

CONCRETO DOSADO EM CENTRAL:
PROPOSTA DE METODOLOGIA DE
CONTROLE DE QUALIDADE E
IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE
VARIABILIDADE NO PROCESSO DE
PRODUÇÃO DE CONCRETO

Wilson Ricardo Leal da Silva





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CONCRETO DOSADO EM CENTRAL: PROPOSTA DE METODOLOGIA DE CONTROLE DE QUALIDADE E IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE VARIABILIDADE NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CONCRETO.

WILSON RICARDO LEAL DA SILVA

Florianópolis, Maio de 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CONCRETO DOSADO EM CENTRAL: PROPOSTA DE METODOLOGIA DE CONTROLE DE QUALIDADE E IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE VARIABILIDADE NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CONCRETO.

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil

WILSON RICARDO LEAL DA SILVA

Florianópolis, Maio de 2010

CONCRETO DOSADO EM CENTRAL: PROPOSTA DE METODOLOGIA DE CONTROLE DE QUALIDADE E IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE VARIABILIDADE NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CONCRETO.

WILSON RICARDO LEAL DA SILVA

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil

Prof. Dr^a. Janaíde Cavalcante Rocha – Coordenador do PPGEC

Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr. – Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Geraldo Cechella Isaia – UFSM

Prof. Dr. Alexandre Lima de Oliveira – IFSC

Prof. Dr^a. Janaíde Cavalcante Rocha – ECV/UFSC

Prof. Dr. Antônio Edésio Jungles – ECV/UFSC

Dedico este trabalho aos meus pais, Irimar e Dalva, por todo o apoio, carinho e tempo dispendido em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus.

Agradeço aos meus pais Irimar e Dalva por sempre terem apoiado e incentivado meus estudos. Por toda a paciência, compreensão e carinho, meu muitíssimo obrigado.

Aos meus irmãos Willian, Suéllen e Marcos por todo o companheirismo, pelos momentos de bagunça e silêncio, principalmente em vésperas de provas, em casa. Amo todos vocês e peço desculpa pelo mau humor em determinadas situações. Se dei broncas em vocês, certamente não foi por mal.

Aos amigos do GTec, por todo o apoio ao longo do trabalho de mestrado e atividades em laboratório. Faz seis anos que trabalho no GTec e sei que o companheirismo em nosso ambiente de trabalho é fonte de motivação para todos.

À UFSC, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) e ao CNPq pelo incentivo à pesquisa e concessão de bolsa de mestrado.

Agradecimento especial ao amigo Tochetto e sua namorada Gabi, muito obrigado. Vocês não têm idéia de como vocês me ajudaram.

Ao grande amigo Denis Weidmann, sem sombra de dúvidas não poderia deixar de agradecer pelo companheirismo, conversas, dicas e apoio profissional e pessoal. Quanto à chave do teu apartamento e permissão para passar alguns dias de sossego... Muito obrigado!

À Regina Prudêncio (Rê) e família, pelo carinho e atenção prestada não somente à minha pessoa, mas também aos integrantes do GTec.

Aos engenheiros Sérgio e Cleiton, da empresa Engemix, por terem aberto as portas das centrais de Florianópolis e Curitiba, possibilitando, assim, o desenvolvimento deste trabalho.

Às amigas Gabi e Pirolla, pelo apoio ao longo do mestrado e momentos divertidos no GTec. Vocês são demais! Valeu!

Ao Prof. Prudêncio pela presença constante e orientação contínua ao longo do trabalho. Por todas as broncas, que não foram poucas... não foram poucas mesmo, mas sempre merecidas. Sei que as broncas significam que você se importa com todos os seus orientandos. Foi um prazer imenso trabalhar contigo ao longo desses anos. Se hoje tenho a oportunidade de realizar meu doutorado no exterior, é certamente devido aos conhecimentos passados ao longo de tantos anos de trabalho juntos. Mais uma vez obrigado por confiar no meu trabalho.

Por fim, aos demais amigos e familiares que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xxii
LISTA DE EQUAÇÕES	xxiv
RESUMO	xxv
ABSTRACT	xxvi
1 INTRODUÇÃO	27
1.1 Considerações Iniciais	27
1.2 Objetivos	31
1.3 Estrutura do trabalho	31
2 CONCRETO DOSADO EM CENTRAL	33
2.1 Considerações preliminares	33
2.2 Histórico do concreto dosado em central	34
2.3 Materiais empregados na produção de concreto	36
2.3.1 Cimento	37
2.3.2 Agregados	37
2.3.3 Aditivos	39
2.4 Centrais de Concreto	42
2.4.1 Classificação das centrais de concreto	42
2.4.1.1 Disposição da central	42
2.4.1.1.1 Centrais verticais	43
2.4.1.1.2 Centrais horizontais:	44
2.4.1.1.3 Centrais mistas	45
2.4.1.2 Controle de proporcionamento	45
2.4.1.2.1 Controle manual	45
2.4.1.2.2 Controle semi-automático	46
2.4.1.2.3 Controle automático	46
2.4.1.3 Mistura do concreto	48
2.4.1.4 Central dosadora misturadora	48
2.4.1.4.1 Concreto totalmente misturado na central	48
2.4.1.4.2 Concreto parcialmente misturado na central	51
2.4.1.5 Central Dosadora	51
2.4.1.5.1 Concreto misturado em caminhão betoneira	51
2.4.2 Escolha do tipo de central	52
2.4.3 Equipamentos de transporte e descarga do CDC em obra	53
2.4.3.1 Equipamentos de transporte	53
2.4.3.1.1 Caminhões basculantes	53

2.4.3.1.2 Caminhões betoneira.....	54
3 PROPRIEDADES DO CONCRETO	57
3.1 Considerações preliminares	57
3.2 Propriedades do concreto no estado fresco.....	58
3.2.1 Trabalhabilidade	58
3.2.2 Perda de trabalhabilidade	63
3.2.2.1 Reamassamento com água:	67
3.2.2.2 Reamassamento com aditivo:.....	68
3.2.3 Segregação e exsudação.....	71
3.2.4 Massa específica	73
3.2.5 Tempo de pega.....	74
3.2.6 Temperatura do concreto	75
3.3 Propriedades do concreto no estado endurecido.....	78
3.3.1 Resistência mecânica	78
4 CONTROLE DE QUALIDADE E PRODUÇÃO DO CONCRETO..	89
4.1 Considerações preliminares	89
4.2 Definição dos termos associados a controle de qualidade	89
4.3 Distribuição dos resultados de resistência à compressão do concreto .	92
4.4 Métodos de análise de resultados	98
4.4.1 Cartas de controle.....	99
4.4.1.1 Carta de valores individuais	100
4.4.1.2 Carta de média móvel	102
4.4.1.3 Carta das máximas amplitudes.....	102
4.4.1.4 Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle	104
4.4.2 Método da soma acumulada.....	105
4.4.3 Considerações sobre os métodos.....	108
4.5 Sistema especialista	112
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	113
5.1 Considerações preliminares	113
5.2 Metodologia proposta para análise de resultados da central de concreto	114
5.3 Módulos de análise de resultados	115
5.3.1 Módulo de Identificação	116
5.3.1.1 Dados de entrada.....	117
5.3.1.2 Processo de análise dos dados.....	119

5.3.1.3 Relatório de saída	122
5.3.2 Modulo 1 – Curva de impressão da central	123
5.3.2.1 Dados de entrada	124
5.3.2.2 Processo de análise de resultados	125
5.3.2.2.1 Equações dos quadrantes – Curva de Impressão	126
5.3.2.2.2 Determinação das constantes que compõe as equações da curva de impressão	127
5.3.2.2.3 Determinação do coeficiente de variação estatístico ponderado da central	129
5.3.2.2.4 Correção do consumo de cimento	131
5.3.2.2.4.1 Concretos de uma mesma família	132
5.3.2.2.4.2 Concretos isolados	133
5.3.2.2.5 Relatório de saída	135
5.3.2.3 Módulo 2 – Variação do laboratório	136
5.3.2.3.1 Dados de entrada	138
5.3.2.3.2 Processo de análise de resultados	139
5.3.2.3.3 Relatório de saída	141
5.3.2.4 Módulo 3 – Variação de obra	142
5.3.2.4.1 Dados de entrada	145
5.3.2.4.2 Processo de análise de resultados	145
5.3.2.4.3 Relatório de saída	149
5.3.2.5 Módulo 4 – Variação dos motoristas	150
5.3.2.5.1 Dados de entrada	152
5.3.2.5.2 Processo de análise de resultados	153
5.3.2.5.3 Relatório de saída	158
5.3.2.6 Módulo 5 – Teste de materiais	159
5.3.2.6.1 Dados de entrada	160
5.3.2.6.2 Processo de análise de resultados	160
5.3.2.6.2.1 Estudo cruzado de aditivo / agregados	161
5.3.2.6.3 Relatório de saída	163
5.3.2.7 Relatório final	163
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	165
6.1 Considerações preliminares	165
6.2 Análise 1 - Central de Curitiba (CTB)	165
6.2.1 Módulo de Identificação	166
6.2.2 Módulo 1 – Curva de Impressão	169
6.2.3 Modulo 2 – Variação do laboratório	174
6.2.4 Modulo 3 – Variação das obras	176
6.2.5 Modulo 4 – Variação dos motoristas	181
6.2.6 Considerações sobre a análise 1	191

6.3 Análise 2 - Central de Florianópolis (FLN).....	195
6.3.1 Módulo de Identificação	196
6.3.2 Módulo 1 – Curva de Impressão	198
6.3.3 Módulo 2 – Variação do laboratório	201
6.3.4 Módulo 3 – Variação das obras.....	203
6.3.5 Módulo 4 – Variação dos motoristas	207
6.3.6 Considerações sobre a análise 2.....	213
6.4 Análise 3 - Análise comparativa da resposta do programa.....	217
6.4.1 Considerações sobre a análise 3.....	219
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	221
7.1 Conclusões.....	221
7.2 Sugestões para trabalhos futuros	224
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	225
ANEXOS	235
ANEXO 1	237
ANEXO 2	241
ANEXO 3	245
ANEXO 4	249
ANEXO 5	265
ANEXO 6	307

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha simplificada de produção do CDC.....	34
Figura 2 – Centrais de Concreto (a) Modelo inicial [DEWAR,J.D. & ANDERSON R., 2004]; (b) Modelo atual [Cortesia ENGEMIX].	35
Figura 3 – Curvas de dosagem (28dias) – Areia Tipo A: areia média de rio; Tipo B: composição de areia de britagem e areia fina de duna. Características do concreto: Slump=10±2 cm; Brita 1; αVOL=55,2%; Teor de aditivo – 1,18% em relação à massa de cimento) [SILVA, W.R., et al 2008].	39
Figura 4 – Estudo comparativo do desempenho de aditivos para temperatura de 25°C [SILVA et al, 2009].	42
Figura 5 – Classificação das centrais de concreto quanto a sua disposição.	43
Figura 6 – Central Vertical ou de gravidade [STETTER, 2009]	44
Figura 7 – Centrais de concreto horizontais: (a) permanentes [LIEBHEER, 2009]; (b) móveis [KOSMATKA, 2003].	44
Figura 8 – Central “Tow go”: (a) balança; (b) correia transportadora e caminhão betoneira [CSM, 2009].	46
Figura 9 – Central de Concreto com misturador estacionário [KOSMATKA,2003].....	50
Figura 10 – Classificação das centrais de concreto.	52
Figura 11 – Caminhão betoneira: (a) caminhão betoneira; (b) interior do balão rotativo ; [MARTINS, 2005];	54
Figura 12 – Caminhão betoneira com diferentes tipos de descarga: (a) descarga pela parte posterior; (b) descarga pela parte anterior [SHAPIRA, 2008];	55
Figura 13 – Caminhão betoneira com equipamentos de lançamento acoplados: (a) correia transportadora [LIEBHEER, 2009]; (b) bomba de concreto [STETTER, 2009; SCHWING,2009].	55
Figura 14 – Relação entre o ensaio de abatimento e slump-flow [Adaptado de DOMONE, 2008].	60
Figura 15 – Importância da trabalhabilidade adequada no concreto: (a) efeito do adensamento inadequado na resistência à compressão [NEVILLE, 1997]; (b) efeito do adensamento inadequado no módulo de elasticidade e resistência à flexão [KOSMATKA, 2003].	61
Figura 16 – Redução da demanda de água devido à incorporação de ar [NEVILLE, 1997].	62
Figura 17 – Relação entre demanda de água e o aumento de temperatura para concretos com a mesma trabalhabilidade [KOSMATKA, 2003]. ..	63

Figura 18 – Efeito da temperatura na taxa de perda de abatimento do concreto [RIXOM, 1999].....	65
Figura 19 – Perda de abatimento de concretos produzidos com cinza volante [RAVINA, 1984].....	66
Figura 20 – Influência do uso de aditivo na perda de abatimento do concreto [COLLEPARDI, 1998].	67
Figura 21 – Variação da quantidade de água adicionada para restabelecer o abatimento inicial em função do tempo [Erdoğdu, 2005].	68
Figura 22 – Variação da quantidade de aditivo adicionado para restabelecer o abatimento inicial em função do tempo [Erdoğdu, 2005].	69
Figura 23 – Efeito da reamassamento repetido com aditivos [Ramakrishnan, V., 1979 apud SOROKA, 2004].....	70
Figura 24 – Dosagens repetidas para manutenção do abatimento em 200 mm [RAMACHANDRAN, 1998].	70
Figura 25 – Segregação e exsudação no concreto [DOMONE, 2008]. ..	71
Figura 26 – Variação da resistência do concreto em uma coluna após processo de adensamento completo [HOSHINO, 1989].....	72
Figura 27 – Tempo de início e fim de pega para concretos produzidos em diferentes temperaturas [Burg (1996) apud Kosmatka (2003)].....	75
Figura 28 – Efeito da temperatura nas reações de hidratação do concreto: (a) evolução de resistência [KOSMATKA, 2003]; (b) evolução de temperatura durante o enrijecimento e endurecimento [SOROKA, 2004].	77
Figura 29 – Impacto do clima quente nas propriedades do concreto dosado em central durante o processo de transporte: (a) Temperatura do concreto na central e em obra; (b) variação da temperatura do concreto durante a etapa de transporte [NEGHEIMISH, 2008].	78
Figura 30 – Resistência do concreto: (a) Influência da relação água / cimento; (b) influência do teor de ar incorporado e consumo de cimento [MEHTA & MONTEIRO, 2008].....	79
Figura 31 – Aspecto geral da influência da relação h/d sobre a resistência aparente do concreto [NEVILLE, 1997].	80
Figura 32 – Variação das propriedades do cimento em diferentes partidas ao longo de um mês: (a) efeito na resistência de argamassas; (b) efeito na consistência (ensaio de espalhamento de argamassa – flow table – com aplicação de 10 golpes) [Adaptado de VIEIRA, 2009].	84
Figura 33 – Efeito do reamassamento do concreto: (a) comparação entre os diferentes métodos de reamassamento; (b) redução de resistência causada pelo reamassamento com água [ERDOĞDU, 2005].	84

Figura 34 – Variação da resistência em função do procedimento de cura: (a) Concretagem - clima frio; (b) Concretagem - clima quente [OBLA, K., 2009].	86
Figura 35 – Curva de variação do par [PRUDÊNCIO JR. et al 2009]	88
Figura 36 – Curva de distribuição normal.	92
Figura 37 – Curva de distribuição normal de resistência à compressão do concreto.	94
Figura 38 – Correlação entre resistência média e desvio-padrão [NEVILLE, 1997].	96
Figura 39 – Variabilidade dos resultados de resistência à compressão em uma central de concreto [FUSCO, 2008].	97
Figura 40 – Carta de controle para valores individuais de resistência à compressão do concreto [SEAR, 2003].	100
Figura 41 – Carta de valores individuais [Adaptado de SEAR, 2003].	101
Figura 42 – Cartas de controle: (a) valores individuais; (b) média móvel; (c) amplitude máxima [ACI214R-02].	104
Figura 43 – Carta de coeficiente de variação das operações de ensaio e controle [Adaptado de HELENE, 1993].	105
Figura 44 – Carta de soma acumulada: (a) valores individuais; (b) desvio-padrão [Adaptado de CHUNG, 1993].	107
Figura 45 – Máscaras de controle: (a) parâmetros da máscara de controle [Adaptado de CHUNG, 1993]; (b) representação gráfica das máscaras [SEAR, 2003].	108
Figura 46 – Arquitetura básica dos sistemas especialistas [FLORES, 2003].	112
Figura 47 – Fluxograma base dos módulos que compõem a metodologia proposta.	115
Figura 48 – Fluxograma do módulo de identificação.	117
Figura 49 – Fluxograma do módulo 1 – Curva de impressão da central.	124
Figura 50 – Proposta de curva de impressão da central de concreto.	126
Figura 51 – Correlação entre resistência à compressão e: (a) desvio-padrão; (b) coeficiente de variação [PRUDÊNCIO et al, 2007].	130
Figura 52 – Modificação do consumo de cimento.	132
Figura 53 – Correção do consumo de cimento para concretos pertencentes à uma família.	133
Figura 54 – Correção do consumo de cimento para concretos isolados.	135
Figura 55 – Fluxograma do módulo 2 – Variação de obras.	138

Figura 56 – Curvas de frequência percentual acumulada: (a) Comparação da curva geral da central com a curva referência; (b) Comparação da curva do laboratório com a curva referência.	141
Figura 57 – Fluxograma do módulo 3 – Variação de obras.	144
Figura 58 – Modelo do gráfico de perfil.	147
Figura 59 – Modelo gráfico para determinação do perfil das obras.	147
Figura 60 – Fluxograma do módulo 4 – Variação dos motoristas.	151
Figura 61 – Gráfico de perfil dos motoristas.	154
Figura 62 – Fluxograma do módulo 5 – Teste de materiais.	159
Figura 63 – Fluxograma do Módulo 5 – Etapa de Teste de Aditivos.	162
Figura 64 – Fluxograma do Módulo 5 – Etapa de Teste de Agregados.	163
Figura 65 – Curva de impressão da central CTB.	170
Figura 66 – Gráfico de perfil das obras: (a) $f_{ck}=15,0\text{MPa}$; (b) $20,0\text{MPa}$; (c) $25,0\text{MPa}$; (d) $30,0\text{MPa}$	177
Figura 67 – Estimativa do gráfico de perfil das obras após correção do consumo de cimento para o valor $C_{\text{RECOMENDADO}}$: (a) $f_{ck}=15,0\text{MPa}$; (b) $20,0\text{MPa}$; (c) $25,0\text{MPa}$; (d) $30,0\text{MPa}$	179
Figura 68 – Curva dos motoristas 2 e 18.	183
Figura 69 – Gráfico de perfil dos motoristas da central CTB: (a) $f_{ck}=15\text{MPa}$; (b) 20MPa ; (c) 25MPa ; (d) 30MPa	185
Figura 70 – Estimativa do gráfico de perfil dos motoristas da central CTB após a correção do consumo de cimento para o valor $C_{\text{RECOMENDADO}}$: (a) $f_{ck}=15,0\text{MPa}$; (b) $20,0\text{MPa}$; (c) $25,0\text{MPa}$; (d) $30,0\text{MPa}$	186
Figura 71 – Curva dos motoristas da central CTB agrupadas.	187
Figura 72 – Curva dos motoristas 10, 13, 20 e 23.	189
Figura 73 – Curva de impressão da central FLN.	200
Figura 74 – Gráfico de perfil da obras atendidas pela central FLN: (a) $f_{ck}=25,0\text{MPa}$; (b) $30,0\text{MPa}$; (c) $35,0\text{MPa}$; (d) $40,0\text{MPa}$	205
Figura 75 – Estimativa do gráfico de perfil da obras atendidas pela central FLN após as correções no consumo de cimento para o valor $C_{\text{RECOMENDADO}}$: (a) $f_{ck}=25,0\text{MPa}$; (b) $30,0\text{MPa}$; (c) $35,0\text{MPa}$; (d) $40,0\text{MPa}$	206
Figura 76 – Gráfico de perfil dos motoristas da central FLN: (a) $f_{ck}=25,0\text{MPa}$; (b) $30,0\text{MPa}$	209
Figura 77 – Estimativa do gráfico de perfil dos motoristas da central FLN após a correção de dosagem no consumo de cimento para o valor $C_{\text{RECOMENDADO}}$: (a) $f_{ck}=25,0\text{MPa}$; (b) $30,0\text{MPa}$	210
Figura 78 – Curva dos motoristas da central FLN agrupadas.	212

Figura 79 – Comparação entre as curvas de impressão das centrais CTB e FLN.	214
Figura 80 – Comparação entre as curvas dos laboratórios das centrais CTB e FLN.....	215
Figura A1 – Fluxograma completo do programa proposto	239
Figura A2 – Mesa para índice de consistência – Flow Table Test	252
Figura A3 – Determinação do diâmetro do espalhamento (D) na mesa para índice de consistência.....	253
Figura A4 – Estudo comparativo de fluidez para diferentes composições de duas areias [LODI, 2006].	254
Figura A5 – Espalhamentos iniciais e perda de fluidez ao longo do tempo de argamassas contendo diferentes aditivos. Emprego de aditivos superplastificantes nas redosagens aos 60min.....	255
Figura A6 – Teor de ar incorporado para diferentes composições de areia natural e areia de britagem [LODI, 2006].	256
Figura A7 – Ensaio para a determinação do tempo de início de pega de argamassas: a) esquema do bloco de isopor - calorímetro semi-adiabático; b) detalhe do dataloger conectado ao computador – sistema de aquisição de dados [SILVA et al,2009b].....	258
Figura A8 – Variação do consumo de água do concreto (litros/m ³) em função da relação Flow 0, obtido nos ensaios em argamassas, sobre módulo de finura do agregado miúdo total para materiais e relação água/cimento semelhantes. Argamassa com teor de pasta de 46,1%, em volume [WEIDMANN, 2008].....	263
Figura A9 – Curva dos motoristas da central CTB.	306
Figura A10 – Curva dos motoristas da central FLN.....	325

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos aditivos segundo a NBR11768:1992.	40
Tabela 2 – Método preferencial para pesagem dos materiais [CROMPTON, 2003].....	45
Tabela 3 – Principais fontes de variação na resistência à compressão [Adaptado de ACI214R-02].....	81
Tabela 4 – Fontes de variação na resistência à compressão [DEWAR,J.D. & ANDERSON R., 2004].	82
Tabela 5 – Efeito máximo de diferentes fontes no resultado da resistência à compressão do concreto [Adaptado de HELENE, 1993].	82
Tabela 6 – Coeficiente de variação do ensaio de resistência à compressão para diferentes tipos de capeamento e níveis de resistência..	87
Tabela 7 – Evolução do conceito de qualidade [HELENE, 1993].....	90
Tabela 8 – Desvio-padrão de produção do concreto [NBR7212:1984]...	96
Tabela 9 – Classificação do controle de qualidade do concreto em função do coeficiente de variação [ACI214R-02].....	97
Tabela 10– Coeficiente de variação dentro do ensaio [NBR7212:1984]..	105
Tabela 11– Resultados de resistência à compressão do concreto de uma determinada central [ACI214R-02].	110
Tabela 12 – Condições de contorno de produção.	118
Tabela 13 – Modelo da tabela matriz inicial de dados.....	119
Tabela 14– Variação de coeficiente de variação em função da significância adotada.....	121
Tabela 15 – Modelo da tabela matriz base de dados.	122
Tabela 16– Dados para a determinação da curva impressão da central. ...	125
Tabela 17 – Comparativo das resistências de dosagem.	131
Tabela 18 – Exemplo de tabela de coeficientes de variação e resistências potenciais.	136
Tabela 19 – Valores de V_{PAR} da curva de referência.	139
Tabela 20 – Modelo de tabela dos dados de entrada do módulo 3.....	145
Tabela 21 – Tabela de valores de $f_{ck_{OBRA}}$ (MPa), $f_{cj_{CENTRAL}}$ (MPa), sd_{OBRA} (MPa), CV_{OBRA} (%) e N_{OBRA}	146
Tabela 22 – Modelo da tabela de zoneamento das obras.	150
Tabela 23 – Modelo de tabela dos dados de entrada do módulo 4 – $f_{cj_{POTENCIAL}}$ (MPa).....	152

Tabela 24 – Modelo de tabela dos dados de entrada do módulo 4 – V_{PAR} (%).	152
Tabela 25– Tabela de valores de fc_{JMOT} (MPa), sd_{MOT} (MPa), CV_{MOT} (%) e N_{MOT-1} .	154
Tabela 26 – Modelo de tabela de zoneamento dos motoristas.	158
Tabela 27 – Condições de contorno de produção da central CTB.	166
Tabela 28 – Composições dos concretos da família base da central CTB.	167
Tabela 29 – Valores obtidos para o tratamento estatístico dos dados da matriz inicial da central CTB.	168
Tabela 30 – Resumo da matriz base de dados da central CTB.	168
Tabela 31 – Volume de concreto produzido na central CTB ao longo do período de amostragem.	169
Tabela 32 – Tabela com dados para determinação do $CV_{CENTRAL}$ e Curva de impressão da central.	169
Tabela 33 – Coeficientes da curva de impressão da central CTB.	170
Tabela 34 – Coeficientes de variação e resistências potenciais da central CTB.	170
Tabela 35 – Correção do consumo de cimento dos concretos da família base da central CTB.	171
Tabela 36 – Composição do concreto isolado da central CTB.	172
Tabela 37 – Resumo da matriz base de dados do concreto isolado da central CTB.	172
Tabela 38 – Coeficiente de correção do consumo de cimento do concreto isolado da central CTB.	173
Tabela 39 – Correção do consumo de cimento do concreto isolado da central CTB.	173
Tabela 40 – Comparação da curva geral da central CTB e curva de referência.	175
Tabela 41 – Comparação da curva do laboratório da central CTB e curva de referência.	176
Tabela 42 – Valores de fck_{OBRA} (MPa), fc_{JOBRA} (MPa), sd_{OBRA} (MPa), CV_{OBRA} (%) e N_{OBRA} .	177
Tabela 43 – Tabela de zoneamento das obras atendidas pela central CTB.	181
Tabela 44 – Porcentagem acumulada de V_{PAR} dos motoristas da central CTB (Motoristas 1 à 11).	182
Tabela 45 – Porcentagem acumulada de V_{PAR} dos motoristas da central CTB (Motoristas 12 à 23).	183
Tabela 46 – Valores de fc_{JMOT} (MPa), sd_{MOT} (MPa), CV_{MOT} (%) e N_{MOT-1} .	184

Tabela 47 – Tabela de Zoneamento dos motoristas da central CTB...	191
Tabela 48 – Redução de custo mensal resultante das correções de dosagens indicadas para a central CTB.....	193
Tabela 49 – Condições de contorno de produção da central FLN.	196
Tabela 50 – Composição dos concretos da central FLN.	197
Tabela 51– Valores obtidos no tratamento estatístico da matriz inicial da central FLN.	198
Tabela 52 – Resumo da matriz base de dados da central FLN.....	198
Tabela 53– Volume de concreto produzido na central FLN ao longo do período de amostragem.	199
Tabela 54 – Dados para determinação do $CV_{CENTRAL}$ e curva de impressão da central.....	199
Tabela 55 – Coeficientes da curva de impressão da central FLN.	199
Tabela 56 – Coeficientes de variação e resistências potenciais da central FLN.	200
Tabela 57 – Correção do consumo de cimento dos concretos da família base da central FLN.	201
Tabela 58 – Comparação da curva geral da central FLN com a curva referência.	202
Tabela 59 – Comparação da curva do laboratório da central FLN com a curva referência.....	203
Tabela 60 – Valores de $f_{ck_{OBRA}}$ (MPa), $f_{cj_{OBRA}}$ (MPa), $s_{d_{OBRA}}$ (MPa), CV_{OBRA} (%) e N_{OBRA}	204
Tabela 61 – Tabela de zoneamento das obras.	207
Tabela 62 – Porcentagem acumulada de V_{PAR} dos motoristas da central FLN.	208
Tabela 63 – Valores de $f_{cj_{MOT}}$ (MPa), $s_{d_{MOT}}$ (MPa), CV_{MOT} (%) e N_{MOT-1}	209
Tabela 64 – Tabela de zoneamento dos motoristas da central FLN.	212
Tabela 65 – Consumo de cimento utilizado na produção de concreto ($f_{ck}=25,0$ e $30,0$ MPa) para as centrais FLN e CTB considerando o mesmo coeficiente de variação – $CV_{CENTRAL}=9,0\%$	214
Tabela 66 – Consumo de materiais empregados na central FLN para os diferentes períodos de amostragem.....	218
Tabela 67 – Correções de dosagem propostas pelo técnico da central e pelo módulo 1.	219
Tabela A1 – Amostra utilizada para análise complementar – f_{cj} (MPa).	243
Tabela A2 – $I_{f_{cj}}$ – inferior e superior.....	243
Tabela A3 – Valores de $f_{cj,estatístico}$, $s_{d,estatístico}$ e $CV_{estatístico}$	244

Tabela A4 – Traço e quantidade dos materiais para estudos comparativos em argamassa.....	260
Tabela A5 – Módulo de finura composição.	263
Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB.....	267
Tabela A7 – Matriz base de dados para a central CTB.	279
Tabela A8 – Determinação dos coeficientes da curva de impressão da central CTB.....	285
Tabela A9 – Matriz inicial da central CTB – concreto isolado.	286
Tabela A10 – Matriz base de dados da central CTB - concreto isolado.	287
Tabela A11 – Resultados de ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de exemplares moldados dentro do laboratório da central CTB por equipe técnica experiente.....	288
Tabela A12 – Valores de $fcj_{POTENCIAL}$ da central CTB ordenados segundo as diferentes obras.....	288
Tabela A13 – Valores de $fcj_{POTENCIAL}$ da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas (parte 1).....	292
Tabela A14 – Valores de $fcj_{POTENCIAL}$ da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas (parte 2).....	294
Tabela A15 – Valores de V_{PAR} da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas (parte 1).....	296
Tabela A16 – Valores de V_{PAR} da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas (parte 2).....	297
Tabela A17 – Tempo de descarga dos concretos da matriz base de dados da central CTB.	298
Tabela A18 – Matriz inicial de dados da central FLN.	309
Tabela A19 – Matriz base de dados da central FLN.	314
Tabela A20 – Determinação dos coeficientes da curva de impressão da central FLN.	317
Tabela A21 – Resultados de ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de exemplares moldados dentro do laboratório da central FLN por equipe técnica experiente.....	318
Tabela A22 – Valores de $fcj_{POTENCIAL}$ da central FLN ordenados segundo as diferentes obras.....	319
Tabela A23 – Valores de $fcj_{POTENCIAL}$ da central FLN ordenados segundo os diferentes motoristas.....	320
Tabela A24 – Valores de V_{PAR} da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas.	321
Tabela A25 – Valores de V_{PAR} da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas.	322

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
 ACI – American Concrete Institute.
 ASTM – American Society for Testing Materials.
 BS – British Standard.
 CDC – Concreto Dosado em Central.
 CP IV RS – Cimento Portland Pozolânico Resistente à Sulfatos.
 CTB – Central de Concreto na Cidade de Curitiba.
 C-S-H – Silicato de cálcio hidratado.
 C_3A – Aluminato tricálcico: $3CaO \cdot Al_2O_3$.
 EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
 EUA – Estados Unidos da América.
 FLN – Central de Concreto na Cidade de Florianópolis.
 GTec – Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland.
 IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo.
 IPI – Imposto sobre produtos industrializados.
 ISS – Imposto sobre serviço de qualquer natureza.
 ITERS – Instituto Tecnológico de Estado do Rio Grande do Sul.
 NBR – Norma Brasileira.
 NM – Norma Mercosul.
 NRMCA – National Ready MIXed Concrete Association.
 PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat.
 SE – Sistema Especialista.
 UCC – Usina Central de Concreto S/A.
 UFSC – Univerisidade Federal de Santa Catarina.
- α – valor de significância.
 ΔC – variação do consumo de cimento.
 $\Delta C'$ – variação do consumo de cimento obtido na curva de impressão da central.
 Δf_{cj} – variação arbitrária do valor de f_{cj} obtido na curva de impressão da central.
 a/c – relação água / cimento.
 A – coeficiente de correção do consumo de cimento.
 C_C – Consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado.
 $C_{C,ATUAL}$ – Consumo de cimento atual.
 $C_{C,POTENCIAL}$ – Consumo de cimento potencial.

- $C_{C,RECOMENDADO}$ – Consumo de cimento recomendado.
- $CV_{CENTRAL}$ – Coeficiente de variação da central.
- $CV_{estatístico,fckn}$ – Coeficiente de variação estatístico para o concreto de um determinado valor de f_{ck} .
- CV_{IDEAL} – Coeficiente de variação igual à 8,0%.
- CV_{MOT} – coeficiente de variação dos resultados de f_{cj} de um mesmo motorista e mesmo f_{ck} .
- CV_{OBRA} – coeficiente de variação dos resultados de f_{cj} de uma mesma obra e mesmo f_{ck} .
- f_{cj} – resistência de dosagem.
- $f_{cj,CENTRAL}$ – valor de f_{cj} em função do $CV_{CENTRAL}$.
- f_{cjCPn} – resistência à compressão obtida para o corpo-de-prova “n”.
- $f_{cj,estatístico}$ – valor de f_{cj} médio obtido com o tratamento estatístico dos dados.
- $f_{cj,médio}$ – resistência média dos valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ da matriz inicial de dados.
- f_{cjMOT} – valor de resistência média dos valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ de um mesmo motorista e mesmo f_{ck} .
- f_{cjOBRA} – valor de resistência dado pela média dos valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ de uma mesma obra e mesmo f_{ck} .
- $f_{cjPOTENCIAL}$ – máximo valor de resistência do par de corpos-de-prova.
- f_{ck} – resistência característica à compressão.
- f_{ckOBRA} – valor de resistência característica do concreto entrega em obra.
- f_{ckMOT} – valor de resistência característica do concreto moldado.
- I_{fcj} – limites de resistência de dosagem.
- $I_{fcj,inf}$ – limite inferior de resistência de dosagem.
- $I_{fcj,sup}$ – limite superior de resistência de dosagem.
- N_{OBRA} – número de exemplares moldados e ensaiados para uma determinada obra e valor de f_{ck} .
- N_{MOT-1} – número de exemplares moldados e ensaiados por um determinado motorista e valor de f_{ck} .
- s_d – desvio-padrão da amostra base.
- sd_{OBRA} – desvio-padrão dos resultados de f_{cj} de uma mesma obra e mesmo f_{ck} .
- sd_{MOT} – desvio-padrão dos resultados de f_{cj} de um mesmo motorista e f_{ck} .
- $t_{\alpha,n-1}$ – função de densidade de probabilidade para a distribuição t-Student considerando um valor de significância α e “n -1” graus de liberdade.
- V_{PAR} – Variação do par de corpos-de-prova.
- $V_{produção,fckn}$ – Volume de produção mensal do concreto de f_{ck} “n”.

LISTA DE EQUAÇÕES

Eq. 1	.....	74
Eq. 2	.....	92
Eq. 3	.....	93
Eq. 4	.....	93
Eq. 5	.....	95
Eq. 6	.....	101
Eq. 7	.....	102
Eq. 8	.....	103
Eq. 9	.....	105
Eq. 10	.....	106
Eq. 11	.....	106
Eq. 12	.....	107
Eq. 13	.....	120
Eq. 14	.....	121
Eq. 15	.....	126
Eq. 16	.....	126
Eq. 17	.....	127
Eq. 18	.....	127
Eq. 19	.....	127
Eq. 20	.....	128
Eq. 21	.....	128
Eq. 22	.....	128
Eq. 23	.....	128
Eq. 24	.....	129
Eq. 25	.....	129
Eq. 26	.....	134
Eq. 27	.....	134
Eq. 28	.....	134
Eq. 29	.....	179
Eq. 30	.....	185
Eq. 31	.....	256
Eq. 32	.....	262
Eq. 33	.....	262

RESUMO

O concreto dosado em central (CDC) consiste em todo o concreto carregado em central misturadora, transportado e misturado em caminhões-betoneira e entregue, no estado plástico, a um determinado consumidor. Desde sua criação, o consumo de CDC tem crescido consideravelmente indicando, assim, o sucesso do mesmo em termos de custo-benefício. Identicamente ao concreto convencional, a dosagem do CDC é realizada mediante a definição de uma resistência de dosagem que é função da resistência característica do concreto e de um determinado valor de desvio-padrão compatível com processo de produção deste. Em outras palavras, quanto maior a variabilidade do processo, maior será a resistência de dosagem requerida. Conseqüentemente, maior será o custo de produção do concreto devido a necessidade do aumento do consumo de cimento para um mesmo valor de resistência característica. Logo, nota-se que a redução da variabilidade do processo de produção do concreto corresponde à um fator contribuinte na redução dos custos de produção. Dentre os métodos utilizados pelas centrais para o controle de produção, destaque pode ser dado ao uso das cartas de controle e do método de soma acumulada. Apesar das diferenças entre os métodos, ambos têm por base o acompanhamento de tendências esboçadas pelos resultados de resistência à compressão do concreto e não permitem a identificação dos pontos críticos de variabilidade da central avaliada. Assim sendo, mesmo contribuindo para a observação da necessidade de correções de dosagem, os métodos citados não fornecem subsídios para que o técnico responsável pela central intervenha de forma a reduzir a variabilidade do processo e, dessa maneira, contribua para a eventual redução de custos de produção. Além disso, destaca-se que a carência de subsídios mencionada anteriormente torna a qualidade do processo de produção extremamente dependente da experiência técnica do responsável pela central. Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo principal propor uma metodologia alternativa de controle de qualidade de produção do CDC. Tal metodologia busca contribuir não apenas na definição de correções de dosagem, mas também auxiliar na identificação das principais fontes de variabilidade do processo e indicar as intervenções que se fazem necessárias. O método proposto consiste na avaliação dos seguintes itens: variabilidade do processo de produção, qualidade do laboratório da central, controle tecnológico realizado pela equipe técnica da central e pelas obras atendidas por esta, e desempenho dos materiais utilizados. Visando determinar a eficiência da metodologia proposta, empregou-se a mesma em duas centrais de concreto de características semelhantes. Além disso, com base nos resultados relativos às correções de dosagem, realizou-se uma análise comparativa entre as medidas tomadas pelo técnico responsável pela central e as intervenções recomendadas pelo método proposto. Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que a metodologia proposta apresentou resultados satisfatórios e permite definir tanto a necessidade de correções iniciais de dosagem, quanto os pontos críticos de variabilidade no processo de produção da central investigada.

Palavras-chave: Concreto Dosado em Central, controle de qualidade, variabilidade.

ABSTRACT

Ready Mixed Concrete (RMC) can be defined as a concrete manufactured for delivery to a defined purchaser's particular needs in a fresh state. Since its development, the use of RMC has been increasing considerably, demonstrating its value from a cost-benefit perspective. As with conventional concrete, the RMC dosage is based on the determination of a required average strength, which depends on the specified compressive strength and the standard deviation compatible with the production process. In other words, the increase of the process variability leads to a higher value of the required average strength. As a result, the production cost of the concrete is greater due to the additional cement content needed to produce concrete with the same specified compressive strength. Therefore reducing the variability can be considered as an important way to reduce the production cost of RMC. Among the control procedures applied by RMC companies, emphasis can be given to the use of control charts and cumulative sum charts since they are the most frequently used. Regardless the differences between these two procedures, both are based on trends shown by compressive strength test results to determine whether the dosage change is, or is not, necessary. However, neither of the two procedures can provide information about the overall process variability or the critical points of the process that should be corrected immediately in order to reduce the variation of the results. Moreover, this lack of information leads the RMC production process to become extremely dependent on the skills of the chief technician responsible for the plant. In view of that, the main purpose of this research study is to propose an alternative quality control methodology for RMC plants. This methodology aims to assist in the determination of the changes needed in the concrete dosages and to provide information about the critical process variability points and suggests interventions the plant technician might take to reduce the process variability. The proposed methodology is based on the evaluation of the following items: overall process variability, quality of the RMC plant laboratory, technical control procedures conducted by both the manufacturer and the user, and performance of the materials used to produce the concrete. In order to determine the effectiveness of the proposed methodology, two RMC plants with similar features were evaluated. In addition, the results obtained with respect to the corrections in the concrete dosages were compared to the decisions made by the responsible plant chief technician. Finally, the methodology proposed in this work provides a satisfactory way to determine the initial corrections needed in the concrete dosages and helps to identify both the critical points of the RMC production process and its overall variability.

Keywords: Ready Mixed Concrete, quality control, compressive strength, variability.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O concreto dosado em central (CDC) consiste em todo o concreto carregado em central, transportado e misturado em caminhões-betoneira e entregue, no estado plástico, a um determinado consumidor. Sua utilização nas obras em geral é crescente e indica sucesso do mesmo em termos de custo-benefício. Dentre uma série de vantagens resultantes do uso do CDC destaca-se a racionalização do processo construtivo, aumento da produtividade, redução do custo total da obra, entre outros.

É importante observar que a produção do CDC é passível de diversas fontes de variabilidade que afetam não apenas a qualidade final do produto, mas também o custo de produção. Desse modo, nota-se a importância do controle de qualidade no processo de produção do concreto.

No passado, o controle de produção do concreto era tido como luxo e as centrais pouco se preocupavam com a realização deste. Em determinados casos, o controle de qualidade era confundido com ensaios de aceitação do concreto em obra.

Atualmente, o que se observa é que o controle de qualidade tanto na indústria do concreto quanto em outros processos de produção corresponde a uma questão de sobrevivência para as empresas. Tal fato deve-se não somente à redução de custos, mas também pelo estabelecimento de uma relação de confiança entre consumidor e produtor na garantia de qualidade do serviço prestado.

Destaca-se, ainda, que o advento da certificação de qualidade na construção, mediante o uso do selo PBQP-H, contribuiu significativamente para o aumento do controle de qualidade do concreto entregue em obra. Logo, o maior rigor no controle tecnológico exigido pelas obras resultou em maior controle por parte das centrais de concreto.

A compra do CDC é dada geralmente através da especificação, por parte dos consumidores, de um determinado abatimento, diâmetro máximo de agregado graúdo e resistência característica à compressão aos 28 dias. Assim sendo, o controle de qualidade deveria corresponder apenas à verificação do abatimento durante a descarga do concreto no canteiro de obras e da resistência à compressão. Entretanto, o monitoramento destes parâmetros corresponde apenas aos ensaios de aceitação do concreto e não podem ser confundidos com o controle de qualidade. Este, por sua vez, vai além dos ensaios de aceitação e consiste nas operações realizadas periodicamente com o objetivo de manutenção do padrão de qualidade do produto. Tais operações envolvem decisões e to-

madras de ações por parte dos técnicos responsáveis pela central de concreto.

A realização do controle de qualidade é necessária, pois as propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido, além de apresentarem uma variabilidade natural, são influenciadas por uma série de fatores. Neste caso, destaque pode ser dado a imprecisões na determinação da umidade dos agregados, falta de aferição dos equipamentos utilizados em laboratório, variação da temperatura e umidade relativa. Além disso, destaca-se a existência de variação de granulometria e teor de material puerulento dos agregados. Tal variação resulta na modificação do consumo de água necessário para o uma dada trabalhabilidade. Assim sendo, nota-se a necessidade de correções no consumo de água para ajuste do abatimento antes da descarga do concreto em obra.

A adição de água para correção do abatimento, necessária não apenas em função do exposto no parágrafo anterior, mas também devido à elevadas temperaturas e do tempo de transporte da central de concreto até a obra, corresponde a uma técnica comumente adotada pelas centrais de concreto no Brasil e permitida pela NBR7212:1984. A parcela de água limite a ser adicionada é prevista em estudos de dosagem e, caso esta não venha a ser ultrapassada, as chances de obter um concreto não conforme é reduzida. Contudo, a falta de controle neste processo possibilita que uma quantidade indiscriminada de água possa ser adicionada o que, por sua vez, resulta no aumento da relação água/cimento e conseqüente redução da resistência à compressão. Além disso, nota-se o aumento da variabilidade dos resultados. Logo, pode-se indicar falta de controle de abatimento como uma das principais fontes de variabilidade no processo. Porém este fato não descarta a necessidade de controle das demais fontes de variabilidades citadas no parágrafo anterior.

Os resultados obtidos para os concretos produzidos apresentam uma determinada variabilidade que será tão maior quanto menor for o controle de qualidade do processo de produção. A elevada variabilidade resulta, por sua vez, em aumento de custos de produção em função da necessidade de adoção de dosagens capazes de cobrir a elevada variação observada e evitar que resultados não conformes sejam observados.

Aparentemente, a utilização de medidas de controle de qualidade nas centrais de concreto não está sendo apropriadamente realizada. Esta afirmativa é fundamentada na observação do aumento da incidência de reclamações de resultados não conformes na indústria da construção civil. Como exemplo pode ser citado o debate: “*As razões que explicam o fato da resistência do concreto à compressão aos 28 dias (f_{ck}) não ser atingida em obra*”, realizado no 51º Congresso Brasileiro do Concreto

em Outubro de 2009, que gerou bastante polêmica na busca de um grande culpado para a questão exposta.

Apesar da realização do controle de qualidade preconizado pela NBR7212 ser considerada suficiente para determinação da variabilidade do processo, isto é, do desvio-padrão da central, a adoção única e exclusiva deste controle não permite identificar as fontes de variabilidade, bem como definir quais medidas deveriam ser tomadas para redução da mesma. Destaca-se ainda, que a NBR7211:1984 permite apenas a classificação das centrais em diferentes níveis de variabilidade, porém não apresenta diretrizes que permitam a mudança de nível para uma determinada central.

Visando analisar os resultados da central e definir a variabilidade desta é necessária a utilização de métodos de análise de resultados de campo e laboratório. Tais métodos permitem identificação de variações significativas do valor de resistência média e variabilidade do processo.

Dentre os métodos de análise de resultados mais empregados na indústria do concreto destaque pode ser dado às cartas de controle e ao método de soma acumulada. Tais métodos são eficientes na identificação de variações da qualidade do processo, porém, não apresentam a mesma eficiência quando se trata da identificação das causas de variações e consequente orientação quanto à tomada de decisões.

