland**. São Paulo: Pini, 1990.

TERZIAN, P.R. **Exigências básicas na produção e aplicação do concreto em estruturas**. São Paulo: ABCP, 1999.

TORRENT, R.J. **Criteria for Estimating the required average strength f'_{cr} to comply with the specified compressive strength f'_c – Discussion**. ACI Materials Journal, Detroit, ACI, p. 59-60, jan/feb. 1988.

TORRES, A.F. **Dosagem dos concretos**. Boletim n. 1. São Paulo: Escola Polytechnica de São Paulo, 1927. Boletim técnico

VALOIS, J.G.C. O uso do concreto de alta resistência – Comentários sobre a produção e comportamento no estado fresco. In: Reibrac - Reunião Anual do IBRACON 36. 1994. Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: Ibracon, 1994, p.567-580.

VASCONCELOS, P.H.O.; VASCONCELOS NETO, J.G. ControlCON 1.0: Controle de produção e de aceitação do concreto. In: Reibrac - Reunião Anual do IBRACON 40. 1998. Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: Ibracon, 1998.

ANEXO A – Instrução de serviço 26 (IS 26)

LOGOMARCA	Instrução de serviço PRODUÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL EM OBRA	Código:	IS 26
		Versão:	01
		Data:	21/06/2004
		Página:	169
Aprovação:	Pedro Empenhado	Rubrica:	Contém 6 páginas

1. Equipe de Produção:

Pedreiro, Servente com supervisão do Engenheiro Civil e Mestre de Obras.

2. Recursos		
Materiais	Equipamentos	EPI
Cimento Areia Brita Água Aditivos *	Betoneira Balança Padiolas Pá e Enxada Colher de pedreiro Cone para o slump test	Capacete Bota ou botina Uniforme

* Opcional

3. Metodologia de Execução:

Determinação do traço:

A determinação do traço do concreto a ser utilizado na obra será definido pelo Engenheiro em função da resistência à compressão (fck), idade que este concreto deverá apresentar tal resistência, valor do abatimento de tronco de cone necessário e os materiais que serão utilizados na obra. Estes dados serão fornecidos ao laboratório especializado para determinação e validação do traço adequado. Quando aplicado em obra, o traço de concreto poderá sofrer correções na quantidade de água em função da variação do teor de umidade da areia que se encontra na obra. O laboratório fornecerá junto com o traço a tabela para correções nas quantidades de areia e da água em função da variação do teor de umidade da areia.

Determinação da umidade (h) da areia em obra:

O teor de umidade da areia da obra deve ser considerado para adicionar-se água ao concreto. No caso de ocorrência de chuvas, é adicionada água aos poucos na betoneira e é realizado o slump test para verificarmos o resultado do ensaio. Procede-se desta maneira até se atingir o valor esperado para o ensaio de abatimento. Desta forma o traço do concreto é corrigido em função da umidade da areia.

Proporções dos materiais para o concreto:

Proporções em massa:

A medida feita na obra da quantidade de cada material a ser adicionado na betoneira, no caso desta possuir balança, deve preferencialmente ser feita em massa (kg), utilizando-se de balança com precisão de ± 100 gramas. Neste caso as quantidades devem ser proporcionadas segundo o traço em massa de materiais secos e fazendo-se as correções da quantidade de areia e água de acordo com a umidade da areia.

Instrução de serviço – Produção de concreto estrutural em obra			
Código: IS 26	Versão: 01	Data: 21/06/2004	Página: 02

Todas as medidas em massa efetuadas por meio de balança devem obedecer uma tolerância no desvio de no máximo 3%. Os aditivos líquidos devem ser medidos em volume, enquanto que os aditivos em pó devem ser medidos por meio de massa (balança) ou volume (própria embalagem). Seguir as recomendações do fabricante para o uso de aditivos, e a tolerância para desvio na medida, em massa ou volume, é no máximo de 3%.