É importante destacar que, além dos métodos citados, existem sistemas automatizados dotados de processos computacionais que realizam análise múltipla de variáveis. Estes métodos têm elevada eficiência tanto na identificação de variações quanto nas possíveis causas destas. Contudo, destaca-se que os mesmos são de elevado custo de implantação, não apenas do sistema computacional em si, mas também da elevada quantidade de variáveis controladas.

Atualmente, a interpretação dos dados nas centrais de concreto é realizada pelos técnicos responsáveis pela central. Tais técnicos têm por base de análise o banco de dados de ensaios de resistência à compressão dos concretos produzidos pela central. Contudo, é importante ressaltar que nem todas as empresas apresentam um histórico dos resultados de resistência à compressão. Em tais casos, a análise do processo de produção torna-se praticamente impossível.

Nas centrais que apresentam banco de dados dos ensaios de resistência à compressão, o técnico procede com o aumento do consumo de cimento como intervenção imediata para cada não conformidade observada. Caso este aumento seja suficiente para que os concretos produzidos atinjam a resistência característica desejada, o técnico, principalmente o de pouca experiência, se dá por satisfeito e não procura identifi-

car quais das etapas do processo de produção foi responsável pela variação da qualidade do concreto. Em situação oposta, a observação de valores de resistência características muito acima do esperado para o concreto produzido leva o técnico a proceder a redução do consumo de cimento como intervenção imediata.

Assim sendo, observa-se que a análise de resultados das centrais é dada de forma passiva, ou seja, a realização de intervenções ocorre apenas quando as variações associadas ao atendimento ou não da resistência característica são observadas. Além disso, na grande maioria dos casos, a observação de tal variação tem por resultado apenas o aumento ou redução do consumo de cimento ao invés da busca do problema. Destaca-se ainda que a correção do consumo de cimento é dada através de um processo de tentativa e erro sendo, por isso, extremamente dependente da experiência técnica do técnico responsável.

Soma-se a passividade da análise de resultados, a falta de investimento na implantação de laboratórios de controle em cada central. A ausência destes dificulta a realização de estudos de dosagem que poderiam ser úteis para otimização das composições de concreto utilizadas. Neste caso, a figura do técnico da central é prejudicada, sendo este responsável apenas pela análise de dados e modificação de consumo de cimento visando resolver problemas imediatos.

Dessa forma, observa-se que a produção de concreto nas centrais apresenta deficiências associadas principalmente à análise de dados e ausência de condições para estudos de dosagem. Tais deficiências resultam em um processo de produção de elevado custo decorrente do elevado consumo de cimento requerido para cobrir tanto a elevada variabilidade, quanto a carência de estudos de dosagem.

Assim sendo, acredita-se que a presença de uma estrutura adequada de trabalho, isto é, instalações de laboratório apropriadas e procedimento padronizado de análise de resultados venham a contribuir para que o técnico de laboratório possa atuar de forma ativa no processo de produção do concreto. Tal atuação possibilita que o mesmo contribua não apenas para a qualidade do processo, mas também para redução de custos.

Diante do exposto, este trabalho propõe-se a desenvolver uma metodologia de análise de resultados, adequado à realidade das centrais de concreto do Brasil, que vá além da observação de não conformidades e permita a identificação das principais causas de variação dos resultados e realização de correções das dosagens praticadas. Além disso, que possibilite a comparação entre centrais de uma mesma região, identifi-

cando a necessidade da modificação dos materiais utilizados na produção, e resulte na redução de custos variáveis da central.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um método de análise de resultados que permita a identificação da variabilidade no processo de produção do CDC em uma determinada central e correção, em função do nível de variabilidade observado, das dosagens praticadas. Além disso, que permita determinar quais as etapas do processo correspondem aos pontos críticos de variabilidade e, com base nestes, propor as intervenções necessárias, auxiliando, assim, a tomada de decisão por parte dos técnicos das centrais.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Definir uma metodologia de coleta, tratamento estatístico e análise de dados.
- Aprimoramento do método de determinação da variabilidade do processo de produção das centrais de concreto;
- Desenvolver um método de correção de dosagem baseada nos níveis de variabilidade observados na central de concreto;
- Propor uma metodologia de verificação da qualidade do laboratório da central de concreto;
- Elaborar uma proposta de análise de dados que indique a necessidade de treinamento da equipe técnica responsável pela moldagem de corpos-de-prova de concreto e realização dos ensaios;
- Propor de um método de otimização dos materiais empregados na produção do CDC através de estudos de aditivos e agregados;

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em sete capítulos, sendo que no primeiro foi apresentada a necessidade e existência de deficiências no controle de qualidade na produção do CDC, dando destaque à importância deste trabalho e seus objetivos. O capítulo 2 diz respeito ao processo de produção do CDC. Neste são apresentados as propriedades dos insumos empregados na produção do CDC, bem como os tipos de centrais de concreto existentes. No capítulo 3 são discutidas as propriedades do concreto bem como os fatores, associados a realidade experimentada pelas centrais, que influenciam tais propriedades. No capítulo 4 são apresentados tanto considerações sobre a existência de variabilidade no processo de produção quanto os principais métodos de controle de produção do CDC. No capítulo 5 consta a metodologia proposta para avaliação do processo de produção do concreto em central. Neste são descri-

tas e discutidas as variáveis consideradas para a definição da metodologia, bem como o método de análise dos resultados. No capítulo 6 são apresentados e analisados os resultados obtidos mediante o emprego da metodologia proposta na avaliação de duas centrais de concreto. Por fim, no capítulo 7, são apresentadas as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

2 CONCRETO DOSADO EM CENTRAL

2.1 Considerações preliminares

De acordo com a norma brasileira NBR7212:1984 o CDC pode ser definido como: “...concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início de pega do concreto, em local e tempo determinados, para que se processem as operações subseqüentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas.”.

O sucesso da utilização do CDC na construção civil frente ao concreto produzido no canteiro de obras pode ser atribuído a fatores como [ABESC,2007, PRUDÊNCIO,2008]:

- redução de desperdícios de materiais utilizados na produção de concreto no canteiro de obras;
- racionalização do número de operários na obra, com conseqüente redução de encargos sociais e trabalhistas;
- redução no controle de insumos, permitindo eliminação da área de estoque e melhor aproveitamento do canteiro de obras;
- maior agilidade e produtividade da equipe de trabalho em função da possibilidade de entrega de grandes volumes de concreto;
- redução do custo total da obra.

Em se tratando de um serviço prestado à um determinado consumidor, é de extrema importância que seja realizado o controle de qualidade do processo de produção do CDC, uma vez que o desempenho deste pode ser comprometido por uma série de fatores, como por exemplo, falta de controle de abatimento, falta de precisão no proporcionamento dos materiais, carência técnica na execução dos procedimentos de moldagem e transporte dos corpos-de-prova, entre outros.

De modo a facilitar o entendimento das propriedades do concreto e os fatores que as afetam, é de extrema importância conhecer as características dos insumos utilizados, bem como o método empregado para a sua produção. Assim sendo, tomando por base a linha de produção ilustrada na Figura 1, ao longo deste capítulo são apresentados os principais insumos empregados na produção do concreto. Definidos os insumos, são apresentadas as diferentes configurações das centrais de concreto e equipamentos utilizados para o transporte da central à obra.

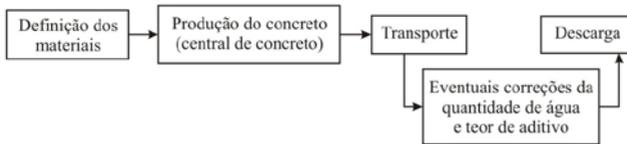


Figura 1 – Linha simplificada de produção do CDC.

2.2 Histórico do concreto dosado em central

O início da utilização do concreto foi dada no período romano [DEWAR, J.D. & ANDERSON R., 2004]. Entretanto, a possibilidade de produção e fornecimento deste como CDC só foi discutida a partir de 1872 quando o engenheiro civil George Deacon apresentou o seguinte comentário: “Se o concreto fosse fornecido no canteiro de obra como um produto pronto para aplicação isso seria, sem dúvida, de grande vantagem.” [CROMPTON, S. 2003; BIASIOLI, F., 1999]. Apesar de a idéia ser discutida a partir de 1872, somente em 1903, na Alemanha, que o CDC foi patenteado.

Dewar, J.D. & Anderson R (2004) e Crompton, S. (2003) apresentam relatos que indicam que o concreto fora empregado pela primeira vez sob a forma de CDC nos Estados Unidos, na cidade de Baltimore em 1913. Todavia, o crescimento do emprego do CDC só pode ser observado a partir dos anos 30 com os incentivos do governo americano, que impulsionaram o setor da construção civil, e o advento do caminhão betoneira, patenteado em 1916 por Stephen Stephanian. No período anterior à este, e ainda observado em países em desenvolvimento, existia a tendência de produção de concreto no canteiro de obra [CROMPTON, 2003; SYVERSON, C., 2008].

Na Europa, o emprego do CDC apresentou crescente utilização a partir de 1930, sendo uma das primeiras centrais da região desenvolvida pelo engenheiro Kjeld O. Ammentorp situadas em Bedfont na Inglaterra e operada pela empresa Ready Mixed Concrete Ltd. Além da empresa Ready Mixed Concrete Ltd. pode-se destacar a Scientific Controlled Concrete Ltd., Truck Mixed Concrete Ltd e Jaeger System Concrete Ltd., como pioneiras na construção de centrais de concreto na Europa [DEWAR, J.D. & ANDERSON R., 2004; CROMPTON, 2003].

As centrais de concreto atuais (Figura 2b) são bastante diferentes da versão inicial (Figura 2a). O layout predominantemente horizontal com materiais alinhados e transportados por escavadeiras e unidades elevadoras foi substituído por layouts verticais com estocagem dos materiais em silos, transporte por esteiras e ar comprimido. Tal transforma-

ção permitiu redução do espaço físico ocupado pelas centrais e consequente inclusão destas nas proximidades dos centros urbanos.

Como elementos chave para a massificação da utilização do CDC, Syverson, C. (2008) identifica itens associados a evolução tecnológica, sendo eles:

- 1) automatização dos sistemas de mistura e pesagem dos materiais;
- 2) aumento da capacidade dos caminhões betoneira;
- 3) advento dos aditivos plastificantes e superplastificantes, entre outros tipos;
- 4) preocupação com a logística nos serviços prestados;
- 5) advento do concreto bombeado.

Os itens citados acima, somados aos encargos ambientais e necessidade de inserção das centrais de concreto nas grandes cidades, podem ser considerados como imprescindíveis na modificação do layout das centrais de concreto.



(a)



(b)

Figura 2 – Centrais de Concreto (a) Modelo inicial [DEWAR, J.D. & ANDERSON R., 2004]; (b) Modelo atual [Cortesia ENGEMIX].

No Brasil, as primeiras centrais de produção de concreto surgiram por volta dos anos 50, uma vez que este período foi caracterizado pelo crescimento das cidades brasileiras e chegada de montadoras de automóveis e fábricas de auto-peças. Pode-se considerar ainda a construção da cidade de Brasília no final deste período [ABESC, 2003].

A primeira central brasileira denominada Usina Central de Concreto S/A – UCC – foi instalada nos arredores de São Paulo em vista da necessidade da construção de um trecho da rodovia que ligaria São Paulo à Jundiá. Importada dos Estados Unidos, a unidade da UCC consistia em uma central manual com caminhão betoneira e fornecia concreto apenas para a obra em questão. Posteriormente, o concreto produzido pela UCC passou a ser comercializado e não demorou muito tempo para

que outras empresas enxergassem os benefícios do CDC e inaugurassem centrais de concreto em outras localidades do Brasil [ABESC, 2003].

Em 1978, impulsionado pela realização de obras de grande porte, como a Usina Hidrelétrica de Itaipú, e incentivos imobiliários, o setor de indústrias cimenteiras e concreteiras apresentou crescimento de cerca de 100% e foi marcado pela fundação da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem – ABESC – que tem por objetivo promover o desenvolvimento e o aperfeiçoamento tecnológico e instituir um setor específico devidamente normalizado e com configuração jurídica definida [ABESC, 2009].

Com a crise do petróleo nos anos 80, o setor da construção civil apresentou uma fase de estagnação. Todavia, o aumento de incentivos fiscais gerados pelo Programa de Aceleração do Crescimento – PAC têm impulsionado o setor e permitido crescimento do mesmo nos últimos anos. Em 2008 foi observado um crescimento do crédito habitacional e população ocupada na construção o que, por sua vez, garantiu crescimento de 8,0% no setor da construção civil [AsBEA, 2009].

Assim sendo, nota-se que a evolução histórica do CDC é baseada na busca da produção e entrega de um produto e serviço vantajoso ao consumidor. O fato da maioria das construções fazer uso do CDC indica o sucesso do mesmo em termos de qualidade, prestação de serviço e custo-benefício [DEWAR, J.D. & ANDERSON R., 2004].

2.3 Materiais empregados na produção de concreto

O concreto é um material composto que apresenta propriedades que combinam as características dos materiais que o compõe. Assim sendo, o conhecimento das propriedades destes torna-se de extrema importância para que uma dosagem¹ adequada seja realizada e para o melhor entendimento das propriedades do concreto.

Dentre os principais materiais empregados na produção de concreto destaca-se: cimento, adições, agregados (grãos e miúdos), aditivos e água. Tais materiais encontram-se disponíveis em diversas opções que apresentam as mais variadas características, por exemplo, diferentes tipos de cimento, composições de agregados e aditivos, cada um dos quais empregados para um determinado fim.

Nos itens que seguem são apresentadas informações relativas ao cimento, agregados e aditivos empregados na produção do CDC. É importante observar que se optou pela apresentação destes três insumos,

¹ Entende-se por estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland os procedimentos necessários à obtenção de uma melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço do concreto [HELENE, 2005];

pois a variação das propriedades e proporcionamento destes é responsável por uma considerável variação de resultados quando comparados à insumos como água e adições.

2.3.1 Cimento

O Cimento Portland é definido como um aglomerante hidráulico² produzido pela moagem de clínqueres constituídos principalmente por silicatos de cálcio hidráulicos e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio [ASTM C 150 apud MEHTA & MONTEIRO, 2008].

De modo geral, as características de perda de fluidez e solidificação do concreto são regidas por reações de hidratação do cimento. Cabe observar que a hidratação do cimento depende, dentre outros fatores, da finura do cimento, relação água/cimento e temperatura de cura. Tais fatores afetam a velocidade das reações, grau de hidratação do cimento e conseqüentemente as propriedades da pasta de cimento endurecida [KIHARA, 2005].

Além disso, o processo de produção do cimento apresenta uma determinada variabilidade, sendo esta inerente a diversos fatores que variam desde a composição mineralógica das matérias-primas aos combustíveis utilizados nos fornos-rotativos. Estas variações se refletem em melhor ou pior desempenho do concreto produzido e serão discutidas de forma detalhada no capítulo 3.

2.3.2 Agregados

Considerando que os agregados ocupam cerca de 60% a 80% do volume de concreto, estes podem ser considerados como um material cujas principais funções estão relacionadas à formação de um esqueleto granular que garante sustentação e redução dos espaços vazios a serem preenchidos pela pasta de cimento, ou seja, enchimento no concreto. Entretanto, esta definição não é considerada adequada, pois se sabe que os agregados afetam significativamente as propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, e a adequada escolha destes resulta em redução de custos na produção de concreto [DEWAR,J.D. & ANDERSON R., 2004; SBRIGHI NETO, 2005; MEHTA & MONTEIRO; 2008].

Quanto à classificação dos agregados, estes são classificados quanto ao tamanho de partícula em agregados miúdos e graúdos. Os agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira de malha

² São aglomerantes que não só endurecem pela reação com a água, mas também formam produtos resistente a ação desta [MEHTA, 2008].

4,75mm. Já os agregados graúdos são constituídos por grãos compreendidos entre as peneiras de malha 75mm e 4,75mm [NBR7211:2009].

Além da classificação apresentada, dá-se destaque às classificações que consideram a origem dos agregados e massa específica destes. Quanto à origem, os agregados podem ser classificados em naturais, britados, artificiais e reciclados. Quanto à massa específica, em agregados leves e pesados [MEHTA & MONTEIRO, 2008; SBRIGHI NETO, 2005].

Em se tratando de agregados empregados na produção de CDC, destaque especial pode ser dado aos agregados de britagem, ou seja, aqueles obtidos por processo de cominuição, geralmente britagem, para que possam se adequar ao uso como agregados para concreto [SBRIGHI NETO, 2005]. Sua utilização vem sendo incentivada devido à preocupação com as questões ambientais e elevado custo dos agregados naturais. Soma-se à estes fatores, as vantagens associadas à manutenção de qualidade e baixa contaminação.

Dentre os procedimentos empregados no beneficiamento de agregados miúdos de britagem destaque pode ser dado para: beneficiamento do pó-de-pedra com aplicação de peneiramento para remoção da fração mais grosseira (granilha), utilização de sistemas mais eficientes para remoção de parte do material pulverulento e emprego de britadores do tipo VSI³ para obtenção de grãos mais esféricos e arredondados. Tais procedimentos estão sendo amplamente utilizados e têm resultado em melhoras significativas no desempenho dos agregados utilizados na produção de CDC.

De modo a elucidar os benefícios gerados pelo uso de agregados de britagem na produção do CDC, a Figura 3 apresenta a curva de dosagem de concretos produzidos com diferentes tipos de agregados miúdos. Na Figura 3, destaca-se que o agregado Tipo B trata-se de uma composição de areia fina de duna e areia de britagem em proporção volumétrica de 30% e 70%, respectivamente.

Adotando-se a hipótese simplificada que os agregados apresentam o mesmo custo, a Figura 3 evidencia que a escolha adequada deste pode resultar em considerável economia no consumo de cimento e conseqüentemente reduzir os custos de produção do concreto⁴.

³ VSI – Vertical Shaft Impact;

⁴ Detalhes referentes à caracterização dos agregados utilizados bem como programa experimental desenvolvido podem ser obtidos em SILVA, W.R. *et al* (2008).

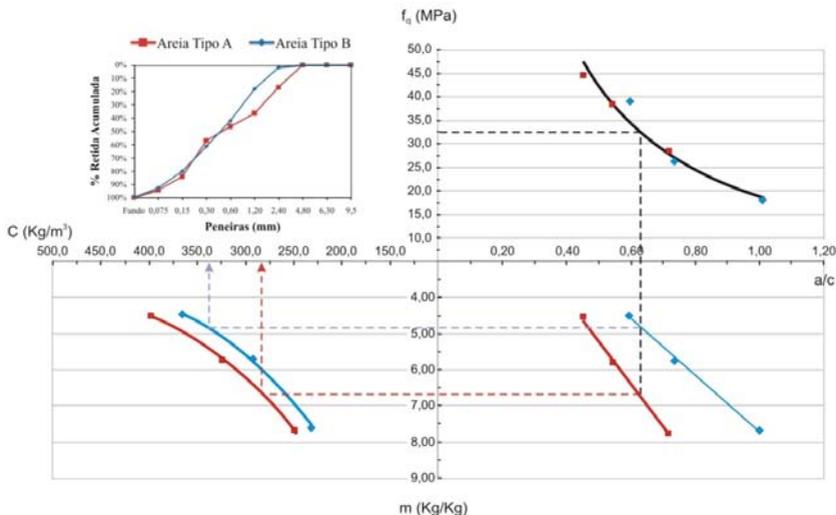


Figura 3 - Curvas de dosagem (28dias) – Areia Tipo A: areia média de rio; Tipo B: composição de areia de britagem e areia fina de duna. Características do concreto: Slump= 10 ± 2 cm; Brita 1; $\alpha_{VOL}=55,2\%$; Teor de aditivo – 1,18% em relação à massa de cimento) [SILVA, W.R., *et al* 2008].

2.3.3 Aditivos

Os aditivos podem ser definidos como produtos que, adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland, modificam algumas de suas propriedades, no sentido de adequá-las a determinadas condições [NBR11768:1992].

No que tange aos custos, Neville (1997) destaca que, embora não muito baratos, os aditivos não representam um custo adicional. Esta afirmação baseia-se no fato de que o emprego dos aditivos pode resultar em reduções indiretas, como por exemplo, custos mão-de-obra para adensamento do concreto, melhoria na durabilidade e principalmente redução no consumo de cimento. Logo, além de proporcionar benefícios às propriedades do concreto, os aditivos podem auxiliar para a redução global dos custos.

Frente a uma vasta gama de aditivos existentes⁵, estima-se que cerca de 80% à 90% de todo o concreto produzido mundialmente faz uso de pelo menos um tipo de aditivo químico [MEHTA & MONTEI-

⁵ Kosmatka (2003) destaca a existência dos seguintes tipos: incorporadores de ar; redutores de água; aceleradores; retardadores; estabilizador de hidratação;; redutores e compensadores de retração; facilitador de bombeamento; modificadores de viscosidade; promotores de adesão e hidrofugantes, entre outros.

RO, 2008]. Considerando apenas o setor de CDC, estes valores aproximam-se e muito dos 100%, pois raramente encontram-se centrais de concreto que não fazem uso de aditivos.

No que tange a classificação, a NBR11768:1992 classifica os aditivos para concreto e argamassa em nove tipos, sendo cada um destes discriminado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos aditivos segundo a NBR11768:1992.

Sigla	Tipo	Sigla	Tipo	Sigla	Tipo
P	Plastificantes	PR	Plastificantes retardadores;	SP	Superplastificantes;
R	Retardadores	PA	Plastificantes aceleradores;	SPR	Superplastificantes retardador;
A	Aceleradores	IAR	Incorporadores de ar;	SPA	Superplastificantes acelerador.

Esta norma diferencia os aditivos plastificantes dos superplastificantes, levando em consideração a redução potencial de água promovida pelo emprego do aditivo. No caso dos plastificantes a redução mínima de água deve ser de 6,0%. Já para os superplastificantes, este valor deve ser de 12%.

Apesar de não ser considerado como um tipo específico na NBR11768:1992, é importante destacar a existência dos aditivos polifuncionais, pois estes, juntamente com os plastificantes e superplastificantes, são atualmente os aditivos mais empregados na produção de CDC. Nos itens que seguem, são apresentadas informações relativas aos principais tipos de aditivos empregados na produção do CDC.

- *Plastificantes*: denominados redutores de água, os aditivos plastificantes têm baixo custo e apresentam capacidade de redução do teor de água da ordem de 6,0% a 12,0%. A dosagem dos aditivos plastificantes gira em torno de 0,2% a 0,6% em relação à massa de cimento. O teor de sólidos dos plastificantes é de aproximadamente 30% à 40% [DRANSFIELD, 2003; MARTINS, 2005].
- *Superplastificantes*: denominados aditivos redutores de água de alta eficiência, os superplastificantes apresentam capacidade de redução do teor de água entre 20% e 30% com dosagens variadas entre 0,6 e 2,0% em relação à massa de cimento. O teor de sólidos dos superplastificantes gira em torno de 30% à 40% [MARTINS, 2005; DRANSFIELD, 2003 RAMACHANDRAN, 2002].
- *Polifuncionais*: O emprego deste vem sendo cada vez mais comum nas usinas de concreto com a prerrogativa de que atuam como

plastificantes em baixas dosagens e superplastificantes em altas dosagens (até 1,2% em relação à massa de cimento [WEIDMANN *et al*, 2006; SOUZA *et al*, 2006]). Cabe ressaltar que teores próximos do limite superior causam retardos consideráveis no tempo de início de pega.

No que tange aos custos dos aditivos, destaca-se que os polifuncionais têm custo ligeiramente superior ao dos aditivos plastificantes e inferior aos aditivos superplastificantes, o que representa mais um benefício para as centrais de concreto.

Em relação ao desempenho dos aditivos plastificantes e superplastificantes, estudos desenvolvidos por Silva *et al* (2009) indicam que, fixada a consistência inicial, os aditivos plastificantes – base química lignosulfonato – apresentam perda de fluidez considerável quando comparados com os de segunda geração – base química naftaleno e policarboxilato – (Figura 4). Cabe destacar que os estudos foram realizados em argamassa, todavia podem ser extrapolados para concreto.

Guimarães (2005) e Rixom (1999) indicam a mesma tendência, sendo a manutenção de consistência de aproximadamente 15 minutos para os aditivos de primeira geração e de 30 à 60 minutos para os de segunda geração. Em ambos os casos, a perda de abatimento das misturas produzidas com aditivo é superior à mistura sem aditivos.

Em se tratando de CDC, o controle e/ou manutenção do abatimento por um período prolongado deveria ser realizado durante a descarga do concreto por meio do uso de aditivos [RAMACHANDRAN, 2002]. Contudo, a utilização destes resulta em aumento dos custos de produção, pois exige a contratação de profissionais especializados e, por vezes, adaptação de equipamentos nos caminhões betoneira ou bomba de concreto. Este aumento do custo pode ser considerado o principal empecilho para o uso de aditivos para correção de abatimento nas centrais de concreto no Brasil. Além disso, destaca-se a dificuldade de previsão do teor de aditivo necessário para atingir o abatimento desejado.

O que se tem observado é o ajuste de abatimento com a adição de água. Todavia, é importante salientar que, caso este seja realizado de forma inadequada, a resistência mecânica especificada para o concreto pode ser comprometida conforme será discutido no item 3.3.1.

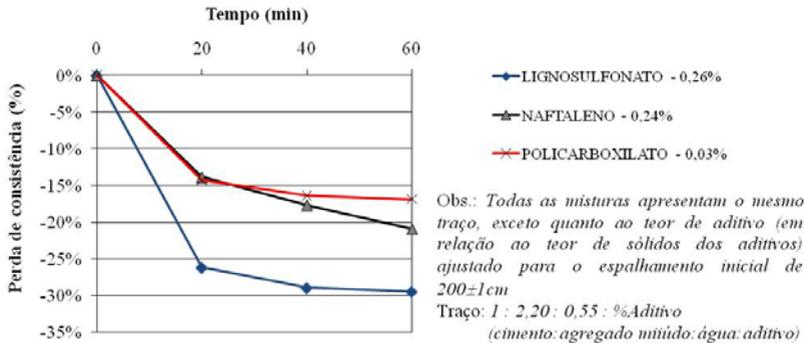


Figura 4 – Estudo comparativo do desempenho de aditivos para temperatura de 25°C [SILVA *et al*, 2009].

2.4 Centrais de Concreto

Uma central de concreto trata-se de um conjunto de instalações e equipamentos necessários para o desenvolvimento das etapas de produção de concreto, isto é, armazenamento, manuseio, proporcionamento dos materiais constituintes, homogeneização da mistura, transporte e lançamento do concreto. Além da produção do concreto, as centrais abrangem serviços de administração, vendas, faturamento, cobranças, logística, controle de qualidade, assessoria técnica, treinamento e aperfeiçoamento profissional [MARTINS, 2005].

As centrais de concreto apresentam os mais variados tipos de instalações podendo ser classificadas de acordo com diversos critérios, dentre eles destacam-se: disposição da central, controle de proporcionamento e mistura de concreto [NRMCA,2009; LOBO, C.L. & GAYNOR, R.D.,2006; CROMPTON, 2003; KOSMATKA,2003; MARTINS,2005].

2.4.1 Classificação das centrais de concreto

As centrais de concreto podem ser classificadas quanto à sua disposição, controle de proporcionamento e processo de mistura do concreto. Os detalhes referentes a cada uma dos tipos de centrais são apresentados nos itens que seguem.

2.4.1.1 Disposição da central

No que tange a disposição, segundo Martins (2005), as centrais de concreto podem ser classificadas em verticais, horizontais e mistas. Entretanto, a Associação Nacional de Concreto Dosado em Central dos Estados Unidos (2009) - NRMCA - sugere o uso de mais três grupos,

além dos apresentados por Martins (2005), para classificação das centrais, sendo eles: móveis, semi-permanentes e permanentes.

Acredita-se que as classificações apresentadas pelos diferentes autores sejam complementares, uma vez que, as centrais de diferentes disposições podem ser subdivididas em permanentes, semi-permanentes e móveis. Assim sendo, o autor propõe a classificação das centrais, quanto a sua disposição, conforme o esquema apresentado na Figura 5.

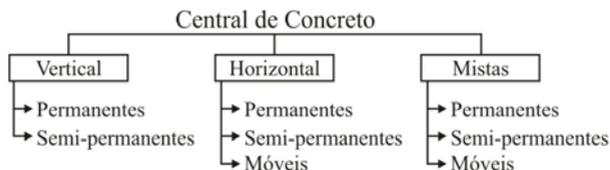


Figura 5 – Classificação das centrais de concreto quanto a sua disposição.

2.4.1.1.1 Centrais verticais

É considerado o modelo de central mais tradicional e trata-se de unidades mais robustas caracterizadas pela simplicidade dos acionamentos na linha de produção [NRMCA, 2009; MARTINS, 2005]. Tal simplicidade se reflete na reduzida motorização e conseqüente redução de desgaste de equipamentos. A estocagem do cimento é feita em silos e dos agregados em caixas, sendo o transporte deste feito sem o uso de correias transportadoras o que permite a redução do espaço físico ocupado pela central.

Apesar do menor espaço físico ocupado e uso de sistemas simplificados, as centrais verticais apresentam baixa mobilidade de equipamento, ou seja, tratam-se de unidades permanentes ou semi-permanentes, sendo recomendadas para obras de longa duração ou mercados definitivos [MARTINS, 2005].

As centrais verticais (Figura 6) são também conhecidas como centrais de gravidade em função do sistema de manuseio dos materiais, isto é, transporte e pesagem, para produção do concreto.



Figura 6 – Central Vertical ou de gravidade [STETTER, 2009]

2.4.1.1.2 Centrais horizontais:

As centrais horizontais (Figura 7) são unidades caracterizadas por uma maior quantidade de acionamentos motorizados, principalmente no que tange ao transporte de agregados, que é dado por meio de correias transportadoras, e maior complexidade de transmissão para a balança dosadora.

As unidades móveis (Figura 7b) são compostas por um caminhão com caixa individual de estoque de materiais. Com exceção do cimento, água e aditivos, os materiais são transportados para o misturador por um sistema de correias. Posteriormente, são adicionados a água e aditivos e dá-se a mistura do concreto.



(a)



(b)

Figura 7 – Centrais de concreto horizontais: (a) permanentes [LIEBHEER, 2009]; (b) móveis [KOSMATKA, 2003].

Quando comparadas as centrais verticais, as centrais horizontais requerem menor investimento inicial, pois as obras de fundação necessárias para a instalação da central são mais simples. Além disso, apresentam maior mobilidade de equipamentos o que permite classificá-las como centrais móveis. Cabe destacar que a existência de centrais horizontais permanentes não é descartada.

2.4.1.1.3 Centrais mistas

As centrais mistas apresentam características das centrais verticais e horizontais. A composição de uma central com tais características é dada de modo a obter melhor desempenho na linha de produção de concreto e redução de custos de aquisição, manutenção e instalação dos equipamentos necessários, por exemplo, silos, balanças, correias transportadoras, entre outros.

2.4.1.2 Controle de proporcionamento

Quanto ao controle de proporcionamento, as centrais podem ser classificadas em: manual, semi-automática e automática [LOBO, C.L. & GAYNOR, R.D.,2006]. Tal classificação diz respeito ao tipo de controle de processos da central e está relacionado à precisão das dosagens.

O sistema de proporcionamento dos materiais pode ser dado em massa, volume e fluxo de material por esteiras ou tubos. O proporcionamento em massa apresenta a maior precisão, seguida pelo proporcionamento em volume e fluxo de material. Na Tabela 2 são apresentados os métodos preferencialmente utilizados para cada um dos materiais que compõem o concreto.

Tabela 2 – Método preferencial para pesagem dos materiais [CROMPTON, 2003]

Materiais	Massa	Volume	Fluxo
Cimento	√	X	X
Agregados	√	X	X
Água	√	√	√
Aditivos	√	√	√

Atualmente observa-se a tendência de maximização do proporcionamento dos materiais em massa através da utilização de balanças automáticas dotadas de células de carga.

É importante destacar que a precisão do sistema de balanças utilizadas para pesar os materiais é de extrema importância e deve ser calibrado periodicamente, pois erros decorrentes neste processo podem comprometer as propriedades do concreto, principalmente quanto à resistência mecânica.

2.4.1.2.1 Controle manual

Centrais de controle manual apresentam sistema operado manualmente por um ou mais funcionários e depende da observação visual destes para execução de comandos segundo regras estabelecidas, por

exemplo, acionamento das correias transportadoras, balança, misturador, entre outros.

Como exemplo típico de central de controle manual destacam-se as centrais do tipo “Tow go”, também denominada “To go”. Tais centrais apresentam uma balança para a pesagem cumulativa de agregados (Figura 8a) que é alimentada diretamente por uma pá carregadeira. A transferência dos materiais para o caminhão é feita por um funcionário (balanceiro) que fica encarregado de abrir uma comporta na parte inferior desta balança acionando diretamente a correia transportadora, sendo o processo de mistura é realizado por caminhão betoneira (Figura 8b).



Figura 8 – Central “Tow go”: (a) balança; (b) correia transportadora e caminhão betoneira [CSM, 2009].

2.4.1.2.2 Controle semi-automático

Consiste no sistema que necessita ser acionado por um operador e, uma vez acionado, pausa automaticamente quando finalizado. Pode-se citar como exemplo o acionamento da pesagem de cimento. Tal sistema pode ser provido de travas de segurança com o objetivo de evitar descarga de material quando finalizada a etapa de pesagem aumentando, assim, a confiabilidade do sistema [LOBO & GAYNOR, 2006].

Destaca-se que em determinadas as centrais do tipo “Tow go”, apresentadas no item anterior, podem trabalhar como sistema de controle semi-automatizado.

2.4.1.2.3 Controle automático

As centrais de controle automático apresentam sistema de comandos completamente automatizados, ou seja, são regidos por uma central de computadores que, com base em uma determinada programação estabelecida, executam todas as etapas de produção do concreto.

No processo de produção de concreto nas centrais automatizadas, o balanceiro digita o código do traço e o volume a ser carregado no

computador. A partir deste ponto o computador realiza todo o processo, sendo que o balanceiro só irá interferir no processo caso constatado algum problema com a carga.

Os avanços tecnológicos na área de programação de computadores, principalmente quanto ao desenvolvimento de redes neurais e interface com os equipamentos, têm auxiliado para o desenvolvimento de novos modelos de controle. Tais modelos permitem identificar possíveis problemas de pesagem ao longo do processo de produção, controlar a ordem de adição dos insumos, o tempo de mistura dos materiais e temperatura no misturador [KOSMAKTA, 2003; DELIGIANNIS, 2008].

No que diz respeito aos custos associados a interfaces automáticas, apesar de serem inicialmente elevados, Lobo, C.L. & Gaynor, R.D.(2006) indicam a existência de uma tendência de redução de custos nos últimos anos.

Apesar do considerável custo inicial, é importante lembrar que a utilização dos sistemas automáticos permite maior precisão da produção do concreto o que resulta em uma produção mais homogênea e, conseqüentemente, em uma menor variabilidade de resultados. Além disso, garante maior facilidade na etapa de controle de qualidade do concreto, uma vez que tais sistemas possuem banco de dados que podem ser acessados de forma mais fácil para eventuais verificações.

Uma das vantagens dos processos automatizados, considerando a manutenção periódica dos mesmos, está associada à precisão no proporcionamento dos materiais. Neste caso, destaque pode ser dado ao proporcionamento do aditivo e umidade dos agregados utilizados.

Quanto ao proporcionamento de aditivos, estes são normalmente adicionados no caminhão betoneira com medidas de volume conhecido, por exemplo, baldes plásticos. Todavia, tal prática é passível de variações de quantidade de aditivo adicionado e resultam, por sua vez, em possível variação das propriedades do concreto. No caso das centrais com sistema automatizado, a adição do aditivo é dada através de bombas injetoras que permitem maior precisão na quantidade de aditivo adicionado.

No que tange a determinação do abatimento⁶, as centrais mais modernas fazem uso de caminhões betoneira dotados de torquímetros que facilitam a determinação do abatimento do concreto sem a necessidade da realização do ensaio de abatimento de tronco de cone. Tal processo auxilia na redução da influência do operário na execução do en-

⁶ Os ensaios de campo utilizados para a determinação do abatimento do concreto são apresentados e discutidos no item 3.2.1.

saio e, caso associado a correção de abatimento⁷ com adição de aditivos, permite redução substancial na variabilidade dos resultados.

Entretanto, é importante destacar que tais equipamentos devem ser constantemente calibrados, especialmente para a primeira carga de concreto de um determinado dia de produção. Tal afirmativa tem por base a experiência prática que permite afirmar que o valor de torque, para um determinado abatimento, pode variar de um dia para o outro.

No tocante ao controle de umidade dos agregados, as centrais automatizadas mais modernas utilizam sistemas de capacitores, que permitem a determinação e correção da umidade para cada carga de agregado realizada. Nas centrais menos equipadas, a determinação da umidade, realizada uma ou duas vezes ao longo do dia, é dada com base em amostras retiradas da pilha de agregados. Esta medida pode ser considerada arriscada, pois o teor de umidade do agregado varia ao longo da altura da pilha e, caso os depósitos de agregados não sejam adequadamente uniformizados, erros na determinação da umidade podem ocorrer e contribuir para a variabilidade do processo.

É importante destacar que a correção de umidade dos agregados é de elevada importância, pois, caso efetuada de forma inadequada, pode resultar em variações nas propriedades do concreto conforme será discutido no item 3.3.1.

2.4.1.3 Mistura do concreto

A classificação das centrais quanto à mistura do concreto é dada com base no tipo de equipamento de mistura e processo de mistura utilizado. Neste caso, as centrais podem ser classificadas como: central dosadora e central dosadora misturadora [MARTINS,2005]. Nas centrais dosadoras misturadoras o processo é realizado total ou parcialmente em equipamento estacionário. Já nas centrais dosadoras a mistura se dá no caminhão betoneira.

A possibilidade de diferentes tipos de produção permite dividir as centrais dosadoras misturadoras em dois grupos: concreto totalmente produzido e parcialmente produzido na central [NRMCA,2009; CEMENT ORG, 2009; LOBO & GAYNOR, 2006; KOSMATKA, 2003]. As características referentes aos tipos de centrais de concreto apresentadas são discutidas nos itens que seguem.

2.4.1.4 Central dosadora misturadora

2.4.1.4.1 Concreto totalmente misturado na central

⁷ Detalhes quanto à correção de abatimento serão discutidos nos itens 3.2.2.1 e 3.2.2.2.

Compreende as centrais que realizam o processo de mistura em misturador estacionário que descarrega o concreto nos veículos de transporte, neste caso, caminhões-betoneira e caminhão do tipo basculante, que conduzem o concreto à obra.

Tais centrais permitem maior capacidade de produção e controle do processo de mistura, pois apresentam procedimento automatizado e trabalham, na maioria das vezes, com sistema de carga pronta. Neste caso, a entrega do concreto é feita sem a realização de redosagens, ou apenas redosados com uso de aditivos. A utilização da carga pronta contribui para a eliminação da necessidade de motoristas tecnicamente qualificados, pois o caminhão betoneira atua apenas como unidade de transporte e não mistura, e garantia de aumento da vida útil dos caminhões em função do menor desgaste [LOBO & GAYNOR, 2006].

Uma vez que as propriedades do concreto no estado fresco são influenciadas pela temperatura ambiente, conforme será apresentado no capítulo 3, em países com o Brasil e outros de clima predominantemente tropical, a utilização da carga pronta torna-se um desafio frente às elevadas temperaturas experimentadas ao longo do ano. Assim sendo, torna-se necessária a redosagem do concreto com adição de água e/ou aditivo.

Em países de clima mais ameno ao longo do ano, como é o caso de alguns países da Europa, estima-se que quase 100% da produção de CDC é realizado pelo processo de mistura na central [LOBO & GAYNOR, 2006].

Além das vantagens citadas anteriormente, pode-se destacar ainda a possibilidade de transporte de maiores volumes de concreto no caminhão betoneira. Segundo a ASTM C 94, a capacidade de transporte do caminhão betoneira é de 80% do volume do balão quando o concreto é produzido completamente em central misturadora e de 63% para os demais casos. Cabe lembrar o percurso realizado e limites de carga nas rodovias também devem ser considerados como fatores limitantes do volume de concreto no caminhão betoneira.

Como desvantagem, as centrais com misturadores estacionários geralmente apresentam maior gabarito vertical e espaço físico quando comparadas com os demais tipos de centrais. Tal fato deve-se a necessidade de uma central de mistura, geralmente situada imediatamente abaixo do silo de cimento conforme apresentado na Figura 9.

Além disso, destaca-se um relativo aumento no custo total de produção, pois, no Brasil, as centrais misturadoras devem pagar impos-

tos sobre serviço (ISS⁸) e sobre produto (IPI⁹), ao passo que as centrais dosadoras pagam apenas ISS.



Figura 9 – Central de Concreto com misturador estacionário [KOSMAT-
KA,2003].

A produção total do concreto nos misturadores estacionários é também denominada como mistura via úmida [CROMPTON, 2003], ou ainda, processo como mistura completa em equipamento estacionário [NBR7212:1984]. Tal processo pode ser realizado através do uso de misturadores que têm ação por efeito de queda (gravitacional), eixo forçado ou combinação de ações.

Em função da elevada eficiência de mistura¹⁰, os misturadores de eixo vertical forçado eram os mais populares nas centrais de concreto. Todavia, este tipo de misturador tem sido pouco utilizado em função dos custos adicionais de manutenção que decorre do elevado desgaste das pás misturadoras.

Atualmente, o misturador de eixo inclinado é o mais comum nas centrais dosadoras misturadoras de concreto. Entretanto, estas têm apresentado grande interesse nos misturadores de eixo inclinado com rotação reversível devido ao baixo tempo de ciclo de mistura, menor necessidade de manutenção e reduzido ruído gerado [LOBO & GAYNOR, 2006].

⁸ ISS - Imposto sobre serviço de qualquer natureza.

⁹ IPI – Imposto sobre produto industrializado.

¹⁰ O conceito de eficiência de mistura é usado para qualificar a capacidade de um misturador em produzir um concreto homogêneo [CHIARA, 2001]. De acordo com Charonnat, Y. apud Chiara, F.F. (2001) um misturador pode ser considerado eficiente “se o mesmo é capaz de distribuir todos os constituintes uniformemente dentro do misturador sem favorecer um ou outro”.

2.4.1.4.2 Concreto parcialmente misturado na central

Compreende as centrais que realizam uma parte do processo de mistura em misturador estacionário e outra em caminhões-betoneira responsáveis pela finalização do processo de mistura e transporte do concreto até a obra. Este processo é também denominado mistura semi-úmida [CROMPTON, 2003].

A utilização deste procedimento visa aumentar o tempo de vida útil dos misturadores e reduzir o tempo de ciclo de mistura. Neste caso, procede-se com a produção de uma argamassa nos misturadores estacionários e posterior adição dos agregados graúdos, juntamente com a argamassa, no caminhão betoneira [CROMPTON, 2003, LOBO & GAYNOR, 2006].

A necessidade de redução de custos de manutenção e otimização do processo de produção pode fazer com que uma central de concreto com misturador estacionário possa trabalhar ora com mistura total ora com mistura parcial do concreto. Em ambos os casos, pode-se fazer uso do conceito de carga pronta de modo que redosagens sejam evitadas.

Cabe destacar que a NBR7212:1984 considera o concreto misturado parcialmente na central aqueles produzidos em caminhão betoneira e não em misturador estacionário. Logo, o concreto produzido parcialmente em misturador estacionário deve ser considerado, segundo a norma, na mesma categoria do item 2.4.1.4.1.

2.4.1.5 Central Dosadora

2.4.1.5.1 Concreto misturado em caminhão betoneira

Nas centrais dosadoras, o concreto é complementemente misturado no caminhão betoneira. Os materiais são adicionados em ordem conveniente no caminhão e então misturados. É importante destacar que a ordem, velocidade de rotação e volume de mistura utilizados devem obedecer às especificações dos equipamentos ou conforme indicado por experiência [MARTINS, 2005; KOSMATKA, 2003].

O processo de produção de concreto em caminhões betoneira é também definido como mistura via seca [CROMPTON, 2003]. O caminhão betoneira é colocado em velocidade de mistura¹¹ durante a carga dos materiais e a água prevista no traço é total ou parcialmente adicionada na central. Durante o transporte, o caminhão betoneira permanece misturando o concreto em velocidade de agitação¹².

¹¹ a velocidade de mistura compreende valores entre 6,0 e 18,0 rpm [ASTM C 94];

¹² a velocidade de agitação compreende valores entre 2,0 e 6,0 rpm [ASTM C 94];

Assim sendo, o concreto produzido em caminhão betoneira pode ser dividido em dois tipos: misturado no pátio da central, o que caracteriza o sistema de carga pronta discutido anteriormente, ou redosado em obra. Neste caso, deve-se garantir controle adequado da quantidade de água adicionada na obra de modo que o valor especificado no traço não seja ultrapassado.

Quando comparadas com as centrais misturadoras, as centrais dosadoras apresentam vantagens associada a necessidade de menor espaço físico e maior volume de produção. Todavia, o processo de produção apresenta menor homogeneidade em função da falta de controle quanto ao tempo de mistura e eficiência do caminhão betoneira. Conseqüentemente, observa-se uma maior variabilidade de resultados.

O uso de caminhões betoneira para mistura e transporte é ainda o método mais empregado para a produção de concreto no Brasil. Por outro lado, nos EUA a maioria das unidades de CDC faz uso dos caminhões betoneira apenas para o transporte do concreto previamente misturado na central [MEHTA & MONTEIRO, 2008].

2.4.2 Escolha do tipo de central

Na Figura 10 é apresentado um resumo da classificação das centrais segundo os diversos critérios apresentados.