Proporção em volume:

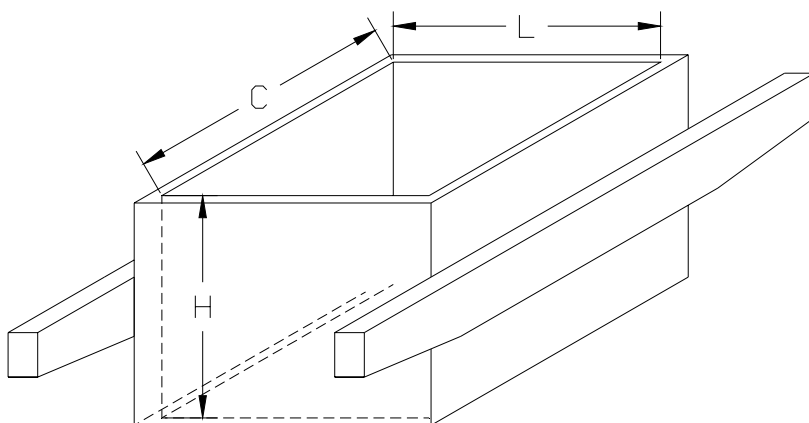
No Caso da obra não possuir equipamentos para a medição em massa, deve-se medir os materiais em volume. Neste caso o engenheiro da obra deverá fornecer o traço em volume par a equipe de produção.

Traço em volume de materiais secos: $1 \text{ kg} : (a/\delta_a) \text{ m}^3 : (b/\delta_b) \text{ m}^3 : W \text{ Kg ou l}$

Notar que apesar de o traço ser em volume a quantidade de cimento é dada em kg. Isso deve-se ao fato de que é comum efetuar as amassadas para um números inteiro de sacos de 50kg de cimento.

O engenheiro procederá as correções nas quantidades de areia e água a serem adicionada, de acordo com a umidade da areia.

Para a medição dos materiais em volume serão utilizadas padiolas (Figura 1), garantido que cada material a ser lançado na betoneira possa ser quantificado por um número fixos de padiolas. As padiolas devem ser devidamente identificadas quanto ao material empregado (areia ou brita). A medida da quantidade de água pode ser feita com uso de latas e baldes com volumes conhecidos, lembrando que a massa específica da água é de 1kg/litro. Todas as medidas, por meio de padiolas ou baldes, devem obedecer uma tolerância no desvio de no máximo 3%.



$$\text{Volume} = L \times C \times H$$

onde;

L – largura interna da caixa

C – comp. interno da caixa

H – altura interna da caixa

Figura 1 - Padiola com volume conhecido

Produção do concreto:

Para o lançamento dos materiais na betoneira, deve-se seguir a seguinte seqüência:

- Colocar a quantidade total das britas 1 e 2 na betoneira, com eventuais aditivos em pó;
- Adicionar aproximadamente 80% da água;

Instrução de serviço – Produção de concreto estrutural em obra			
Código: IS 26	Versão: 01	Data: 21/06/2004	Página: 3

- Colocar a quantidade total de cimento;
- Colocar a quantidade total de areia;
- Adicionar o restante da água , com eventuais aditivos.

O acionamento da betoneira pode ser feito entre os lançamentos para facilitar a mistura. É recomendado o tempo de mistura dos materiais na betoneira de três minutos, devendo este ser contado a partir do momento em que todos os materiais estiverem no betoneira, e nunca inferior a um minuto. Após a mistura ser realizada, deve-se fazer ensaio de abatimento de tronco de cone e comparar o resultado obtido com o valor especificado em projeto.

Controle tecnológico do concreto produzido em obra:

Para a formação dos lotes de concreto para o ensaio de resistência à compressão, conforme prescreva a NBR 12655 será considerado um lote cada 50 m³ , um andar ou pavimento, com no máximo 3 dias consecutivos de tempo de concretagem.