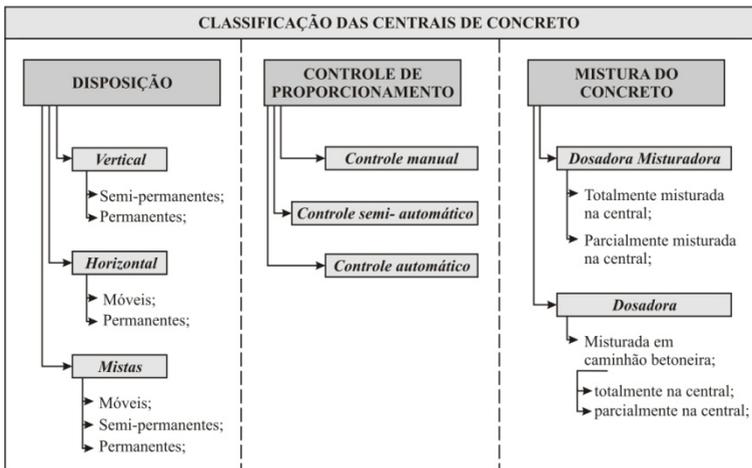


Figura 10 – Classificação das centrais de concreto.

É importante salientar que os critérios de classificação das centrais apresentados na Figura 10 podem ser combinados. Portanto, nota-se a existência dos mais variados tipos de centrais. Todavia, não se pode

apontar o melhor ou pior tipo de central de concreto, pois o desempenho destas está também associado a diversos fatores externos que devem ser considerados de modo à oferecer melhor rentabilidade operacional e financeira. Os critérios de escolha de uma central de concreto devem levar em consideração fatores como [CROMPTON, 2003; KOSMATKA, 2003]:

- Espaço físico disponível;
- quantidade de concreto a ser produzido, ou seja, trata-se de uma demanda pontual ou atendimento ao mercado consumidor;
- demanda de concreto da região consumidora;
- distância de transporte;
- custos de aquisição de equipamentos e manutenção dos mesmos.

Além dos critérios citados, é importante destacar que, no Brasil, as centrais dosadoras misturadoras são consideradas empresas que fornecem produto, ao passo que as centrais dosadoras fornecem apenas um serviço. Sendo as tarifas sobre produtos superiores às tarifas sobre serviços, nota-se um maior número de centrais dosadoras frente a centrais dosadoras misturadoras.

Assim sendo, além dos fatores citados anteriormente, as questões tributárias também devem ser levadas em consideração para a definição do tipo de central a ser utilizada.

2.4.3 Equipamentos de transporte e descarga do CDC em obra

Nos itens que seguem, são apresentados os principais tipos de equipamentos utilizados para transporte da central para a obra e descarga do CDC em obra.

2.4.3.1 Equipamentos de transporte

2.4.3.1.1 Caminhões basculantes

Os caminhões do tipo basculante são utilizados nas centrais dosadoras misturadoras onde o concreto é totalmente produzido em misturador estacionário. Este tipo de caminhão apresenta a vantagem de transportar um maior volume de concreto quando comparado com o caminhão betoneira. Entretanto, a utilização do caminhão basculante apresenta limitações principalmente quanto à possibilidade de segregação dos constituintes do concreto (tanto menor quanto mais coesa for a mistura), bem como à grande largura de descarga em caçambas comuns [TANGO, 2005]. Tais inconvenientes podem ser corrigidos com o uso de paletas mecânicas no fundo do caminhão, que permitem a agitação do concreto, e adaptação do trecho de descarga com calhas ou comportas.

2.4.3.1.2 Caminhões betoneira

O caminhão betoneira é o principal equipamento de transporte do CDC. Este tipo de caminhão é provido de um balão rotativo com eixo inclinado (Figura 11a). No interior deste (Figura 11b) há um par de lâminas, que contornam o balão em uma configuração helicoidal no sentido da cabine do motorista (parte anterior do caminhão) para o trecho de descarga do concreto (parte posterior). Tal configuração permite que o concreto seja misturado quando o balão gira em um sentido, compensando a tendência de segregação no transporte, e descarregado quando o balão gira no sentido contrário [NRMCA, 2009; DEWAR, J.D. & ANDERSON R., 2004].

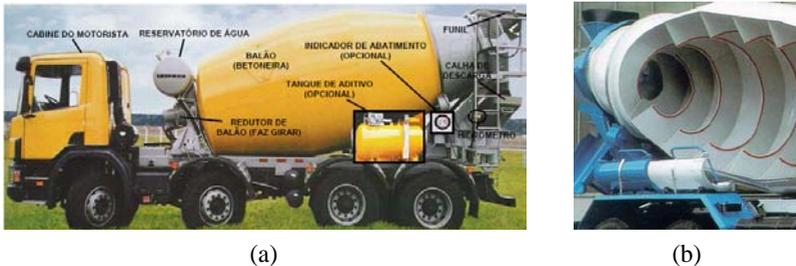


Figura 11 – Caminhão betoneira: (a) caminhão betoneira; (b) interior do balão rotativo ; [MARTINS, 2005];

Geralmente a descarga do concreto no caminhão betoneira é realizada na parte posterior do mesmo, todavia a descarga do concreto na parte anterior, próximo à cabine do motorista também é possível [NRMCA, 2009; SHAPIRA, 2008].

De acordo com Shapira, A. (2008), os caminhões betoneira com descarga pela parte anterior, em função formato mais alongado do balão e da configuração do caminhão, apresentam uma série de vantagens, como por exemplo: acesso a trechos mais estreitos e facilidade de acesso e visualização do ponto de descarga pelo motorista. Entretanto, este equipamento apresenta custo superior se comparado com o caminhão com descarga posterior sendo, por esse motivo, pouco utilizado. Na Figura 12 são apresentados ambos os modelos de caminhão betoneira.

Os caminhões betoneira são também comercializados em versões acopladas com correias transportadoras ou bombas de lançamento de concreto (Figura 13). Todavia, devido ao elevado custo de aquisição, estes tipos de caminhões são recomendados para centrais que atendem grande demanda de concreto



(a)



(b)

Figura 12 – Caminhão betoneira com diferentes tipos de descarga: (a) descarga pela parte posterior; (b) descarga pela parte anterior [SHAPIRA, 2008];



(a)



(b)

Figura 13 – Caminhão betoneira com equipamentos de lançamento acoplados: (a) correia transportadora [LIEBHERR, 2009]; (b) bomba de concreto [STETTER, 2009; SCHWING,2009]

3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

3.1 Considerações preliminares

Imediatamente após a mistura do concreto, este passa por três fases distintas: estado fresco, pega e estado endurecido. Embora o concreto no estado fresco tenha apenas caráter transitório, como destaca Neville (1997), é importante lembrar que as propriedades nesta etapa devem ser controladas, pois são de extrema importância para as propriedades no estado endurecido.

De acordo com Mehta & Monteiro (2008), o estado fresco pode ser definido como o período ao longo do qual o concreto apresenta consistência plástica. Apesar da inexistência de um consenso quanto à duração do estado plástico do concreto, o presente autor considera este como o período ao longo do qual o concreto pode ser adequadamente manuseado, ou seja, misturado, lançado e adensado na estrutura. Nesta primeira etapa, o concreto é caracterizado principalmente por sua consistência e homogeneidade de mistura.

A sucessiva perda de plasticidade e desenvolvimento de resistência, associada à evolução das reações de hidratação do cimento, dá início a fase de pega e posterior endurecimento. Nesta última etapa, o concreto é caracterizado por sua resistência mecânica, principalmente quando solicitado à esforços de compressão.

No CDC, é importante que o concreto atenda determinadas especificações quanto às propriedades no estado fresco e endurecido. De modo geral, a compra deste é realizada mediante a especificação da dimensão máxima do agregado graúdo, consistência e resistência à compressão. Contudo, existe uma série de propriedades, consideradas relevantes no âmbito do CDC, que também devem ser consideradas. Tais como, a perda de trabalhabilidade, segregação, exsudação, massa específica do concreto, tempo de início de pega e temperatura do concreto.

Neste capítulo, além da trabalhabilidade e resistência à compressão, serão discutidas as propriedades do concreto destacadas acima. Ao mesmo tempo, considerando o processo de produção nas centrais de concreto, serão abordados os principais fatores que afetam cada uma destas propriedades.

É importante destacar que existem diversas propriedades no estado fresco e endurecido do concreto que poderiam ser apresentadas. Todavia, em virtude do tema do presente trabalho, optou-se pelo enfoque às propriedades consideradas relevantes ao CDC.

A definição dos principais fatores que afetam o desempenho do concreto no estado fresco e endurecido são fundamentais para o enten-

dimento das fontes de variabilidade observadas no processo de produção do CDC e serão utilizadas como base para o programa experimental apresentado no Capítulo 5.

3.2 Propriedades do concreto no estado fresco

3.2.1 *Trabalhabilidade*

De acordo com a ASTM C125-03, define-se trabalhabilidade como a energia necessária para manipular o concreto fresco sem perda considerável de homogeneidade. O ACI, por sua vez, define trabalhabilidade como facilidade e homogeneidade com que o concreto fresco seja manipulado desde a etapa de mistura a acabamento final [ACI116R-00].

Neville (1997) apud Granville (1947) apresenta uma definição mais quantitativa do termo trabalhabilidade e descreve a mesma como o trabalho necessário para garantir máxima compactação do concreto. Observa-se que essa definição considera apenas a etapa de adensamento do concreto e não as etapas de mistura, transporte e acabamento considerados nas definições apresentadas inicialmente.

Independente dos termos e definição utilizada, nota-se que a trabalhabilidade é relativa à aplicação desejada ao concreto. Logo, um mesmo concreto pode ser considerado trabalhável para ser empregado, por exemplo, em fôrmas com baixa densidade de armadura, e não trabalhável para ser empregado em fôrmas de alta densidade de armadura.

Diante do exposto, no presente trabalho, a trabalhabilidade será considerada como a facilidade de manuseio do concreto em seu estado fresco, ou seja, lançamento, adensamento e acabamento, e manutenção de sua homogeneidade.

Uma vez que o concreto necessita de uma determinada mobilidade e, ao mesmo tempo, homogeneidade para que seja considerado trabalhável, nota-se que a trabalhabilidade trata-se de uma propriedade composta. De acordo com Mehta & Monteiro (2008), a trabalhabilidade apresenta pelo menos dois principais componentes, sendo eles:

- **Fluidez** – descreve a facilidade de mobilidade do concreto;
- **Coesão** – descreve a resistência à exsudação e segregação;

Uma vez que a trabalhabilidade consiste em uma combinação de fluidez e coesão, o método mais adequado de determinação dessa propriedade seria através de ensaios reológicos, ensaios de dois pontos¹³, que pudessem quantificar a viscosidade e tensão de escoamento do con-

¹³ São denominados ensaios de dois pontos os ensaios que por meio de duas medidas explicam a trabalhabilidade do concreto, por exemplo, o ensaio reológico que define os valores de viscosidade e tensão de escoamento [DOMONE, 2008].

creto. Todavia, tais métodos apresentam técnicas muito sofisticadas e de elevado custo o que dificulta a aplicação e aceitação destas em obra [AÏTCIN, 2000].

Dentre os métodos mais empregados em campo para a determinação quantitativa da trabalhabilidade do concreto destaque pode ser dados aos ensaios de abatimento de tronco de cone e o slump-flow. Este fato deve-se a relativa simplicidade na execução de ambos os ensaios.

De acordo com a NBR NM 67:1998, o procedimento de ensaio de abatimento de tronco de cone consiste no preenchimento de um molde tronco cônico em três camadas, cada uma das quais apiloadas uniformemente vinte e cinco vezes com haste de aço padronizada. Uma vez preenchidas as camadas, o molde é erguido de forma firme, sem torção ou deslocamento lateral, num intervalo de 2 a 5 segundos. O abatimento do concreto será dado pela altura que a massa de concreto se deslocou em relação aos 300 mm de altura do molde. Destaca-se que, caso ocorra desmoronamento ou a parte superior esteja muito fora de nível, torna-se necessária a realização de um novo ensaio.

No que tange ao ensaio slump-flow, faz-se uso do mesmo molde tronco cônico, todavia este é preenchido sem a realização de qualquer tipo de compactação. O resultado do ensaio é dado pela média aritmética de duas medidas perpendiculares do diâmetro de espalhamento do concreto [DOMONE, 2008].

O ensaio de slump-flow é utilizado para concretos de fluidez elevada, ou seja, concretos auto-adensáveis, pois o ensaio de abatimento, para concretos com abatimento acima de 200 mm, apresenta baixa sensibilidade conforme apresentado na Figura 14 [DOMONE, 2008].

Cabe destacar que, apesar de amplamente utilizado, o ensaio de abatimento não é uma boa medida de trabalhabilidade, pois este mede a facilidade de adensamento do concreto por ação de seu peso próprio, ou seja, não reflete as condições dinâmicas que o concreto está sujeito durante sua aplicação [MEHTA & MONTEIRO, 2008].

Mesmo não medindo a trabalhabilidade, Mehta & Monteiro (2008) e Neville (1997) destacam que o ensaio de abatimento é um bom indicativo da consistência ou das características de fluidez do concreto. Além disso, o ensaio de abatimento é conveniente para controlar a uniformidade na produção do concreto uma vez que é bastante sensível à variação das propriedades dos materiais [POPOVICS, 1994]. Entretanto, uma vez que há uma baixa correlação entre resistência à compressão e abatimento do concreto [SHILSTONE, 1988 *apud* MARTINS, 2005], este ensaio não deve ser empregado como único parâmetro de controle

da qualidade do concreto. Fatores como teor de ar incorporado, temperatura de mistura e tempo de transporte também devem se considerados.

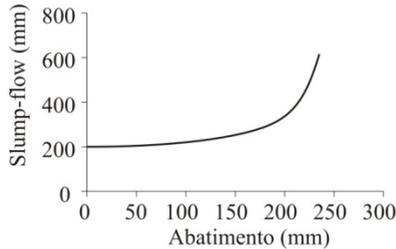


Figura 14 – Relação entre o ensaio de abatimento e slump-flow [Adaptado de DOMONE, 2008].

Apesar das críticas realizadas quanto à influência do operador, neste caso, o motorista do caminhão betoneira, nos resultados do ensaio de abatimento, Popovics (1994) apresenta resultados de um estudo da variabilidade deste ensaio e comprova que o operador, adequadamente treinado, apresenta uma pequena interferência (cerca de 8,3 %) quando comparado com o efeito da variação das propriedades dos materiais na composição do concreto (cerca de 86,1 %). A parcela restante de 5,6 % de variação é atribuída a erros aleatórios de amostragem. Tais resultados indicam que o ensaio de abatimento pode ter o efeito do operador reduzido, quando este for treinado adequadamente e conscientizado da necessidade de realização do ensaio como prática de controle de qualidade do concreto.

A importância da trabalhabilidade do concreto está intimamente ligada ao desempenho observado em seu estado endurecido. Concretos aplicados com uma trabalhabilidade adequada permitem adensamento mais eficiente e conseqüentemente que o concreto atinja sua resistência potencial em função da redução dos vazios no seu interior [NEVILLE, 1997].

Na Figura 15a, é apresentada a relação entre a massa específica relativa¹⁴ e a resistência relativa¹⁵ do concreto. Neste, nota-se que a presença de vazios, sejam estes provenientes de ar incorporado ou espaços vazios existente devido à problemas de adensamento, é responsável por uma redução considerável na resistência do concreto. Na Figura 15b, é apresentada a redução percentual no módulo de elasticidade e resistência

¹⁴ Relação entre a massa específica real de um concreto e a massa específica desse mesmo plenamente adensado [NEVILLE, 1997];

¹⁵ Relação entre a resistência de um concreto parcialmente adensado e a do concreto plenamente adensado [NEVILLE, 1997];

à flexão do concreto devido à presença de vazios resultantes de adensamento inadequado.

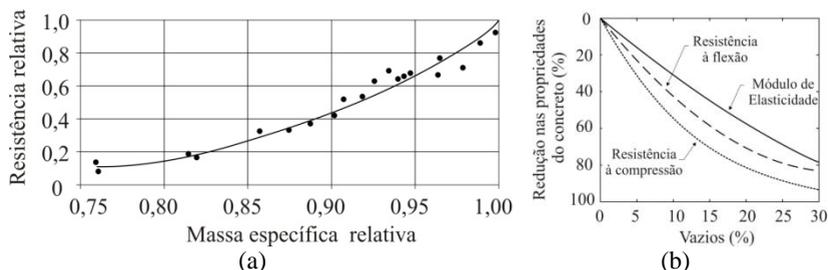


Figura 15 – Importância da trabalhabilidade adequada no concreto: (a) efeito do adensamento inadequado na resistência à compressão [NEVILLE, 1997]; (b) efeito do adensamento inadequado no módulo de elasticidade e resistência à flexão [KOSMATKA, 2003].

Além da quantidade de ar aprisionado, fatores como o consumo de água, consumo e tipo de cimento, propriedades dos agregados, uso de aditivos e adição, afetam a trabalhabilidade inicial do concreto [MEHTA & MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 1997; GUIMARÃES, 2005]. Aïtcin (2000) ressalta que, no ponto de vista da reologia do concreto, tais fatores podem ser divididos em dois grupos: aqueles relacionados ao esqueleto dos agregados e ao comportamento reológico da pasta de cimento.

No que tange ao esqueleto dos agregados, os principais fatores que podem ser citados são a relação agregado/cimento, distribuição granulométrica e forma dos agregados. Além destes, destaca-se a proporção entre as frações de agregado graúdo e agregado miúdo do concreto, bem como composição de agregados miúdos naturais com de britagem.

Neville (1997) destaca que a influência dos agregados sobre a trabalhabilidade diminui com o aumento do teor de cimento e possivelmente desaparece com relação agregado/cimento baixas.

No que tange à reologia da pasta de cimento, esta é dominada principalmente pela relação água/aglomerantes. Quanto mais alta é esta relação, maior é o espaço físico entre as partículas e conseqüentemente menor o atrito interno, ou seja, menor é o efeito no abatimento do concreto [AÏTCIN, 2000]. É importante observar que concretos com elevada relação água/aglomerantes apresentam uma maior tendência de exsudação e segregação em função da redução da coesão da mistura.

Em se tratando de cimentos de maior finura, observa-se a redução da fluidez da mistura e aumento de coesão, para uma mesma demanda de água, em função do aumento da superfície específica do cimento.

Conforme citado no item 2.3.3, estima-se que quase cerca de 100% do concreto produzido em central faz uso de pelo menos um tipo de aditivo. Soma-se à estes o uso de adições na produção do CDC. Assim sendo, a influência destes materiais na trabalhabilidade inicial do concreto deve ser considerada.

Quanto às adições, no caso das pozolanas, Guimarães (2005) e Mehta (2008) indicam que a utilização destas apresenta tendência de redução da exsudação e aumento da fluidez do concreto. No caso das adições inertes, como é o caso do filer, a mesma tendência é observada.

No que tange aos aditivos, para uma demanda de água constante, a incorporação de aditivos redutores de água, seja este plastificante ou superplastificante, contribui para o aumento da fluidez do concreto. A mesma afirmação pode ser feita para os aditivos incorporadores de ar. Contudo, Neville (1997) destaca que a incorporação de ar resulta em aumento de trabalhabilidade mais significativo para misturas ásperas e pouco trabalháveis. Na Figura 16, é apresentada a redução da demanda de água devido à incorporação de ar.

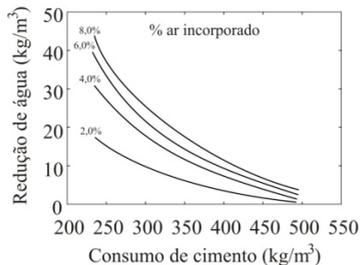


Figura 16 – Redução da demanda de água devido à incorporação de ar [NEVILLE, 1997].

Além dos fatores associados ao esqueleto granular, reologia da pasta de cimento e materiais utilizados, Soroka (2004) e Kosmatka (2003) destacam o efeito da temperatura na trabalhabilidade do concreto. Tais autores indicam que um aumento de temperatura de 10°C necessita de ajuste do consumo de água de 5,0 l/m³ a 6,0 l/m³ de modo que a trabalhabilidade do concreto seja mantida constante. Além disso, relatam que este aumento do consumo de água seja responsável por uma redução de resistência de cerca de 12,0% a 15,0%, caso a relação a/c não seja corrigida. Na Figura 17, é apresentada a relação entre a demanda de

água e o aumento de temperatura para concretos com a mesma trabalhabilidade.

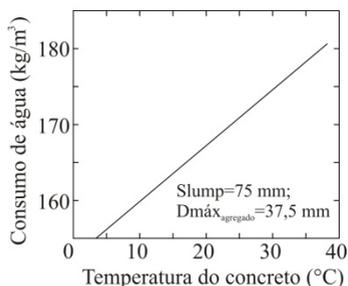


Figura 17 – Relação entre demanda de água e o aumento de temperatura para concretos com a mesma trabalhabilidade [KOSMATKA, 2003].

Em se tratando de centrais de concreto, este efeito deve ser considerado uma vez que a produção de concreto, neste caso, pode estar submetida a diferentes condições climáticas ao longo do ano. Assim sendo, pode-se observar variações de trabalhabilidade inicial sem que exista necessariamente variação no proporcionamento e tipos de materiais utilizados.

Como as propriedades dos agregados e materiais cimentícios também afetam a trabalhabilidade inicial do concreto, é de extrema importância que as centrais realizem verificação destes de modo identificar eventuais variações de produção. Uma vez identificada, a central pode efetuar correções na composição dos concretos produzidos e evitar inconvenientes nas propriedades do concreto, ou ainda, entrar em contato com os fornecedores de modo a obter material de qualidade controlada.

Em vista da necessidade de transporte do CDC da central à obra, é de extrema importância que a trabalhabilidade inicial, apresentada ao longo deste item, possa ser obtida não apenas após a mistura do concreto, mas sim mantida durante o maior intervalo de tempo possível. A propriedade que estabelece a perda de consistência do concreto com o passar do tempo é definida como perda de abatimento e será apresentada no item que segue.

3.2.2 Perda de trabalhabilidade

A perda de trabalhabilidade consiste na redução da fluidez do concreto ao longo do tempo. Tal redução é comum a todas as misturas de concreto e ocorre devido a perda da água livre que é consumida por efeitos combinados de reações de hidratação do cimento, adsorção na superfície dos produtos hidratados e evaporação. No caso das misturas com aditivos, a perda de trabalhabilidade ocorre devido aos fatores cita-

dos anteriormente somados ao efeito de adsorção dos aditivos, com conseqüente redução de seu efeito dispersivo, na superfície dos produtos hidratados [MEHTA & MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 1997].

A perda de trabalhabilidade do concreto é de extrema importância para as centrais de concreto, pois o processo de produção do CDC inclui um determinado intervalo de tempo devido à necessidade de transporte da central à obra. A determinação desta pode ser dada através da realização do ensaio de abatimento em intervalos de tempo após a mistura do concreto. Recomendações para a realização deste ensaio podem ser verificadas na NBR10342:1992. É importante destacar que, para os estudos de dosagem do CDC, torna-se interessante simular as condições ambientais as quais o concreto estará exposto durante a produção, transporte e acabamento de modo a obter resultados mais representativos e reduzir a necessidade de correções não previstas [GUIMARÃES, 2005]. Nos itens que seguem, são apresentados os principais fatores que afetam a perda de trabalhabilidade do concreto.

Consumo e tipo de cimento:

Concretos com maior consumo de cimento ou o uso de cimentos de maior finura apresentam maior velocidade de reação e, conseqüentemente, um enrijecimento mais rápido é observado [COLLEPARDI, 1998]. Além disso, Mehta & Monteiro (2008) destacam que cimentos com maior quantidade de C_3A e álcalis apresentam maior taxa de perda de trabalhabilidade devido formação de maior quantidade de etringita e C-S-H.

Desgaste e umidade dos agregados:

Agregados com maior tendência de fragmentação devido ao efeito de atrito gerado durante o processo de mistura tendem a formar uma quantidade não prevista de partículas finas. Estas, por sua vez, são responsáveis pelo aumento do consumo de água livre e conseqüente aumento da perda de abatimento do concreto [DEWAR, J.D. & ANDERSON R., 2004].

Quanto a umidade, Neville (1997) destaca que o uso de agregados secos resulta em maior perda de trabalhabilidade devido a absorção da água causada por estes.

Consumo de água e abatimento inicial:

Concretos com maior trabalhabilidade inicial oriunda de maior consumo de água apresentam uma menor taxa de perda de abatimento. Tal fato ocorre, pois a maior trabalhabilidade inicial compensa a perda de abatimento e o maior consumo de água resulta em aumento da quantidade de água disponível para evaporação ou consumo pelas reações de

hidratação [MEHTA & MONTEIRO, 2008; DEWAR,J.D. & ANDERSON R., 2004].

Condições ambientais:

Ambientes de baixa temperatura tendem a reduzir a velocidade de reações, conseqüentemente, observa-se uma menor taxa de perda de abatimento. Além da temperatura, é importante considerar a umidade ambiente, uma vez que a perda de trabalhabilidade inicial é também governada pela evaporação da água. Assim sendo, ambientes de maior umidade contribuem para reduzir a taxa de perda de trabalhabilidade. Em temperaturas elevadas e baixas umidades, ocorre efeito contrário ao exposto anteriormente (Figura 18).

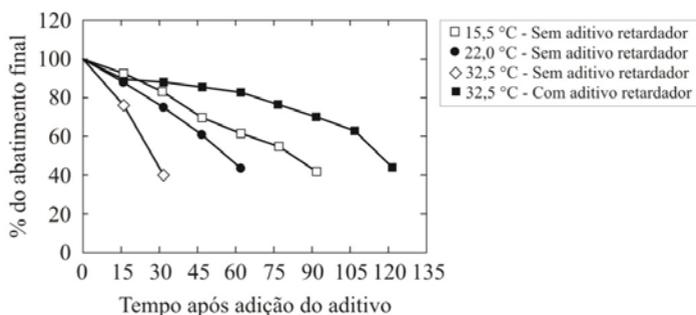


Figura 18 – Efeito da temperatura na taxa de perda de abatimento do concreto [RIXOM, 1999]

Além de resultar no aumento da taxa de perda de abatimento, Soroka (1998) e Kosmatka (2003) destacam que temperaturas mais elevadas são responsáveis pelo aumento da demanda de água para uma mesma trabalhabilidade (Figura 17). Esta influência indica a necessidade de cuidados na redosagem da quantidade de água para obtenção da trabalhabilidade desejada, uma vez que a adição de quantidade excessiva pode afetar as propriedades do concreto no estado endurecido. Detalhes quanto a redosagem de água para manutenção da trabalhabilidade serão apresentados mais adiante.

Volume de concreto:

Maiores volumes de concreto apresentam uma menor relação área exposta por volume, assim sendo, são menos suscetíveis a evaporação. Por outro lado, maiores volumes de concreto apresentam uma maior inércia térmica e conseqüentemente aumento de temperatura. A combinação destes efeitos pode resultar em maior ou menor perda de trabalhabilidade. Dewar,J.D. & Anderson R. (2004) destacam que, apesar do efeito de elevação de temperatura existir, maiores volumes de concreto

perdem trabalhabilidade em menor taxa quando comparados a menores volumes.

Emprego de adições:

Segundo Aïtcin (2000), o emprego de cinzas volantes é uma boa solução para a redução da perda de trabalhabilidade. Tais materiais apresentam reações mais lentas que os compostos do cimento. Soma-se a este efeito, a possibilidade de redução do consumo de cimento e consequente enrijecimento mais lento do concreto. Todavia, Ravina (1984) indica que a redução da perda de abatimento não pode ser explicada pela redução do consumo de cimento, uma vez que ensaios onde se substituiu uma parcela do cimento por areia fina não resultaram em redução da taxa de perda de abatimento (Figura 19).

Em publicação posterior, Ravina (1995) indica que o efeito de redução da taxa de perda de abatimento pode estar associado à fixação de cálcio e sulfato na superfície da cinza volante. Tal efeito reduz a concentração inicial de íons em solução e prolonga o período de indução na hidratação do cimento.

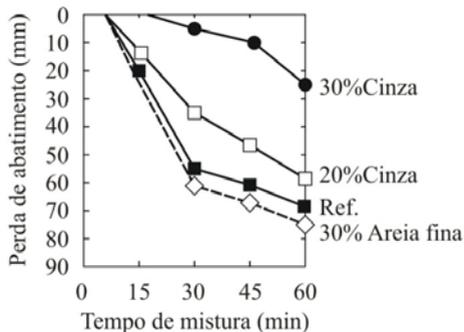


Figura 19 – Perda de abatimento de concretos produzidos com cinza volante [RAVINA, 1984].

Emprego de aditivos:

De modo geral, o emprego de aditivos redutores de água resulta no aumento da taxa de perda de abatimento do concreto (Figura 20) [RAMACHANDRAN, 2002]. Detalhes quanto a taxa de perda de abatimento de concretos produzidos com diferentes tipos de aditivos redutores de água foram discutidos no item 2.3.3.

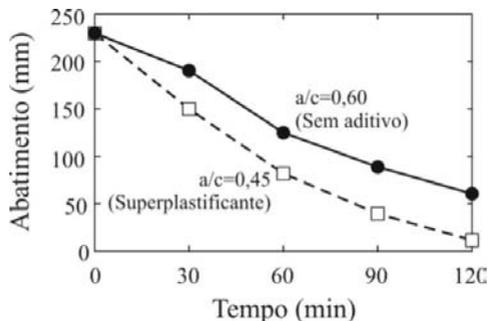


Figura 20 –Influência do uso de aditivo na perda de abatimento do concreto [COLLEPARDI, 1998].

Como medidas preventivas para controle da perda de abatimento do concreto, Mehta & Monteiro (2008) destacam: eliminação de atrasos durante o transporte, verificação da compatibilidade cimento-aditivo e manutenção da temperatura do concreto por meio da temperatura dos materiais constituintes¹⁶.

Em se tratando do CDC, diversos autores destacam que a principal forma de correção da perda da trabalhabilidade que ocorre durante o transporte é dada através do processo de reamassamento do concreto. Tal processo consiste na adição de água e remistura do concreto de modo que o abatimento especificado para descarga deste seja novamente obtido [SOROKA, 2004]. Cabe destacar que, apesar de não constar na NBR7212:1984, o reamassamento também pode ser dado através do uso de aditivos. A seguir são apresentadas as diferenças entre os tipos de reamassamento existentes.

3.2.2.1 Reamassamento com água

O reamassamento com adição de água pode ser dado de duas maneiras: adição de água e cimento para manutenção da relação água / cimento ou adoção de um limite de água a ser adicionado no concreto. Este limite deve ser previsto tomando por base estudos de dosagem realizados em laboratório que simulem as condições as quais o concreto estará submetido em campo.

Dentre as opções existentes, a mais comum nas centrais de concreto do Brasil consiste na determinação de um limite de água a ser adicionado em obra. Caso a dosagem esteja adequada e a quantidade de água esteja dentro do limite estabelecido, a tendência de observação de

¹⁶ Guimarães (2005) e Dewar, J.D. & Anderson R., 2004 (2004) destacam a necessidade de cuidados referentes a temperatura do cimento, uma vez que cargas recentemente estocadas em silos podem atingir temperaturas de 60 °C a 70 °C;

resultados de resistência à compressão não conformes é extremamente baixa.

Entretanto, uma vez que a demanda de água para uma mesma trabalhabilidade varia de acordo com as condições do ambiente (Figura 17) e tempo decorrido após a mistura (Figura 21), a prática de reamassamento com água resulta em uma maior variação na relação água / cimento, mesmo que dentro do limite de água especificado, e consequente aumento da variabilidade dos resultados de resistência à compressão.

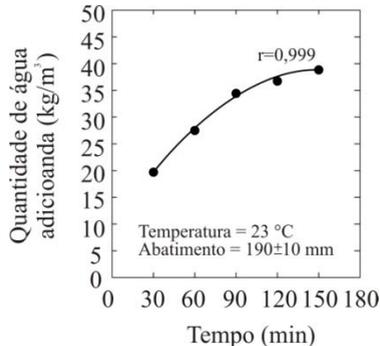


Figura 21 – Variação da quantidade de água adicionada para restabelecer o abatimento inicial em função do tempo [Erdoğan, 2005].

Soma-se à este, a falta de controle observada em determinadas obras. Nestas, observa-se a adição abusiva de água de modo a facilitar o lançamento e adensamento do concreto. Caso esta adição não seja relatada na nota fiscal, a central de concreto tenderá a observar uma elevada dispersão de resultados.

3.2.2.2 Reamassamento com aditivo

Conforme apresentado anteriormente, o emprego de aditivos redutores de água resulta no aumento da taxa de perda de trabalhabilidade. Todavia, o uso deste para correção da trabalhabilidade perdida ao longo do tempo é extremamente adequado uma vez que não afeta a relação água / cimento do concreto [RAVINA, 1995; SOROKA, 2004]. Logo, existe a tendência da observação de uma menor variação de resultados de resistência à compressão.

Assim como com a adição de água, o reamassamento com aditivo varia de acordo com a temperatura e o tempo decorrido após a mistura do concreto. Quanto à temperatura, apesar da afirmação de Soroka (2004) que o efeito da temperatura na redosagem com aditivos é contraditório, o mesmo autor afirma que, de modo geral, o teor de aditivo uti-

lizado no reamassamento do concreto aumenta com o aumento da temperatura.

No que tange ao tempo decorrido após a mistura, observa-se um aumento do teor de aditivo necessário para obtenção do abatimento inicial para maiores tempos (Figura 22).

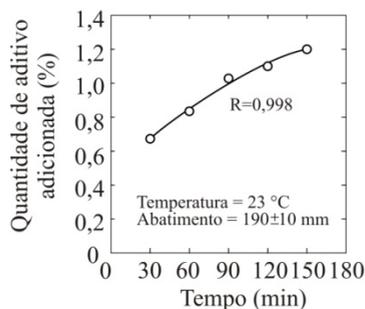


Figura 22 – Variação da quantidade de aditivo adicionado para restabelecer o abatimento inicial em função do tempo [Erdoğdu, 2005].

A Figura 23 apresenta o comportamento do aditivo quando utilizado para reamassamento do concreto em diversas etapas. Nesta, nota-se que o desempenho dos aditivos na promoção de trabalhabilidade reduz a cada redosagem realizada. Além disso, pode-se observar que a taxa de perda de trabalhabilidade é acentuada com avanço das redosagens [RAMAKRISHNAN, V., 1979 apud SOROKA, 2004]. Esta tendência pode ser corrigida com o aumento do teor de aditivo, contudo a utilização de superdosagens deve ser realizada com cautela de modo que efeitos de segregação, exsudação e retardo do tempo de início de pega sejam evitados.

É importante observar que, caso o aditivo venha a ser adicionado em intervalos de tempo mais curtos e constantes, este tende a apresentar resultados satisfatórios (Figura 24) [RAMACHANDRAN, 2002]. Entretanto, como fatores limitantes para o uso desta técnica, Martins (2005) cita a dificuldade de se fracionar a introdução do aditivo nas centrais de concreto e a necessidade de controle apurado de diversas dosagens de aditivo.

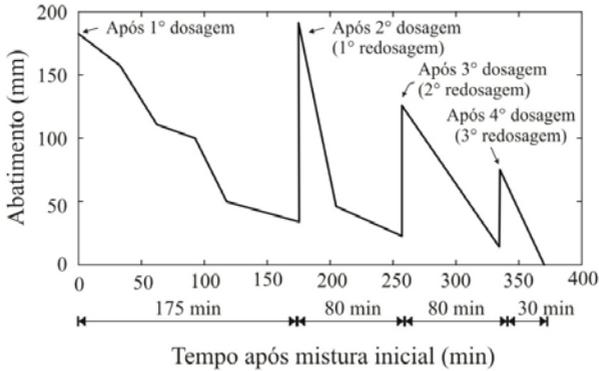


Figura 23 – Efeito da reamassamento repetido com aditivos [Ramakrishnan, V., 1979 apud SOROKA, 2004]

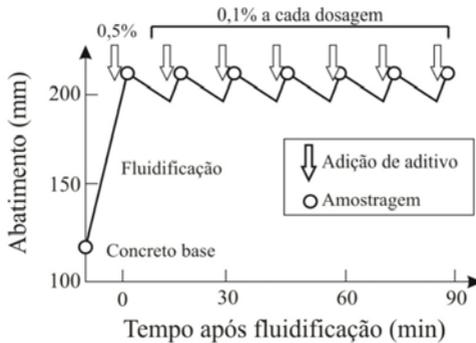


Figura 24 – Dosagens repetidas para manutenção do abatimento em 200 mm [RAMACHANDRAN, 1998].

Independente do desempenho dos aditivos na promoção e manutenção da trabalhabilidade, a utilização destes no reamassamento permite manutenção da relação água / cimento e conseqüente redução da variabilidade dos resultados de resistência à compressão. Os efeitos dos diferentes métodos de reamassamento do concreto na resistência à compressão são apresentados no item 3.3.1.

Em relação aos custos, uma primeira aproximação permite afirmar que o uso de reamassamento com aditivos resulta no aumento de custos do CDC. Inicialmente, esta afirmativa é verdadeira frente a necessidade de treinamento da equipe técnica e instalação de bombas de aditivo nos caminhões betoneira. Todavia, se considerada a redução da probabilidade de rejeição dos caminhões em obra, os custos associados a problemas com concretos não conformes e a economia do consumo de cimento, conseqüência da redução do desvio-padrão da resistência à

compressão, pode-se afirmar que o reamassamento com aditivos apresenta, em médio-longo prazo, considerável economia frente a adição de água.

3.2.3 Segregação e exsudação

A segregação e a exsudação do concreto consistem na perda de uniformidade da distribuição dos materiais que o compõe. Tais efeitos tratam-se de tendências naturais no concreto, principalmente durante as etapas de transporte, lançamento e adensamento, em função da diferença entre as massas específicas dos seus materiais constituintes [DOMONE, 2008; GUIMARÃES, 2005].

A segregação dá-se por movimentação descendente dos agregados na pasta de cimento, ou ainda, por tendência da pasta de cimento se separar dos agregados, quando esta não apresenta coesão suficiente para sustentar os mesmos. Já a exsudação é causada pelo efeito de sedimentação das partículas sólidas do concreto e simultânea migração da água para a superfície. Na Figura 25, é apresentada a movimentação de agregados e água causadas por segregação e exsudação no concreto.

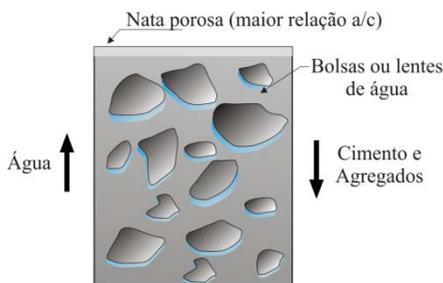


Figura 25 – Segregação e exsudação no concreto [DOMONE, 2008].

Dentre as principais causas de segregação e exsudação, Mehta & Monteiro (2008) destacam uma combinação de consistência inadequada, quantidade excessiva de partículas de agregado graúdo com densidade muito alta ou muito baixa, baixo consumo de partículas finas e métodos impróprios de lançamento e adensamento.

Desde que o concreto seja lançado, adensado e acabado adequadamente, a exsudação não causa problemas na qualidade do concreto. Todavia, quando ocorre em elevada taxa, a exsudação pode ser responsável pelo aumento da relação água/cimento na superfície do concreto resultando em redução da durabilidade e redução da resistência superficial do concreto vista a maior porosidade da camada superficial do concreto [KOSMATKA, 2003; RAMACHANDRAN, 2002].

Além disso, a exsudação pode ser responsável pelo acúmulo de água, sob a forma de bolsas ou lentes, na parte inferior dos agregados e, no caso do concreto armado, das barras de aço, aumentando a permeabilidade no plano horizontal, prejudicando a aderência e a resistência final do concreto [GUIMARÃES, 2005; NEVILLE, 1997].

De acordo com resultados publicados por Hoshino (1989), o efeito combinado da segregação e exsudação causa perda de homogeneidade no concreto e pode resultar em variação da resistência da ordem de 10 % ao longo da altura dos elementos estruturais concretados. Esta tendência é mais expressiva em peças altas, todavia alturas de 500 mm são suficientes para que a variação de resistência seja significativa. Na Figura 26, são apresentados os resultados do estudo desenvolvido por Hoshino (1989).

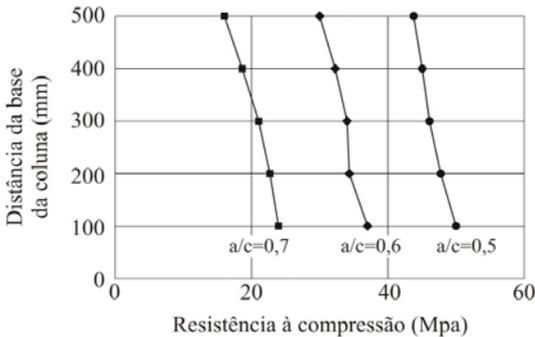


Figura 26 – Variação da resistência do concreto em uma coluna após processo de adensamento completo [HOSHINO, 1989].

Domone (2008) indica que os processos de segregação e exsudação são comandados por efeitos de intertravamento das partículas de maior dimensão e ação de forças de superfície das partículas de menor dimensão. Assim sendo, quanto mais contínua for a distribuição granulométrica dos agregados e maior o teor de finos no concreto, menor é a tendência de ocorrência destes fenômenos.

Em se tratando dos processos de transporte e lançamento envolvidos na linha de produção do CDC, além das recomendações quanto à dosagem apresentadas anteriormente, devem ser evitadas grandes distâncias de transporte e excesso de vibração do concreto [NEVILLE, 1997]. Em casos onde a distância considerável de transporte não possa ser evitada, o concreto deve permanecer em velocidade de agitação no caminhão betoneira.

A exsudação no concreto pode ser avaliada segundo a exsudação total ou taxa de exsudação. A exsudação total é determinada através da

relação entre a quantidade de água acumulada na superfície em relação ao total de água presente no concreto, ao passo que a taxa de exsudação corresponde ao mesmo tipo de medição, todavia, realizada em determinado intervalo de tempo. Cabe destacar que só é possível realizar a medida da quantidade de água na superfície e não a parcela que está se deslocando para a superfície e sob os agregados. Desse modo, não se pode determinar a exsudação total do concreto, mas sim sua tendência [GUIMARÃES, 2005].

Neville (1997) e Guimarães (2005) indicam que a segregação do concreto pode ser observada, de forma qualitativa, durante a realização do ensaio do abatimento de tronco de cone devido a tendência de deslocamento de parte dos agregados graúdos para a borda da mesa. Em se tratando de concretos mais fluidos, a mesma tendência é dada no ensaio de slump-flow onde se observa acúmulo de agregados no centro da mesa de espalhamento. Os ensaios realizados para a determinação da exsudação no concreto são descritos de forma detalhada na norma brasileira NBR NM 102 e norma americana ASTM C-232.

3.2.4 *Massa específica*

A relação entre a massa de concreto e o volume que este ocupa, considerando o ar aprisionado ou incorporado, define a massa específica do concreto. A massa específica do concreto é função da massa específica dos materiais constituintes e do maior ou menor teor de ar incorporado. Em se tratando de concretos convencionais, este valor é da ordem de 2.300 kg/m^3 . No caso de concretos de alto desempenho a massa específica é da ordem de 2.400 kg/m^3 [AITCIN, 2000].

A determinação da massa específica do concreto pode ser dada através de ensaio bastante simples. Basta preencher um recipiente indeformável de volume conhecido com concreto, adensando-o em condições similares à obra. A massa específica será dada pela relação massa de concreto por volume do recipiente. Os ensaios realizados para a determinação da massa específica e teor de ar incorporado no concreto pelo método gravimétrico são descritos de forma detalhada na norma brasileira NBR 9833:2008.

A determinação do teor de ar incorporado é dada através da Eq. 1. A influência deste nas propriedades do concreto é apresentada ao longo deste capítulo.

A realização deste ensaio é de grande utilidade para controle de produção do CDC, pois se a massa específica do concreto varia repentinamente em relação à valores que vêm sendo comumente obtidos, nota-se a necessidade de verificação de erros no processo. Esta variação pode

ser oriunda de erros de ensaios, variação no proporcionamento dos materiais ou mesmo de elevado teor de ar incorporado. Independentemente, medidas corretivas deverão ser tomadas evitando resultados inesperados no desempenho do concreto tanto no estado fresco quanto endurecido.

$$\% \text{ Ar incorporado} = 1 - \gamma_{real} / \gamma_{teórico} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$\gamma_{teórico}$ – Massa específica teórica do concreto (kg/m^3);

γ_{real} – Massa específica real do concreto (kg/m^3);

3.2.5 *Tempo de pega*

A pega do concreto é definida como o início da solidificação em uma mistura fresca de concreto e pode ser caracterizada por dois momentos específicos: início e fim de pega. A ASTM C403 destaca que os pontos de início e fim de pega não representam alteração específica nas características físico-químicas da pasta de cimento. Todavia, são considerados como pontos de referência, onde o início de pega é tido como limite de tempo a partir do qual o concreto não pode ser mais adequadamente manuseado, ao passo que o fim de pega corresponde a perda completa da trabalhabilidade e início da resistência mecânica do concreto [MEHTA & MONTEIRO, 2008].

Quanto ao ensaio para a determinação do tempo de início e fim de pega no concreto, este tem por base a resistência à penetração de agulha e é preconizados pela norma NBR NM 9:2003. Todavia, este valor não deve ser usado como medida absoluta uma vez que é determinado com a argamassa do concreto e não com o concreto de origem.

Os principais fatores que afetam o tempo de início de pega do concreto são associados à composição do cimento, a relação água/cimento, tempo de mistura, uso de aditivos e a temperatura ambiente e dos materiais. Cimentos mais finos e com maior calor de hidratação apresentam menor tempo de início de pega e relações água/cimento maiores apresentam maior tempo de início de pega. Quanto à temperatura, o seu aumento é responsável pela aceleração da cinética das reações. Conseqüentemente, quanto maior a temperatura, menor é o tempo de início e fim de pega do concreto [MEHTA & MONTEIRO, 2008; GUIMARÃES, 2005; KOSMATKA, 2003]. Resultados experimentais publicados por Burg (1996) *apud* Kosmatka (2003) são apresentados na Figura 27 e indicam esta tendência.