A cada lote formado, deve corresponder uma amostra de, no mínimo, seis exemplares (12 corpos de prova) coletados aleatoriamente durante a operação de concretagem e extraídos de betonadas diferentes. Cada exemplar é constituído por dois corpos de prova da mesma betonada, para cada idade de rompimento, moldados no mesmo ato. Para a coleta de amostras, deve-se retirar uma quantidade suficiente de concreto, 50% maior que o volume total dos corpos de prova a serem moldados e nunca menor que 30 litros (cada CP de 15 x 30 cm tem aproximadamente 5,3 litros). A formação de lotes e extração de corpos de prova deve ser planejada com antecedência para que antes das operações de concretagem, já tenham sido definidos os volumes e as peças estruturais que vão compor o lote, bem como a seqüência de extração dos exemplares.

O ensaio de abatimento do troco de cone deve ser realizado de acordo com a NBR 5738 , e sempre que ocorrerem alterações na umidade dos agregados e nas seguintes situações:

- Na primeira amassada do dia;
- ao reiniciar o preparo após uma interrupção da jornada de concretagem de pelo menos 2h;
- na troca de operadores;
- cada vez que forem moldados os corpos de prova.

Abatimento do tronco de cone (slump test)

O abatimento deve ser feito da seguinte maneira, ver figura 2:

- Retirar do terço médio da betoneira um volume adequado para o preenchimento do cone;
- Colocar o cone sobre a placa metálica bem nivelada e apoiar os pés sobre as abas do cone;
- Preencher o cone em três camadas iguais, aplicando 25 golpes uniformemente distribuídos em cada camada;
- Adensar a camada junto à base, fazendo com que a haste de socamento penetre em toda a sua espessura. No adensamento das camadas restantes, a haste deve penetrar até ser atingida a camada inferior adjacente;
- Após a compactação da última camada, retirar o excesso de concreto e alisar a superfície com uma régua metálica;
- Retirar o cone cuidadosamente na direção vertical;

Instrução de serviço – Produção de concreto estrutural em obra			
Código: IS 26	Versão: 01	Data: 21/06/2004	Página: 4

- Colocar a haste sobre o cone invertido e medir a distância entre a parte inferior da haste e o ponto médio do concreto, expressando o resultado em centímetros.

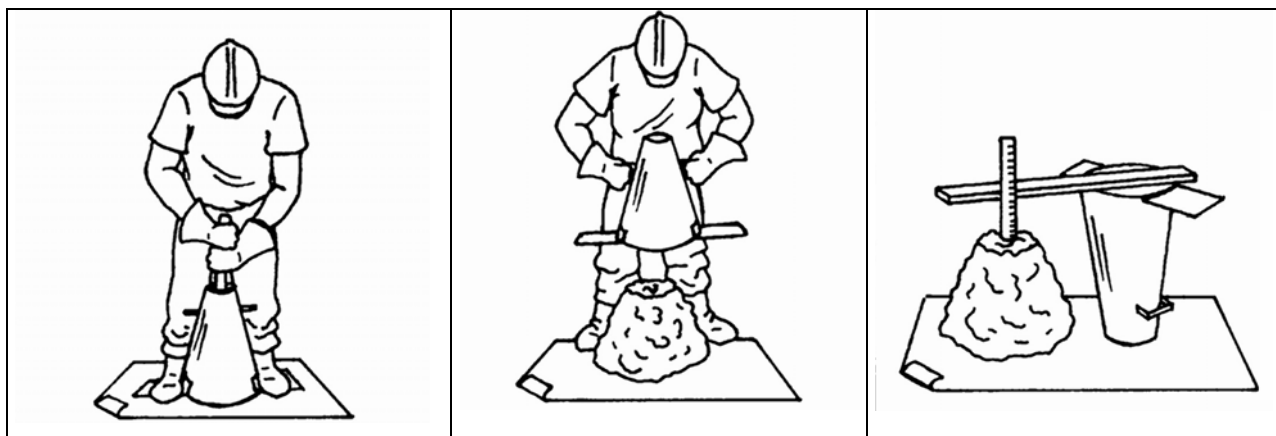


Figura 2 - Sequência para medida do abatimento do tronco de cone

Moldagem dos corpos de prova:

O ensaio de resistência à compressão do concreto deve ser realizado por laboratório especializado. A moldagem de corpos de prova cilíndricos constituintes dos exemplares pode ser feita pelo laboratório ou por pessoal da própria obra, conforme o planejamento da coleta de amostras estabelecido previamente, ver figura 3. Tais amostras devem ser coletadas do terço médio do betoneira, procedendo-se à moldagem de dois corpos de prova para cada exemplar e para cada idade. A moldagem deve ser feita da seguinte maneira:

- Preencher os moldes de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura em quatro camadas iguais e sucessivas, aplicando 30 golpes em cada camada, distribuídos uniformemente. A última conterá um excesso de concreto que deve ser retirado com régua metálica;
- Identificar os corpos de prova e deixar os corpos de prova nos moldes, sem sofrer perturbações e em temperatura ambiente por 24 horas;
- Após este período deve-se transferi-los para o laboratório, onde serão rompidos para verificação de sua resistência;

Caso os corpos de prova permaneçam em obra após a desforma (24 hs), estes devem ser mantidos totalmente imersos em água saturada de cal.

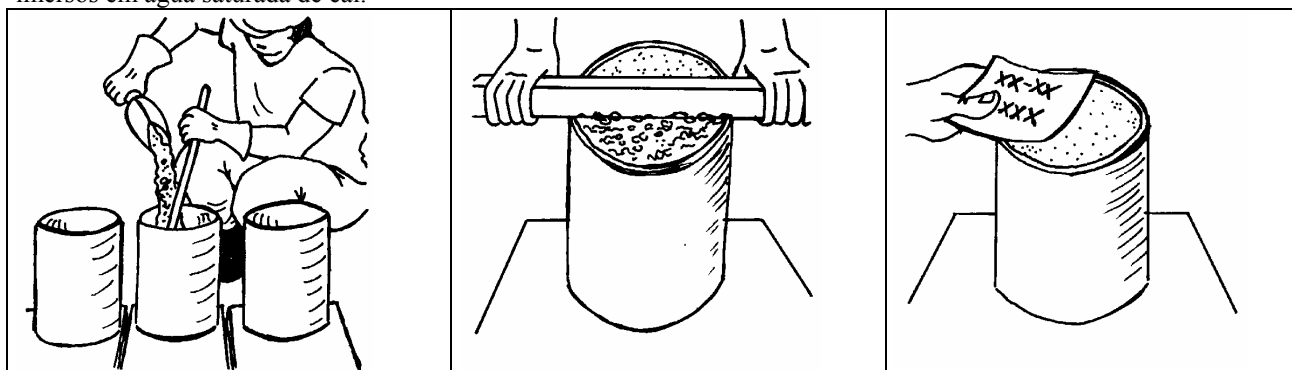


Figura 3 - Sequência de moldagem e identificação dos corpos de prova.

Instrução de serviço – Produção de concreto estrutural em obra			
Código: IS 26	Versão: 01	Data: 21/06/2004	Página: 5

4. Itens de controle:

Devem ser verificados os seguintes itens mínimos na produção de concreto: Verificar se os materiais e equipamentos estão disponíveis, verificar se o traço do concreto está disponível em obra, verificar o grau de umidade da areia e possíveis correções no traço, Verificar a moldagem dos corpos de prova e o slump do concreto, verificar a identificação e armazenamento dos corpos de prova.

Lote para inspeção: um lote será cada 50 m³ , um andar ou pavimento, com no máximo 3 dias consecutivos de tempo de concretagem , ou seja , ± 2 corpos de prova para cada 8 m³ de concreto.