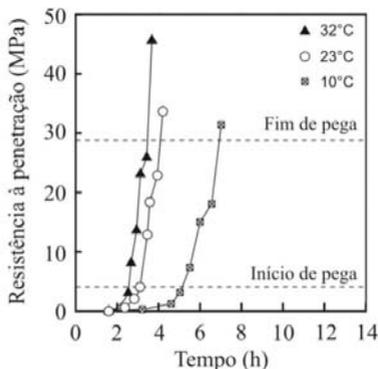


Figura 27 – Tempo de início e fim de pega para concretos produzidos em diferentes temperaturas [Burg (1996) apud Kosmatka (2003)].

É importante destacar que o tempo início e fim de pega do cimento não corresponde exatamente ao tempo de início e fim de pega do concreto produzido com o mesmo tipo de cimento, pois as relações água/cimento são diferentes nos dois casos [MEHTA & MONTEIRO, 2008].

Definições errôneas acerca do mecanismo de pega e enrijecimento do concreto têm causado preocupações desnecessárias que induzem os compradores de CDC a acreditar que exista um tempo preciso a partir do qual o concreto não possa ser manuseado. Sabe-se que o concreto apresenta perda de trabalhabilidade e que, a partir de um determinado intervalo de tempo, as operações de manuseio são prejudicadas. Contudo, isso não quer dizer que, uma vez ultrapassado o limite de tempo de transporte e descarga total especificado na NBR7212:1984¹⁷, o concreto não possa ser utilizado. Neste caso, devem ser considerados fatores como a temperatura ambiente, a composição da mistura, o uso de aditivo, entre outros fatores associados à variação do tempo início e fim de pega.

3.2.6 Temperatura do concreto

A variação de temperatura do concreto afeta significativamente suas propriedades reológicas e, em determinados casos, suas propriedades no estado endurecido. O controle desta, destaca Aitcin (2000), é de extrema importância.

A redução de temperatura é responsável pela redução da cinética das reações de hidratação. Esta tem como efeito a redução da taxa de

¹⁷ A NBR 7212:1984 recomenda que o limite de tempo de transporte do concreto da central à obra é de uma hora e trinta minutos, sendo o intervalo máximo de tempo da central até a descarga total do concreto não superior à duas horas e trinta minutos;

hidratação do cimento o que pode resultar em retardo no tempo início de pega e redução da resistência inicial do concreto. Tal redução é considerada prejudicial, pois a grande maioria das operações de construção, por exemplo, retirada de fôrmas e protensão, entre outras, são diretamente associadas à resistência inicial do concreto [AÏTCIN, 2000; MEHTA & MONTEIRO, 2008].

Por outro lado, o aumento de temperatura é responsável pela aceleração das reações de hidratação. Kosmatka (2003) e Mehta & Monteiro (2008) indicam que os principais efeitos do aumento de temperatura estão associados o aumento da demanda de água para uma mesma trabalhabilidade, dificuldade de retenção de ar incorporado para concretos com aditivos e aumento da tendência de retração plástica do concreto. Além destes, Soroka, (2004) destaca a aceleração do tempo de início de pega do concreto, aumento da taxa de perda de abatimento e aumento do pico de temperatura do concreto.

O processo de hidratação do cimento é uma reação do tipo exotérmica. Sendo o concreto no estado fresco considerado um mau condutor de calor, observa-se o aumento da temperatura interna deste, pois a taxa de liberação de calor é sempre inferior a taxa de evolução. Assim sendo, quanto maior a temperatura inicial do concreto maior será o pico de temperatura observado durante o enrijecimento do concreto [SOROKA, 2004].

Na Figura 28a é apresentada a evolução de resistência de um mesmo concreto segundo diferentes temperaturas e, na Figura 28b, o efeito da temperatura de lançamento do concreto na evolução de temperatura ao longo de seu enrijecimento e endurecimento. Maiores detalhes sobre o efeito da temperatura na resistência do concreto serão discutidos no item 3.3.1.

O ACI 306R (2002) define clima frio quando a temperatura ambiente média é inferior à 5 °C em um intervalo de mais de três dias seguidos, ou ainda, quando a temperatura ambiente permanece abaixo de 10 °C por mais da metade de um intervalo de 24 horas. Já para clima quente, o ACI 305R (2007) indica que este corresponde a quaisquer combinações de condições climáticas associadas a elevada temperatura ambiente, elevada temperatura do concreto, baixa umidade relativa e alta taxa de radiação solar que tendam a prejudicar a qualidade do concreto no estado fresco e endurecido.

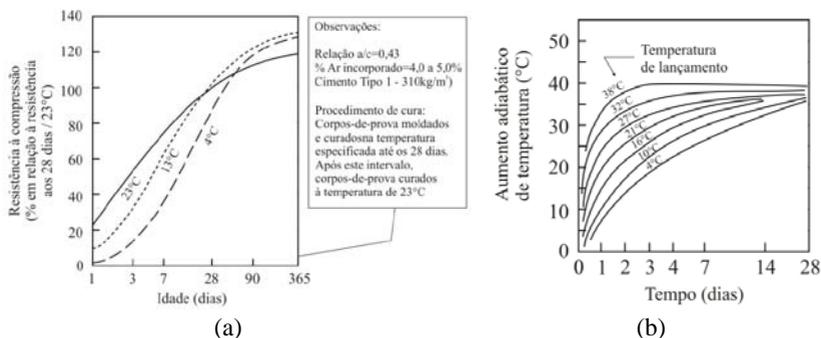


Figura 28 – Efeito da temperatura nas reações de hidratação do concreto: (a) evolução de resistência [KOSMATKA, 2003]; (b) evolução de temperatura durante o enrijecimento e endurecimento [SOROKA, 2004].

Em ambos os casos, destaca-se a necessidade de cuidados especiais durante a etapa de produção do CDC. Todavia, em se tratando das condições climáticas experimentadas ao longo do ano no Brasil, o presente trabalho se aterá a apresentar apenas as recomendações propostas para os serviços de concretagem realizados em clima quente.

Destaca-se que as normas brasileiras não apresentam recomendações quanto à concretagem em clima quente. A única informação apresentada é que a temperatura do concreto entregue na obra deve estar entre 10 °C e 32°C e que serviços de concretagem fora destes limites requerem cuidados especiais [NBR7212:1984]. Tais cuidados incluem o resfriamento do concreto e seus materiais, redução do tempo das etapas de lançamento, transporte e adensamento; utilização de métodos, tais como uso de lonas e spray de água, para reduzir a taxa de evaporação de água do concreto, entre outros [KOSMATKA, 2003; MEHTA & MONTEIRO, 2008; SOROKA, 2004; AÏTCIN, 2000; ACI 305.1-06]:

Em se tratando do CDC, Negheimish (2008) apresenta um estudo de impacto do clima quente nas propriedades do concreto dosado em central durante o processo de transporte. O autor indica que, independente da temperatura do concreto na central e no canteiro de obras, sempre se observa aumento de temperatura do concreto durante o transporte devido à efeitos de hidratação e/ou radiação solar (Figura 29a), sendo que esta tendência aumenta quanto maior for a diferença de temperatura ambiente e do concreto (Figura 29b). Cabe destacar que os resultados relatados por Negheimish (2008) foram obtidos de concretos produzidos durante o verão (28 °C a 38 °C) e a primavera (24 °C a 27°C).

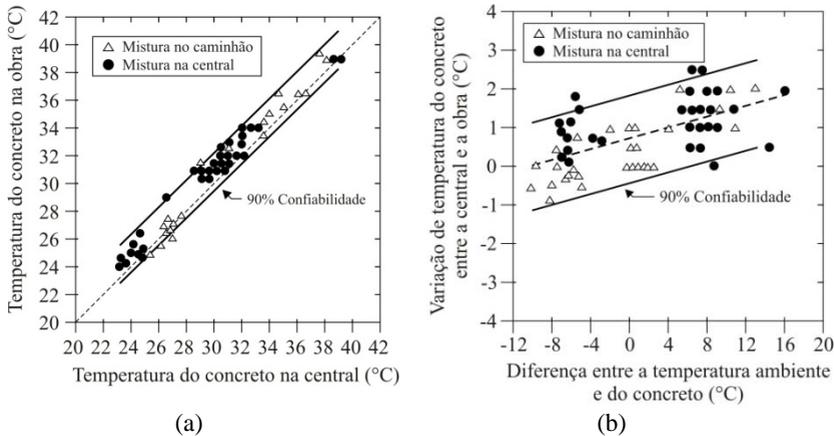


Figura 29 - Impacto do clima quente nas propriedades do concreto dosado em central durante o processo de transporte: (a) Temperatura do concreto na central e em obra; (b) variação da temperatura do concreto durante a etapa de transporte [NEGHEIMISH, 2008].

Por fim, uma vez que a temperatura e umidade que o concreto estará submetido em campo são diferentes daquelas experimentadas no laboratório (local onde os ensaios de dosagem do CDC são comumente realizados), nota-se que o controle da temperatura do CDC em obra é importante, pois, como observado ao longo deste item, as propriedades do concreto são afetadas por este fator.

Desse modo, acredita-se que a coleta de informações a respeito da temperatura do concreto, em combinação com os resultados de trabalhabilidade, teor de ar incorporado, entre outros, possa ser utilizada como ferramenta complementar para análise das causas de variabilidade nas propriedades do CDC.

3.3 Propriedades do concreto no estado endurecido

3.3.1 Resistência mecânica

O concreto se destaca por seu considerável desempenho a solicitações de compressão quando comparado à outros tipos de carga. De acordo com Neville (1997), esta propriedade dá uma idéia geral da qualidade do concreto pois está diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratada. Mehta & Monteiro (2008) destacam ainda que muitas das propriedades do concreto como estanqueidade, resistência à intempéries, entre outras, estão associadas a resistência. Soma-se à estes autores, a consideração de Dewar, J.D. & Anderson R. (2004) que a avaliação da resistência à compressão é adequada para verificação da

qualidade de produção pois engloba todas as variáveis as quais o concreto foi submetido ao longo do processo de produção. Desse modo, pode-se afirmar que o ensaio de resistência à compressão é aceito universalmente como índice geral de resistência e qualidade do concreto.

Segundo o ACI214R-02, para um determinado conjunto de materiais, a resistência à compressão do concreto é governada pela relação a/c do concreto. Contudo, destaca-se que uma mesma relação a/c pode apresentar resistência diferente. Neste caso, Mehta & Monteiro (2008) indicam que, além da relação a/c , deve-se considerar, ainda, a porosidade do concreto, pois esta afeta a resistência da matriz da argamassa de cimento e da zona de transição com os agregados.

Conforme apresentado no item 3.2.1 sobre trabalhabilidade do concreto, a presença de vazios, sejam estes de ar incorporado ou adensamento inadequado é responsável por uma considerável redução da resistência à compressão do concreto. Na Figura 30 essa tendência é apresentada novamente, entretanto, dá-se destaque ao fato que a redução de resistência é menor quanto menor o consumo de cimento do concreto. Tal variação ocorre, pois, para menores consumos de cimento, o efeito adverso de redução de resistência devido o aumento da porosidade é compensado pelo aumento da trabalhabilidade e consequente redução de falhas durante o processo de adensamento da mistura [MEHTA & MONTEIRO, 2008]. Os demais fatores que podem influenciar na resistência do concreto serão apresentados mais adiante.

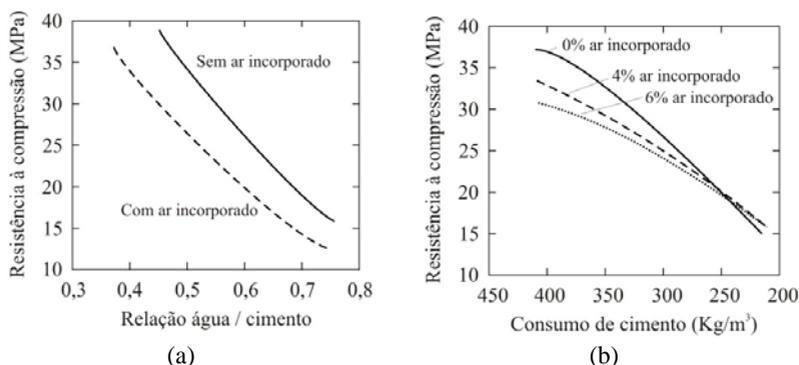


Figura 30 – Resistência do concreto: (a) Influência da relação água / cimento; (b) influência do teor de ar incorporado e consumo de cimento [MEHTA & MONTEIRO, 2008].

No Brasil, o ensaio de resistência à compressão deve ser realizado segundo recomendações da NBR5738:2003 e NBR5739:2007 que estabelecem, respectivamente, os parâmetros de moldagem e dimensões

dos corpos-de-prova e indicações quanto ao ensaio de resistência em corpos-de-prova cilíndricos.

É importante destacar que tais normas especificam a utilização de corpos-de-prova cilíndricos de 300 mm de altura e 150 mm de diâmetro. Todavia, por conta da capacidade das máquinas de ensaio, aumento da resistência de dosagem do concreto, necessidade de menor espaço nos tanques de cura e facilidade de manuseio [JACINTO, 2005; KOSMATKA, 2003], é comum a utilização de corpos-de-prova de 200 mm de altura e 100 mm de diâmetro.

É importante salientar que, mesmo mantida a relação h/d constante, os corpos-de-prova menores tendem a apresentar valores de resistência ligeiramente maiores devido à menor probabilidade de existência de falhas ao longo da matriz do concreto.

O aspecto geral da influência da relação h/d sobre a resistência aparente do concreto é destacado no gráfico da Figura 31.

Quanto aos fatores que afetam a resistência à compressão, Mercer (1954) *apud* Helene (1993) apresenta cerca de sessenta fatores. Helene (1993), por sua vez, levando em consideração a realidade experimentada pelas centrais de concreto, indica como principais fatores a variabilidade do cimento, dos agregados, da água, dos aditivos e da proporção relativa desses materiais. Além destes, são considerados ainda a qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura, bem como eficiência das operações de ensaio em laboratório e controle.

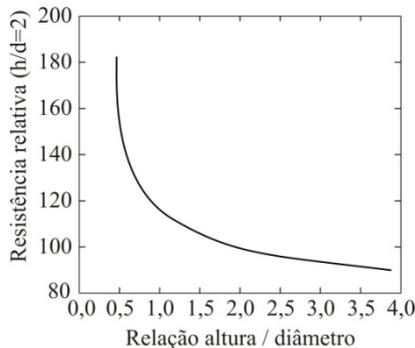


Figura 31 – Aspecto geral da influência da relação h/d sobre a resistência aparente do concreto [NEVILLE, 1997].

O ACI 214R-02 apresenta os fatores destacados por Helene (1993) da seguinte forma: fatores associados à variação das propriedades e quantidades dos materiais constituintes (identificado com propriedades do concreto) e fatores associados ao método de ensaio (Tabela 3).

Tabela 3 – Principais fontes de variação na resistência à compressão [Adaptado de ACI214R-02]

Variação decorrente das propriedades do concreto	Variação decorrente do laboratório e ensaio
<p>Variação na relação água / cimento causada por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Controle inadequado da água adicionada na central; • Variação elevada da umidade dos agregados; • Reamassamento com adição de água. 	<p>Variação na técnica de fabricação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Moldes distorcidos e com vazamentos; • Manuseio dos corpos-de-prova recém moldados; • Impacto excessivo durante o transporte;
<p>Variação na demanda de água causa por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variação do teor de ar incorporado; • Elevada temperatura e tempo de transporte; • Variação no desempenho do aditivo; • Variação na composição do cimento; • Variação nas propriedades dos agregados (granulometria, forma, absorção, entre outros). 	<p>Variação do procedimento de cura:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variação da temperatura; • Variação de umidade; • Atrasos no início do processo de cura;
<p>Variação nas características e proporção dos materiais constituintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agregados; • Aditivos; • Cimento; • Adições; 	<p>Procedimento de teste inadequado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preparação inadequada dos topos dos corpos-de-prova; • Variação da velocidade de carga; • Utilização de equipamentos não aferidos periodicamente;
<p>Variação no processo de mistura, transporte, lançamento e adensamento.</p> <p>Variação na temperatura do concreto e procedimento de cura.</p>	<p>Procedimento de amostragem inadequado.</p>

Na Tabela 4 são apresentadas as parcelas de contribuição de variação correspondente aos principais fatores que afetam esta propriedade.

Tabela 4 – Fontes de variação na resistência à compressão [DEWAR, J.D. & ANDERSON R., 2004].

Fonte de variável	Desvio-padrão (MPa)
Cimento	2,5
Agregados	2,0
Amostragem e ensaio	2,0
Produção do Concreto	2,5
Processo Completo	4,5

Na Tabela 5, por sua vez, é apresentado o efeito máximo no resultado de resistência à compressão do concreto.

Tabela 5 - Efeito máximo de diferentes fontes no resultado da resistência à compressão do concreto [Adaptado de HELENE, 1993].

Fonte de variação		Efeito máximo no resultado
Materiais	Variabilidade na resistência do cimento	± 12 %
	Variabilidade da quantidade de água total	- 15 %
	Variabilidade dos agregados (principalmente miúdos)	- 8 %
Mão-de-obra	Variabilidade do tempo e procedimento de mistura	- 30 %
Equipamento	Ausência de aferição das balanças	- 15 %
	Mistura inicial, sobre e subcarregamento, entre outros	- 10 %
Procedimento de ensaio	Coleta imprecisa	- 10 %
	Adensamento inadequado	- 50 %
	Cura inadequada	± 10 %
	Topos do corpo-de-prova (côncavo)	- 30 %
	Topos do corpo-de-prova (convexo)	- 50 %
	Ruptura (velocidade de carregamento)	± 5 %

Conforme discutido no item 2.3, as propriedades dos materiais constituintes são fundamentais para a determinação das propriedades do concreto. Logo, a variação destas, decorrente da falta de uniformidade de produção e heterogeneidade natural, como é o caso dos agregados, adições, entre outros, resulta na conseqüente variação das propriedades do concreto. Diante disso, a avaliação periódica das propriedades dos

materiais utilizados na produção do concreto é uma medida fundamental a ser tomada por parte das centrais de concreto visando redução da variabilidade não apenas na resistência à compressão, mas também no desempenho do concreto no estado fresco.

Nos itens que seguem, são discutidas às variáveis inerentes as propriedades e proporcionamento dos materiais e do laboratório e métodos de ensaio de resistência à compressão do concreto.

Variáveis inerentes às propriedades e proporcionamento dos materiais

No que tange aos agregados, durante o processo de produção de concreto, é importante a determinação da umidade dos agregados de modo que a relação a/c do concreto seja mantida fixa. Este valor é mantido sob controle quando a quantidade de água presente nos agregados é descontada da quantidade de água do concreto. Freyne (2005) indica que imprecisão na determinação da umidade dos agregados resulta no aumento da variação dos resultados de ensaio. Prudêncio Jr. *et al* (2009) indicam que, mesmo que se tenha um controle diário da umidade dos agregados, a sua determinação é feita geralmente em amostras que não conseguem representar a natural variação que existe no material nos diversos pontos do depósito. Assim, a melhor maneira da determinação da umidade seria a instalação de sensores nos silos dos agregados para a determinação da real umidade da porção de material que será pesada na seqüência. O uso destes sensores implica na sua constante calibração por serem dispositivos eletrônicos.

Quanto ao cimento, o processo de produção deste apresenta uma determinada variabilidade, sendo esta inerente a fatores como composição mineralógica das matérias-primas, grau de moagem, combustíveis utilizados nos fornos-rotativos, entre outras. Estas variações se refletem em melhor ou pior desempenho do concreto produzido. Na Figura 32, é apresentado um gráfico que indica a variação da resistência e consistência de argamassas produzidas com o mesmo tipo de cimento fornecido ao longo de um mês. Com base nesta, observa-se a necessidade do controle do desempenho do cimento por partes das centrais de concreto uma vez que a variação das propriedades destes resulta em variação na demanda de água e resistência à compressão do concreto.

Os ensaios empregados para o controle tecnológico dos materiais componentes do concreto podem ser encontrados na NBR 12654:2000.

No que tange ao reamassamento, as diferentes técnicas utilizadas foram discutidas no item 3.2.2. Conforme apresentado, o reamassamento com uso de aditivos, desde que mantida a estabilidade da mistura no estado fresco, apresenta melhor desempenho quando comparada ao uso

de água. O uso de aditivos para correção do abatimento permite maior controle da relação a/c e consequente redução da variabilidade do ensaio. Erdoğan, 2005 apresenta resultados de um estudo desenvolvido em uma central de concreto e indica uma considerável redução de resistência em função do reamassamento do concreto com água (Figura 33).

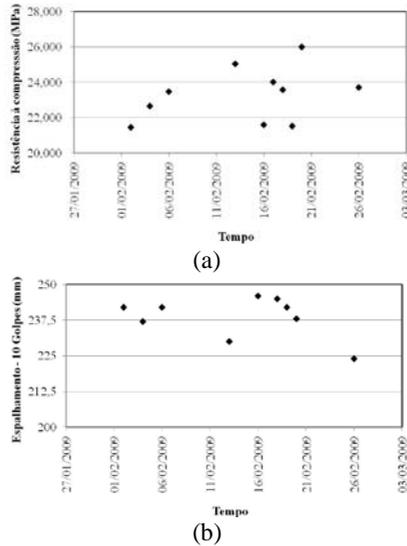


Figura 32 – Variação das propriedades de cimento em diferentes partidas ao longo de um mês: (a) efeito na resistência de argamassas; (b) efeito na consistência (ensaio de espalhamento de argamassa – flow table – com aplicação de 10 golpes) [Adaptado de VIEIRA, 2009].

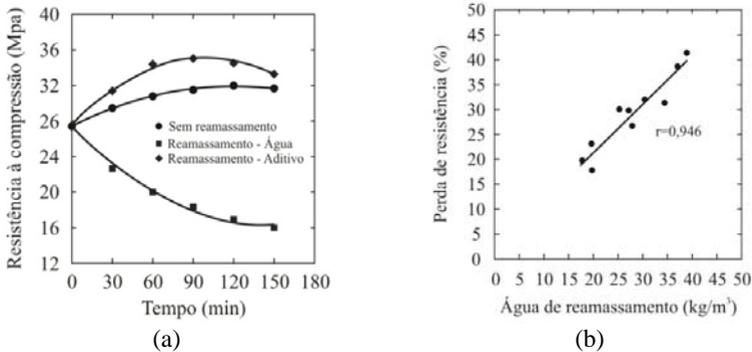


Figura 33 – Efeito do reamassamento do concreto: (a) comparação entre os diferentes métodos de reamassamento; (b) redução de resistência causada pelo reamassamento com água [ERDOĞDU, 2005].

Variáveis inerentes ao laboratório e métodos de ensaio

Em se tratando de laboratório e dos métodos de ensaio, conforme destacado na Tabela 3, estes envolvem procedimento de moldagem, cura, preparação dos topos, tipo de equipamento e velocidade de ensaio dos corpos-de-prova. A seguir são apresentadas informações a cerca da influência de cada um destes fatores.

No que tange a moldagem dos corpos-de-prova, Wagner (1963) *apud* Lamond (2006) indica variação de resistência à compressão na ordem de 2,0 MPa a 4,0 MPa entre corpos-de-prova moldados por equipe não treinada. Assim sendo, destaca-se a necessidade de adensamento adequado e padronizado dos corpos-de-prova visando redução da variabilidade do ensaio.

Antes do processo de moldagem, é importante garantir que os moldes apresentem dimensões adequadas, uma vez que, variações dimensionais podem contribuir para decréscimos nos resultados de resistência à compressão na ordem de 10 % [AÏTCIN, 2000]. Além disso, deve-se garantir que estes sejam estanques, evitando vazamento de pasta de cimento.

Uma vez moldados, os corpos-de-prova devem ser transportados da obra à central. Recomenda-se que o transporte destes seja realizado entre 48 h e 72 h após a moldagem. Richardson, 1991 *apud* Lamond (2006) indica que os impactos gerados durante o transporte dos corpos-de-prova podem gerar um decréscimo de 7,0% na resistência à compressão do concreto.

Quanto ao procedimento de cura¹⁸, é importante que a cura dos corpos-de-prova utilizados para a determinação da resistência a compressão seja dada de forma adequada. O estudo realizado por Obla, K. (2009) compara o desempenho dos corpos-de-prova submetidos a cura no canteiro de obras e em condições padronizadas. Os resultados indicam que, independente das condições existentes em campo, a utilização de um processo de cura adequado permite obtenção de uma maior resistência à compressão aos 28 dias (Figura 34).

Os resultados apresentados na Figura 34 podem gerar a seguinte indagação por parte dos consumidores de CDC: Por que os corpos-de-prova não são submetidos às mesmas condições de cura da estrutura onde o concreto é lançado?

Em uma primeira aproximação, a indagação apresentada faz sentido. Todavia, os produtores de concreto podem argumentar que, sim, a

¹⁸ O procedimento de cura dos corpos-de-prova é apresentado na NBR5738:2003 e deve ser realizado à temperatura de 23±2°C em condição de umidade de mínima de 95 %;

resistência à compressão varia de acordo com o procedimento de cura deste, mas é necessário estabelecer um procedimento padronizado de modo que os resultados possam ser comparados entre si e variações na qualidade do concreto entregue na obra possam ser identificadas. Além disso, destaca-se que os produtores de concreto são responsáveis pelo fornecimento deste com resistência à compressão determinada através de ensaios de corpos-de-prova submetidos a cura padronizada.

Assim como o procedimento de cura, a preparação dos topos dos corpos-de-prova deve ser realizada de forma adequada. É importante garantir que a superfície superior e inferior, onde será aplicada a carga de compressão, sejam planas e paralelas entre si. Deste modo, permite-se uma adequada distribuição de cargas e evita-se a formação de cargas secundárias de cisalhamento ou flexão do corpo-de-prova. A preparação dos topos dos corpos-de-prova pode ser dada de três maneiras possíveis: capeamento dos topos, esmerilhamento ou polimento e uso de calço com berço [NEVILLE, 1997; AİTCIN, 2000].

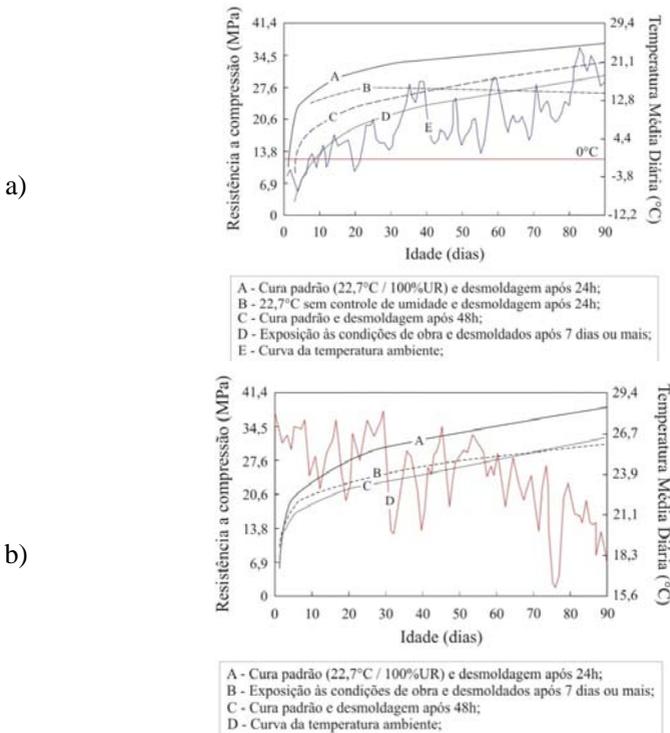


Figura 34 – Variação da resistência em função do procedimento de cura: (a) Concretagem - clima frio; (b) Concretagem - clima quente [OBLA, K., 2009].

Para concretos de alto desempenho, Lessard (1990) *apud* Aïtcin (2000) indica que o polimento da superfície apresenta menor dispersão de resultados quando comparado o capeamento. Por outro lado, em concreto de resistência na ordem de 25,0 MPa, Barbosa (2009) indica o capeamento com enxofre resulta em menor dispersão que o polimento. Tal fato pode ser atribuído à maior fragilidade de corpos-de-prova menos resistentes à trepidação gerada durante o polimento. Na Tabela 6 é apresentado um comparativo dos resultados apresentados pelos diferentes autores.

É importante destacar que o disco da fresa utilizada para o polimento da superfície dos corpos-de-prova deve ser verificados constantemente, pois desgastes nos discos podem resultar na formação de superfícies côncavas ou convexas e, conseqüentemente, afetar o valor de resistência à compressão do concreto (Tabela 5).

Assim como os corpos-de-prova, os pratos de apoio e aplicação de carga das prensas devem ser adequadamente retificados garantindo adequada superfície de contato. Pratos com deformações côncavas tendem a gerar concentração de tensões na borda dos corpos-de-prova, ao passo que quando convexas, a concentração de tensões ocorre no meio. Em ambos os casos, observa-se variação no resultado do ensaio [NEVILLE; 1997].

Tabela 6 – Coeficiente de variação do ensaio de resistência à compressão para diferentes tipos de capeamento e níveis de resistência.

Fonte	Preparo dos topos do corpo-de-prova	Resistência Média 28 dias – f_c (MPa)	Desvio-padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
BARBOSA, 2009	Capeados	26,5	0,4	1,3
	Polidos	24,3	0,8	3,4
AÏTCIN, 2000	Capeados	121,0	3,8	3,1
	Polidos	123,0	1,9	1,5

As características da prensa e realização do ensaio, destacam-se os cuidados apresentados na sequência [AÏTCIN, 2000]:

- Controle da velocidade de aplicação de carga: a velocidade de aplicação de carga deve ser padronizada¹⁹ uma vez que o aumento ou redução desta é responsável pela variação da velocidade de propagação de fissuras e conseqüentemente da resistência.

¹⁹ O ensaio de resistência à compressão segundo a NBR5739:2007 deve ser realizado com velocidade constante de aplicação de carga de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s.

- Rotulação do prato de aplicação de carga da prensa: a rotulação permite correção de pequenas faltas de paralelismo entre as duas faces do corpo-de-prova. É importante observar que o diâmetro da rótula do prato de aplicação de carga deve variar de acordo com o diâmetro do corpo-de-prova de modo a evitar concentrações de tensão nas regiões mais rígidas dos corpos-de-prova.
- Adequada rigidez da prensa: a aplicação de elevadas cargas resulta em uma elevada liberação de energia durante a ruptura gerando trepidações no equipamento. Caso a prensa não seja rígida o suficiente para absorver tais trepidações, a mesma pode desregular e ficar fora de calibração. Assim sendo, quanto maiores forem as cargas experimentadas pela prensa, maior é a rigidez necessária. Nawy, 2008 recomenda que a prensa tenha capacidade de carga 20 % acima da carga máxima estimada nos ensaios.

Com base nestes, nota-se a importância da necessidade de calibração periódica dos equipamentos de ensaio de resistência à compressão por parte dos laboratórios de controle de qualidade do concreto.

Um parâmetro importante para avaliação da qualidade dos procedimentos de ensaio consiste na determinação da variação da resistência do par de corpos-de-prova moldados [DEWAR, J.D. & ANDERSON R., 2004]. Na Figura 35 é apresentada a comparação entre a variação do par de corpos-de-prova moldados por diferentes motoristas e mesmo técnico do laboratório²⁰. Com base nesta, nota-se a existência de fatores que afetam a resistência à compressão ao longo de todo o processo.

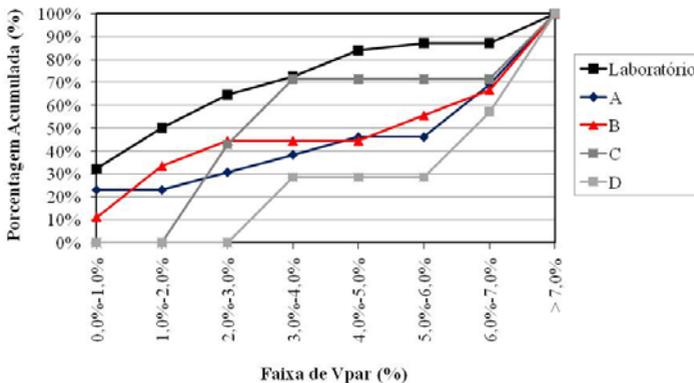


Figura 35 – Curva de variação do par [PRUDÊNCIO JR. *et al* 2009]

²⁰ A curva apresentada na Figura 35 corresponde à curva de distribuição de frequência acumulada do valor de variação de resistência de pares de corpos-de-prova. O procedimento para a determinação desta será apresentado de forma detalhada no item 5.3.2.3.

4 CONTROLE DE QUALIDADE E PRODUÇÃO DO CONCRETO

4.1 Considerações preliminares

Nos capítulos anteriores discutiu-se acerca dos insumos utilizados na produção CDC, bem como as diferentes formas de produção, transporte e lançamento do mesmo. Foram discutidos ainda os fatores que afetam o desempenho do concreto no estado fresco e no estado endurecido.

Tais fatores podem ser ora associados à variação da qualidade dos insumos, ora associados a variações do processo de produção e ensaio. Assim sendo, nota-se a necessidade do controle de qualidade de todas as etapas associadas a produção do CDC de modo que o produto final apresente não apenas qualidade adequada, mas também seja produzido de forma econômica.

Além do controle durante a produção, dado através da avaliação, por exemplo, da trabalhabilidade do concreto, a avaliação da resistência à compressão do concreto endurecido consiste em um parâmetro chave para verificação da variabilidade do processo. Destaca-se ainda a importância da determinação da resistência à compressão do concreto como parâmetro de aceitação.

O monitoramento da variabilidade do processo de produção do CDC pode ser dado segundo diferentes métodos. Estes são diferenciados entre si principalmente pelos limites de controle estabelecidos e consequente eficiência na identificação de um ponto de variação.

O presente capítulo tem por objetivo apresentar procedimento de análise dos principais métodos de controle de produção do CDC. Inicialmente, serão apresentadas as definições associadas ao controle de qualidade e produção. Na seqüência, serão discutidas algumas considerações estatísticas sobre o comportamento dos resultados de resistência. Por fim, a metodologia envolvida em cada um dos métodos existentes é apresentada e discutida.

4.2 Definição dos termos associados a controle de qualidade

No passado, pouco se preocupava com o controle de qualidade do concreto, sendo este processo por vezes confundido com ensaios de aceitação do concreto, isto é, caso o concreto apresentasse abatimento e resistência à compressão conforme especificados, considerava-se que os problemas de produção eram inexistentes. Entretanto, o que se tem observado é uma crescente preocupação por parte das centrais de concreto em garantir qualidade de produção [DAY, 1999]. Tal fato não se deve

apenas a busca de redução de custos de produção e aumento de lucros, mas também como marketing e questão de sobrevivência da empresa que estabelece relação de confiança com seus compradores. Destaca-se ainda uma determinada pressão exercida por parte dos compradores que exigem qualidade no produto fornecido. Na Tabela 7 é apresentada a evolução do conceito de qualidade ao longo dos anos.

Tabela 7 – Evolução do conceito de qualidade [HELENE, 1993].

Conceito de qualidade	Anos
Um luxo	50 – 60
Uma despesa	60 – 70
Um argumento de venda	70 – 80
Uma fonte de lucro	80 – 90
Uma questão de sobrevivência	90

É importante observar que o termo controle de qualidade pode apresentar diferente significado para diferentes pessoas. Algumas consideram controle de qualidade como sendo todo o processo de garantia de qualidade, ao passo que outras, consideram apenas como a etapa de análise de resultados de ensaios [DEWAR, 2004].

O conjunto de atividades realizadas para obtenção de um produto de qualidade é chamado, de acordo com Helene (1993), sistema de qualidade. Este, por sua vez, deve ser um processo integrado por todo o ciclo de produção, assegurando assim que a qualidade seja garantida ao longo do desenvolvimento do processo, ao invés de apenas ser verificada ao final. A prevenção de problemas deve ser enfatizada mais do que a correção após a ocorrência destes [NBR ISO 9000-3:1993].

Kennedy (2005) indica que um bom sistema de qualidade é aquele que executa a documentação dos procedimentos e resultados obtidos, uma vez que tal fonte de dados é de grande utilidade para a identificação de problemas que possam vir a ocorrer. O sistema de qualidade é constituído por fatores como: controle de qualidade, garantia de qualidade, controle de produção e monitoramento de qualidade. A definição associada a estes termos é apresentada a seguir [NBR ISO 9000:2000; DEWAR, 2004; TAERWE, 1991]:

- **Garantia de qualidade:** conjunto de medidas de controle que permitem que os consumidores tenham certeza de que o controle vem sendo empregado, garantindo dessa forma o fornecimento de um produto / serviço de qualidade. Consiste no planejamento das medi-

das que serão realizadas ao longo do processo de controle de qualidade;

- Controle de qualidade: corresponde às operações realizadas periodicamente visando manutenção da qualidade do produto em um determinado padrão de qualidade²¹ estabelecido pela empresa. O controle de qualidade envolve decisões e tomada de ações por parte dos técnicos responsáveis pela central de concreto;
- Controle de produção: consiste no controle durante a produção e operação das atividades envolvidas na linha de produção do concreto através de controle preventivo;
- Monitoramento de qualidade: medida da qualidade de produção com conseqüente observação da necessidade de intervenção no processo de modo que o padrão estabelecido pela empresa seja mantido.

É importante destacar que o controle de qualidade não deve ser associado a critérios rigorosos de qualidade do produto, muito menos a testes de aceitação do concreto. A qualidade do produto é definida com base em especificações da empresa sendo o controle de qualidade a atividade responsável em garantir que a qualidade do produto seja alcançada com custos mínimos [DAY, 1999].

Em se tratando da linha de produção do CDC, Dewar (2004) divide o controle de qualidade em três etapas distintas, sendo as características destas apresentadas a seguir:

- Controle antecipado: realizado através de estudos de dosagem do concreto, controle das propriedades dos insumos e equipamentos de produção e ensaio;
- Controle imediato: é a ação de controle durante o processo de produção do concreto. O controle imediato é responsável pela verificação e correção de problemas de pesagem; controle de umidade dos agregados; realização de correções de dosagem, quando necessário; observação dos procedimentos de moldagem e ensaios de campo e inspeção durante a descarga do concreto.
- Controle retrospectivo: é responsável pelo diagnóstico de resultados não conformes, bem como na eventual correção destes. Para tanto, baseia-se na coleta de informações e resultados de ensaios de campo e resistência de corpos-de-prova, controle de insumos e reclamações por parte dos consumidores.

Uma vez que os diferentes tipos de controle de qualidade sejam estabelecidos em uma central de concreto, maiores serão as chances de

²¹ De acordo com Helene (1993) os produtos, serviços ou processos devem atender à uma mesma função através de padrões que podem ser distintos;

não apenas identificar a causa de uma determinada variação, mas também de eliminação desta de modo antecipado. Logo, uma menor dispersão de resultados e consequente aumento da qualidade da produção tende a ser observado.

Antes da definição dos métodos de análise de resultados utilizados nas centrais, é importante entender como é dada a distribuição de resultados do principal parâmetro de controle do concreto, ou seja, a resistência à compressão. Desse modo, o item que segue tem por objetivo descrever o comportamento destes resultados bem como apresentar quais são os métodos estatísticos associados à análise destes.

4.3 Distribuição dos resultados de resistência à compressão do concreto

De acordo com Rüsç (1975) *apud* Helene (1993), a distribuição normal ou de Gauss é um modelo matemático que pode representar de maneira satisfatória a distribuição de resistências à compressão. Assim sendo, tal propriedade pode ser explicada estatisticamente através de um dado valor médio e respectivo desvio-padrão [DAY, 1999; NEVILLE, 1997; HELENE, 1993].

Na distribuição normal de resultados, o valor médio e o desvio-padrão se relacionam através da Eq. 2. Tal equação permite a definição da probabilidade de ocorrência de um determinado valor X_i . Na Figura 36 é apresentada a curva de distribuição normal dos resultados.

$$\mu = X_i + z \cdot \sigma \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

μ - Média da população;

X_i - valor qualquer da distribuição;

z - função de densidade de probabilidade para a distribuição normal da população;

σ - desvio-padrão da população;

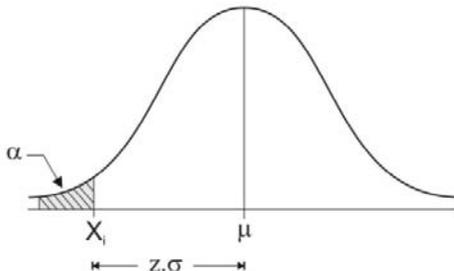


Figura 36 – Curva de distribuição normal.

Em se tratando do número limitado de dados ($n < 30$), a Eq. 2, destinada a análise de uma população, conforme apresentado na Eq. 3. Tal equação representa a distribuição t de Student, que consiste em uma curva de probabilidade teórica, cuja forma é semelhante á curva normal padrão (Figura 36). A distribuição t-Student pode é utilizada para determinar a média de uma população, com distribuição normal, a partir de uma amostra.

$$f_{cj} = f_{ck} + t_{(\alpha, n-1)} \cdot s_d \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

f_{cj} – resistência média à compressão (resistência de dosagem),

f_{ck} – Resistência característica à compressão;

α – grau de significância especificada;

$t_{(\alpha, n-1)}$ – função de densidade de probabilidade para a distribuição t-Student considerando um valor de significância “ α ” e “ $n-1$ ” graus de liberdade;

s_d – desvio-padrão da amostra;

n – número de dados da amostra.

A NBR6118:2003 recomenda a utilização de um grau de significância de 5,0%, assim sendo, para um elevado número de dados ($n > 30$), o valor da constante $t_{\alpha=0,05}$ é igual a 1,65. Logo, a Eq. 3 pode ser reescrita conforme apresentado na Eq. 4.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot s_d \quad \text{Eq. 4}$$

Apesar da NBR12655:2006 definir valores de desvio-padrão, nota-se que este deve ser considerado apenas como um valor de partida, sendo as centrais de concreto responsáveis pela determinação do desvio-padrão de seu processo de produção de modo a garantir que a resistência seja atendida. Segundo a mesma norma, em nenhum caso o valor de s_d adotado deve ser inferior à 2,0 MPa.

Para cada central, o valor de s_d reflete a variabilidade da resistência do material que é função da variação das características dos insumos, das condições de produção, das condições climáticas e tempo decorrido entre mistura e lançamento [PRUDÊNCIO JR. et al, 2007].

Destaca-se ainda que a Eq. 4 é utilizada para a determinação da resistência de dosagem do concreto, isto é, o concreto será produzido

para uma resistência de dosagem tal que permita que 95,0 %²² dos resultados de resistência estejam acima da resistência característica conforme apresentado na Figura 37. Nesta mesma figura é apresentado um comparativo de três centrais de concreto que apresentam diferentes desvios de produção.

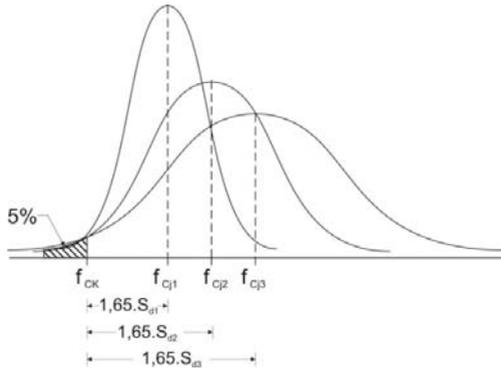


Figura 37 – Curva de distribuição normal de resistência à compressão do concreto.

Na Figura 37 nota-se que, independente do desvio-padrão de produção, todas as empresas são capazes de fornecer concreto com a resistência à compressão solicitada (f_{ck}). Todavia, a concreteira 1 apresenta vantagens em relação às demais, pois esta tem o menor desvio-padrão e, conseqüentemente, poderá produzir o concreto com mesma especificação que as demais por um custo mais baixo. Diante disso, nota-se a importância do controle de qualidade de produção do CDC, pois através deste pode-se garantir um menor desvio de produção o que, por sua vez, resulta em menor resistência de dosagem e conseqüente economia no custo de produção do concreto.

É importante considerar que, em determinados casos, a distribuição de um determinado grupo de resultados pode apresenta assimetria, seja para a parte superior ou inferior da cauda. Neste caso, Day (1999) indica que estas ocorrem principalmente devido a existência de erros sistemáticos, por exemplo, equipamento não calibrado. Todavia, a chance de existência de problemas com uma determinada partida de agregados ou cimento utilizado na produção do concreto não deve ser descartada.

²² O ACI214R-02 considera grau de confiabilidade de 90%, enquanto que a NBR6118:2003 considera confiabilidade de 95%;

Além disso, existem casos de curvas de distribuição normal com dois picos. Tal fato pode estar atrelado à combinação de resultados de concretos de diferentes resistências características, a variações significativas de condições climáticas entre o período da manhã e tarde de um mesmo dia, ou ainda a resultados provenientes de diferentes equipamentos de ensaio [DAY, 1999; CHUNG, 1993]. Somado a estes, destaca-se a existência de diferentes atitudes por partes das construtoras quanto à política de qualidade. Assim sendo, um concreto fornecido pela mesma central pode apresentar variabilidade completamente diferente dependendo da obra no qual este fora entregue. Independente da origem, esta deve ser identificada pelo sistema de controle de qualidade e corrigida da forma mais rápida possível.

Como fatores cruciais para a redução da variabilidade do processo, Helene (1993) destaca que todo o produtor deve exigir mão-de-obra qualificada e equipamentos de ensaio adequadamente aferidos, sob a pena de prejudicar indiretamente a avaliação de seu próprio concreto.