Tolerância do processo: Será admitido ± 10 mm no ensaio de abatimento e o tempo mínimo de 150 minutos do início da mistura até o lançamento do concreto na obra. No nível da laje será admitido ± 3 mm em relação as cotas de projeto. Os desvios das medidas em volume dos materiais para o concreto deverão ser de no máximo 3%.

Equipamento de verificação: Trena metálica, nível a laser e régua metálica. 

5. Documentos de referência:

Projeto Estrutural

NBR 12655 – Concreto – Preparo, controle e recebimento

NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto

6. Anexos:

F IS 26 – Produção de concreto estrutural em obra.

LOGOMARCA	FICHA DE INSPEÇÃO DE SERVIÇO PRODUÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL EM OBRA	Código:	F IS 26
		Versão:	01
		Data:	21/06/2004
		Página:	1

Obra:	Pavimento:
Responsável pela Execução:	Responsável pela Inspeção:
Data de Início:	Data de Término:

ITEM	VERIFICAÇÃO	RESULTADO	INSPEÇÃO APROVADA		REINSPEÇÃO APROVADA		DATA
			SIM	NÃO	SIM	NÃO	
	Verificar se os materiais e equipamentos estão disponíveis ?						
	Verificar se o traço do concreto está disponível na obra?						
	Verificar a quantidade de materiais na betoneira ? Tolerância: $\pm 3\%$ em volume						
	Verificar o grau de umidade da areia, e possíveis correções no traço?						
	Verificar a moldagem dos corpos de prova e o slump (± 10 mm) do concreto?						
	Verificar a identificação e armazenamento dos corpos de prova na obra ?						

OBSERVAÇÕES:

RESULTADOS FINAL DA INSPEÇÃO

 APROVADO REPROVADO

* Em caso de dúvida com relação a execução do serviço consultar a IS 26 – Produção de concreto estrutural em obra.

ANEXO B – Níveis de qualificação do PBQP-H

QUADRO – NÍVEIS DE QUALIFICAÇÃO

SiQ-Construtoras		Níveis de qualificação			
ITEM	REQUISITO	D	C	B	A
1. Responsabilidade da Direção	1.1. Política da Qualidade	I	II	III	III
	1.2. Representante da Administração	I	I	I	I
	1.3. Responsabilidade, autoridade e recursos	I	I	I	I
	1.4. Análise crítica da direção			I	II
2. Sistemas da Qualidade	2.1. Sistema evolutivo	I	I	I	I
	2.2. Planejamento de desenvolvimento e implantação do Sistema	I	I	I	I
	2.3. Manual da Qualidade e procedimentos	I	I	I	I
	2.4. Plano da Qualidade de Obras			I	II
3. Análise crítica de contrato			I	I	
4. Controle de Projeto	(Item não aplicável)				
5. Controle de documentos e dados		I	I	II	II
6. Aquisição	6.1. Materiais controlados		I	II	III
	6.2. Dados para aquisição		I	I	I
	6.3. Qualificação e avaliação de fornecedores			I	I
	6.4 Verificação do produto adquirido			I	I
7. Controle de produtos fornecidos pelo cliente				I	
8. Identificação e rastreabilidade	8.1. Identificação			I	I
	8.2. Rastreabilidade				I
9. Controle de processo	9.1. Condições controladas			I	II
	9.2. Serviços de execução controlados		I	II	III
10. Inspeção e ensaios	10.1. Inspeção e ensaios no recebimento		I	II	III
	10.2. Inspeção e ensaios durante o processo		I	II	III
	10.3. Inspeção e ensaios finais				I
11. Controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaios				I	I
12. Situação de inspeção e ensaios			I	I	I
13. Controle de produto não - conforme				I	I
14. Ação corretiva e ação preventiva	14.1. Ação corretiva			I	I
	14.2. Ação preventiva				I
15. Manuseio, armazenamento, embalagem, preservação e entrega	15.1. Controle do manuseio e armazenamento de materiais		I	I	I
	15.2. Proteção dos serviços executados				I
	15.3. Entrega da obra e Manual do Proprietário				I
16. Registros da qualidade				I	I
17. Auditorias internas da qualidade					I
18. Treinamento			I	I	I
19. Serviços associados					I
20. Técnicas estatísticas					I