Conforme discutido no item 3.3.1, a resistência do concreto pode ter sua variabilidade explicada por dois principais aspectos: variabilidade devida ao ensaio e variabilidade devido ao produto e processo [NBR7212:1984; ACI214R-02]. Assim sendo a variância total do processo pode ser dada pela Eq. 5.

$$\sigma_{TOTAL}^2 = \sigma_{ENSAIO}^2 + \sigma_{CONCRETO}^2 \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

σ_{TOTAL} – variância do concreto;

σ_{ENSAIO} – variância do ensaio;

$\sigma_{CONCRETO}$ – variância devido ao produto e processo;

A variância de ensaio é atribuída a fatores como o procedimento de amostragem, moldagem dos corpos-de-prova, procedimento de cura e preparação dos topos dos corpos-de-prova, assumindo que o equipamento de ensaio está devidamente calibrado, ao passo que a variância do concreto (caminhão para caminhão) é atribuída a variações decorrentes dos materiais constituintes e procedimento de produção do concreto [ACI214R-02].

É importante destacar que ambos os valores podem ser calculados de acordo com as especificações da NBR7212:1984 e são classificados em diferentes níveis conforme apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Desvio-padrão de produção do concreto [NBR7212:1984].

Local de preparo do concreto	Desvio-padrão (MPa)			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Central	3,0	3,0 – 4,0	4,0 – 5,0	> 5,0
Laboratório	1,5	1,5 – 2,0	2,0 – 2,5	> 2,5

Segundo a NBR7212:1984, cada central apresenta um determinado desvio-padrão total e este é utilizado na Eq. 4 para a determinação da resistência de dosagem. Todavia, uma vez que o valor de desvio-padrão não é constante para diferentes níveis de resistência (Figura 38), a utilização de um desvio-padrão fixo pode ser considerada inadequada. Alguns autores indicam a utilização do coeficiente de variação²³ para análise de dispersão da resistência do concreto, pois este permite embutir o aumento do desvio-padrão para diferentes níveis de resistência [NEVILLE, 1997; AÏTCIN, 2000]. Na Tabela 9, são apresentados os limites gerais de controle de qualidade estabelecidos segundo o ACI214R-02.

Cabe destacar que a comparação quanto aos resultados obtidos considerando as especificações da norma e utilização do coeficiente de variação será apresentada no próximo capítulo.

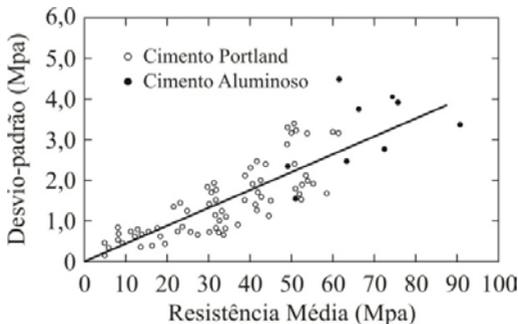


Figura 38 - Correlação entre resistência média e desvio-padrão [NEVILLE, 1997].

Independente da utilização do desvio-padrão ou coeficiente de variação, as variações de ensaio e produção podem ocorrer devido a fatores identificáveis ou não. No que tange a estes, Day (1999) apresenta como principais tipos de variações observadas nas centrais a variabilidade básica, ou seja, a combinação da variação aleatória (sem causa identificada) e variações causadas por procedimentos de ensaio; variação

²³ O coeficiente de variação de uma amostra é destacado na Eq. 9.

isolada de causa identificada e variação do valor médio por período prolongado.

Tabela 9 – Classificação do controle de qualidade do concreto em função do coeficiente de variação [ACI214R-02].

Classificação	Coeficiente de variação (%)				
	Excelente	Muito boa	Boa	Adequada	Pobre
Campo	< 7,0	7,0 – 9,0	9,0 – 11,0	11,0 – 14,0	> 14,0
Laboratório	< 3,5	3,5 – 4,5	4,5 – 3,5	5,5 – 7,0	> 7,0

Com base na observação da Figura 39, pode-se concluir que o processo de produção do concreto só pode ser considerado estacionário em relação a média para determinados intervalos de tempo. De acordo com Fusco (2008), a principal causa da modificação do valor médio está associada a variação da qualidade dos materiais e mão-de-obra empregada para um determinado lote. Day (1999) aponta que a variação no valor médio é indicada por variações da ordem de 2,0 MPa a 5,0 MPa, sendo que variações abaixo de 2,0 MPa consideradas como não detectáveis.

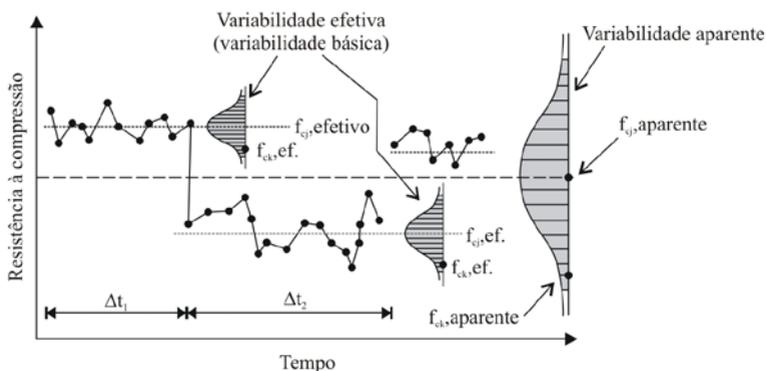


Figura 39 – Variabilidade dos resultados de resistência à compressão em uma central de concreto [FUSCO, 2008].

Os resultados de resistência à compressão de uma central podem ser analisados e interpretados segundo uma série de métodos, sendo o de melhor desempenho aquele capaz de identificar, independente do uso de métodos estatísticos e da forma mais rápida possível, não apenas variações de resultados, mas também a provável causa deste de modo que medidas efetivas para a correção desta causa sejam tomadas [DAY,

1999]. No item que segue são discutidos os principais métodos de análise de resultados utilizados nas centrais de concreto.

4.4 Métodos de análise de resultados

Além das verificações efetuadas no concreto fresco, deve-se proceder ao controle da resistência à compressão, uma vez que todo o concreto será julgado através de sua qualidade final. Esta, por sua vez, é dada por sua resistência à compressão em uma idade prescrita. Diante disso, observa-se o porquê do grande interesse do controle da resistência que, se não retifica, pelo menos ratifica a produção em termos de qualidade [HELENE, 1993].

Diante do exposto, as metodologias propostas para análise do controle da eficiência de produção e eventual identificação de variações no processo, têm por base a resistência à compressão. Segundo Helene (1993), o controle dessa variável é de grande valia para corrigir o processo e baratear a produção sem queda do padrão de qualidade. Contudo, não se pode deixar de coletar e analisar dados das demais propriedades do concreto no estado fresco, bem como condições de contorno da produção, pois estas, combinadas com a resistência a compressão, fornecem informações valiosas que permitem a identificação e correção das possíveis causas de variação.

É importante destacar que, independente do método utilizado, estes não são responsáveis pelo controle do processo, mas sim para verificar se o processo de controle de qualidade realizado em campo e em laboratório está sendo empregado de modo efetivo [LOBO, 2006].

De acordo com Helene (1993) e Day (1999), entre outros autores, um controle eficiente necessita de uma rápida retro-alimentação das variáveis que vêm sendo controladas, neste caso, a resistência à compressão. Desse modo, a utilização de resultado de resistência à 28 dias de idade não se torna interessante para o controle de produção²⁴. Para tanto, visando uma tomada de decisões mais rápida, recomenda-se o uso de ensaios acelerados à 1 ou 3 dias de idade, ou ainda a 7 dias.

Além disso, Chung (1993) destaca que, para que os métodos de análises apresentem desempenho satisfatório, é necessário que o processo de produção apresente análise estatística, isto é, seja controlado de forma adequada, apresentando apenas variações aleatórias e consequente distribuição normal. Uma vez que uma determinada variação não aleatória ocorra o regime estatístico é perturbado e o sistema é capaz de identi-

²⁴ Observa-se que os resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade devem ser determinados, pois este é especificado em norma como critério de aceitação do concreto da estrutura.

ficar e corrigir tal variação, garantindo assim que a análise estatística seja restabelecida.

Dentre os principais métodos de análise de resultados, pode-se destacar o uso de:

- Cartas de controle;
- Método de soma acumulada;

O uso das cartas de controle²⁵ está entre os métodos mais empregados na verificação dos resultados das centrais de concreto [CHUNG, 1993; SEAR, 2003]. Este método é composto por uma série de gráficos de controle recomendados pelo ACI214 e NBR6118:2003. O método de soma cumulativa, apesar de recomendado como método de análise complementar pelo ACI214, é extremamente útil na identificação de variações no processo. Destaca-se que a norma britânica BS5703 recomenda o método de soma acumulada como método de controle para centrais de concreto. Ambos os métodos são apresentados e discutidos nos itens que seguem.

4.4.1 Cartas de controle

As cartas ou gráficos de controle são determinados mediante a plotagem de uma série de resultados de uma determinada variável ao longo de um período. A observação do gráfico permite identificar, em uma primeira aproximação e de forma subjetiva, a variação da qualidade da variável controlada. Na Figura 40 é apresentado um exemplo de carta de controle para valores individuais de resistência à compressão.

A Figura 40 indica que a utilização de tais gráficos é de pouca valia para identificação de variações de valores médios e desvio-padrão. É possível notar que houve variação, mas tal determinação apresenta elevado grau de subjetividade e não permite identificação da possível causa.

Entretanto, o uso de limites de controle, baseados no desvio-padrão da produção, permite que tais gráficos, inicialmente de análise subjetiva, possam ter uma interpretação estatística controlada e, por isso, apresenta maior eficiência na identificação da existência ou não de variações e eventual necessidade de intervenção no processo [LOBO, 2006; SEAR, 2003]. Cabe destacar que o uso destes limites visa apenas a identificação de variação no processo e não tem caráter de aceitação ou rejeição do concreto.

²⁵ De acordo com Day (1999), a denominação “gráficos” ou “carta de controle” é considerada errônea na medida em que tais gráficos não são responsáveis pelo controle de qualidade, mas sim monitoramento dos resultados servindo de base para que intervenções sejam realizadas no processo.

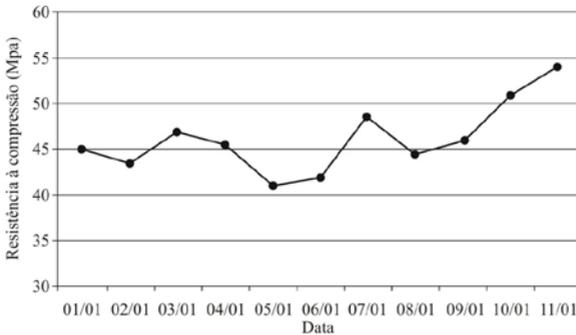


Figura 40 – Carta de controle para valores individuais de resistência à compressão do concreto [SEAR, 2003].

Chung (1993) indica que as cartas de controle são úteis para a determinação das causas das variações quando analisadas em paralelo com uma base de dados das propriedades do concreto no estado fresco e possíveis variações de tempo de transporte e temperatura.

Dentre os principais tipos de gráficos de controle empregados na verificação da eficiência do controle de qualidade do concreto destaca-se a análise de valores individuais, média móvel e média móvel da amplitude da resistência e carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle [ACI214-02; HELENE, 1993; SEAR, 2003].

4.4.1.1 Carta de valores individuais

A carta de valores individuais apresenta os valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova ensaiados (Figura 41). O valor médio corresponde a resistência de dosagem (f_{cj}) do concreto e os limites superior e inferior são determinados em função do desvio-padrão do processo de produção, isto é, o desvio padrão da central de concreto calculados com base em dados anteriores [SEAR, 2003].

Inicialmente, os limites empregados para o controle de produção correspondiam à uma faixa de mais ou menos três vezes o desvio-padrão. Todavia, Day (1999) destaca que a utilização desta faixa necessita de uma grande quantidade de resultados até que valores fora dos limites sejam observados. Assim sendo, a utilização de faixas mais estreitas, apesar de resultar em uma maior quantidade de alarmes falsos, permite a identificação de variações de forma mais rápida.

Atualmente, os limites de controle adotados nas cartas de valores individuais variam de acordo com o grau de precisão estipulado pela central de concreto. É importante observar que os limites não podem ser nem tão estreitos a ponto de resultar em elevada quantidade de alarmes

falsos, nem tão largos a ponto de não identificar variações consideradas significativas [CHUNG, 1993]. Em alguns casos, faz-se uso de diferentes limites em um mesmo gráfico de controle conforme indicado na Figura 41.

Os limites especificados pelo ACI214R-02 são determinados através da Eq. 6.

$$f_{\text{limite superior, inferior}} = f_{cj} \pm z \cdot s_d \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

$f_{\text{limite superior}}$ – faixa superior de resistência – considera o sinal positivo (+);

$f_{\text{limite inferior}}$ – faixa inferior de resistência – considera o sinal negativo (-);

z – constante que representa o número de desvios-padrão entre a f_{cj} e f_{limite} ²⁶.

s_d – desvio-padrão da central de concreto;

Uma vez que os resultados são normalmente distribuídos, as análises de tendências nos gráficos de controle podem ser realizadas por meio de métodos probabilísticos. Contudo, não está no escopo deste trabalho relatar os métodos probabilísticos envolvidos em tais análises. De modo simplificado, pode-se afirmar que, para os limites adotados, a observação de três em dez pontos consecutivos, fora do limite de atenção ou um em dez pontos fora do limite de ação, é suficiente para caracterizar variação significativa no processo de produção [CHUNG, 1993].

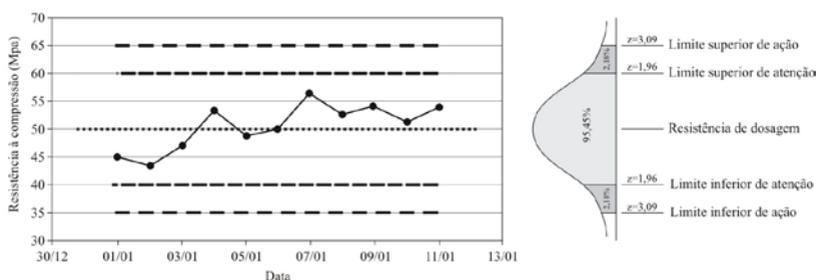


Figura 41 - Carta de valores individuais [Adaptado de SEAR, 2003].

Apesar das cartas de valores individuais apresentarem um bom indicativo da estabilidade da produção, a utilização única e exclusiva destas não é suficiente na detecção de variações dos valores de média e desvio-padrão de produção. Para tanto, recomenda-se análise conjunta

²⁶ O valor de “z” varia de acordo com a confiabilidade considerada. Em se tratando dos limites de controle de produção, faz-se uso de valores de $z=1,96$ para limite de atenção (confiabilidade de 95%) e $z=3,09$ para limite de ação (confiabilidade de 99%) [CHUNG, 1993; ACI214R-02].

com a carta de média móvel e carta de média móvel da amplitude que são apresentadas na seqüência.

4.4.1.2 Carta de média móvel

O uso dos valores médios dos resultados no traçado das cartas de controle possibilita a redução do ruído²⁷ observado na carta de valores individuais. Esta diferença pode ser observada comparando os gráficos “a” e “b” da Figura 42.

A utilização das cartas de média móvel permite a identificação mais rápida das tendências de aumento e redução de resistência ao longo do processo. Além disso, tais gráficos possibilitam a comparação do desempenho entre diferentes períodos de produção [LOBO, 2006; CHUNG, 1993].

No que diz respeito à definição dos limites de controle, pode-se utilizar as mesmas considerações empregadas para os limites das cartas de valores individuais. Contudo, uma vez que o desvio-padrão da população (σ) é desconhecido, os limites de confiança do valor da média (Figura 42b) devem ser determinados segundo Eq. 7.

$$f_{\text{limite superior ,inferior}} = f_{cj} \pm \frac{z \cdot S_d}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

n – número de dados utilizados para o cálculo da média da amostra;

Geralmente, a determinação dos valores médios, é dada através do uso de séries de três a cinco últimos resultados de resistência à compressão. Todavia, quando a base de dados contém grande quantidade de resultados, pode-se fazer o uso de séries de dez a quinze dados.

Day (1999) destaca que a utilização de valores médios pode ser responsável por mascarar determinadas variações nos resultados individuais. Logo, recomenda-se a representação combinada da carta de valores individuais e média móvel conforme apresentado na Figura 42.

4.4.1.3 Carta das máximas amplitudes

A amplitude corresponde à diferença absoluta entre a máxima e mínima resistência à compressão de grupos de corpos-de-prova de um mesmo concreto. Geralmente, este grupo é limitado a um mínimo de duas amostras, constituindo assim um par de corpos-de-prova [HELENE, 1993].

²⁷ Falta de suavidade ou elevada oscilação observada pela linha que acompanha a tendência dos resultados;

Levando em consideração a hipótese de que o procedimento de preparo é praticamente idêntico para o par dos corpos-de-prova, o ACI214R-02 considera que o valor de variação de resistência dentro do par de corpos-de-prova não está associado à qualidade do procedimento de cura, capeamento ou máquina utilizada no ensaio de compressão.

Contudo, os resultados apresentados por HELENE, 1993 e PRUDÊNCIO, JR. *et al*, 2007 indicam que esta afirmativa não é verdadeira. Ambos os autores indicam que o valor de variação de resistência dentro do par é função principalmente da moldagem, transporte, capeamento e procedimentos de rompimento dos corpos-de-prova.

Tal consideração permite afirmar que a variação de resistência de um par de corpos-de-prova é intimamente ligada ao processo de moldagem. Assim sendo, o acompanhamento da amplitude por meio das cartas de amplitude máxima tem como objetivo indicar a uniformidade do processo de moldagem e corresponde a um bom indicativo da necessidade ou não de treinamento da equipe técnica responsável pela execução deste procedimento. Esta consideração é válida caso todas as etapas tenham sido realizadas por um mesmo técnico e tenham sido utilizados os mesmos equipamentos. Do contrário, diferenças geométricas dos moldes e pratos de capeamento utilizados podem gerar variabilidade que não representa necessariamente carência de técnica por parte da equipe técnica. Assim sendo, é necessário cautela na análise dos resultados e conclusões obtidas por meio das cartas de amplitude.

Na Figura 42c é apresentado uma carta de máximas amplitudes, onde cada ponto corresponde à média de dez amplitudes consecutivas²⁸. Todavia, podem ser utilizados agrupamentos de até quinze pontos para o cálculo do valor médio [ACI214R-02].

Os limites de controle para a carta de máxima amplitude (Eq. 8) são determinados com base no número de corpos-de-prova de um mesmo grupo, no padrão de qualidade estabelecido pela central (coeficiente de variação) e na resistência de dosagem do concreto.

$$R_{inf,sup} = f_{cj} \cdot C.V \cdot d_2 \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

$R_{inf,sup}$ – Limites inferior e superior de amplitude;

$C.V$ – coeficiente de variação (Consultar Tabela 9);

d_2 – coeficiente de correlação entre a amplitude e o desvio-padrão de um dado grupo de “n” corpos-de-prova²⁹;

²⁸ Considerado como quantidade mínima de resultados para que a carta apresente tendências significativas do comportamento do processo [ACI214R-02].

²⁹ Para n=2 o valor de $d_2=1,128$; para n=3 o valor de $d_2=1,693$ [NBR7212:1984; ACI214R-02].

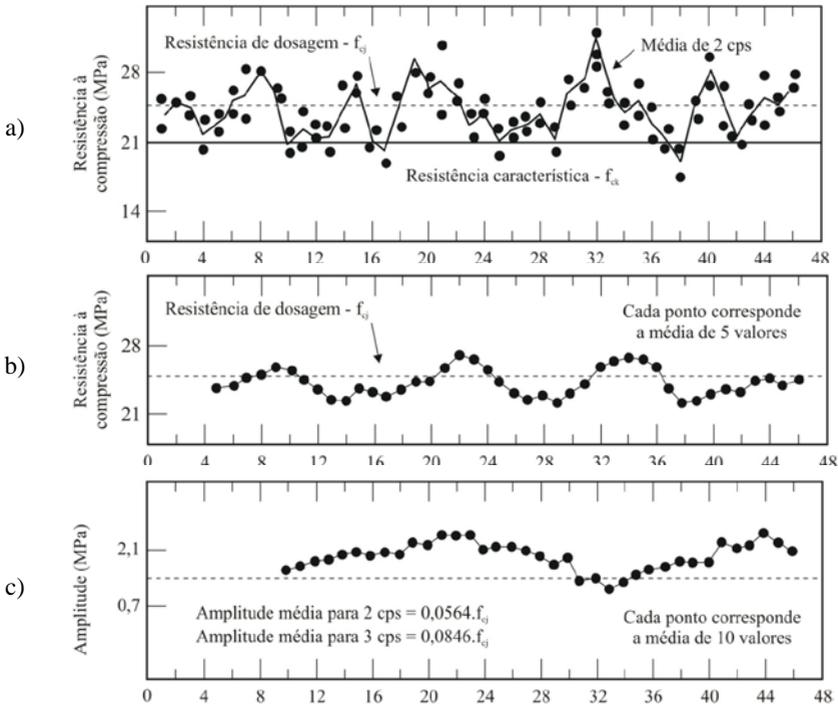


Figura 42 – Cartas de controle: (a) valores individuais; (b) média móvel; (c) amplitude máxima [ACI214R-02].

4.4.1.4 Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle

Como exposto no item anterior, a carta de máxima amplitude não reflete a uniformidade das condições de ensaios do laboratório da central de concreto. A verificação desta uniformidade torna-se interessante pois permite a definição mais precisa do desvio-padrão de todo o processo e conseqüentemente maior confiabilidade na estimativa da resistência de dosagem. Considerando o controle de qualidade do concreto realizado de forma adequada, a maior precisão na determinação do desvio-padrão da produção pode vir a resultar em redução da resistência de dosagem e conseqüente economia no consumo de cimento na produção do concreto.

Helene (1993) indica que uma boa maneira de controlar a eficiência das operações é dada através do acompanhamento do coeficiente de variação dentro do ensaio (Figura 43). Sendo o coeficiente de variação

determinado segundo a Eq. 9 e os limites estabelecidos segundo os padrões da NBR7212:1984 (Tabela 10).

$$C.V_{ensaio} = 100 \cdot \sigma_{ensaio} / f_{m\u00e9dio} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

$C.V_{ensaio}$ – coeficiente de variação dentro do ensaio (Tabela 10);

σ_{ensaio} – desvio padrão dentro do ensaio;

$f_{m\u00e9dio}$ – m\u00e9dia das resist\u00eancias m\u00e9dias de cada exemplar.

Tabela 10 – Coeficiente de variação dentro do ensaio [NBR7212:1984].

Local de preparo do concreto	Coeficiente de variação			
	N\u00edvel 1	N\u00edvel 2	N\u00edvel 3	N\u00edvel 4
Central	< 3,0	3,0 – 5,0	5,0 – 6,0	> 6,0
Laborat\u00f3rio	< 2,0	2,0 – 4,0	4,0 – 5,0	> 5,0

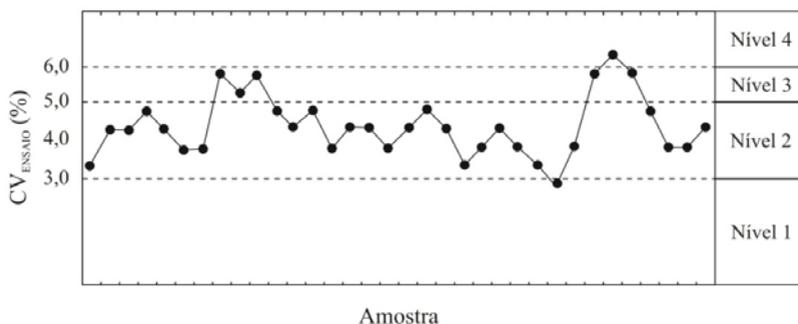


Figura 43 – Carta de coeficiente de variação das opera\u00e7\u00f5es de ensaio e controle [Adaptado de HELENE, 1993].

4.4.2 M\u00e9todo da soma acumulada

O m\u00e9todo da soma acumulada³⁰ foi desenvolvido para an\u00e1lise de resultados na ind\u00fastria qu\u00edmica e posteriormente adaptado para a ind\u00fastria do concreto. De acordo com Sear (2003) e Dewar (2004), somente a partir dos anos 70 as centrais de concreto brit\u00e2nicas come\u00e7aram a fazer uso deste m\u00e9todo.

O procedimento de an\u00e1lise consiste no c\u00e1lculo da diferen\u00e7a dos resultados individuais em rela\u00e7\u00e3o a um valor m\u00e9dio de refer\u00eancia, ou seja, determina\u00e7\u00e3o dos res\u00edduos. Em se tratando do CDC, este valor de

³⁰ Conhecido como “cumulative sum” ou “cusum” [DEWAR, 2004].

referência corresponde, inicialmente, à resistência de dosagem ($f_{c,j}$) e, ao longo da produção, à média dos resultados de resistência à compressão. Os valores das diferenças são sucessivamente somados constituindo assim o método de soma acumulada [CHUNG, 1993; DAY, 1999].

Por definição, em se tratando de uma distribuição normal, o somatório dos resíduos é nulo (Eq. 10). Assim sendo, caso o resíduo seja representado de forma gráfica, há de se observar uma série de pontos que se distribuem em relação à média com tendência horizontal. Entretanto, na existência de variações que perturbem a distribuição normal, neste caso, os fatores responsáveis pela variação das propriedades do concreto, o somatório dos resíduos passa a ser diferente de zero (Eq. 11) e a representação gráfica indica um comportamento crescente ou decrescente da variável analisada. Desse modo, pode-se utilizar o gráfico dos valores de resíduos para análise do comportamento do processo de produção.

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N (\bar{X} - X_i) \approx 0 \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

ε_i – resíduo do valor individual;

\bar{X} – valor médio;

X_i – valor individual da amostra;

N – tamanho da amostra;

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N ((\bar{X} + \delta) - X_i) \approx (N - m) \cdot \delta \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

δ – variação do valor da média;

m – corresponde ao momento onde a variação do valor da média foi observado;

O traçado dos resultados de soma acumulada de forma gráfica constitui a carta de soma acumulada ou gráfico de soma acumulada conforme apresentado Figura 44. Destaca-se que a carta de valores de resistência é conhecida como “*cusum-M*” (Figura 44a) e de valores de desvio-padrão como “*cusum-R*” (Figura 44b) [SEAR, 2003; CHUNG, 1993].

Quando comparadas às cartas de controle, o método de soma acumulada apresenta como vantagens a rápida detecção de pequenas variações e possibilidade de identificação aproximada do período onde a modificação ocorreu o que, por sua vez, facilita a identificação da causa [ACI214R-02; DAY, 1999; SEAR, 2003].

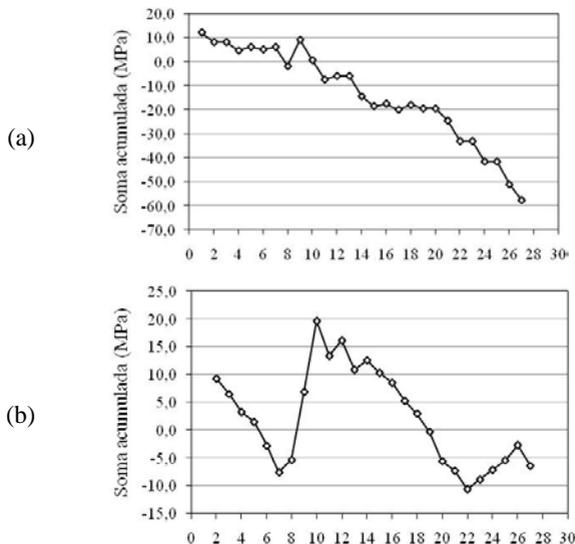


Figura 44 – Carta de soma acumulada: (a) valores individuais; (b) desvio-padrão [Adaptado de CHUNG, 1993].

Cabe destacar que a análise do desvio-padrão é dada por meio do acompanhamento da amplitude dos resultados. Neste caso, faz-se uso da Eq. 12 para determinação da amplitude correspondente ao desvio-padrão da produção.

$$\bar{R} = d_2 \cdot s_d \quad \text{Eq. 12}$$

Onde:

s_d – desvio-padrão da central de concreto;

\bar{R} – amplitude média do processo de produção;

Quanto aos limites de controle, estes são dados por meios de máscaras de controle que têm como parâmetros o desvio-padrão da produção. A configuração das máscaras de controle, também denominadas máscara tipo “V”, e os parâmetros recomendados são apresentados na Figura 45.

De modo a avaliar a existência de variações no processo, a máscara de controle deve ser posicionada no último ponto lançado no gráfico. O momento no qual a linha que une os resultados intercepta a máscara de controle constitui um ponto de variação³¹. A partir deste ponto,

³¹ Quando a parte superior da máscara é cortada existe a indicação de que o valor da média do processo foi reduzida, ao passo que a intersecção com a parte inferior indica aumento do valor médio [CHUNG, 1993].

determina-se a data de ocorrência da variação e investiga-se a possível causa de variação. De acordo com Chung (1993) as modificações no comportamento dos resultados de resistência à compressão são associadas principalmente a variações na qualidade e proporcionamento dos insumos, ao passo que as do desvio-padrão correspondem a variações no processo de produção e ensaios.

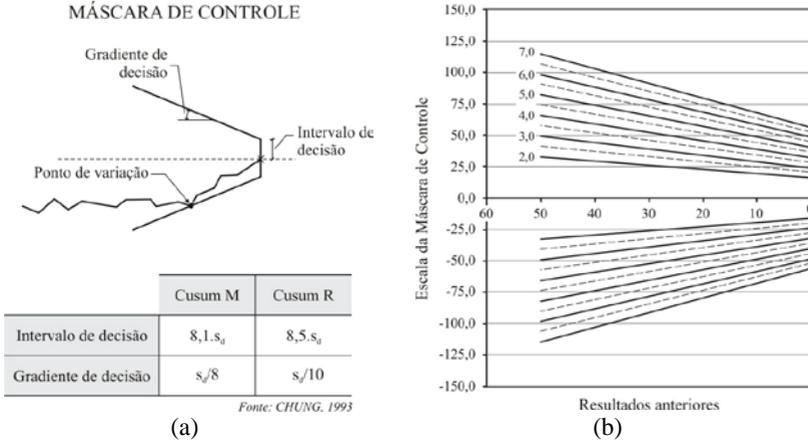


Figura 45 – Máscaras de controle: (a) parâmetros da máscara de controle [Adaptado de CHUNG, 1993]; (b) representação gráfica das máscaras [SEAR, 2003].

Day (1999) destaca que o controle do processo através do uso de máscaras de controle é considerado adequado, porém não supera a eficiência da análise visual de um técnico experiente. Tal experiência é necessária de modo que variações aleatórias não sejam interpretadas erroneamente como variações sistemáticas, constituindo assim uma situação de alarme falso.

4.4.3 Considerações sobre os métodos

As cartas de controle podem ser consideradas como ferramentas adequadas para verificação da estabilidade do processo e identificação de variações ao longo deste. A variação isolada do valor médio ou do desvio-padrão da produção é de simples identificação e, quando analisadas em paralelo aos resultados de campo, permitem determinar a possível causa da variação. Todavia, a ocorrência de variação combinada do valor médio e desvio-padrão tornam a interpretação mais complexa e impossibilitam a identificação de uma ação definida a ser tomada.

A análise de valores médios é de grande valia para acelerar a identificação de variações ao longo do processo. Contudo, Day (1999) e

Lobo (2006) alertam que o agrupamento de dados pode mascarar variações individuais e prejudicar a interpretação dos dados. Desse modo, recomenda-se a análise conjunta da carta de valores individuais e valores médios de modo a identificar se os resultados foram ou não mascarados quando agrupados.

Quanto ao método de soma acumulada, este apresenta elevadas vantagens frente às cartas de controle, pois permite identificação mais rápida e precisa das variações no processo. Soma-se à este, a maior sensibilidade para observação de pequenas variações.

No que tange aos resultados considerados na plotagem do gráfico de soma acumulada, destaca-se que as variações individuais de grande amplitude devem ser consideradas como valores espúrios e eliminadas da análise, uma vez que a inclusão destes pode perturbar o regime estatístico dos resultados. Recomenda-se ainda cuidados quanto a escala empregada, pois o uso de escalas desproporcionais podem prejudicar a interpretação de resultados. Chung (1993) recomenda que os pontos devem ser afastados um dos outros uma distância correspondente à 5,0 MPa da escala vertical.

Apesar de apresentadas apenas as análises de resistência à compressão e desvio-padrão de produção é importante observar que, independente do método empregado, o acompanhamento de outras variáveis durante o processo de produção, por exemplo, temperatura, tempo de transporte, teor de ar incorporado e abatimento, são de grande auxílio para realização de análise cruzada de variáveis facilitando assim a identificação das causas de variações [DAY, 1999].

Na Tabela 11 são apresentados resultados de resistência à compressão de corpos-de-prova de uma determinada central de concreto que permite comparar os dois métodos apresentados. Tais resultados foram extraídos do ACI214R-02, porém optou-se pela análise destes segundo os critérios da NBR7212:1984 e NBR6118:2003. Os gráficos de controle são também apresentados na Tabela 11. Destaca-se que, para a realização dos cálculos, considerou que a média 35,8 MPa e o desvio-padrão 3,52 MPa.

Como pode ser observado, apesar da existência de uma tendência de redução no valor de resistência, indicada visualmente na carta de soma acumulada, essa não é observada na carta de valores individuais. Quanto à carta da média móvel, essa é responsável pela redução do ruído dos resultados individuais e permitiria concluir que existe uma determinada tendência de redução. Contudo, tal redução é seguida por um trecho de aumento de resistência o que vem a dificultar a interpretação e eventual tomada de decisões quanto a intervenções no processo.

Considerando o gráfico de soma acumulada e que a mudança de valor médio ocorreu no teste número 10, pode-se estimar uma variação total de 2,1 MPa na resistência do concreto³². Assim sendo, o presente exemplo indica o potencial da carta de soma acumulada frente as cartas de controle na identificação de pequenas variações em menor intervalo de tempo.

Tabela 11 – Resultados de resistência à compressão do concreto de uma determinada central [ACI214R-02].

Resultados				Gráficos de Controle segundo diferentes métodos
Resultado do ensaio (MPa)	Resíduo (MPa)	Soma Acumulada (MPa)	Média Móvel (MPa)	
37,0	1,2	1,2	---	Carta de Valores Individuais
34,7	-1,1	0,1	---	
32,8	-3,0	-2,9	34,8	
37,8	2,0	-0,9	35,1	
35,2	-0,6	-1,5	35,3	
36,5	0,7	-0,8	36,5	
39,6	3,8	3,0	37,1	Carta de Média Móvel
37,6	1,8	4,8	37,9	
33,6	-2,2	2,6	36,9	
33,6	-2,2	0,4	34,9	
35,1	-0,7	-0,3	34,1	
31,8	-4,0	-4,3	33,5	
36,4	0,6	-3,7	34,4	Carta de Soma Acumulada
32,5	-3,3	-7,0	33,6	
31,0	-4,8	-11,8	33,3	
31,7	-4,1	-15,9	31,7	
37,0	1,2	-14,7	33,2	
34,5	-1,3	-16,0	34,4	
32,9	-2,9	-18,9	34,8	

³² Valor da soma acumulada para o teste n°19 dividido por 9 (n°19 - n°10), ou seja, $-18,9 / 9 = 2,1$ MPa.

Segundo Chung (1993), a menor sensibilidade das cartas de controle na identificação de variações no processo deve-se ao fato destas utilizarem limites de controle ao invés da visualização das tendências dos dados conforme ocorre no método de soma acumulada. Todavia, esta afirmativa só pode ser considerada verdadeira caso o controle do processo de produção pelo método de soma acumulada seja dada visualmente e não por uso de máscaras.

Por fim, destaca-se que, desde que o controle de produção do concreto seja garantido, o uso das cartas de controle e soma acumulada mostra-se adequados para análise da variabilidade do processo. Contudo, observa-se que, em determinados casos, as cartas de controle são de difícil interpretação³³, especialmente quando avaliadas por operadores com pouca experiência técnica sobre o concreto e processo de produção deste, e apresentam pouca sensibilidade às variações.

É importante citar que métodos computacionais vêm sendo empregados não apenas na avaliação dos resultados do concreto, mas também em todas as etapas envolvidas no processo de produção. Dentre uma série de métodos, destaca-se o sistema Conad desenvolvido por Ken Day. Atualmente, este sistema tem por base a análise de resultados segundo o método de soma acumulada com multivariáveis. Detalhes podem ser verificados em DAY, (1999).

Conforme citado no início deste capítulo, os métodos de controle apresentados têm por objetivo a avaliação da variabilidade do processo com conseqüente identificação de variações que, uma vez identificadas, necessitam ser corrigidas. Atualmente, sabe-se que cada central apresenta formas distintas de investigação das causas de variabilidade e correção de dosagem. Assim sendo, observa-se a necessidade de uma metodologia, baseada em critérios técnicos, que permita não apenas indicar quais são os pontos de maior variabilidade, mas também diagnosticar a atual situação da central de concreto no que diz respeito ao controle de qualidade de sua produção, bem como os procedimentos de modificações de traços em função dos diagnósticos obtidos.

O desenvolvimento de uma proposta direcionada a solução para os problemas citados anteriormente pode ser desenvolvida com base no princípio dos chamados sistemas especialistas, cuja definição é apresentada no item que segue.

³³ Recomendações sobre a interpretação dos gráficos de controle podem ser verificadas em Gebler, S. H. (1990);

4.5 Sistema especialista

O sistema especialista (SE) consiste em uma forma de sistema baseado no conhecimento especialmente projetado para emular a especialização humana de algum domínio específico [FLORES, 2003]. Como base de conhecimento, o SE faz uso do conhecimento acadêmico e profissional. No caso do CDC, esta base corresponde ao conhecimento acadêmico a cerca das propriedades do concreto e a experiência profissional obtida no contato com a realidade do processo de produção. Com base nestas informações o sistema é então projetado, e posteriormente refinado, seguindo a lógica apresentada na Figura 46.

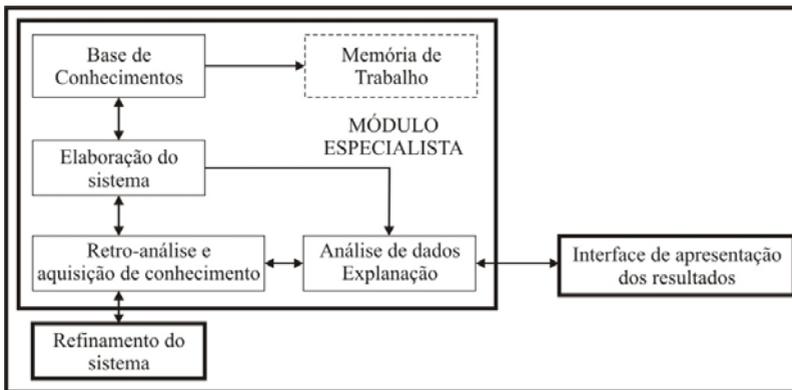


Figura 46 – Arquitetura básica dos sistemas especialistas [FLORES, 2003].

É importante destacar que o presente trabalho não visa o desenvolvimento de um sistema especialista completo, mas sim o da lógica, que consiste em uma das partes de um sistema especialista, necessária para a análise de dados e obtenção de conclusões e informações referentes ao processo em estudo. A proposta de lógica do sistema especialista desenvolvida para análise de resultados de centrais de concreto é apresentada no capítulo que segue.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

5.1 Considerações preliminares

Conforme apresentado ao longo deste trabalho, as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido são influenciadas por uma série de fatores. A princípio estes deveriam ser, em sua grande maioria, se não todos, considerados nos métodos de análise de resultados. Todavia, Day (1999) afirma que, apesar da existência de mais de cem fatores, cerca de 70 % a 80 % da variabilidade total dos resultados é geralmente causada por apenas dois ou três fatores dos cem possíveis. Além disso, apenas um dos fatores é responsável por cerca de 50 % da variabilidade.

Tal comportamento é explicado segundo o princípio de Pareto, criado pelo italiano Vilfredo Pareto no século XIX, que indica que 20 % das causas são responsáveis por 80% dos problemas, sendo por isso também conhecido como princípio 20 – 80 % e aplicável ao comportamento do concreto [TAERWE, 1991; DAY, 1999].

Dessa forma, observa-se que os métodos de análise de resultados do CDC podem avaliar apenas os principais fatores responsáveis por variações no desempenho do concreto. Contudo, isso não significa que apenas um ou dois fatores devam ser monitorados para controle de qualidade, mas sim que não existe a necessidade de controle de todos, uma vez que o controle destes seria tecnicamente desnecessário e resultaria em elevado custo.

Atualmente, as centrais de concreto apresentam o controle de produção baseado em um banco de dados de ensaios de resistência à compressão que são analisados pelo técnico responsável pela central. Logo, as decisões referentes às intervenções no processo de produção, visando redução na variabilidade e conseqüente redução de custos, ficam a cargo dos técnicos que, por sua vez, não apresentam comportamento padrão quando comparados entre si. Desse modo, nota-se que a análise de resultados e tomada de decisões podem variar significativamente de acordo com a experiência profissional dos mesmos.

Assim sendo, constata-se que a realidade experimentada pelas centrais de concreto apresenta deficiências associadas, principalmente, à falta de existência de um padrão no processo de análise de dados. Tal deficiência é refletida em um processo de produção de elevado custo devido ao excessivo consumo de cimento requerido para cobrir a elevada variabilidade observada e a evitar a ocorrência de resultados não conformes.

Diante do exposto, o presente capítulo apresenta uma proposta de metodologia para posterior desenvolvimento de um sistema especialista,

visando a análise de resultados de centrais de concreto adequado à realidade observada no Brasil. Tal proposta vai além da observação de não conformidades e permite o rastreamento das causas de variação dos resultados e realização de correções das dosagens praticadas. Soma-se à estes, a possibilidade de comparação das centrais de uma mesma região e identificação da necessidade de modificação dos materiais empregados na produção do CDC.

5.2 Metodologia proposta para análise de resultados da central de concreto

A metodologia proposta para a análise de variabilidade de centrais de concreto é baseada em um sistema composto por seis módulos. Estes módulos visam avaliar as condições de variabilidade e qualidade do processo de produção e identificar se a variabilidade observada decorre de fontes como o laboratório, diferentes obras e motoristas.

Inicialmente o programa faz a identificação das condições de contorno de produção da central avaliada e o levantamento dos dados que serão analisados ao longo da metodologia proposta. A etapa inicial, descrita anteriormente, consiste no Módulo de Identificação. Uma vez obtidas tais informações, dá-se início a análise do processo de produção através da avaliação das dosagens praticadas e verificação inicial da necessidade de modificação dos insumos até então empregados na produção de concreto. Soma-se à esta, a determinação do coeficiente de variação da central. Tal análise corresponde ao Módulo 1 que visa, ainda, determinar a curva de dosagem dos concretos produzidos na central e auxiliar na determinação de correções de dosagem quando estas se fizerem necessárias. Determinado o valor do coeficiente de variação da central e realizadas as devidas correções de dosagem, dá-se início às investigações das possíveis fontes de elevada variabilidade detectada. Esta análise é dada com base no emprego dos Módulos 2, 3 e 4, que visam, respectivamente, avaliar a qualidade do laboratório, existência de influência das diferentes obras onde o concreto vem sendo fornecido e a existência de necessidade de treinamento da equipe técnica responsável pela moldagem dos corpos-de-prova, neste caso, os motoristas. Por fim, o programa apresenta um relatório final onde constam os resultados obtidos em cada uma das análises propostas. As características de cada um dos módulos apresentados são discutidas de forma detalhada no item 5.3.

Em paralelo as correções iniciais e aquelas sugeridas pelas investigações realizadas, é proposta uma etapa complementar de otimização da composição do concreto com base no desenvolvimento de estudos

para definição dos aditivos e agregados a serem empregados na produção do concreto. Tal etapa corresponde ao módulo 5 denominado Teste dos Materiais.

É importante considerar que a metodologia proposta necessita que a central analisada apresente um sistema de controle de qualidade do processo de produção. A utilização de práticas de controle da qualidade na central permite que os resultados apresentem uma determinada distribuição normal e possam ser analisados através de métodos estatísticos de forma mais confiável. O fluxograma descrevendo todas as etapas propostas é apresentado no ANEXO 1.

A descrição completa de cada um dos módulos que compõem a metodologia proposta é apresentada no item que segue. Definidos os objetivos, dados de entrada e procedimentos necessários para os diferentes módulos, são apresentados, no capítulo 6, os resultados obtidos através do emprego do método proposto em centrais de concreto.

5.3 Módulos de análise de resultados

Conforme mencionado anteriormente, a metodologia proposta para análise de variabilidade e controle de qualidade de produção é fragmentada em seis módulos com objetivos distintos. A estrutura de organização de cada um dos módulos é dada segundo o fluxograma base apresentado na Figura 47. Neste, observa-se que cada módulo apresenta diferentes dados de entrada, procedimento de análise de resultados e relatórios de saída.

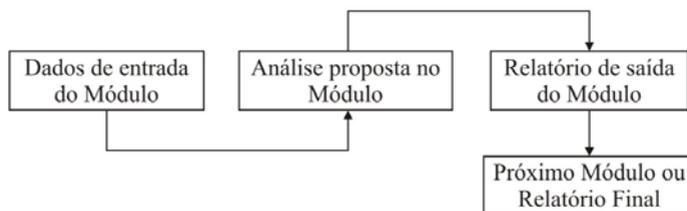


Figura 47 – Fluxograma base dos módulos que compõem a metodologia proposta.

Nos itens que seguem são destacadas as características de cada um dos módulos propostos, bem como as razões pelas quais estes estão organizados de acordo com a ordem apresentada no ANEXO 1. Inicialmente, são descritos os objetivos dos módulos, em seguida são destacadas as particularidades referentes aos mesmos segundo a sequência do fluxograma base (Figura 47).