Nota : as indicações "II", "III" ou "III" significam que o item ou requisito exige o desenvolvimento de novos procedimentos entre diferentes níveis de qualificação. No texto dos requisitos, encontra-se indicado o que deve ser estabelecido em cada nível, entendendo-se como evolutivo (o nível mais avançado inclui as exigências de todos os níveis anteriores).

**ANEXO C – Resultados individuais dos corpos-de-prova dos estudos de
caso 1, 2 e 3**

Lote	Obra 1 – Resultados dos corpos-de-prova (MPa) exemplares							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	25,95	24,34	26,60					
	24,56	23,47	25,47					
2	25,15	24,33	26,62	24,15				
	24,21	23,17	25,26	22,71				
3	31,03	26,34						
	29,12	24,88						
4	29,08	28,97						
	27,02	28,56						
5	25,81	28,78	28,52					
	23,75	28,31	27,78					
6	30,23	30,31	27,50					
	27,95	29,43	26,74					
7	27,79	27,50						
	27,12	26,02						
8	31,80	30,01	30,59	30,46	31,31	31,73	33,01	32,33
	31,23	29,50	29,49	29,26	30,16	31,02	32,15	31,67
9	26,14	27,73	27,05	30,16	29,90	30,89	29,53	29,83
	23,65	26,95	26,03	28,54	29,10	29,23	28,79	28,23
10	27,71	26,05	26,88					
	26,22	25,41	26,13					
11	26,59	28,79	30,19					
	25,44	27,46	29,48					
12	27,45	26,86	29,39	30,02				
	26,15	25,79	28,61	28,40				

Lote	Obra 2 – Resultados dos corpos-de-prova (MPa) exemplares							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	17,08	28,50	19,50	24,67	21,28	24,59	19,16	20,64
	16,03	27,30	17,70	22,76	19,92	22,58	17,25	18,90
2	15,07	27,39	24,10	27,25				
	14,22	25,92	23,15	26,33				
3	22,98	27,17	25,50	30,50	24,63	33,79		
	20,89	26,68	24,61	28,73	23,40	31,47		
4	14,09	21,46	18,31	19,02	14,92	20,00	18,66	25,40
	12,70	19,51	17,81	17,93	12,38	18,02	16,95	24,32
5	14,50	23,72	19,09	19,29				
	13,78	22,08	18,35	16,67				
6	20,33	29,75	20,86	30,23	22,93	23,03		
	18,75	28,30	19,65	28,38	21,26	21,32		
7	16,01	14,24	10,37					
	14,95	13,10	8,88					
8	18,60	18,90	19,40					
	17,23	17,82	18,41					
9	19,02	20,00	19,09	17,78	21,14	20,18		
	17,56	18,07	17,92	16,62	20,05	18,64		
10	20,38	21,96	21,59	20,92				
	19,02	21,02	20,79	19,77				
11	18,01	19,00	18,52	17,95	18,33	17,01		
	16,92	17,70	17,07	17,02	17,41	15,94		
12	18,56	18,44	19,33					
	17,88	16,98	18,35					
13	19,01	19,63	17,88	17,93				
	17,71	18,92	16,63	16,32				

Lote	Obra 3 – Resultados dos corpos-de-prova (MPa) exemplares		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1	27,15	21,82	27,70
	25,54	20,60	26,61
2	30,96	27,70	30,48
	28,77	25,14	29,94
3	26,65	27,15	28,15
	25,54	25,97	26,72
4	32,51	30,30	27,06
	31,15	28,85	25,14