Previamente à descrição dos módulos, é de fundamental importância definir alguns dos principais termos que serão utilizados. A definição destes é apresentada na seqüência:

- Famílias de concretos: conjunto de traços com o mesmo teor de argamassa (α), abatimento, agregados, tipo e teor de aditivo em que só se varia o consumo de cimento e relação água/cimento.
- Família base: família de concreto de maior volume de produção nas centrais. A família base deve ser constituída por no mínimo três diferentes valores de f_{ck} .
- Regiões de controle: centrais que utilizam cimento de mesmo tipo e fábrica.
- Exemplar: par de corpos-de-prova moldados de uma mesma mistura de concreto.
- Resistência potencial: valor mais alto de resistência do par.
- Variação de resistência do par ($V_{PAR}\%$): diferença percentual entre as resistências dos corpos-de-prova de um mesmo par em relação ao valor de resistência potencial.

Cabe ressaltar que a determinação de V_{PAR} tem a resistência potencial como referência, pois este é tido como o valor efetivo de resistência à compressão de um par de corpos-de-prova. Neste caso, busca-se determinar a variação em relação ao valor da resistência do concreto efetivamente considerado.

5.3.1 Módulo de Identificação

O módulo de identificação tem por objetivo principal determinar as condições de contorno da central de concreto. Neste, são coletadas informações referentes ao processo de produção que incluem desde os tipos de materiais utilizados aos sistemas de automação e controle existentes na central. A idéia é caracterizar e definir qual o tipo de central será analisada. Destaca-se que a identificação destas características tende a auxiliar a interpretação e análise de dados coletados.

Somado ao objetivo principal, o módulo de identificação visa a coleta de dados para a construção da matriz inicial que será utilizada, após tratamento estatístico, ao longo dos diferentes módulos propostos.

O fluxograma referente ao presente módulo é apresentado na Figura 48. A descrição completa dos dados de entrada do módulo de identificação, bem como requisitos de amostragem para construção da matriz base de dados é apresentada no item que segue.

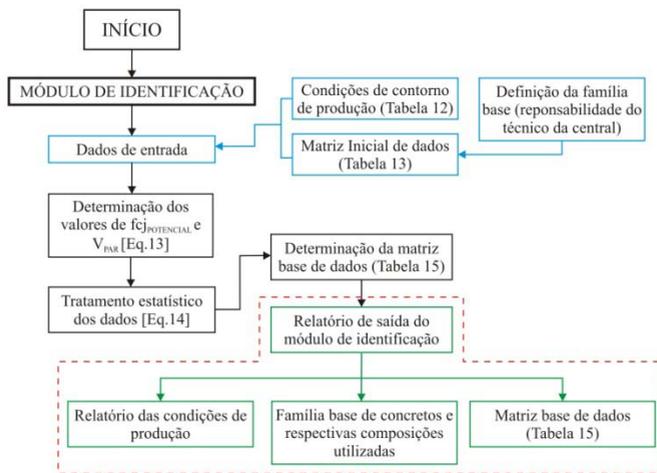


Figura 48 – Fluxograma do módulo de identificação.

5.3.1.1 Dados de entrada

Os dados de entrada do módulo de identificação são divididos em duas partes: condições de contorno de produção e matriz inicial de dados.

As condições de contorno de produção são obtidas através do preenchimento de um formulário padrão que apresenta modelo conforme disposto na Tabela 12. Este formulário visa a obtenção das seguintes informações: a) Período de amostragem; b) Insumos utilizados na produção de concreto; c) Laboratório na central; d) Informações sobre a central; e) Informações sobre o processo de produção da central.

Previamente à definição dos dados que compõem a matriz inicial de dados, é preciso definir a família base de concretos da central. Definida a família base da central, a matriz inicial é então constituída pelos seguintes valores: resistência dos exemplares ensaiados - f_{cj} (MPa), resistência característica do concreto - f_{ck} (MPa), código do motorista responsável pela moldagem e da obra nas quais o concreto foi fornecido. Tais dados devem ser organizados conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 12 – Condições de contorno de produção.

Modulo de Identificação		
	Início	Fim
a) Período de amostragem:		
b) Insumos utilizados na produção de concreto:	Tipo	
Aglomerante		
Adições		
Agregado Miúdo		
Agregado Graúdo		
Aditivos		
c) Laboratório da Central:	Respostas	
Existe laboratório na central		
Se não, onde estes são realizados		
Preparo da superfície dos corpos-de-prova		
d) Informações sobre a central:	Respostas	
Volume médio de produção mensal (m ³ /mês)		
Raio médio de atendimento da central (km)		
Tipo de central: Disposição / Controle / Mistura		
Traços mais comercializados		
Estocagem dos materiais		
Local de moldagem dos corpos-de-prova		
Consumo de água médio dos concretos produzidos		
Consumo de água máximo praticado na região		
e) Informações sobre o processo de produção da central:	Respostas	
Sistema de automação da central		
Proporcionamento dos materiais		
Sistema de controle de umidade		
Sistema de adição de aditivo		
Quantidade de caminhões betoneira com torquímetro		

Tabela 13 – Modelo da tabela matriz inicial de dados.

f_{ck} (Mpa)	f_{cj} (Mpa)	Motorista	Obra
x_1	y_1	w_1	z_1
x_2	y_2	w_2	z_2
...
x_n	y_n	w_n	z_n
x_{n+1}	y_{n+1}	w_{n+1}	z_{n+1}

É importante observar que a amostra de um determinado f_{ck} , que constitui uma família base, só é válida quando seu tamanho amostral (N) for superior a 6 dados para um período de aproximadamente 60 dias ou superior. Em casos de centrais que porventura apresentem $N < 6$ em função do baixo volume de produção mensal, pode-se efetuar a complementação da amostra com concretos produzidos com os mesmos materiais em proporções ligeiramente semelhantes. Tal fato deve-se a constante modificação de traços realizada ao longo do mês observada em algumas centrais de concreto.

Visando a geração de quantidade de dados suficientes para implementação da metodologia proposta, e conseqüente aumento na precisão da análise, as centrais de concreto podem fazer uso das recomendações apresentadas a seguir:

- Recomenda-se a manutenção dos traços da família base ao longo do período de amostragem. Em caso de necessidade de variação do traço, os resultados de resistência de concretos considerados semelhantes poderão ser agrupados de modo obter quantidade de dados suficientes para análise, lembrando que a amostra de um determinado f_{ck} só será válida quando o tamanho amostral (N) for superior à 6 dados;
- Além de distribuir as moldagens para os diferentes valores de f_{ck} da família base, deve-se buscar distribuir as moldagens para as diferentes obras. Tal medida visa a identificação de variações decorrentes dos procedimentos de controle realizado nas diferentes obras atendidas pela central;

Composta a matriz inicial de dados, esta deve passar por processo de tratamento estatístico conforme descrito no item que segue.

5.3.1.2 Processo de análise dos dados

O processo de tratamento dos dados da matriz inicial consiste na determinação do valor de resistência potencial e variação de resistência

dos corpos-de-prova. Além disso, efetua-se a eliminação de valores espúrios.

Determinação dos valores de resistência potencial aos 28 dias de idade – $f_{cjPOTENCIAL}$ (MPa):

Com base nos dados da matriz inicial, devem ser extraídos os valores de *resistência potencial* ($f_{cjPOTENCIAL}$), ou seja, máximo valor de resistência do par de corpos-de-prova, para idade de 28 dias. Observa-se que, em alguns casos, podem ser utilizados os dados relativos a 30 e 31 dias uma vez que algumas centrais não têm expediente aos sábados e domingos.

Determinação dos valores variação do par – V_{PAR} (%):

A variação de resistência do par corresponde ao valor da variação percentual de resistência entre os pares de corpos-de-prova moldados. Seu valor é determinado através da Eq. 13.

$$V_{PAR} = \begin{cases} 100 \cdot |f_{cjCP1} - f_{cjCP2}| / f_{cjCP1}, & f_{cjCP1} > f_{cjCP2} \\ 100 \cdot |f_{cjCP1} - f_{cjCP2}| / f_{cjCP2}, & f_{cjCP1} < f_{cjCP2} \end{cases} \quad \text{Eq. 13}$$

Onde:

n – número de corpos-de-prova (n=2);

f_{cjCPn} – resistência à compressão obtida para o corpo-de-prova “n” [MPa];

V_{PAR} – Variação do par de corpos-de-prova [%];

Em determinados situações, a amostra pode ser composta por três corpos-de-prova. Neste caso, exclui-se o valor de resistência intermediário e determina-se o valor de V_{PAR} conforme apresentado anteriormente.

Processo de tratamento estatístico dos dados

O tratamento estatístico realizado é necessário para que valores não representativos da amostra inicial sejam excluídos da amostra, aumentando assim a confiabilidade da mesma. Este tratamento consiste na determinação do intervalo de f_{cj} , denominado I_{fcj} , considerando uma determinada significância “ α ”³⁴.

O valor de I_{fcj} é determinado através da Eq. 14.

Observa-se que o I_{fcj} , corresponde a um intervalo, ou seja, é composto de um valor inferior e um valor superior. O valor superior é obtido

³⁴ A significância “ α ” de um teste corresponde a máxima probabilidade de rejeitar acidentalmente uma hipótese nula verdadeira.

com o uso da Eq. 14 com sinal positivo (+) e o valor inferior com sinal negativo (-).

$$I_{f_{cj}} = f_{cj,m\u00e9dio} \pm t_{\alpha,(n-1)} \cdot s_d \quad \text{Eq. 14}$$

Onde:

$I_{f_{cj}}$ – limites de resist\u00eancia de dosagem [MPa];

$f_{cj,m\u00e9dio}$ – resist\u00eancia m\u00e9dia dos valores de $f_{cj,POTENCIAL}$ da matriz inicial de dados [MPa];

t_{α} – fun\u00e7\u00e3o de densidade de probabilidade para a distribui\u00e7\u00e3o t-Student considerando um valor de signific\u00e2ncia “ α ”;

s_d – desvio-padr\u00e3o da amostra base [MPa];

Em uma primeira etapa o valor de “ α ” foi definido como sendo de 20 %. Todavia a utiliza\u00e7\u00e3o de tal signific\u00e2ncia, apesar de n\u00e3o afetar de forma expressiva o valor de f_{cj} , alterou significativamente o coeficiente de varia\u00e7\u00e3o da amostra. Dessa maneira, optou-se pela realiza\u00e7\u00e3o de an\u00e1lises complementares, dispostas no ANEXO 2, visando determinar o valor mais adequado para “ α ”. Cabe salientar que os dados utilizados no ANEXO 2 foram obtidos no banco de dados de uma central de concreto da cidade de Curitiba.

Como resultado dessas an\u00e1lises, permitiu-se definir como adequado o valor de $\alpha = 5,0\%$, pois este permite a elimina\u00e7\u00e3o de valores discrepantes e n\u00e3o compromete o coeficiente de varia\u00e7\u00e3o da amostra conforme pode ser observado na Tabela 14.

Assim sendo, a Eq. 14 pode ser escrita conforme apresentado abaixo.

$$I_{f_{cj}} = f_{cj,m\u00e9dio} \pm t_{0,05,(n-1)} \cdot s_d$$

Tabela 14 – Varia\u00e7\u00e3o de coeficiente de varia\u00e7\u00e3o em fun\u00e7\u00e3o da signific\u00e2ncia adotada.

Signific\u00e2ncia α (%)	f_{ck} (MPa)	
	25,0	30,0
	CV _{estat\u00edstico} (%)	
0%	6,9%	11,8%
5%	6,3%	11,1%
10%	5,5%	9,2%
15%	3,4%	5,8%
20%	2,6%	4,3%

Uma vez determinado o valor de I_{fcj} , eliminam-se todos os valores da amostra inicial que não estão compreendidos no intervalo calculado. A partir deste ponto, a matriz inicial passa a ser denominada matriz base de dados.

5.3.1.3 Relatório de saída

O relatório de saída do módulo de identificação apresenta os seguintes itens:

- relatório de condições de contorno de produção;
- matriz base de dados;
- família base de concreto, bem como as respectivas composições;

O relatório de condições de contorno servirá de auxílio, ao longo da análise dos demais módulos, na interpretação de resultados excluindo, em determinados casos, a necessidade de avaliação de alguns dos módulos que compõem a metodologia proposta. Como exemplo, podem ser citados casos onde a central avaliada realiza o processo de moldagem remota³⁵, neste caso, descarta-se a possibilidade de problemas associados à moldagem, transporte e cura inadequada no canteiro.

Em outra situação, a central avaliada pode apresentar frota completa de caminhões betoneira munidos de torquímetros para controle de abatimento, logo, considerando a equipe técnica devidamente treinada, a probabilidade de problemas associados à falta de controle de abatimento em obra pode ser reduzida. Entretanto, tais problemas não podem ser desconsiderados da análise, pois ainda existe a chance de erros na quantidade de água adicionada para a correção do abatimento.

Quanto à matriz inicial de dados, após o tratamento estatístico realizado, esta passa a ser denominada matriz base de dados e serve como parte da fonte de alimentação dos módulos que compõem o programa proposto. O modelo da matriz base de dados é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Modelo da tabela matriz base de dados.

f_{ck} (MPa)	$fcj_{POTENCIAL}$ (MPa)	V_{PAR} (%)	Motorista	Obra
X_1'	r_1'	S_1'	W_1	Z_1
X_2'	r_1'	S_1'	W_1	Z_1
...
X_n'	r_n'	S_n'	W_n	Z_n
X_{n+1}'	r_{n+1}'	S_{n+1}'	W_{n+1}	Z_{n+1}

³⁵ Consiste na moldagem dos corpos-de-prova, no laboratório da central, dos concretos descarregado em obra. Para tanto, uma amostra de concreto fresco é recolhida durante a descarga do concreto e transportada até a central.

Cabe destacar que a matriz base não apresenta todos os dados necessários para a alimentação dos módulos e informações complementares serão coletadas ao longo do desenvolvimento dos módulos

5.3.2 *Modulo 1 – Curva de impressão da central*

A aplicação do módulo 1 tem como objetivo analisar as condições da central no que tange à variabilidade do processo e proporcionamento dos materiais empregados na produção do concreto. Além disso, são propostas correções de dosagem para os traços produzidos de modo que as dosagens praticadas estejam de acordo com a variabilidade da central estudada.

Inicialmente, faz-se uma análise prévia do consumo de água utilizado em concreto visando identificar se existe, ou não, necessidade de modificação dos insumos utilizados. Caso o consumo de água utilizado na central avaliada esteja muito acima dos valores praticados nas centrais da mesma região, nota-se a existência de problemas associados à falta de qualidade e/ou desempenho dos insumos empregados na produção de concreto. Logo, torna-se necessário o emprego do módulo 5³⁶ de modo a avaliar se outros insumos disponíveis na região, neste caso, agregados e aditivos, resultam em um melhor desempenho.

Independente da necessidade de modificação dos insumos utilizados na central procede-se com a determinação do coeficiente de variação da central. Este valor permite avaliar a variabilidade da central no que diz respeito ao processo de produção de concreto. Além disso, permite identificar se o proporcionamento das misturas, até então produzidas, está ou não de acordo com a variabilidade observada, ou seja, identifica se a central está trabalhando com folga no consumo de cimento e se as correções de dosagem são ou não necessárias.

Frente à necessidade de correção das dosagens praticadas, determina-se a curva de impressão da central e efetuam-se as correções do consumo de cimento tanto para os concretos pertencentes a uma família quanto para os chamados concretos isolados. Em ambos os casos, a correção é realizada de modo que o valor de f_{cj} utilizado seja compatível com o grau de variabilidade da central. É importante observar que tais correções consistem em uma intervenção inicial necessária para que a ocorrência de resultados não conformes seja reduzida, ou ainda, para que as centrais possam reduzir o consumo de cimento dos concretos produzidos e, conseqüentemente, reduzir custos de produção.

³⁶ Os detalhes referentes ao módulo 5 serão apresentados no item 5.3.2.6.

O fluxograma referente ao módulo 1 é apresentado no Figura 49. Os dados de entrada do módulo 1, bem como a metodologia de análise de resultados e relatório de saída são apresentados nos itens que seguem.

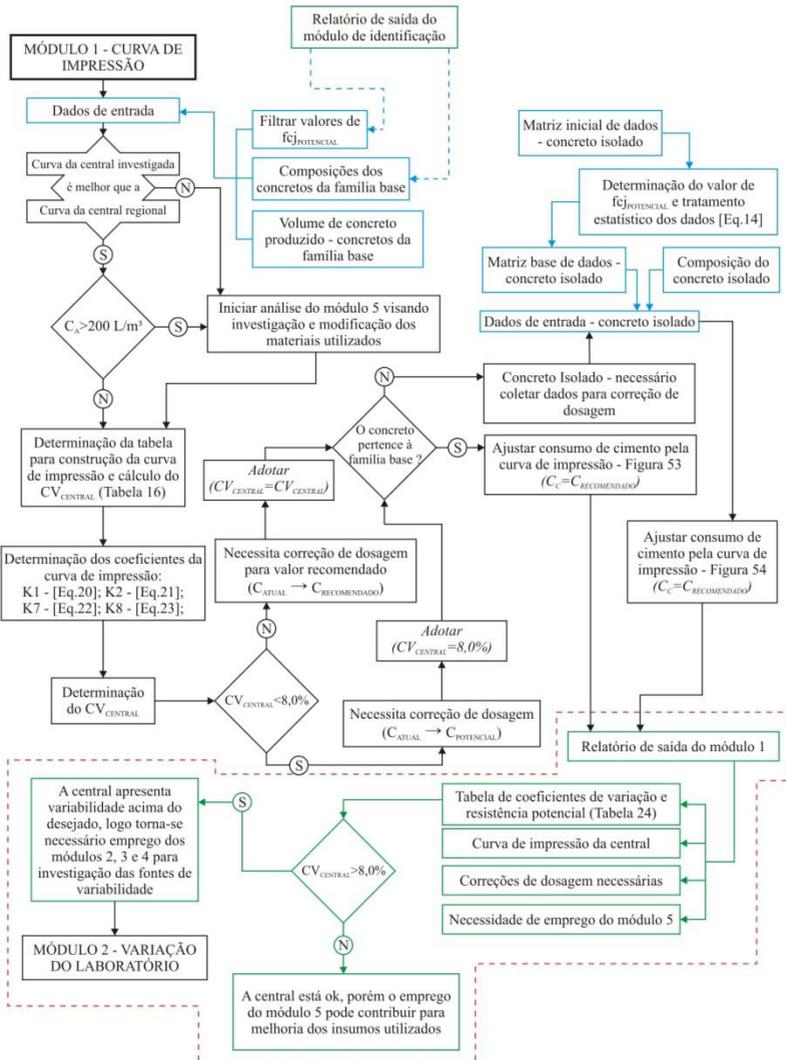


Figura 49 – Fluxograma do módulo 1 – Curva de impressão da central.

5.3.2.1 Dados de entrada

O módulo 1 faz uso dos seguintes dados de entrada:

- Resistência potencial dos exemplares – $f_{cj,POTENCIAL}$ (MPa) – obtido na matriz base de dados;
- Volume de produção dos concretos da família base para o período de amostragem – $V_{CONCRETO,fck}$ (m³);
- Traço dos concretos da família base – obtido no relatório de saída do módulo de identificação;

Os dados referentes a cada uma destas informações são organizados em tabelas para que o processo de análise do módulo 1 seja efetuado de acordo com o método descrito na seqüência.

5.3.2.2 Processo de análise de resultados

De posse dos valores de $f_{cj,POTENCIAL}$ (MPa) calcula-se o valor de $f_{cj,estatístico}$ ³⁷, sendo este o valor a ser utilizado na construção da curva de impressão. Além disso, determina-se os valores de desvio-padrão, coeficiente de variação e tamanho da amostra, sendo estes denominados $S_{d,estatístico}$, $CV_{estatístico}$ e $N_{estatístico}$, respectivamente.

Os dados de entrada do módulo 1 (relação a/c, f_{ck} , C_c - Consumo de cimento, C_a - consumo de água) são agrupados com os dados calculados ($f_{cj,estatístico}$, $CV_{estatístico}$ e $N_{estatístico}$) e dispostos como apresentado na Tabela 16 de modo a facilitar as etapas posteriores. Lembrando que os valores de consumo de material são aqueles praticados pela central em estudo.

Tabela 16 – Dados para a determinação da curva impressão da central.

Central	a/c	f_{ck} (MPa)	$f_{cj,estatístico}$ (MPa)	C_c (Kg/m ³)	C_a (Kg/m ³)	$CV_{estatístico}$ (%)	$N_{estatístico}$
A	-	-	-	-	-	-	-

Com base nos dados da Tabela 16, procede-se com a plotagem da curva de impressão. Tal curva é composta por dois quadrantes sendo o primeiro a relação entre o valor de água/cimento e $f_{cj,estatístico}$ e o segundo a relação entre o consumo de cimento e $f_{cj,estatístico}$. A forma da curva de impressão da central é apresentada qualitativamente na Figura 50. As equações apresentadas em cada um dos quadrantes da curva de impressão são definidas conforme apresentado no item que segue.

³⁷ Deste ponto em diante a indicação “estatístico” significa valores de resistência média, desvio padrão, tamanho da amostra e coeficiente de variação determinados da amostra base.

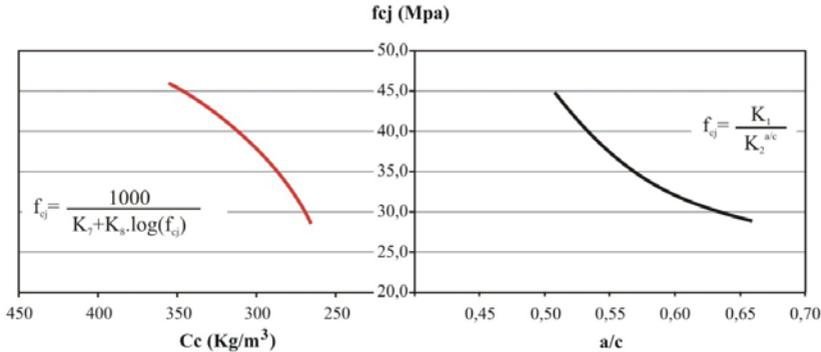


Figura 50 – Proposta de curva de impressão da central de concreto.

5.3.2.2.1 Equações dos quadrantes – Curva de Impressão

A determinação da curva de impressão dos concretos produzidos por uma determinada central tem por base as equações do método I-TERS-IPT-EPUSP de dosagem de concreto³⁸. Este método permite a definição um diagrama de dosagem composto por três quadrantes. No primeiro quadrante (*Lei de Abrams (1918)* – Eq. 15) determina-se a relação água / cimento para um dado valor de resistência. De posse do valor da relação água / cimento, determina-se o teor de agregados – m – no segundo quadrante (*Lei de Lyse (1932)* – Eq. 16). Por fim, em função do valor de “m” definido anteriormente, calcula-se o valor do consumo de cimento do concreto (*Lei de Prizkulnik & Kirilos (1974)* – Eq. 17). As equações de cada um dos quadrantes citados são apresentadas a seguir:

$$f_{cj} = \frac{K_1}{K_2^{a/c}} \quad \text{Lei de Abrams (1918) – Eq. 15}$$

Onde:

f_{cj} – resistência de dosagem [MPa];

a/c – relação água / cimento;

K_1 e K_2 – constantes particulares de cada conjunto de materiais;

$$m = K_3 + K_4 \cdot a/c \quad \text{Lei de Lyse (1932) – Eq. 16}$$

Onde:

m – relação em massa seca de agregados / cimento [Kg/Kg];

³⁸ Detalhe referente ao método de dosagem ITERS-IPT-EPUSP podem ser verificados em HELENE, 2005.

K_3 e K_4 – constantes particulares de cada conjunto de materiais;

$$C_c = \frac{1000}{K_5 + K_6 \cdot m} \quad \text{Lei de Prizkulnik \& Kirilos (1974) – Eq. 17}$$

Onde:

C_c – Consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado [Kg/m³];

K_5 e K_6 – constantes particulares de cada conjunto de materiais;

Conforme apresentada na Figura 50, a curva de impressão da central corresponde a um diagrama composto por dois quadrantes. O primeiro quadrante da curva de impressão é idêntico ao primeiro quadrante definido no método de dosagem do ITERS-IPT-EPUSP. Já o segundo quadrante da curva de impressão corresponde ao possível quarto quadrante do diagrama do ITERS-IPT-EPUSP.

A equação do segundo quadrante da curva de dosagem (*Curva de Impressão* – Eq. 18) é apresentada a seguir. Cabe destacar que esta foi determinada através da relação das equações utilizadas no método ITERS-IPT-EPUSP, sendo os cálculos detalhados apresentados no ANEXO 3.

$$C_c = \frac{1000}{K_7 + K_8 \cdot \log(f_{cj})} \quad \text{Curva de Impressão – Eq. 18}$$

5.3.2.2.2 Determinação das constantes que compõe as equações da curva de impressão

A determinação das constantes que compõem as equações da curva de impressão pode ser realizada através de regressão linear simples. Para tanto, é necessário estas sejam linearizadas conforme a Eq. 19 através do processo apresentado a seguir:

$$y = a + b \cdot x \quad \text{Eq. 19}$$

Linearização da Equação 1:

Para a linearização do primeiro quadrante da curva de impressão (*Lei de Abrams (1918)* – Eq. 15) aplica-se a função logarítmica na equação conforme segue:

$$f_{cj} = \frac{K_1}{K_2^{a/c}} \rightarrow \log f_{cj} = \frac{\log K_1}{\log K_2^{a/c}} \rightarrow \log f_{cj} = \log K_1 - \log K_2^{a/c}$$

Assim sendo:

$$\log f_{cj} = \log K_1 - a/c \cdot \log K_2$$

Comparando com a Eq. 19, tem-se a seguinte correspondência:

$$\begin{cases} y \rightarrow \log f_{cj} \\ x \rightarrow a/c \\ K_1 \rightarrow 10^{a_1} \\ K_2 \rightarrow 10^{-1 \cdot b_1} \end{cases}$$

Linearização da Equação 4:

Para a linearização da equação do segundo quadrante da curva de impressão (*Curva de Impressão* – Eq. 18) deve-se inverter a equação conforme segue:

$$C_c = \frac{1000}{K_7 + K_8 \cdot \log(f_{cj})} \rightarrow \frac{1}{C_c} = \frac{K_7 + K_8 \cdot \log(f_{cj})}{1000}$$

Assim sendo:

$$\frac{1}{C_c} = \frac{K_7}{1000} + \frac{K_8}{1000} \cdot \log f_{cj}$$

Comparando com a Eq. 19, tem-se a seguinte correspondência:

$$\begin{cases} y \rightarrow 1/C_c \\ x \rightarrow \log f_{cj} \\ K_7 \rightarrow a_2/1000 \\ K_8 \rightarrow b_2/1000 \end{cases}$$

Assim sendo, as constantes que compõem as equações da curva de impressão são definidas através das equações que seguem:

$$K_1 = 10^{a_1} \quad \text{Eq. 20}$$

$$K_2 = 10^{-1 \cdot b_1} \quad \text{Eq. 21}$$

$$K_7 = 1000 \cdot a_2 \quad \text{Eq. 22}$$

$$K_8 = 1000 \cdot b_2 \quad \text{Eq. 23}$$

Obtidas as equações da curva de impressão, pode-se realizar a correção do consumo de cimento dos concretos produzidos na central. Todavia, previamente a discussão sobre os cálculos envolvidos nesta etapa, é importante apresentar o método de determinação do coeficiente de variação estatístico ponderado da central, uma vez que este será utilizado na correção do consumo de cimento.

5.3.2.2.3 Determinação do coeficiente de variação estatístico ponderado da central

Previamente à apresentação da definição dos consumos de cimento, é importante destacar a necessidade da determinação do valor de $f_{cj,estatístico}$ e $CV_{estatístico,ponderado}$. O valor de $CV_{estatístico,ponderado}$ (Eq. 24) corresponde ao coeficiente de variação da central ($CV_{CENTRAL}$) e é necessário para a determinação de $f_{cjCENTRAL}$ (Eq. 25) do concreto produzido pela central.

$$CV_{estatístico,ponderado} = CV_{CENTRAL} = \frac{\sum_1^n CV_{estatístico,fck_n} \cdot V_{produção,fck_n}}{\sum_1^n V_{produção,fck_n}} \quad \text{Eq. 24}$$

Onde:

$CV_{estatístico,fck_n}$ ou $CV_{CENTRAL}$ – coeficiente de variação estatístico para o concreto de f_{ck} “n”;

$V_{produção,fck_n}$ – volume de produção mensal do concreto de f_{ck} “n”;

É importante destacar que a Eq. 25 é obtida substituindo-se o desvio-padrão da Eq.4 pelo respectivo coeficiente de variação conforme apresentada na seqüência.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot s_d \rightarrow \text{Sendo: } CV = s_d / f_{cj}, \text{ tem-se: } f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot CV \cdot f_{cj}$$

Assim sendo,

$$f_{cjCENTRAL} = f_{ck} / \left(1 - 1,65 \cdot CV_{CENTRAL} / 100\right) \quad \text{Eq. 25}$$

Optou-se pela utilização do coeficiente de variação para a determinação da resistência de dosagem, pois o desvio-padrão não apresenta comportamento fixo com o aumento de resistência. De acordo com Pru-

dêncio Jr. *et al*, 2007 existe uma tendência de aumento dos valores de desvio-padrão com o aumento da resistência. Conforme observado na Figura 51a este comportamento é observado principalmente para concretos de resistência da ordem de 20 à 40,0 MPa. Por outro lado, em se tratando do coeficiente de variação, os resultados apresentados na Figura 51b permitem concluir que este permanece praticamente constante para o mesmo intervalo de resistência à compressão.

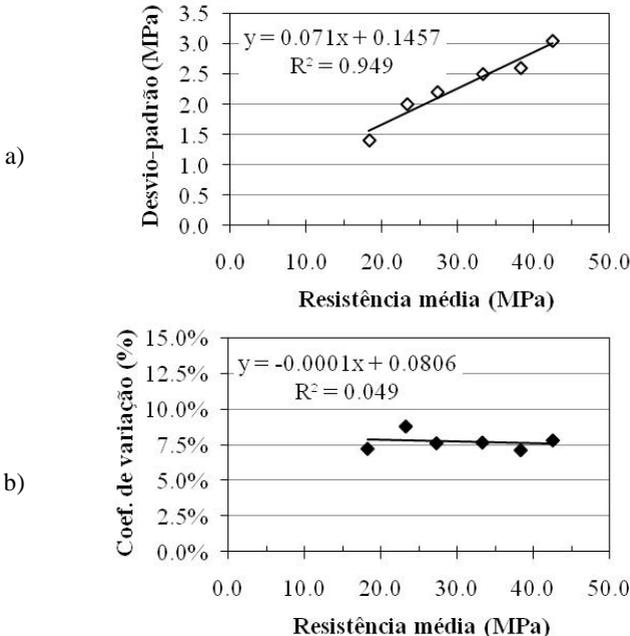


Figura 51 – Correlação entre resistência à compressão e: (a) desvio-padrão; (b) coeficiente de variação [PRUDÊNCIO et al, 2007].

Um comportamento semelhante pode ser observado com base nos resultados da Tabela 17. Nesta, determinou-se a resistência de dosagem considerando um desvio-padrão mínimo especificado pela N-BR12655:2006 e um coeficiente de variação igual a 8,0%.

Sendo o coeficiente de variação uma relação entre o desvio-padrão e a média, neste caso, $s_{d,estatístico}$ com $f_{cj,estatístico}$, o uso deste permite absorver o efeito de variação do desvio-padrão para diferentes valores de resistência. Tal efeito pode ser observado na análise disposta no ANEXO 4 onde é apresentado um exemplo comparativo da determina-

ção da resistência de dosagem através do uso do desvio-padrão e do coeficiente de variação ponderado da central proposto neste trabalho.

Tabela 17 – Comparativo das resistências de dosagem.

f_{ck} (MPa)	NBR12655 ($S_{d,CENTRAL}=2,0MPa$)	$CV_{CENTRAL}=8,0\%$
	Eq. 4	Eq. 25
	f_{cj} (MPa)	
20,0	23,3	23,0
25,0	28,3	28,8
30,0	33,3	34,6
35,0	38,3	40,3
40,0	43,3	46,1

É importante citar que não deverão ser adotados valores de coeficiente de variação da central abaixo de 8,0%. Tal critério é necessário de modo que as recomendações da NBR12655 sejam obedecidas. Tal norma limita o desvio-padrão da central em um valor mínimo de 2,0 MPa que corresponde, aproximadamente, ao limite de 8,0% conforme demonstrado a seguir:

Coefficiente de variação e desvio-padrão – NBR12655

Considerando uma resistência característica – $f_{ck}=20,0$ MPa, valor tipicamente empregado no período de edição da primeira versão da norma NBR12655 em 1992 obtém-se um coeficiente de variação de aproximadamente 8,6%, conforme apresentado abaixo.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot s_d \rightarrow s_d = 2,0MPa; f_{ck} = 20MPa \rightarrow f_{cj} = 23,3MPa$$

$$CV = s_d/f_{cj} \rightarrow s_d = 2,0MPa; f_{cj} = 23,3MPa \rightarrow CV = 8,6\%$$

Desse modo, buscando estar de acordo com os requisitos normativos da NBR12655:2006 ($s_d \geq 2,0$ MPa), optou-se em admitir que o coeficiente de variação da central, neste caso, $CV_{CENTRAL}$, como não inferior à 8,0%.

5.3.2.2.4 Correção do consumo de cimento

A correção do consumo de cimento é dada em diferentes etapas. Independente do aumento ou redução do consumo de cimento, a primeira medida a ser tomada é de alterar o consumo de cimento atual – $C_{C,ATUAL}$ – para um valor recomendado – $C_{C,RECOMENDADO}$. Posterior-

mente, com a implementação dos procedimentos estabelecidos no fluxograma e consequente redução do coeficiente de variação da central, o valor de $C_{C,RECOMENDADO}$ poderá ser alterado para $C_{C,POTENCIAL}$. O esquema representado na Figura 52 ilustra os passos a serem tomados.

Os consumos de cimentos apresentados previamente podem ser definidos como:

- Consumo de cimento atual – $C_{C,ATUAL}$: é o consumo de cimento do concreto empregado nos concretos utilizados para a determinação da curva impressão;
- Consumo de cimento recomendado – $C_{C,RECOMENDADO}$: corresponde ao consumo de cimento que a empresa deveria estar empregando para que o número de não conformidades fosse minimizado, uma vez que o valor deste considera a real variabilidade existente na central. Este valor é determinado em função do $CV_{CENTRAL}$ (Eq. 24);
- Consumo de cimento potencial – $C_{C,POTENCIAL}$: corresponde ao consumo de cimento mínimo que poderia ser empregado caso a central apresentasse coeficiente de variação $CV_{CENTRAL} \leq 8,0\%$.

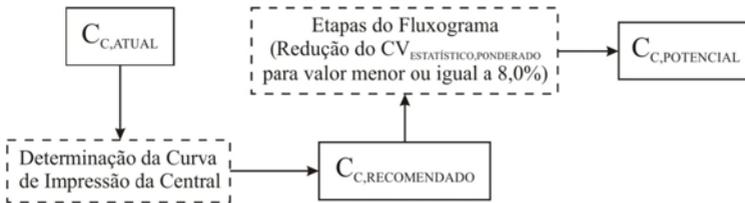


Figura 52 – Modificação do consumo de cimento.

As correções no consumo de cimento através das equações da curva de impressão são empregadas apenas para concretos que pertencem a uma mesma família. No caso de concretos isolados, a correção deve ser realizada através do procedimento diferenciado. Os procedimentos envolvidos na correção do consumo de cimento são apresentados nos itens que seguem.

5.3.2.2.4.1 Concretos de uma mesma família

A determinação dos valores de consumo de cimento recomendado e consumo de cimento potencial para concretos pertencentes à uma família é dada através do uso das equações da curva de impressão da central.

Inicialmente, determina-se a resistência de dosagem recomendada – em função do $CV_{CENTRAL}$ da central através da Eq. 25. Assim sendo, tem-se:

$$f_{cj,CENTRAL} = f_{ck} / \left(1 - 1,65 \cdot CV_{CENTRAL} / 100\right)$$

De posse deste, determina-se o $C_{C,RECOMENDADO}$ através da *Curva de Impressão* – Eq. 18 – conforme apresentado a seguir:

$$C_{C,RECOMENDADO} = \frac{1000}{K_7 + K_8 \cdot \log_{10}(f_{cj,CENTRAL})}$$

Os cálculos apresentados para a correção do consumo de cimento para concretos que pertencem à uma família são resumidos de forma gráfica na Figura 53.

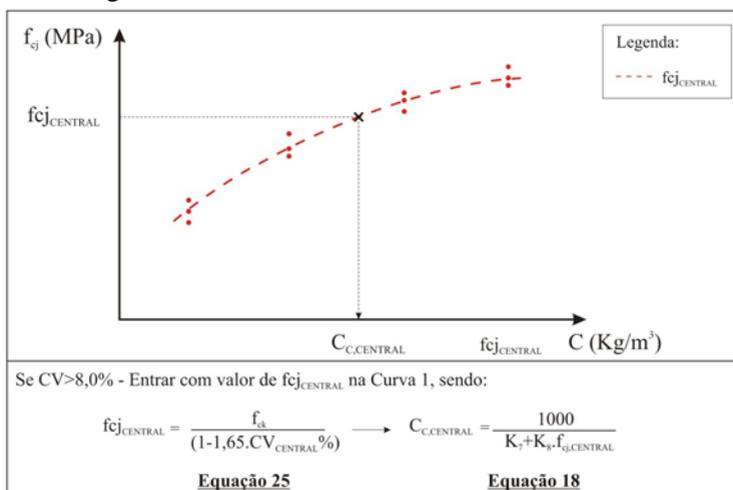


Figura 53 – Correção do consumo de cimento para concretos pertencentes à uma família.

A determinação do valor de $C_{C,POTENCIAL}$ é dada da mesma maneira, todavia só pode ser adotada quando a central apresentar $CV_{CENTRAL} \leq 8,0\%$. Uma vez atingido esta meta, o valor de $f_{cj,CENTRAL}$ passa a ser denominado $f_{cj,IDEAL}$.

5.3.2.2.4.2 Concretos isolados

Uma vez que os resultados de concretos isolados não foram empregados na determinação da curva de impressão, optou-se pela proposição de um método de correção de dosagem diferenciado.

É importante observar que a amostra de dados de resistência potencial referente aos concretos isolados deve ser obtida segundo as recomendações apresentadas no item 5.3.1.1 (Tabela 13). Entretanto, estas não devem ser agrupadas, pois não se tratam de famílias de concretos.

O método de correção do consumo de cimento para concretos isolados é composto por três etapas: determinação do coeficiente de correção, variação do consumo de cimento e correção do consumo de cimento. Os detalhes referentes a cada uma destas etapas são apresentados na seqüência.

Inicialmente, com base na curva de impressão da central, determina-se o coeficiente de correção – A – apresentado na Eq. 26. O valor de “A” varia principalmente de acordo com o tipo de cimento, pois corresponde à relação entre a quantidade de cimento necessária por cada 1,0 MPa de resistência à compressão.

$$A = \Delta C' / \Delta f_{cj} \quad \text{Eq. 26}$$

Onde:

A – coeficiente de correção do consumo de cimento [$\text{Kg}/\text{m}^3 \cdot \text{MPa}$];

Δf_{cj} – variação arbitrária do valor de f_{cj} obtido na curva de impressão da central [MPa];

$\Delta C'$ - variação do consumo de cimento obtido na curva de impressão da central [Kg/m^3];

De posse do valor de “A”, determina-se a variação do consumo de cimento - ΔC – através da Eq. 27.

$$\Delta C = (f_{cj_{CENTRAL}} - f_{cj_{estatístico}}) \cdot A \quad \text{Eq. 27}$$

Onde:

ΔC – variação do consumo de cimento [Kg/m^3];

$f_{cj,CENTRAL}$ – valor de f_{cj} em função do $CV_{CENTRAL}$ [MPa];

$f_{cj,estatístico}$ – valor de f_{cj} médio obtido com o tratamento estatístico dos dados [MPa];

Por fim, efetua-se a correção do consumo de cimento para o valor $C_{C,RECOMENDADO}$ através da Eq. 28.

$$C_{C,RECOMENDADO} = (C_{ATUAL} + \Delta C) \quad \text{Eq. 28}$$

Os cálculos apresentados para a correção do consumo de cimento para concretos isolados são resumidos de forma gráfica na Figura 54.

As correções até então efetuadas com o uso do módulo 1 são necessárias de modo a adequar as dosagens praticadas pela central aos valores de variabilidade observados nesta.

Conforme exposto, esta variabilidade pode ser originada por uma série de fatores inerentes ou não ao processo de produção do concreto. Os módulos 2, 3 e 4 são responsáveis pela investigação das principais fontes de variabilidade existentes e conseqüentemente podem ser utilizados como ferramenta na busca da redução da variabilidade total do processo.

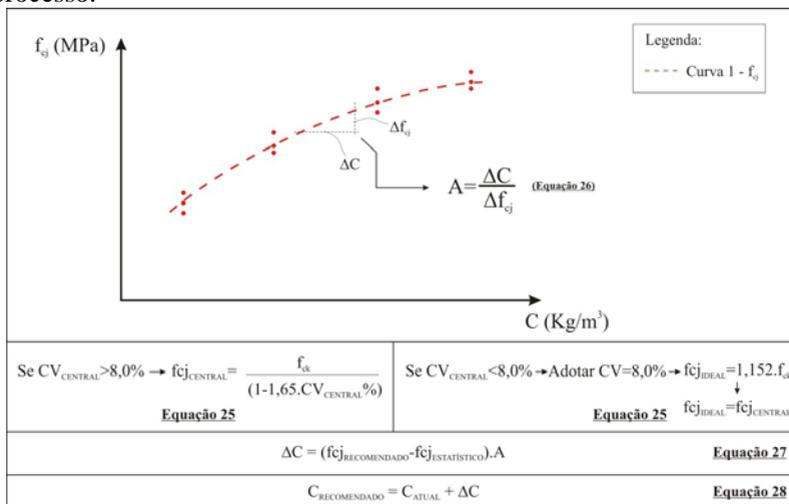


Figura 54 – Correção do consumo de cimento para concretos isolados.

5.3.2.2.5 Relatório de saída

Com base na metodologia proposta para o módulo 1, são obtidos os seguintes dados de saída:

- necessidade de aplicação do módulo 5;
- tabela de coeficientes de variação e resistências de dosagem: tabela composta pelos valores de $CV_{CENTRAL}$ e $f_{cj_{CENTRAL}}$, para os diferentes valores de f_{ck} que compõem a família base, conforme exemplo apresentado na Tabela 18;
- curva de impressão da central;
- tabela com os valores de correções de dosagem necessárias.

Com base nestes resultados, pode-se determinar se existe a necessidade de correção das dosagens até então praticadas pela central avaliada. O procedimento necessário para tanto foi apresentado no item 5.3.2.2.4 e é apresentado em forma de tabela, complementando assim o relatório de saída do módulo 1.

Além disso, o relatório de saída do módulo 1 indica se a análise complementar, através do uso dos demais módulos, se faz necessária.

Lembrando que esta é decorrente de valores de coeficiente de variação da central superior à 8,0%.

Tabela 18 – Exemplo de tabela de coeficientes de variação e resistências potenciais.

f_{ck} (MPa)*	CV _{CENTRAL} (%)	$f_{cjCENTRAL}$ (MPa)**	CV _{IDEAL} (%)	$f_{cjIDEAL}$ (MPa)**
25	12,0%	31,2	8,0%	28,8
30		37,4		34,6
35		43,6		40,3

*Valores praticados em centrais de concreto e adotados como exemplo na Tabela 18;

**Os valores de $f_{cjCENTRAL}$ e $f_{cjIDEAL}$ foram determinados através da utilização dos valores de coeficientes de variação ($CV_{CENTRAL}=12,0\%$ e $CV_{IDEAL}=8,0\%$) na Eq. 25.

5.3.2.3 Módulo 2 – Variação do laboratório

A análise de dados proposta no módulo 2 tem por objetivo identificar se o laboratório da central analisada, ou o laboratório onde os ensaios são realizados, consiste em uma fonte significativa da variabilidade observada na central. Tal investigação torna-se necessária pois, conforme exposto na Tabela 3 do item 3.3.1, os procedimentos realizados em laboratório consistem em fontes de variação de resultados.

Além da análise do laboratório, o módulo 2 destaca-se pela verificação inicial da variação decorrente dos procedimentos de moldagem, tempo de coleta e transporte dos corpos-de-prova realizados pela central de concreto.

É importante observar que os procedimentos citados não são avaliados de forma independente, pois os resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados em obra são afetados de forma simultânea. O que se obtém é uma idéia geral sobre a existência de variabilidade significativa proveniente destes fatores. Assim sendo, o módulo 2 não tem como objetivo indicar precisamente qual dos procedimentos citados corresponde a principal fonte de variabilidade. Para tanto, propõe-se a verificação isolada de cada um destes no relatório de saída do módulo.

Destaca-se que se optou pela avaliação prévia do laboratório, frente às variações decorrentes de diferentes obras (módulo 3) e motoristas (módulo 4), pois os resultados dos ensaios dependem primeiramente da qualidade do laboratório. Em outras palavras, não adiantaria avaliar a variabilidade dos motoristas e obras caso o laboratório onde os ensaios são realizados não estiver adequadamente aferido e com corpo técnico (laboratoristas) devidamente treinado.

De acordo com o procedimento apresentado no item 5.3.2.3.2, a avaliação do módulo 2 é dada mediante a determinação da curva geral da central, curva do laboratório e comparação destas com a curva de referência. A definição de cada uma destas curvas é apresentada a seguir:

- curva do laboratório: indica as condições de variabilidade do laboratório da central e é determinada com base em resultados de estudos desenvolvidos em laboratório;
- curva referência: representa a estimativa da variabilidade existente caso os procedimentos de moldagem sejam adequados, os equipamentos aferidos e equipe técnica devidamente treinada;
- curva geral da central: representa a variabilidade dos processos executados desde a moldagem dos corpos-de-prova, em obra, até a realização do ensaio no laboratório da central. Logo, a curva geral da central agrupa todos os dados, independente de obras e motoristas, ou seja, esta contém as variações de transporte dos corpos-de-prova, diferentes tempos de coleta, moldagem, cura e procedimentos laboratoriais embutidas nos resultados de resistência à compressão.

Inicialmente a curva geral da central é comparada com a curva referência, caso esta comparação não apresente diferença discrepante, as variações relativas aos itens citados são consideradas não significativas e procede-se com a análise do módulo seguinte. Do contrário, nota-se a existência de variações consideráveis e, portanto, torna-se necessária a investigação do laboratório, através de estudo interlaboratorial, de modo a determinar se este, dentre os itens citados, contribui para a elevada variabilidade. Para tanto, determina-se a curva do laboratório. Esta etapa do módulo 2 é dada através da comparação da curva do laboratório com a curva referência. Caso seja observada uma diferença considerável entre as curvas, pode-se concluir que existem indícios de que o laboratório corresponde a fonte de variabilidade dos resultados da central. Neste caso, são apresentadas as verificações e correções necessárias. Do contrário, procede-se com o emprego dos módulos 3 e 4.

O fluxograma referente ao módulo 2 é apresentado na Figura 55. Os dados de entrada do módulo 2, bem como a metodologia de análise de resultados e relatório de saída são apresentados nos itens que seguem.

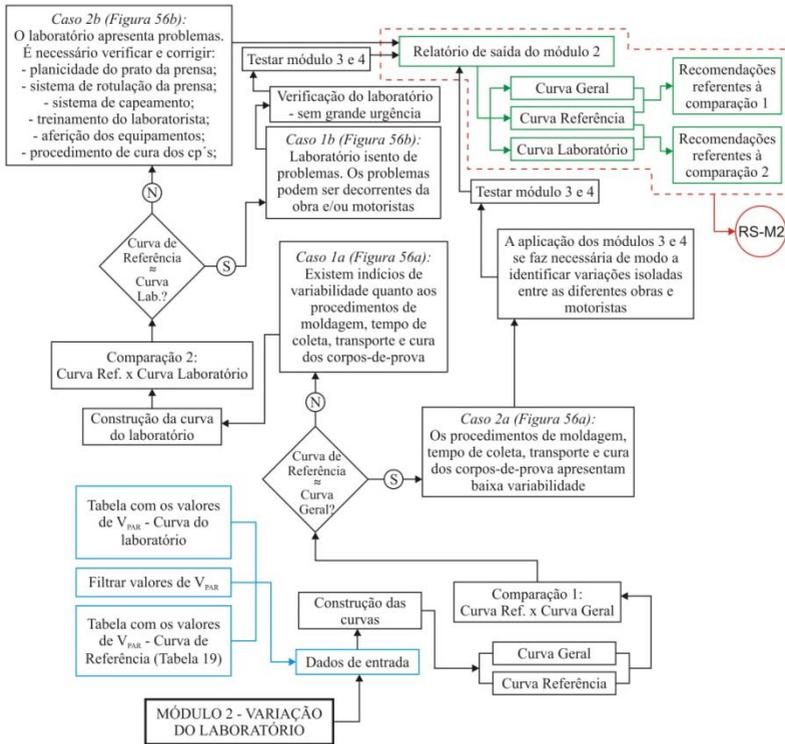


Figura 55 – Fluxograma do módulo 2 – Variação de obras.

5.3.2.3.1 Dados de entrada

O módulo 2 diz respeito à análise do laboratório onde os ensaios são realizados. Assim sendo, existe a necessidade de utilização de dados de entrada referentes a estudos realizados em laboratório. Além disso, em vista da necessidade de determinação da curva geral da central, faz-se necessário a utilização dos dados de V_{PAR} obtidos da matriz base de dados.

As informações necessárias para a construção da curva de referência são apresentadas juntamente com o procedimento de análise de resultados apresentado no item 5.3.2.3.2. Somados aos dados citados anteriormente, existe a necessidade de alimentação do módulo com a curva de referência.

Assim sendo, o módulo 2 apresenta como dados de entrada três diferentes tabelas:

- tabela com os dados de V_{PAR} obtidos da matriz base de dados para determinação da curva geral da central. Estes dados são agrupados independente do valor de f_{ck} , obra e motorista;
- tabela com resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de exemplares, que tenham sido moldados dentro do laboratório por equipe técnica experiente. Dados necessários para determinação da curva do laboratório;
- tabela com os dados relativos à curva referência (Tabela 19).

5.3.2.3.2 Processo de análise de resultados

O procedimento descrito neste item diz respeito à determinação da curva geral da central e curva do laboratório. Tais curvas consistem em curvas de distribuição de freqüências acumuladas, em valores percentuais, para diferentes intervalos de V_{PAR} . Lembrando que os valores de V_{PAR} foram obtidos da matriz base de dados.

Em ambos os casos, determina-se o valor do número “n” de ocorrências por intervalo de V_{PAR} , com um incremento de 1,0%, bem como a porcentagem e a porcentagem acumulada de cada intervalo. Definidas as porcentagens acumuladas dos intervalos de V_{PAR} , torna-se possível traçar as curvas citadas anteriormente. Os intervalos de V_{PAR} necessários para a determinação da curva geral e da curva do laboratório são apresentados na primeira coluna da Tabela 19.

Para a análise dos resultados deste módulo, é necessário comparar a curvas determinadas com a curva de referência. As porcentagens acumuladas para os intervalos de V_{PAR} da curva de referência são apresentadas na Tabela 19 e foram definidas com base nos resultados de laboratórios considerados de boa qualidade.

Tabela 19 – Valores de V_{PAR} da curva de referência.

Intervalo V_{PAR}	Porcentagem acumulada	Curva modelo para avaliação do laboratório
0,0% a 1,0%	40%	
1,0% a 2,0%	55%	
2,0% a 3,0%	70%	
3,0% a 4,0%	85%	
4,0% a 5,0%	100%	
5,0% a 6,0%	100%	
6,0% a 7,0%	100%	
> 7,0%	100%	

A análise comparativa das curvas propostas é apresentada nos itens que seguem:

Comparação da curva geral da central com a curva referência:

Conforme exposto anteriormente, a curva geral da central carrega consigo as variações oriundas de moldagem, diferentes tempos de coleta, transporte, cura dos corpos-de-prova e ensaios realizados em laboratório. Assim sendo, a comparação inicial desta curva com a curva referência permite identificar a existência de variabilidade em tais procedimentos. A seguir são apresentados os dois casos resultantes da comparação das curvas:

- *Caso 1a (Figura 56a):* se a curva da central for distinta da curva referência, nota-se a existência de variabilidade significativa nos procedimentos citados e procede-se com a análise da curva do laboratório apresentada a seguir;
- *Caso 2a (Figura 56a):* se a curva da central for semelhante a curva referência procede-se com a investigação do módulo seguinte.

Comparação da curva do laboratório com a curva referência:

Previamente à apresentação da comparação da curva do laboratório com a curva de referência, cabe ressaltar que, nesta etapa, parte-se do pressuposto que a prensa onde os ensaios são realizados está devidamente aferida.

A comparação entre estas tende a apresentar indícios da necessidade de melhorias na qualidade do laboratório. Assim como apresentado no item anterior, podem ser verificados dois casos distintos:

- *Caso 1b (Figura 56b):* o laboratório em estudo apresenta uma tendência de baixo coeficiente de variação, ou seja, a curva do laboratório é semelhante à curva referência. Neste caso, pode-se descartar a existência de variabilidade significativa por parte dos procedimentos de laboratório. Assim sendo, recomenda-se apenas a verificação dos procedimentos associados à moldagem, tempo de coleta e transporte dos corpos-de-prova. É importante observar que mesmo incluídos no caso 1b a verificação do laboratório se faz necessária. Todavia, essa pode ser realizada sem grande urgência, uma vez que a ocorrência de elevada variabilidade no laboratório foi descartada;
- *Caso 2b (Figura 56b):* a curva do laboratório difere da curva referência. Neste caso, o laboratório é identificado como fonte de elevada variabilidade e verificações quanto a qualidade deste devem ser realizadas. Dentre as possibilidades de verificação do laboratório, podem ser destacados os seguintes itens: rotulação da prensa; verificação da planicidade do prato da prensa; procedimento de cura dos

corpos-de-prova; acabamento superficial dos corpos-de-prova; necessidade de treinamento do laboratorista. Destaca-se que a análise dos módulos 3 e 4 não é descartada em função dos resultados do presente módulo.

Em ambos os casos, é importante destacar que tanto a curva geral da central como a do laboratório não precisam ser exatamente iguais a curva referência para que as mesmas sejam consideradas adequadas. O laboratório será considerado satisfatório caso a curva deste esteja ligeiramente abaixo da curva referência e ao mesmo tempo apresenta similaridade na tendência esboçada entre as curvas.

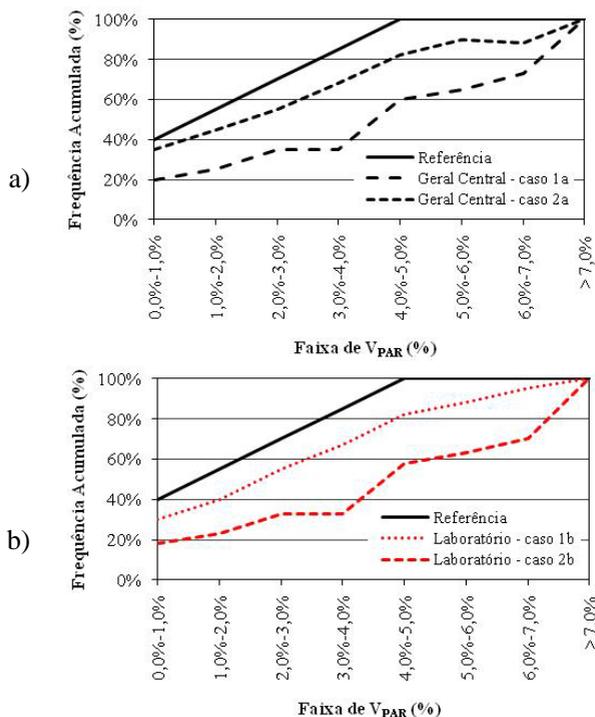


Figura 56 – Curvas de frequência percentual acumulada: (a) Comparação da curva geral da central com a curva referência; (b) Comparação da curva do laboratório com a curva referência.

5.3.2.3.3 Relatório de saída

O relatório de saída do módulo 2 é composto pelos seguintes itens:

- Curva geral da central;
- Curva do laboratório;

- Curva de referência;
- Relatório de comparação das curvas citadas identificando os casos onde as mesmas são enquadradas – Caso 1a, Caso 2a, Caso 1b e Caso 2b;

Destaca-se que no relatório de comparação das curvas, são apresentadas as considerações referentes às comparações realizadas de modo a indicar as medidas a serem tomadas pela central. Tais medidas foram expostas no item 5.3.2.3.2 e, por isso, descarta-se a repetição das mesmas no presente item.

5.3.2.4 Módulo 3 – Variação de obra

O módulo 3 tem como objetivo investigar, descartada a possibilidade de eventuais problemas no laboratório, se as obras nas quais o concreto foi fornecido correspondem à fontes de variabilidade significativa nos resultados da central. Esta análise é pertinente, pois cada obra apresenta diferentes características quanto aos cuidados referentes de controle de qualidade durante a descarga do concreto. Dentre os cuidados necessários em obra, destaque pode ser dado a dois itens:

- estocagem dos corpos-de-prova em obra: após a moldagem dos corpos-de-prova, procedimento realizado no canteiro de obras, os mesmos devem ser armazenados em uma base nivelada e devidamente coberta. No entanto, este procedimento não é realizado de modo adequado em todas as obras atendidas pela central. Assim sendo, os corpos-de-prova são submetidos a diferentes condições de cura inicial, o que por sua vez, resulta em aumento da variabilidade dos resultados. Nota-se que a variação de resistência dentro do par de corpos-de-prova não é elevada, pois ambos foram submetidos às mesmas condições de estocagem, independente desta ser adequada ou não. Contudo, a variação entre pares de diferentes obras pode vir a ser elevada caso diferentes cuidados sejam adotados.
- controle do abatimento do concreto durante a descarga: conforme apresentado ao longo do item 3.2.2, sabe-se que o transporte do concreto fresco entre a central e o canteiro de obras resulta em perda de abatimento. De modo a corrigir tal perda, determina-se uma quantidade limitada de água que poderá ser adicionada posteriormente. Todavia, em determinados casos, a quantidade de água adicionada pode ultrapassar a quantidade de limite, o que por sua vez, resulta em redução considerável de resistência do concreto. O que se tem observado é que em determinadas obras, principalmente aquelas que não apresentam selo PBQP-H, não há equipe responsável pelo controle tecnológico do concreto, ou ainda, qualquer política de conscientiza-

ção da importância da realização deste durante a descarga do concreto. Diante da ausência de tais elementos, a possibilidade de adição indiscriminada de água no concreto é facilitada, contribuindo, assim, para o aumento da variabilidade dos resultados.

Em ambos os casos apresentados, nota-se que uma parcela considerável da variabilidade da central pode estar sendo gerada por processos não controlados pela mesma. Neste caso, tem-se como resultado uma variabilidade aparente muito superior a variabilidade efetiva da central. Logo, a central torna-se obrigada a praticar superdosagens, principalmente no que tange ao consumo de cimento, com o objetivo de evitar que não conformidades sejam observadas em quaisquer obras.

Cabe observar que, caso a central avaliada apresente processo de moldagem remota para todos os concretos produzidos, a análise correspondente aos módulos 3 e 4 passam a desconsiderar problemas no processo de moldagem, estocagem e transporte dos corpos-de-prova, uma vez que este é executado única e exclusivamente no laboratório da central.

Contudo, as análises relativas aos módulos 3 e 4 não devem ser descartadas, pois ainda existe a possibilidade de variabilidade decorrente de falta de controle de abatimento em obra causada ora por deficiência da obra, ora por deficiência dos motoristas.

Por outro lado, a existência de frota completa de caminhões munidos de torquímetro e sistema automatizado de adição de água em função do torque, para correção de abatimento, permite excluir a possibilidade de considerações associadas à problemas de controle de abatimento, ou seja, a análise do módulo 4 pode ser descartada. Todavia, variações decorrentes de problemas no processo de moldagem, estocagem e transporte dos corpos-de-prova observadas em obra não podem ser desconsideradas. Desse modo, a análise do módulo 3 se faz necessária.

Caso os processos de moldagem remota e controle automatizado de abatimento com uso torquímetros acoplados nos caminhões betoneira da central sejam observados de forma simultânea em uma central, as etapas de análise referentes aos módulos 3 e 4 são descartadas.

Destaca-se que se optou pela análise prévia das obras, frente aos motoristas (módulo 4), pois acredita-se que, em determinados casos, os motoristas podem estar sendo influenciados pela falta de controle nas diferentes obras. Todavia, cabe mencionar que a observação de variabilidade significativa no módulo 3, não exclui a aplicação do módulo 4.

De acordo com o procedimento de análise de resultados a ser apresentado no item 5.3.2.4.2, os dados referentes ao coeficiente de variação e $f_{c,j}$ das diferentes obras são organizados e plotados em gráficos

($CV_{OBRA} \times f_{cj-OBRA}$). Com base nestes, determina-se o perfil de cada uma das obras atendidas pela central e decide-se em quais das obras existe a necessidade de intervenção. Nota-se que, caso seja observada uma variabilidade significativa quanto às obras, o programa proposto apresenta as recomendações necessárias para eventual redução dos problemas.

O fluxograma referente ao módulo 3 é apresentado no Figura 57. Os dados de entrada do módulo 3, bem como a metodologia de análise de resultados e relatório de saída são apresentados nos itens que seguem.

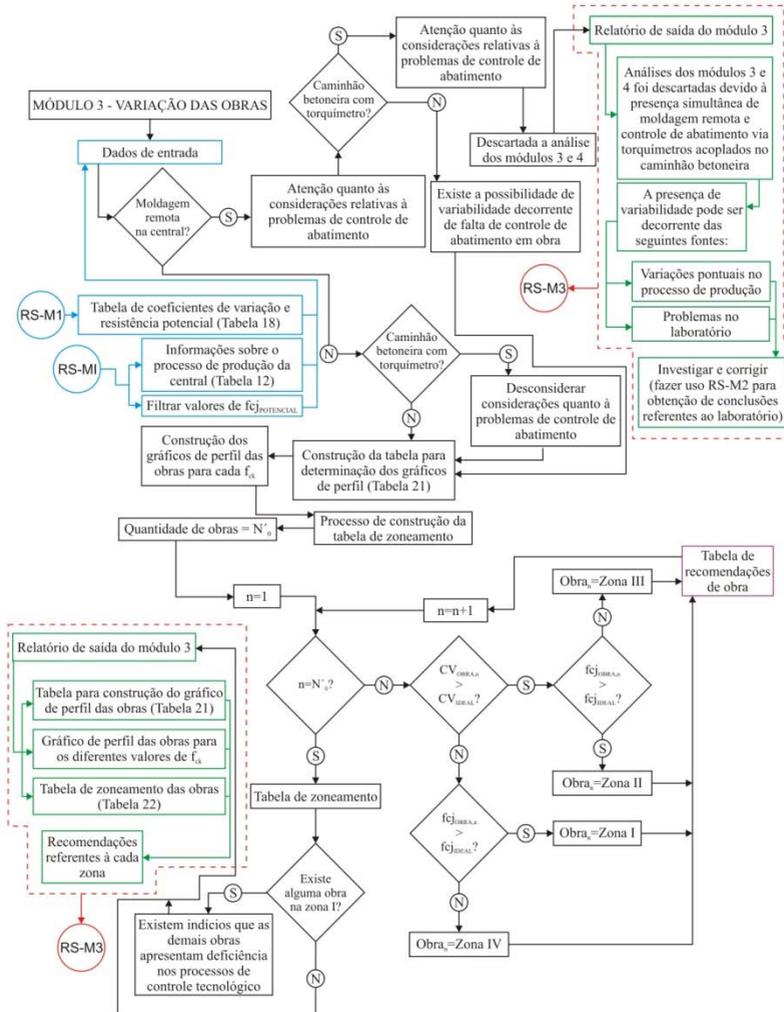


Figura 57 – Fluxograma do módulo 3 – Variação de obras.

5.3.2.4.1 Dados de entrada

Com base na matriz base de dados, o módulo 3 faz uso dos resultados de resistência potencial organizados segundo diferentes obras, levando em consideração o f_{ck} das mesmas. Todavia, é importante destacar que tais resultados não são discriminados quanto aos motoristas, pois o objetivo do módulo é avaliar a variação apenas entre as diferentes obras.

De modo a facilitar o processo de análise de resultados, recomenda-se que os dados de entrada do módulo 3 sejam organizados segundo a estrutura apresentada na Tabela 20. Cabe ressaltar que, em determinados casos, uma mesma obra pode apresentar diferentes valores de f_{ck} .

Tabela 20 – Modelo de tabela dos dados de entrada do módulo 3.

$f_{cjPOTENCIAL}$ (MPa)			
f_{ckOBRA} (MPa)		f_{ckOBRA}' (MPa)	
z_1	z_2	...	z_n
r_1'	t_1'	...	u_1'
r_2'	t_2'	...	u_2'
...
r_n'	t_n'	...	u_n'

Além dos dados apresentados anteriormente, torna-se necessário a coleta de informações, na Tabela 12, referente ao processo de produção do concreto. Dentre elas, destaca-se a existência de processo de moldagem remota e caminhões com controle de abatimento por torque. Soma-se à este a necessidade de coleta de informações associadas ao coeficiente de variação da central ($CV_{CENTRAL}$) e ideal (CV_{IDEAL}), bem como da resistência potencial da central ($f_{cjCENTRAL}$) e ideal ($f_{cjIDEAL}$) para os diferentes valores de f_{ck} . Tais informações são obtidas do relatório de saída do módulo 1 (Tabela 18).

5.3.2.4.2 Processo de análise de resultados

O primeiro passo a ser realizado no processo de análise do módulo 3 consiste na determinação dos seguintes valores:

- f_{ckOBRA} [MPa] – valor de resistência característica do concreto entrega em obra;
- f_{cjOBRA} [MPa] – valor de resistência dado pela média dos valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ de uma mesma obra e mesmo f_{ck} ;
- sd_{OBRA} [MPa] – desvio-padrão dos resultados de f_{cj} de uma mesma obra e mesmo f_{ck} ;

- CV_{OBRA} [%] – coeficiente de variação dos resultados de f_{cj} de uma mesma obra e mesmo f_{ck} . O valor de CV_{OBRA} é dado pelo quociente entre sd_{OBRA} e fcj_{OBRA} ;
- N_{OBRA} – número de exemplares moldados e ensaiados para uma determinada obra e valor de f_{ck} . Corresponde ao tamanho da amostra utilizada para determinação dos valores citados acima. Visando maior confiabilidade nos resultados, recomenda-se a utilização de amostras com valor de $N_{OBRA} > 6$.

Com base nestes resultados, gera-se uma nova tabela, que tem modelo apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 – Tabela de valores de $f_{ck_{OBRA}}$ (MPa), $fcj_{CENTRAL}$ (MPa), sd_{OBRA} (MPa), CV_{OBRA} (%) e N_{OBRA} .

Obr a	fcj_{OBRA} (Mpa)	$fcj_{CENTRAL}$ (Mpa)	sd_{OBRA} (Mpa)	CV_{OBRA} (%)	N_{OBRA}
z_1	r_1'	f_1'	d_1'	v_1'	n_1
z_2	r_2'	f_2'	d_2'	v_2'	n_2
...
z_n	r_n'	f_n'	d_n'	v_n'	n_n

De posse de tais valores, o próximo passo da análise consiste na determinação do comportamento dos resultados em cada uma das obras, ou seja, na definição do perfil das obras.

Com o objetivo de determinar o perfil de cada uma das obras, torna-se necessário a plotagem de um gráfico que relaciona os seguintes valores: CV_{OBRA} e $f_{cj-OBRA}$. O modelo gráfico de perfil é apresentado na Figura 58. Destaca-se que este é compreendido não somente das variáveis apresentadas, isto é, CV_{OBRA} e $f_{cj-OBRA}$, mas também do valor de $fcj_{estatístico}$, CV_{IDEAL} e $fcj_{CENTRAL}$ obtidos no relatório de saída do módulo 1 (Tabela 18).

Como pode ser observado na Figura 58, o gráfico de perfil apresenta quatro quadrantes distintos segmentados pelo valor de CV_{IDEAL} e $fcj_{CENTRAL}$. Cada quadrante corresponde à uma zona com combinações de coeficiente de variação e resistência potencial distintas e, por isso, permitem diferenciar o perfil de cada uma das obras. O gráfico referente à cada uma das zonas é apresentado na Figura 59.

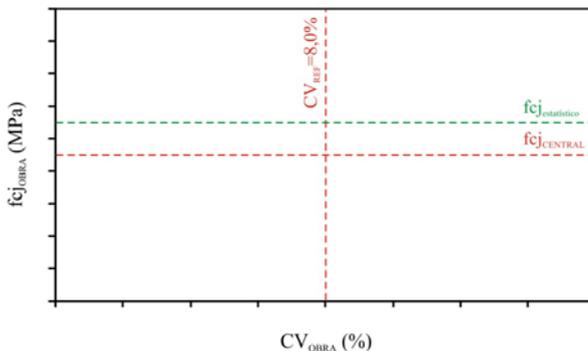


Figura 58 – Modelo do gráfico de perfil.

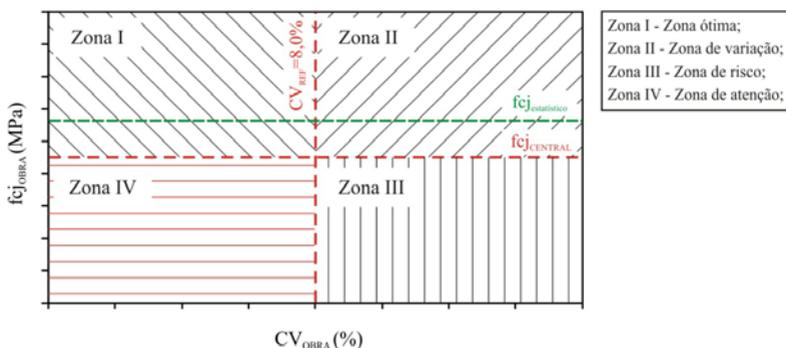


Figura 59 – Modelo gráfico para determinação do perfil das obras.

As características das obras localizadas em cada uma das regiões apresentadas no gráfico de perfil das obras (Figura 59) são destacadas a seguir:

Zona I - Zona ótima ($CV_{OBRA} < CV_{IDEAL}$; $f_{cj_{OBRA}} > f_{cj_{CENTRAL}}$):

As obras localizadas na zona ótima são consideradas como obras que não apresentam problemas para a central no que tange à variabilidade. Neste caso, tais obras podem ser consideradas como modelo para a central de concreto.

A princípio o consumo de cimento utilizado na produção de concreto poderia ser corrigido para o valor correspondente ao $f_{cj_{CENTRAL}}$. Todavia, este valor não pode ser praticado em virtude do perfil das demais obras. Assim sendo, não são recomendadas intervenções imediatas para as obras localizadas na zona ótima, pelo contrário, o procedimento de controle de abatimento e cuidados com estocagem dos corpos-de-

prova devem ser estudados e utilizados como referência em outras obras.

Cabe observar que o limite inferior da zona ótima é constituído pelo valor de $fcj_{CENTRAL}$. Logo, se os pontos pertencentes à zona I estiverem localizados entre os valores de $fcj_{CENTRAL}$ e $fcj_{estatístico}$ não se pode considerar como elevado risco de observação de resultados não conformes. É importante lembrar que o limite $fcj_{CENTRAL}$ corresponde à variabilidade real do processo de produção, ou seja, $CV_{CENTRAL}$. A utilização da linha correspondente ao valor de $fcj_{estatístico}$ serve de auxílio na interpretação dos resultados obtidos no gráfico de perfil.

Vale destacar que se pelo menos uma obra estiver contida na zona ótima, existem indícios de que as obras, localizadas nas demais zonas, apresentam problemas no que diz respeito aos procedimentos realizados no canteiro de obras. Entretanto, a intervenção necessária para cada uma destas depende da zona nas quais as mesmas estão localizadas.

Zona II - Zona de variação ($CV_{OBRA} > CV_{IDEAL}$; $fcj_{OBRA} > fcj_{CENTRAL}$):

As obras localizadas na zona de variação são consideradas aquelas afetadas por variações isoladas, como por exemplo: falta de controle de abatimento e problemas de estocagem dos corpos-de-prova para uma determinada carga de concreto.

Destaca-se que as variações pontuais associados a central, tais como, problemas de proporcionamento e homogeneidade dos materiais na central, entre outros, não podem ser descartadas. Contudo, optou-se pela investigação destes no módulo 4.

O perfil das obras localizadas na zona de variação é semelhante às obras da zona ótima. Contudo, existe a necessidade de intervenção por parte da central de modo que as variações pontuais referentes a problemas em obra e na própria central sejam evitadas. Tal intervenção pode ser dada sob a forma de alerta às obras, de modo que as mesmas aumentem o rigor no controle dos procedimentos de recebimento do concreto, bem como rastreamento da ocorrência de problemas isolados na central.

Quanto à região compreendida entre os valores de $fcj_{CENTRAL}$ e $fcj_{estatístico}$, deve-se considerar os mesmos comentários apresentados no item anterior.

Zona III - Zona de risco ($CV_{OBRA} > CV_{IDEAL}$; $fcj_{OBRA} < fcj_{CENTRAL}$):

As obras localizadas na zona de risco correspondem àquelas que não apresentam padrão algum no que tange ao controle tecnológico do concreto, ou seja, o controle de abatimento de descarga do concreto é

inexistente, com indícios de adição indiscriminada de água. Soma-se a este, a falta de cuidado no manuseio, transporte e estocagem dos corpos-de-prova.

A intervenção a ser realizada nas obras localizadas na zona de risco está associada ao emprego de políticas de conscientização que visam apresentar à importância do controle do recebimento do concreto para o desempenho do concreto em obra. Tal medida pode ser dada através do incentivo na obtenção do certificado de qualidade PBQP-H.

É importante destacar que a intervenção nas obras localizadas na zona de risco deve ser realizada o mais breve possível, pois além de representarem uma fonte de elevada variabilidade, os resultados obtidos nestas obras podem comprometer a imagem da central em virtude da existência de resultados não conformes.

Zona IV - Zona de atenção ($CV_{OBRA} < CV_{IDEAL}$; $fc_{OBRA} < fc_{CENTRAL}$):

As obras localizadas na zona de atenção correspondem àquelas que apresentam processo de controle padronizado, identificado pelo baixo valor de CV_{OBRA} . Contudo, apesar de existente, o mesmo vem sendo constantemente executado de forma incorreta, como por exemplo, repetidas descargas do concreto com abatimento acima do especificado. Tal medida é comumente realizada em obra com o objetivo de acelerar o processo de descarga do concreto e facilitar a etapa de adensamento. Todavia, o abatimento acima do especificado é obtido através da adição excessiva de água, o que, por sua vez, resulta na redução da resistência do concreto ($fc_{OBRA} < fc_{CENTRAL}$).

Assim como na zona de risco, a zona de atenção requer intervenção imediata. Entretanto, acredita-se que o problema é mais simples de ser resolvido, visto que as obras já apresentam um determinado procedimento de controle. Desse modo, aparentemente, a implementação de treinamento da equipe técnica responsável pelo controle em obra seria suficiente para redução dos problemas observados.

Conforme apresentado, cada zona corresponde à uma determinada característica e para cada característica são necessárias diferentes medidas. A elaboração do gráfico de perfil permite a realização de um processo de intervenção diferenciada em cada uma das obras atendidas pela central facilitando, assim, a redução da variabilidade dos resultados da central.

Finalizada a análise de resultados do módulo 3, elaboram-se o relatório de saída e procede-se com a análise do módulo 4.

5.3.2.4.3 Relatório de saída

O relatório de saída do módulo 3 consiste na apresentação dos seguintes itens:

- tabela para construção do gráfico de perfil das obras - Tabela 21;
- gráfico de perfil das obras;
- tabela de zoneamento de cada uma das obras;

Destaca-se que a tabela de zoneamento das obras serve como ferramenta para a central de modo que esta possa intervir de modo particular em cada uma das obras atendidas pela central. O modelo correspondente à tabela de zoneamento é apresentado na Tabela 22.

Tabela 22 – Modelo da tabela de zoneamento das obras.

Obra	f_{ck} (MPa)	Perfil	Intervenções propostas
A	f_{ck1}	Zona I	- Verificar procedimentos adotados na obra em questão e utilizar os mesmos como modelo para as obras localizadas nas demais zonas.
B	f_{ck2}	Zona II	- Maior rigor no controle do abatimento, principalmente para concretos submetidos à elevação do tempo de transporte e condições climáticas adversas; - Padronização dos cuidados na estocagem dos corpos-de-prova em obra.
C	f_{ck3}	Zona III	- Incentivo imediato para o emprego de políticas de conscientização que visam apresentar à importância do controle do recebimento do concreto para o desempenho do concreto. Esta medida inclui treinamento da equipe de obra responsável pelo recebimento do concreto.
D	f_{ck4}	Zona IV	- Realização imediata de curso de treinamento da equipe técnica responsável pelo controle do concreto em obra.

5.3.2.5 Módulo 4 – Variação dos motoristas

A próxima etapa de análise corresponde ao módulo 4 e tem por objetivo a avaliação dos resultados dos motoristas da central estudada. Tal avaliação visa identificar se os mesmos apresentam irregularidades em processos de moldagem de corpos-de-prova e correção de abatimento e, por isso, têm contribuído para o aumento do $CV_{CENTRAL}$.

A partir dos dados de entrada do módulo 4, determina-se a curva de variação dos motoristas, bem como o valor do coeficiente de variação e f_{cj} dos mesmos. Com base nestes, e seguindo a mesma proposta do

módulo 3, determina-se o perfil de cada um dos motoristas (gráfico de perfil – $CV_{MOT} \times f_{cj-MOT}$) definindo se existe ou não a necessidade de intervenção.

Além do gráfico de perfil, o módulo 4 faz uso da curva dos motoristas visando auxiliar a análise de resultados. A curva dos motoristas indica as condições de variabilidade dos motoristas quando ao processo de moldagem. Ao longo da análise de resultados, a curva dos motoristas é comparada com a curva referência (Tabela 19). O procedimento de determinação da curva dos motoristas é apresentado no item 5.3.2.5.2.

O fluxograma referente ao módulo 4 é apresentado na Figura 60.

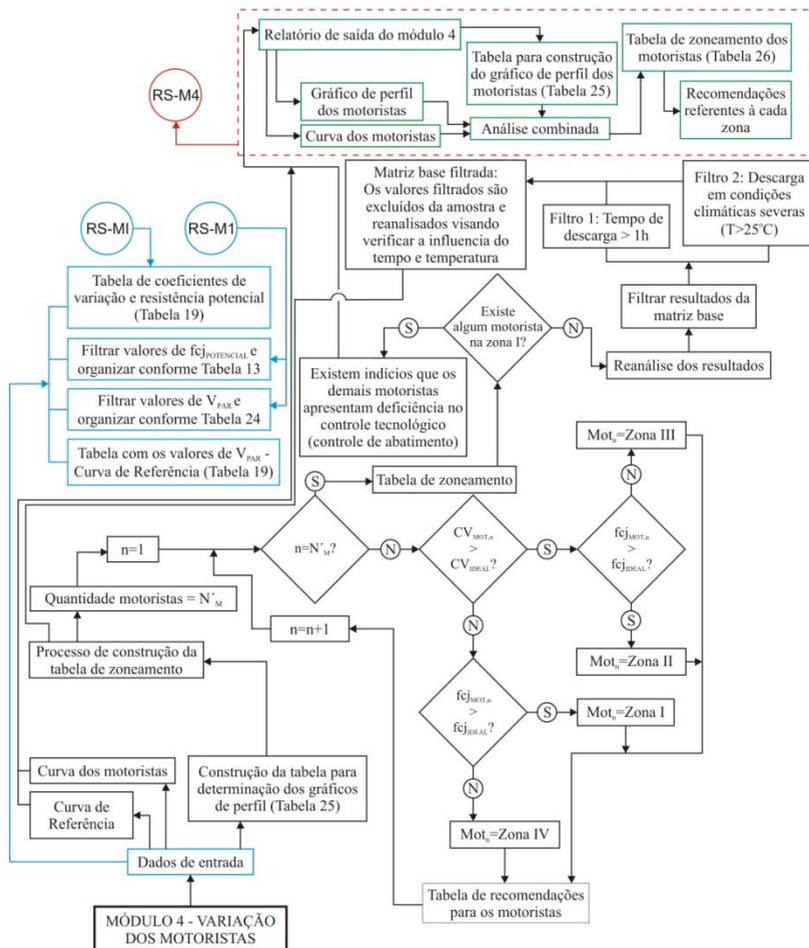


Figura 60 – Fluxograma do módulo 4 – Variação dos motoristas.

5.3.2.5.1 Dados de entrada

Os dados de entrada do módulo 4 são semelhantes aos necessários para o módulo 3, porém além dos resultados de resistência potencial ($f_{cjPOTENCIAL}$), os valores de variação entre os pares de corpos-de-prova (V_{PAR}) também devem ser considerados. Estes dados devem ser organizados de acordo com o modelo apresentado na Tabela 23 e Tabela 24.

Tabela 23 – Modelo de tabela dos dados de entrada do módulo 4 – $f_{cjPOTENCIAL}$ (MPa).

f_{ck} (MPa)	$f_{cjPOTENCIAL}$ (MPa)			
	Motorista			
	w_1	w_2	...	w_n
x_1	r_{11}'	t_{11}'	...	u_{11}'
x_2	r_{21}'	t_{21}'	...	u_{21}'
...
x_n	r_n'	t_n'	...	u_n'

Tabela 24 – Modelo de tabela dos dados de entrada do módulo 4 – V_{PAR} (%).

V_{PAR} (MPa)			
Motorista			
w_1	w_2	...	w_n
s_1'	p_1'	...	m_1'
s_2'	p_2'	...	m_2'
...
s_n'	p_n'	...	m_n'

Cabe destacar que os dados de V_{PAR} (Tabela 24), necessários para determinação da curva dos motoristas, não faz distinção quanto às diferentes obras e valores de f_{ck} do concreto. Tal fato permite obter indícios da existência ou não da influência das diferentes obras no resultados de um mesmo motorista, ou seja, permite indicar se o motorista está sendo ou não influenciado por obras que apresentam carência de controle técnico, ou ainda, por variações no processo de coleta, transporte e preparo dos corpos-de-prova efetuado pela central.

Por outro lado, os dados de $f_{cjPOTENCIAL}$ (Tabela 23), necessários para determinação do gráfico de perfil, são distinguidos quanto ao valor de f_{ck} do concreto, pois é com base nestes que determinam-se os valores de f_{cjMOT} e CV_{MOT} . Assim sendo, um mesmo motorista pode apresentar

diferentes valores de $f_{cj_{MOT}}$ e CV_{MOT} em função do f_{ck} que está sendo analisado.

Quanto aos dados referentes ao tempo de transporte e condições climáticas, estes são armazenados em tabela separada ao dos dados de entrada e somente serão utilizados caso todos os motoristas apresentem resultados de elevada variabilidade.

Por fim, existe a necessidade de coleta de informações associadas ao coeficiente de variação da central e resistência de dosagem para os diferentes valores de f_{ck} . Tais informações são obtidas do relatório de saída do módulo 1 (Tabela 18)

5.3.2.5.2 Processo de análise de resultados

Conforme apresentado anteriormente, a análise de variabilidade referente ao módulo 4 é dada através da determinação do gráfico de perfil dos motoristas e curva dos motoristas.

O gráfico de perfil dos motoristas faz uso dos dados de entrada apresentados na Tabela 23. Com base nestes, são determinados os seguintes valores:

- $f_{ck_{MOT}}$ [MPa] – valor de resistência característica do concreto moldado;
- $f_{cj_{MOT}}$ [MPa] – valor de resistência média dos valores de $f_{cj_{POTENCIAL}}$ de um mesmo motorista e mesmo f_{ck} ;
- sd_{MOT} [MPa] – desvio-padrão dos resultados de f_{cj} de um mesmo motorista e f_{ck} ;
- CV_{MOT} [%] – coeficiente de variação dos resultados de f_{cj} de um mesmo motorista e mesmo f_{ck} . O valor de CV_{MOT} é dado pelo quociente entre $f_{cj_{MOT}}$ e sd_{MOT} ;
- N_{MOT-1} – número de exemplares moldados e ensaiados por um determinado motorista e valor de f_{ck} . Corresponde ao tamanho da amostra utilizada para determinação dos valores citados acima. Visando maior confiabilidade nos resultados, recomenda-se a utilização de amostras com valor de $N_{MOT-1} > 6$

De posse destes resultados, gera-se uma nova tabela que tem modelo conforme apresentado na Tabela 25.

Assim como no gráfico de perfil das obras, o gráfico de perfil dos motoristas apresenta uma relação entre valores de coeficientes de variação e resistência potencial e é segmentado em quatro diferentes zonas. O procedimento necessário para a determinação do gráfico de perfil dos motoristas é semelhante ao apresentado no item 5.3.2.4.2. Contudo, faz-se uso dos valores de CV_{MOT} e $f_{cj_{MOT}}$ conforme apresentado na Figura 61.

Tabela 25 – Tabela de valores de fc_{jMOT} (MPa), sd_{MOT} (MPa), CV_{MOT} (%) e N_{MOT-1} .

Moto- rista	fc_{kMOT} (MPa)	fc_{jMOT} (Mpa)	$fc_{jCENTRAL}$ (Mpa)	sd_{MOT} (Mpa)	CV_{MOT} (%)	N_{MO} $T-1$
Z_1	x_1	r_1	f	d_1	v_1	n_1
Z_2	x_2	r_2	f_2	d_2	v_2	n_2
Z_3	x_3	r_3	f_3	d_3	v_3	n_3
...
Z_n	x_n	r_n	f_n	d_n	v_n	n_n

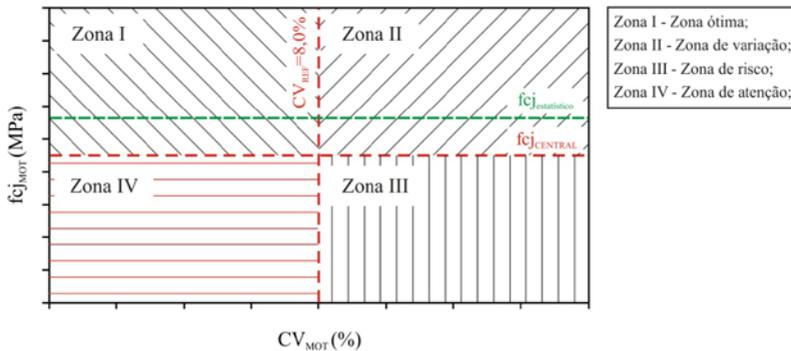


Figura 61 – Gráfico de perfil dos motoristas.

A nomenclatura adotada para as zonas que compõem o gráfico de perfil dos motoristas é semelhante à apresentada no item 5.3.2.4.2. Todavia, no presente módulo, as características de cada uma das zonas dizem respeito não mais às obras, mas sim aos motoristas e são destacadas conforme segue:

Zona I - Zona ótima ($CV_{MOT} < CV_{IDEAL}$; $fc_{jMOT} > fc_{jCENTRAL}$):

Os motoristas localizados na zona ótima não apresentam problemas associados à elevada variabilidade. Além disso, frente a observação de um valor de $fc_{jMOT} > fc_{jCENTRAL}$, pode-se concluir que o motorista, além de apresentar homogeneidade nos procedimentos executados, efetua controle de abatimento de forma correta. Desse modo, não são considerados quaisquer tipos de intervenções.

Como proposta complementar, acredita-se que os motoristas que apresentem o perfil compatível com a zona ótima devem ser considerados como modelo da equipe. A princípio, a central poderia estabelecer políticas de incentivo aos funcionários modelos. Tais políticas poderiam

auxiliar na busca de melhorias na qualidade dos processos executados na central.

Assim como discutido para o gráfico de perfil das obras, o valor correspondente à $fc_{j_{estatístico}}$ serve de auxílio na interpretação dos resultados obtidos no gráfico de perfil. Tal afirmativa é válida não somente para a zona ótima, mas também para a zona de variação apresentada a seguir.

Zona II - Zona de variação ($CV_{MOT} > CV_{IDEAL}; fc_{j_{MOT}} > fc_{j_{CENTRAL}}$):

Os motoristas localizados na zona de variação podem ser considerados como semelhantes aos motoristas da zona ótima, principalmente por apresentarem $fc_{j_{MOT}} > fc_{j_{CENTRAL}}$. Contudo, a presença de um elevado coeficiente de variação ($CV_{MOT} > CV_{IDEAL}$) indica a existência de variações pontuais dos processos realizados ou pelo motorista ou pela central.

Dentre as variações pontuais existentes no processo de produção do concreto, destaque pode ser dado àquelas resultantes de fatores como: falta de controle de abatimento em uma determinada carga de concreto, erros de proporcionamento dos insumos, variações da temperatura do cimento, transporte inadequado de uma determinada série de corpos-de-prova e falta de constância das propriedades dos insumos utilizados³⁹. É importante observar que tais fatores são considerados apenas no módulo 4, pois variações associados ao laboratório e obras foram previamente estudadas nos módulos anteriores.

Apesar dos motoristas obterem resultados de resistência adequada, ou seja, $fc_{j_{MOT}} > fc_{j_{CENTRAL}}$ existe a necessidade de intervenção por parte da central de modo que as eventuais variações pontuais sejam evitadas, pois em determinados casos os resultados de $fc_{j_{MOT}} > fc_{j_{CENTRAL}}$ pode ser resultante de uma determinada folga no consumo de cimento utilizado pela central na produção de concreto.

A intervenção para os motoristas da zona de variação pode ser dada sob a forma de investigações de campo, como por exemplo, teste do uso de aditivos para correção de abatimento em obra, bem como chamada de atenção dos motoristas de modo que erros isolados sejam minimizados.

Zona III - Zona de risco ($CV_{MOT} > CV_{IDEAL}; fc_{j_{MOT}} < fc_{j_{CENTRAL}}$):

Os motoristas localizados na zona de risco correspondem àqueles que não apresentam coerência alguma sobre os procedimentos executados. Além disso, não são conscientes quanto a necessidade do controle

³⁹ A verificação da constância dos materiais utilizados na produção de concreto pode ser determinada mediante a realização de ensaios de controle dos materiais.

da quantidade de água adicionada para correção de abatimento em obra, fato este comprovado pela observação de valores de $fcj_{MOT} < fcj_{CENTRAL}$.

A elevada variabilidade observada na zona de risco não pode ser creditada à ocorrência de variações pontuais, uma vez que, estas resultam em uma pequena quantidade de resultados não conformes, ou seja, apresentam a tendência de obter-se valores de $fcj_{MOT} > fcj_{CENTRAL}$. O que se observa, porém, é uma elevada quantidade de valores não conformes em função da falta de controle por parte do motorista ou variações repetitivas por um longo período no processo de produção, como por exemplo, inconstância no proporcionamento dos materiais por falta de aferição de equipamentos e falta de homogeneidade nas propriedades dos materiais constituintes.

Além disso, destaca-se a necessidade de verificação dos equipamentos utilizado pelo motorista contido na Zona III, neste caso, o caminhão betoneira. Em determinadas situações, os resultados de um dado motorista podem estar sendo prejudicados, por exemplo, pelo fato das lâminas do caminhão betoneira estarem desgastadas a ponto de prejudicar o processo de mistura do concreto.

A intervenção a ser realizada para os motoristas caracterizados pela zona de risco consiste na realização de treinamento e emprego de políticas de conscientização quanto à importância das atividades desenvolvidas pelos mesmos. Destaca-se que tais intervenções devem ser realizadas em caráter urgente, pois além de ser uma fonte de elevada variabilidade, os resultados obtidos por tais motoristas pode comprometer a imagem da central em virtude da existência de resultados não conformes.

Zona IV - Zona de atenção ($CV_{MOT} < CV_{IDEAL}$; $fcj_{MOT} < fcj_{CENTRAL}$):

Diferente dos motoristas localizados na zona de risco, os motoristas localizados na zona de atenção correspondem àqueles que apresentam controle padrão quanto aos processos executados, fato este baseado na observação de valores de $CV_{MOT} < CV_{IDEAL}$. Todavia, apesar da existência de um determinado padrão, os procedimentos vêm sendo executado de forma errônea, resultando assim na observação de valores de $fcj_{MOT} < fcj_{CENTRAL}$. Neste caso, destaca que pode ser dado à falta de controle de abatimento do concreto.

Assim como na zona de risco, os motoristas caracterizados pela zona de atenção requerem intervenção imediata, pois apesar do baixo coeficiente de variação, estes também colaboram para a observação de valores não conformes na central. Acredita-se que implantação de trei-

namento dos motoristas seja suficiente para redução dos problemas observados.

Conforme apresentado, cada zona corresponde a uma determinada característica e para cada característica são necessárias diferentes medidas. A elaboração do gráfico de perfil permite a realização de um processo de intervenção diferenciada para cada motorista da central e, conseqüentemente, permite a correção de possíveis problemas associados a falta de treinamento.

É importante destacar que se todos os motoristas apresentarem resultados de elevada variabilidade os dados de entrada do módulo 4 devem ser reanalisados. Esta nova análise consiste na reorganização dos dados de modo que aqueles que decorrem de elevado tempo de transporte e dias com condições climáticas adversas sejam avaliados de forma destacada e, quando necessário, descartados da amostra.

Excluídos tais resultados, os dados são reanalisados, ou seja, efetua-se uma nova determinação do coeficiente de variação e f_{cj} dos motoristas, bem como gráfico de perfil dos mesmos. A partir destes resultados, é possível determinar se o elevado tempo de transporte, ou condições climáticas adversas, foram os fatores responsáveis pela elevada variabilidade observada anteriormente.

Além da determinação do gráfico de perfil, torna-se necessária a determinação da curva dos motoristas. Para tanto, faz-se uso dos dados da Tabela 24.

A curva do motorista pode ser definida como a impressão digital dos mesmos e o acompanhamento da variação desta permite identificar a evolução dos motoristas ao longo de intervalos de tempo distintos. Além disso, é através da comparação entre as curvas dos motoristas que a variabilidade do processo de moldagem, que inclui desde a moldagem propriamente dita ao transporte e ensaio dos corpos-se-prova, pode ser investigada.

Destaca-se que a curva dos motoristas é comparada com a curva referência (Tabela 19) e tem caráter auxiliar na análise de resultados do gráfico de perfil e determinação da tabela de zoneamento.

Assim como a curva do laboratório apresentada no item 5.3.2.3.2, a curva dos motoristas é determinada com base nos valores de frequência acumulada (em valores percentuais) dos intervalos de V_{PAR} dispostos na Tabela 19.

É importante citar que o tamanho da amostra utilizada para a determinação da curva dos motoristas, denominado N_{MOT-2} , difere do tamanho da amostra utilizada na determinação do gráfico de perfil

(N_{MOT-1}). A diferença existente entre os tamanhos amostrais N_{MOT-1} e N_{MOT-2} decorre do fato de que os dados necessários para construção da curva dos motoristas não faz distinção quanto aos valores de f_{ck} .

5.3.2.5.3 Relatório de saída

O relatório de saída do módulo 4 resulta na apresentação dos itens destacados abaixo:

- Tabela para construção do gráfico de perfil - Tabela 25;
- Gráfico de perfil e Curva dos motoristas;
- Tabela de zoneamento de cada um dos motoristas

A tabela de zoneamento dos motoristas serve como ferramenta para a central de modo que esta possa intervir de modo particular em cada caso observado e é determinada mediante análise combinada do gráfico de perfil dos motoristas e curva dos mesmos. O modelo da tabela de zoneamento dos motoristas é apresentado na Tabela 26.

É importante observar que se a elevada variabilidade for decorrente da falta de controle de abatimento, recomenda-se que a central realize testes do uso de aditivos para correção do abatimento.

Por fim, cabe destacar que informações complementares baseadas na análise combinada dos resultados do gráfico de perfil e curva dos motoristas, podem ser adicionadas na Tabela 26.

Tabela 26 – Modelo de tabela de zoneamento dos motoristas.

Motorista	Perfil	Intervenções propostas
1	Zona I	- Os motoristas incluídos na referida zona devem ser considerados como modelo da equipe técnica;
2	Zona II	- Realização de investigações de campo visando identificar a presença de variações pontuais. Dentre as possibilidades de variações existentes destacam-se os seguintes itens: falta de rigor no controle de abatimento, erros de proporcionamento dos materiais na central, variações da temperatura do cimento no silo, problemas de moldagem, transporte e ensaio dos corpos-de-prova; aferição dos equipamentos de pesagem dos materiais;
3	Zona III	- Realização imediata de cursos de treinamento e emprego de políticas de conscientização dos motoristas quanto à importância das atividades desenvolvidas pelos mesmos;
4	Zona IV	- Implementação imediata de cursos de treinamento dos motoristas;

5.3.2.6 Módulo 5 – Teste de materiais

O módulo 5 tem como objetivo investigar a qualidade dos materiais constituintes utilizados na produção de concreto na central avaliada. O uso deste módulo, cujo fluxograma é apresentado no Figura 62, será necessário sempre que a curva de impressão da central estiver abaixo da curva de impressão da central de melhor desempenho para uma mesma região de controle.

Além disso, o módulo 5 pode ser empregado caso a avaliação inicial das composições dos concretos da central indiquem que estes apresentem consumo de água acima dos valores utilizados na região.

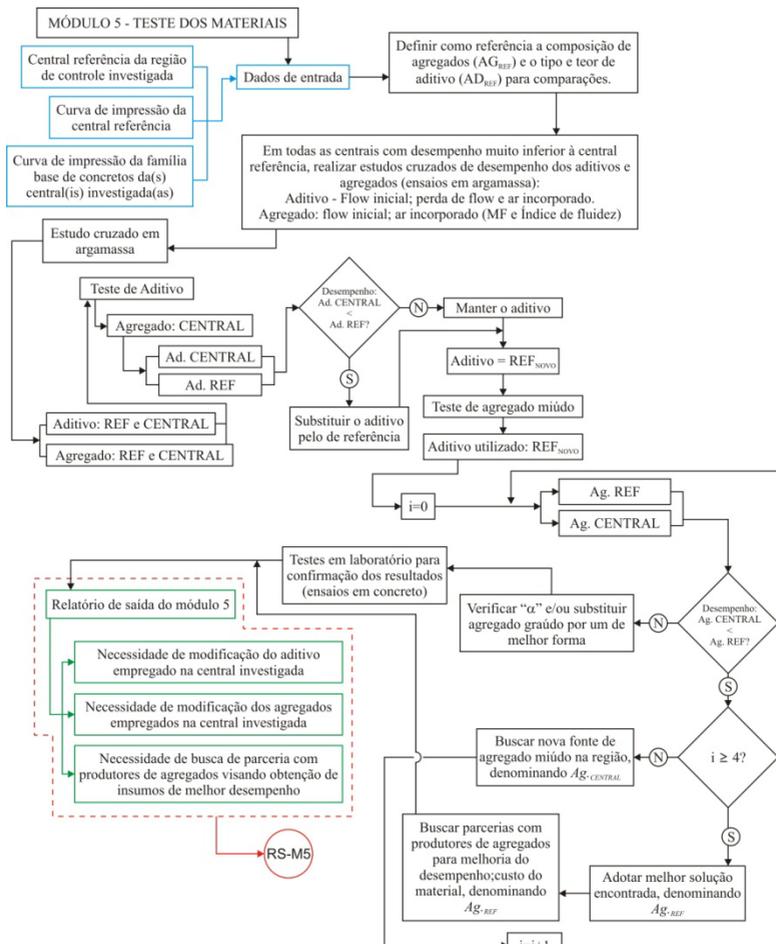


Figura 62 – Fluxograma do módulo 5 – Teste de materiais.

A investigação dos materiais constituintes tem por base o emprego de estudos de aditivos e agregados na produção de concreto. Optou-se pela realização de estudos de aditivos e agregados, pois estes são mais fáceis de serem modificados quando comparados ao cimento.

Os dados de entrada do módulo 5, bem como a método de análise de resultados e relatório de saída são apresentados nos itens que seguem.

5.3.2.6.1 Dados de entrada

Como dados de entrada para a análise proposta no módulo 5 é necessário o levantamento dos seguintes informações:

- Central Referência da região de controle investigada;
- Curva de impressão da Central Referência;
- Curva de dosagem dos concretos produzidos na central avaliada (família base);

Cabe destacar que a Central Referência corresponde à central que apresenta o melhor desempenho em uma determinada região de controle. A definição desta é dada mediante a comparação das curvas de dosagem das centrais de uma mesma regional. Será considerada a Central Referência aquela que possui o menor consumo de água por m^3 nos principais traços comercializados. É importante verificar ainda se a central com o menor consumo de água é aquela que apresenta menor consumo de cimento, pois, em determinados casos, o baixo consumo de água pode estar atrelado a um elevado teor de ar incorporado.

5.3.2.6.2 Processo de análise de resultados

O processo de análise proposto no módulo 5 deve ser realizado na seguinte ordem:

- 1 – Identificação da Central Referência: informação obtida com base nos dados de entrada do presente módulo;
- 2 – Definição da composição referência: definida a central que apresenta o melhor desempenho, adota-se a composição de agregados e teor / tipo de aditivo utilizado por esta como os materiais de referência;
- 3 – Estudo cruzado de aditivo / agregados: determinados os materiais de referência, deve-se realizar um estudo cruzado de aditivos / agregados para todas as centrais da região que apresentem desempenho muito abaixo da Central Referência⁴⁰. As considerações referentes ao estudo cruzado de aditivo / agregados são apresentadas no item que segue.

⁴⁰ Lembrando que a comparação de desempenho entre diferentes centrais é dada pela comparação da curva de impressão das mesmas.

5.3.2.6.2.1 Estudo cruzado de aditivo / agregados

O estudo cruzado de aditivos / agregados é composto por duas etapas de testes: *Teste de Aditivo* e *Teste de Agregados* (Figura 62). Os procedimentos realizados no teste de Aditivos e agregados são apresentados nos itens que seguem. Cabe destacar que todos os ensaios deverão ser realizados em argamassa, pois, além de resultarem em processo de produção menos laborioso, apresentam boa correlação com os resultados observados em concreto.

Dentre os ensaios utilizados para a identificação dos materiais de melhor desempenho para produção de concreto destacam-se:

- ensaios de fluidez (trabalhabilidade);
- perda de fluidez;
- índice de fluidez;
- teor de incorporação de ar;
- tempo de pega;
- resistência à compressão.

As recomendações práticas de laboratório envolvidas na realização destes ensaios, bem como análise de resultados foi desenvolvida com base em estudos realizados pelo grupo GTec da Universidade Federal de Santa Catarina e são apresentadas de forma detalhada no ANEXO 4.

Teste de Aditivos:

Esta etapa visa a comparação do desempenho entre o aditivo utilizado na central regional e o utilizado na central que está em estudo (investigação). Para tanto, será necessário fixar um determinado tipo de agregado miúdo, neste caso o agregado da central de concreto onde o estudo está sendo realizado. Fixado o agregado, são realizados ensaios de desempenho em argamassas produzidas com o aditivo empregado na central regional de referência (Ad.REF) e o aditivo até então utilizado pela central em estudo (Ad.CENTRAL).

Para avaliação do desempenho dos aditivos, será necessário proceder com os ensaios de espalhamento, perda de consistência e determinação do teor de ar incorporado. O aditivo que apresentar melhor desempenho passa a ser o novo aditivo da central e é atribuída a denominação de aditivo REF_{NOVO} conforme apresentado no fluxograma na Figura 63.

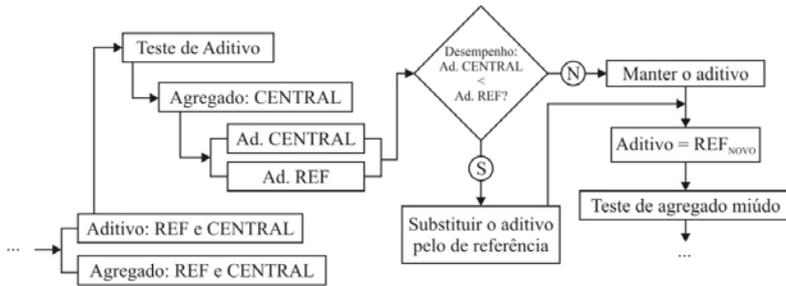


Figura 63 – Fluxograma do Módulo 5 – Etapa de Teste de Aditivos.

Teste de Agregados:

A segunda etapa de testes do estudo cruzado terá por objetivo a determinação de qual dos agregados, considerando os disponíveis na região, apresenta melhor desempenho para a produção de concreto. Para tanto, deve-se fazer uso do aditivo definido na etapa anterior (Ad.REF_{NOVO}). Inicialmente deverão ser comparados os agregados utilizados na central regional (Ag.REF) com os agregados da central em estudo (Ag.CENTRAL). Caso o desempenho observado para o Ag.CENTRAL seja inferior ao Ag.REF será necessário buscar um novo agregado e repetir o procedimento de teste de agregado. Estima-se que se após quatro tentativas consecutivas o desempenho do Ag.CENTRAL permanecer inferior ao do Ag.REF será recomendada a busca de parcerias com as empresas produtoras de agregados de modo a melhorar a qualidade dos agregados fornecidos e assim obter desempenho igual ou superior ao agregado da central regional. Caso o desempenho do Ag.CENTRAL seja igual ou superior ao Ag.REF prossegue-se com a realização de estudo em concreto para determinação do teor de argamassa (α) e comprovação dos resultados obtidos em argamassa. Na Figura 64 é apresentado o fluxograma referente à etapa de Teste de Agregados.

Para avaliação do desempenho dos agregados, é necessário proceder com os ensaios de espalhamento e determinação do teor de ar incorporado, bem como estudo do índice de fluidez.

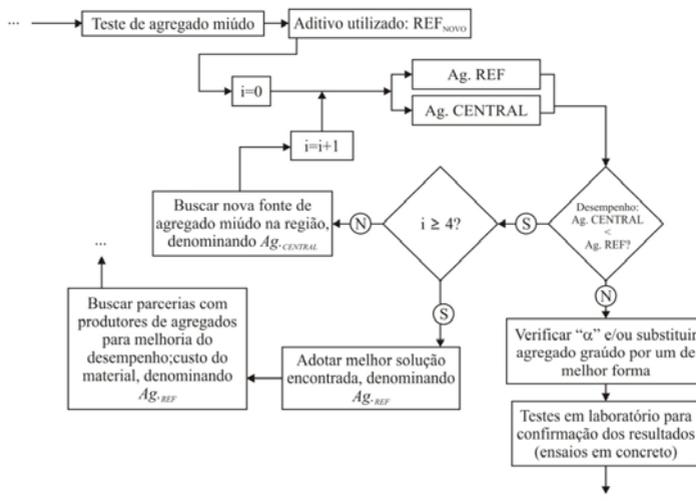


Figura 64 – Fluxograma do Módulo 5 – Etapa de Teste de Agregados.

5.3.2.6.3 Relatório de saída

O relatório de saída do módulo 5 é composto por:

- Necessidade de substituição do aditivo empregado pela central investigada;
- Necessidade de substituição dos agregados miúdos utilizados pela central investigada;
- Busca de parcerias com os produtores de agregados visando melhoria do desempenho do material fornecido para a produção de concreto.

Destaca-se que a possibilidade de substituição dos agregados utilizados pela central em estudo deve ser avaliada levando em consideração aspectos geográficos, que porventura podem fazer que um determinado agregado, de desempenho superior aos demais testados, torne o custo final do concreto muito elevado. As análises de mercados correspondentes à este quesito não fazem parte do escopo do programa proposto e devem ser realizadas pelo técnico responsável pela central.

5.3.2.7 Relatório final

O relatório final do programa proposto consiste no resumo dos relatórios de saída de cada um dos módulos apresentados ao longo deste capítulo. Este relatório deve ser documentado permitindo, assim, o acompanhamento do histórico de qualidade do processo de produção da central e eventual necessidade de atualização dos métodos de análise dos resultados.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1 Considerações preliminares

Definidas as etapas e procedimentos envolvidos na metodologia de avaliação de controle de qualidade de produção de centrais de concreto, foram analisados dados referentes à duas centrais, uma localizada na cidade de Florianópolis (FLN) e outra localizada na cidade de Curitiba (CTB). Destaca-se que se optou pela escolha destas, pois ambas apresentam sistemas de automação e controle semelhantes o que, por sua vez, permite a comparação entre as mesmas.

As análises realizadas com os dados obtidos de cada uma das centrais apresentam diferentes objetivos, sendo estes destacados a seguir:

- Análise 1: Central de Curitiba (CTB): esta análise contempla a utilização de todos os módulos propostos, com exceção do módulo 5, e tem como objetivo avaliar a central CTB e identificar se a metodologia proposta é adequada para a identificação de diferentes fontes de variabilidade;
- Análise 2: Central de Florianópolis (FLN): a análise contempla a utilização de todos os módulos propostos, com exceção do módulo 5. Contudo, o objetivo principal está associado não somente a avaliação da coerência dos resultados gerados pelo programa proposto, mas também definir se este é sensível o suficiente para detectar diferenças no controle de produção entre duas centrais com características semelhantes;
- Análise 3: Análise comparativa da resposta do programa: a análise contempla apenas a utilização do módulo 1. Neste caso, a central FLN foi analisada em diferentes intervalos de tempo e as respostas obtidas, referentes às modificações de dosagem, foram comparadas com as medidas tomadas pelo técnico responsável pela central.

Os dados utilizados para cada uma das análises propostas, bem como as respectivas considerações, são apresentados ao longo dos itens que seguem.

6.2 Análise 1 - Central de Curitiba (CTB)

O presente item visa apresentação dos resultados e considerações obtidas na aplicação dos diferentes módulos propostos em uma central de concreto da região de Curitiba. Destaca-se que, em função da elevada quantidade de dados e visando facilitar a leitura do trabalho, optou-se pela apresentação de parte das tabelas de dados de entrada e resultados em anexo.

6.2.1 Módulo de Identificação

Os dados referentes às condições de contorno da central são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Condições de contorno de produção da central CTB.

Módulo de Identificação		
	Início	Fim
a) Período de amostragem:	07/04/2009	20/07/2009
b) Insumos utilizados na produção:	Tipo	
Aglomerante	Cimento CP IV 32 RS - Granel	
Agregado Miúdo	Areia fina de duna - britagem	
Agregado Graúdo	Brita 4,75 / 12,5 - Brita 9,5 / 25,0	
Aditivos	Aditivo polifuncional	
c) Laboratório da Central:	Respostas	
Existe laboratório na central	Sim	
Preparo da superfície dos corpos-de-prova	Capeamento - pasta de enxofre	
d) Informações sobre a central:	Respostas	
Volume médio de produção mensal (m ³ /mês)	9.000 m ³	
Raio médio de atendimento da central (Km)	≈ 60,0 Km	
Central: Disposição / Controle / Mistura	Mista / Automático / Dosadora	
Traços mais comercializados	Abatimento = 10,0cm; Agregado Graúdo - Brita 4,75/12,5 + Brita 9,5/25,0 $f_{ck} = 15,0 / 20,0 / 25,0 / 30,0$ MPa,	
Estocagem dos materiais	Baías não cobertas de intempéries	
Local de moldagem dos corpos-de-prova	Moldagem em obra	
Consumo de água médio dos concretos	165,0 à 185,0 l/m ³	
Consumo de água máximo praticado ⁴¹	200,0 l/m ³ à 210,0 l/m ³	

Tabela 27 – Condições de contorno de produção da central CTB (continuação).

e) Informações sobre o processo de pro-	Respostas
--	------------------

⁴¹ Destaca-se que o valor de consumo de água de 210,0 l/m³ fora empregado anteriormente pela central em estudo quando esta não possuía laboratório técnico adequado para realização estudos de dosagem.

dução da central:	
Sistema de automação da central	Central de controle automático
Proporcionamento dos materiais	Automático – controle de peso através do uso de células de carga
Sistema de controle de umidade	Ensaio de frigideira – realizado 3 vezes / dia
Sistema de adição de aditivo	Automático
Frota completa de caminhões betoneira com torquímetro:	Não, apenas 10 / 19 caminhões

A amostra utilizada para a definição da matriz base foi coletada no período compreendido entre 07 de Abril de 2009 à 20 de Julho de 2009. Destaca-se que não foram relatadas modificações de composição dos concretos produzidos no período mencionado anteriormente. Assim sendo, a amostra é considerada como adequada para o emprego dos módulos propostos.

No que tange a matriz inicial de dados, esta é apresentada na Tabela A6 do ANEXO 5 devido a elevada quantidade de dados presentes na mesma. Com o objetivo manter a privacidade das entidades envolvidas, optou-se pelo uso de caracteres alfanuméricos na definição da nomenclatura das obras e motoristas.

A família base de concretos definida para a central CTB é constituída por quatro diferentes valores de f_{ck} . Tal fato tem por base as informações apresentadas na Tabela 27, onde constam os traços dos concretos mais comercializados pela central. As composições utilizadas na produção dos concretos que compõem a família base são apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28 – Composições dos concretos da família base da central CTB.

Materiais	f_{ck} (Mpa)			
	15,0	20,0	25,0	30,0
Cim. CP IV 32 RS - Granel	179,0	215,0	254,0	298,0
Brita 4,75 / 12,5 + Brita 9,5 / 25,0	1011,0	1033,0	1.037,0	1066,0
Areia fina	388,0	366,0	352,0	327,0
Areia de brita - Tipo I	608,0	574,0	553,0	513,0
Aditivo Polifuncional	1,6	1,9	2,3	2,7
Água – Rede Pública	168,0	168,0	166,0	164,0

De posse da matriz inicial de dados, determinaram-se os valores $f_{cj,POTENCIAL}$ e variação dos exemplares. Além disso, visando o tratamento estatístico dos dados, e posterior determinação da matriz base de dados, torna-se necessária a determinação dos valores de média e desvio-padrão dos valores de $f_{cj,POTENCIAL}$ da matriz inicial de dados.

De posse destes, determina-se os valores de $I_{fcj,sup}$ e $I_{fcj,inf}$ através do emprego da Eq. 14 e exclui-se da matriz inicial de dados (Tabela A6 do ANEXO 5) os dados de $f_{cj,POTENCIAL}$ não compreendidos no intervalo I_{fcj} . Os resultados obtidos para o tratamento estatístico da matriz inicial de dados são destacados na Tabela 29.

Tabela 29 – Valores obtidos para o tratamento estatístico dos dados da matriz inicial da central CTB.

f_{ck} (MPa)	15,0	20,0	25,0	30,0
$f_{cj,médio}$ (Mpa)	19,1	24,8	31,4	38,4
$sd_{médio}$ (Mpa)	5,4	3,2	3,1	3,5
α (%)	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
$I_{fcj,inferior}$ (Mpa)	10,2	19,6	26,2	32,6
$I_{fcj,superior}$ (Mpa)	28,0	30,0	36,6	44,2
$N_{amostra}$	71	213	79	67

A matriz base de dados é apresentada na Tabela A7 do ANEXO 5 e servirá de dado de entrada nos demais módulos. Os valores referentes à média, desvio-padrão, coeficiente de variação, número de dados excluídos e tamanho da amostra da matriz base são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Resumo da matriz base de dados da central CTB.

f_{ck} (MPa)	15,0	20,0	25,0	30,0
$f_{cj,estatístico}$ (Mpa)	18,4	24,7	31,7	38,7
$sd_{estatístico}$ (Mpa)	2,4	2,2	2,7	2,6
$CV_{estatístico}$ (%)	13,1%	8,7%	8,5%	6,8%
$N_{estatístico}$	69	202	74	57
$N_{excluídos}$	2	11	5	10

O relatório de saída do módulo de identificação é composto pela Tabela 28 e Tabela A7 (dispostas no ANEXO 5) e Tabela 27. Conforme a metodologia proposta, após a determinação do relatório de saída, pro-

cede-se com a análise do Módulo 1 conforme apresentado no item que segue.

6.2.2 Módulo 1 – Curva de Impressão

Conforme destacado no fluxograma da Figura 49 os dados de entrada referentes aos valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ (Tabela A6 – ANEXO 5) e composição dos concretos da família base (Tabela 28) são obtidos do relatório de saída do módulo de identificação. Assim sendo, torna-se necessário apenas a apresentação dos valores de volume de concreto da família base produzidos ao longo do período de amostragem. Tais valores foram obtidos mediante utilização do banco de dados da central CTB e são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Volume de concreto produzido na central CTB ao longo do período de amostragem.

f_{ck} (MPa)	Volume (m ³)
15,0	1863,0
20,0	2603,5
25,0	1041,5
30,0	1066,5

Seguindo o procedimento de análise de resultados, conclui-se que a análise do módulo 5 não se faz necessária, uma vez que o consumo de água utilizado na produção de concreto está abaixo do valor limite de 200 l/m³. Desse modo, procedeu-se com a determinação da Tabela 32 indispensável para o cálculo do coeficiente de variação e curva de impressão da central.

Tabela 32 – Tabela com dados para determinação do $CV_{CENTRAL}$ e Curva de impressão da central.

a/c	f_{ck} (MPa)	f_{cj} estatístico (MPa)	C_C (kg/m ³)	C_A (Kg/m ³)	CV estatístico (%)	N estatístico	Vol. (m ³)
0,94	15,0	18,4	179,0	168,0	13,1%	69	1863,0
0,78	20,0	24,7	215,0	168,0	8,7%	202	2603,5
0,65	25,0	31,7	254,0	166,0	8,5%	74	1041,5
0,55	30,0	38,7	298,0	164,0	6,8%	57	1066,5

Com base nos valores da Tabela 32 e fazendo uso das equações Eq. 20 à Eq. 23 determinaram-se os valores dos coeficientes K_1 , K_2 , K_7 e K_8 . Além destes, empregando-se a Eq. 24 obteve-se o valor de CV_{CEN} .

TRAL. Os resultados dos coeficientes mencionados são apresentados na Tabela 33. Os detalhes referentes à determinação destes coeficientes são apresentados na Tabela A8 do ANEXO 5.

Tabela 33 – Coeficientes da curva de impressão da central CTB.

Curva de Impressão – Central CTB		CV _{CENTRAL} (%)
K₁	110,7	9,6%
K₂	6,8	
K₇	14,3	
K₈	-6,9	

A curva de impressão da central CTB é apresentada de forma gráfica na Figura 65.

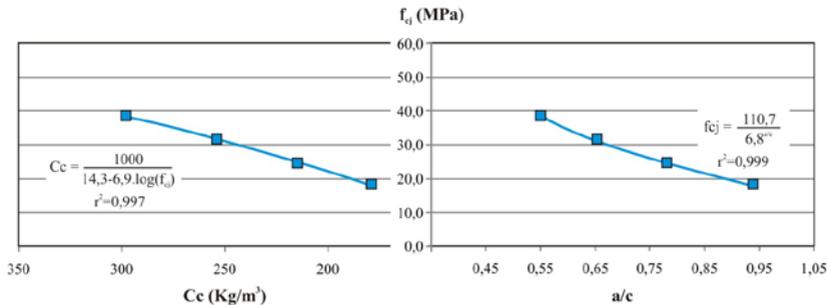


Figura 65 – Curva de impressão da central CTB.

Na Tabela 34 constam os valores de CV_{CENTRAL} e CV_{IDEAL}, bem como os respectivos valores de fcj_{CENTRAL} e fcj_{IDEAL} para os diferentes valores de f_{ck} dos concretos da família base. Destaca-se que a Tabela 34 é baseado no modelo de tabela de coeficiente de variação e resistências potenciais apresentado na Tabela 18.

Tabela 34 – Coeficientes de variação e resistências potenciais da central CTB.

f _{ck} (MPa)	CV _{CENTRAL} (%)	fcj _{CENTRAL} (MPa)	CV _{IDEAL} (%)	fcj _{IDEAL} (MPa)
15,0	9,6%	17,8	8,0%	17,3
20,0		23,8		23,0
25,0		29,7		28,8
30,0		35,7		34,6

Como se pode observar na Tabela 34, o valor de CV_{CENTRAL} é superior ao limite de 8,0%. Logo, a central CTB apresenta variabilidade

acima do desejado, sendo, por isso, necessário o emprego dos módulos 2, 3 e 4.

Além da análise das fontes de variabilidade, existe a necessidade de correção das dosagens praticadas de modo que a central CTB pratique valores de resistência de dosagem ($f_{cj_{CENTRAL}}$) compatíveis com o valor de $CV_{CENTRAL}=9,6\%$.

As correções necessárias para os concretos pertencentes à família base são apresentadas na Tabela 35 e foram determinadas segundo a metodologia apresentada no 5.3.2.2.4.1. Cabe observar que os valores de $f_{cj_{estatístico}}$ e consumo de cimento atual foram obtidos da Tabela 32.

Tabela 35 – Correção do consumo de cimento dos concretos da família base da central CTB.

C_C (Kg/m ³)	f_{ck} (Mpa)	CV (%)	f_{cj} (Mpa)	C_C (Kg/m ³)	Correções (kg/m ³)
Atual	15,0	-	18,4	179,0	-
	20,0		24,7	215,0	
	25,0		31,7	254,0	
	30,0		38,7	298,0	
Recomendado	15,0	9,6%	17,8	176,4	-2,6
	20,0		23,8	208,1	-6,9
	25,0		29,7	241,7	-12,3
	30,0		35,7	278,5	-19,5
Potencial	15,0	8,0%	17,3	173,6	-5,4
	20,0		23,0	204,1	-10,9
	25,0		28,8	236,4	-17,6
	30,0		34,6	271,5	-26,5

Com base nos resultados da Tabela 35, pode-se observar que a central CTB têm empregado consumo de cimento além do necessário. Tal medida pode ter sido adotada com o objetivo de cobrir uma desconhecida variabilidade de resultados, garantindo assim a redução da observação de resultados não conformes. Contudo, mesmo em presença de variabilidade considerável, neste caso, $CV_{CENTRAL}=9,6\%$, ainda existe a possibilidade de redução do consumo de cimento para o valor recomendado (Tabela 35).

Destaca-se ainda que uma vez que a central aprimore o controle de produção, resultando em redução do coeficiente de variação da cen-

tral, existe a possibilidade de redução ainda maior no consumo de cimento conforme observado na Tabela 35.

De modo a verificar a funcionalidade do método de correção do consumo de cimento para concretos isolados, fez-se um levantamento de dados para um determinado tipo de concreto isolado produzido na central em questão. Neste caso, o concreto isolado trata-se de um concreto especial ($f_{ck}=25$ MPa) empregado em pisos industriais. A composição do concreto isolado utilizado na análise em questão é apresentada na Tabela 36.

Os dados da matriz inicial e posterior matriz base necessários para correção do consumo de cimento dos concretos isolados são apresentados, respectivamente na Tabela A9 e Tabela A10 do ANEXO 5. Na Tabela 37 é apresentado o resumo da matriz base de dados do concreto isolado em estudo. Vale destacar que o período de amostragem utilizado foi idêntico ao apresentado na Tabela 28.

Tabela 36 – Composição do concreto isolado da central CTB.

Materiais	Consumo de material (Kg/m³)
Cim. CP IV 32 RS - Granel	282,0
Brita 4,75 / 12,5	315,0
Brita 9,5 / 25,0	736,0
Areia fina	313,0
Areia de brita - Tipo I	491,0
Aditivo Polifuncional	1,128
Água – Rede Pública	187,0

Tabela 37 – Resumo da matriz base de dados do concreto isolado da central CTB.

f_{ck} (MPa)	25,0
f_{cj} estatístico (MPa)	30,7
sd estatístico (MPa)	2,6
CV estatístico (%)	8,3%
N estatístico	38
N excluídos	2

Na Tabela 38 são apresentados os resultados obtidos na determinação do coeficiente de correção – A.

Tabela 38 – Coeficiente de correção do consumo de cimento do concreto isolado da central CTB.

Curva de Impressão da central CTB – Figura 65		C_C (Kg/m ³)	Δf_{cj} (MPa)	$\Delta C'$ (MPa)	A (Kg/m ³ .Mpa)
fc_{j1} (MPa)	25,0	214,9	10,0	59,4	5,94
fc_{j2} (MPa)	35,0	274,3			

De posse do valor de “A” efetua-se a correção do consumo de cimento do concreto isolado segundo o procedimento especificado no item 5.3.2.2.4.2. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 39.

Tabela 39 – Correção do consumo de cimento do concreto isolado da central CTB

f_{ck} (MPa)	Consumo de Cimento		ΔC (Kg/m ³)	$C_{C,ATUAL}$ (Kg/m ³)	$C_{C,RECOMENDADO}$ (Kg/m ³)
25	$fc_{jCENTRAL}$ (MPa)	29,7	-5,6	282,0	276,4
	$fc_{jESTATÍSTICO}$ (MPa)	30,7			

Com base na Tabela 39, nota-se que correção para o concreto isolado também resulta em possibilidade redução do consumo de cimento. Este resultado vai ao encontro dos resultados obtidos para os concreto pertencentes à uma família (Tabela 35) e comprova a compatibilidade entre os diferentes métodos de correção de dosagem. Contudo, cabe destacar que a correção observada, em concretos de mesmo f_{ck} , para o concreto isolado é inferior à determinada para o concreto pertencente à família base.

Na análise em questão, o concreto isolado corresponde à um tipo de concreto empregado pela central CTB para produção de piso industrial. Neste caso, há um maior controle da quantidade de água adicionada para correção de abatimento, bem como controle do tempo necessário para que as atividades de acabamento superficial sejam iniciadas. Assim sendo, a diferença observada entre as correções de dosagem do concreto isolado, em relação àqueles que pertencem à uma família, pode ser atribuída ao maior rigor no controle de qualidade para os concretos isolados e conseqüente reduzido valor de coeficiente de variação.

De posse dos valores de $CV_{CENTRAL}$, curva de impressão da central, exclusão da necessidade de emprego do módulo 5, tabela de corre-

ções de dosagem e seus respectivos valores, elabora-se o relatório de saída do módulo 1 e procede-se com a análise de resultados.

Conforme citado anteriormente, em virtude da observação de um valor de $CV_{CENTRAL}$ superior à 8,0%, existe a necessidade do emprego dos demais módulos previstos na metodologia proposta. As análises referentes aos demais módulos, bem como conclusões obtidas mediante emprego dos mesmos, são apresentadas ao longo dos itens que seguem.

6.2.3 Modulo 2 – Variação do laboratório

Conforme exposto no fluxograma da Figura 55, os dados de entrada do módulo 2 são constituídos pela tabela de valores de resultados de ensaios desenvolvidos em laboratório, V_{PAR} da central e tabela da curva de referência.

No que tange aos resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de exemplares moldados dentro do laboratório, estes foram disponibilizados pelo técnico da central em estudo e são apresentados na Tabela A11 do ANEXO 5.

Os resultados referentes à V_{PAR} da central estão contidos na matriz base de dados (Tabela A7 do ANEXO 5). Os valores da curva de referência, por sua vez, foram apresentados na descrição do módulo 2 destacada no item 5.3.2.3.2. De posse destes, pode-se efetuar a primeira análise proposta para o módulo 2, ou seja, a comparação da curva geral da central com a curva referência.

Com base nos resultados de V_{PAR} da central CTB obtêm-se os valores de porcentagem acumulada apresentados na Tabela 40. Nota-se que os valores referentes à curva referência, bem como a comparação das duas curvas também são apresentadas na mesma tabela.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 40, observa-se que a curva geral da central não é semelhante à curva referência. Neste caso, a comparação das curvas corresponde ao caso 1a da Figura 56a. Logo, a central CTB é caracterizada por uma variabilidade significativa nos procedimentos de moldagem, diferentes tempos de coleta, transporte, cura dos corpos-de-prova e ensaios realizados em laboratório. Dessa maneira, necessita-se da análise da curva do laboratório.

Tabela 40 – Comparação da curva geral da central CTB e curva de referência.

Intervalo V_{PAR}	Porcentagem acumulada		Comparação 1: Curva geral da central CTB com a curva referência
	Referência	Geral	
0,0% a 1,0%	40%	16%	
1,0% a 2,0%	55%	27%	
2,0% a 3,0%	70%	41%	
3,0% a 4,0%	85%	53%	
4,0% a 5,0%	100%	61%	
5,0% a 6,0%	100%	71%	
6,0% a 7,0%	100%	77%	
> 7,0%	100%	100%	

Utilizando como fonte de dados a Tabela A11 do ANEXO 5 obtêm-se os valores de porcentagem acumulada apresentados na Tabela 41.

Em função dos resultados apresentados na Tabela 41, nota-se que a curva do laboratório da central CTB é semelhante à curva referência (Caso 1b – Figura 56b). Neste caso, considera-se que a variação dos procedimentos de laboratório contribui apenas com uma pequena parcela na variabilidade da central. Logo, as investigações devem ser focadas na verificação dos processos de moldagem, tempo de coleta e transporte dos corpos-de-prova realizados pela central.

Entretanto, é importante considerar que apesar de enquadrado no caso 1b, as curvas do laboratório e referência ainda apresentam uma determinada distância entre si. Desse modo, acredita-se que os procedimentos desenvolvidos em laboratório poderiam ser verificados, de forma não urgente, visando a melhorar as condições do mesmo e contribuir para redução de variabilidade da central.

Por fim, procede-se com a elaboração do relatório de saída do módulo 2 que é constituído pela curva geral da central CTB, laboratório e referência, bem como considerações obtidas na comparação entre estas. Na seqüência dá-se início às investigações das obras e motoristas da central CTB através do emprego dos módulos 3 e 4 conforme apresentado nos itens que seguem.

Tabela 41 – Comparação da curva do laboratório da central CTB e curva de referência.

Intervalo V_{PAR}	Porcentagem acumulada		Comparação 2: Curva do laboratório da central CTB com a curva referência
	Referência	Lab.	
0,0% a 1,0%	40%	28%	
1,0% a 2,0%	55%	40%	
2,0% a 3,0%	70%	44%	
3,0% a 4,0%	85%	60%	
4,0% a 5,0%	100%	72%	
5,0% a 6,0%	100%	88%	
6,0% a 7,0%	100%	88%	
> 7,0%	100%	100%	

6.2.4 Módulo 3 – Variação das obras

Os dados de entrada do módulo 3 referentes às informações do processo de produção e tabela de coeficientes de variação e resistências potenciais fazem parte do relatório de saída do módulo de identificação e módulo 1 e são dispostos, respectivamente, na Tabela 27 e Tabela 34.

Além destes, faz-se necessário a reorganização dos dados da matriz base de dados segundo o modelo da Tabela 20 onde os valores de resistência potencial são organizados segundo diferentes valores de f_{ck} e obras. Os dados de $fc_{JPOTENCIAL}$ da central CTB são apresentados na Tabela A12 do ANEXO 5. Cabe observar que a determinação desta teve por base a matriz base de dados da central CTB destacada na Tabela A7 do mesmo anexo.

Como pode ser observado na Tabela 27, a central CTB não apresenta processo de moldagem remota e frota completa de caminhões betoneira munidos de torquímetro para controle de abatimento. Logo, procede-se com a determinação dos gráficos de perfil das obras.

A determinação dos gráficos de perfil tem por base a utilização dos valores de fc_{JOBRA} e CV_{JOBRA} e são apresentados na Tabela 42. Tais resultados têm por base os valores de $fc_{JPOTENCIAL}$ da Tabela A12 do ANEXO 5 e consideradas apenas as obras com $N_{OBRA} > 6$.

Tabela 42 – Valores de $f_{ck_{OBRA}}$ (MPa), $f_{cj_{OBRA}}$ (MPa), sd_{OBRA} (MPa), CV_{OBRA} (%) e N_{OBRA} .

Obra	$f_{ck_{OBRA}}$ (MPa)	$f_{cj_{OBRA}}$ (Mpa)	$f_{cj_{CENTRAL}}$ (Mpa)	sd_{OBRA} (Mpa)	CV_{OBRA} (%)	N_{OBRA}
L	15,0	18,5	17,8	2,5	13,4%	64
C	20,0	23,5	23,8	2,4	10,3%	17
G		25,0		2,0	7,8%	83
I		24,6		2,1	8,5%	15
J		23,3		1,7	7,2%	6
W		24,6		2,1	8,5%	33
X		24,9		2,9	11,6%	13
G	25,0	31,7	29,7	2,7	8,4%	51
H	30,0	39,5	35,7	2,3	5,9%	16
L		37,6		2,3	6,2%	9
T		38,6		2,9	7,4%	31

Os gráficos de perfil são apresentados na Figura 66.

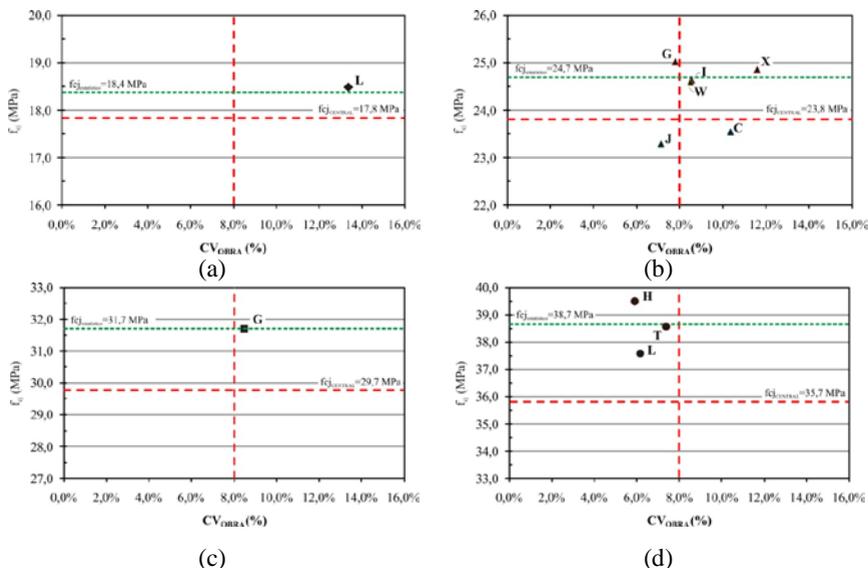


Figura 66 – Gráfico de perfil das obras: (a) $f_{ck}=15,0$ MPa; (b) 20,0MPa; (c) 25,0MPa; (d) 30,0MPa.

De acordo os gráficos da Figura 66, observa-se que a maioria das obras atendidas pela central apresenta perfil compatível com as zonas I e II. Acredita-se que tal comportamento está associado à folga de consumo de cimento praticada pela central para o período de amostragem considerado na análise.

Em se tratando de obras de diferentes valores de f_{ck} , destaque pode ser dado às obras com valor de $f_{ck} = 30,0$ MPa, onde todas ficaram localizadas na zona I. Esta tendência pode ser atribuída ao fato de que concretos de maior valor de f_{ck} , isto é, $f_{ck} > 15,0$ MPa, apresentam controle tecnológico mais rigoroso tanto por parte do corpo técnico obra como da central. Quanto ao elevado valor de fcj_{OBRA} observado nestas, estima-se que estes são decorrentes da folga no consumo de cimento, identificada pelo módulo 1, associado ao controle adequado do abatimento do concreto.

A afirmativa realizada no parágrafo anterior, referente à relação entre coeficiente de variação e valor do f_{ck} do concreto, tem por base os resultados dispostos na Tabela 32. A observação destes permite concluir que os concretos não estruturais, neste caso, $f_{ck}=15,0$ MPa⁴², apresentam valor de coeficiente de variação ($CV_{f_{ck}-15MPa}=13,1\%$) muito acima dos concretos estruturais, que, por sua vez, apresentam valores inferiores e, por vezes, próximos quando comparados entre si ($CV_{f_{ck}-20,0MPa}=8,7\%$, $CV_{f_{ck}-25,0MPa}=8,5\%$ e $CV_{f_{ck}-30,0MPa}=6,8\%$).

No que diz respeito à comparação da obra L com as obras T e H (Figura 66d), nota-se que o valor de fcj_{OBRA} de L está localizado entre a faixa de $fcj_{CENTRAL}$ e $fcj_{estatístico}$. Tal fato pode estar associado à quantidade de água elevada adicionada em obra para correção do abatimento. Contudo, a observação de valores não conformes é acobertada pela folga existente no consumo de cimento. Dessa maneira, uma vez que o consumo de cimento for corrigido para o valor $C_{RECOMENDADO}$, existe a necessidade de chamada de atenção quanto à obra L de modo que a adição de água seja dada de modo adequado.

Além da obra L, destaca-se a necessidade de alerta quanto às obras C, I, X e W, pois a realização da correção do consumo de cimento para o valor $C_{RECOMENDADO}$ pode resultar na modificação destas da Zona II para as zonas III. O mesmo alerta vale para as obras G, L e T, uma vez que a correção do consumo de cimento pode resultar na relocação das mesmas da Zona I para a zona IV, conforme indicado na Figura 67.

⁴² Segundo NBR6118:2003 o valor de f_{ck} mínimo de concretos estruturais não deve ser inferior à 20,0MPa (Valor relativo à classe de agressividade I e ambiente rural).

Destaca-se que o valor de f_{cJOBRA}' , apresentado na Figura 67, consiste em um valor estimado e é determinado com base nas correções de dosagem (Tabela 35) e no coeficiente de correção “A” da central CTB (Tabela 38) conforme indicado na Eq. 29.

$$f_{cJOBRA}' = f_{cJOBRA} - (C_{ATUAL} - C_{RECOMENDADO})/A \quad \text{Eq. 29}$$

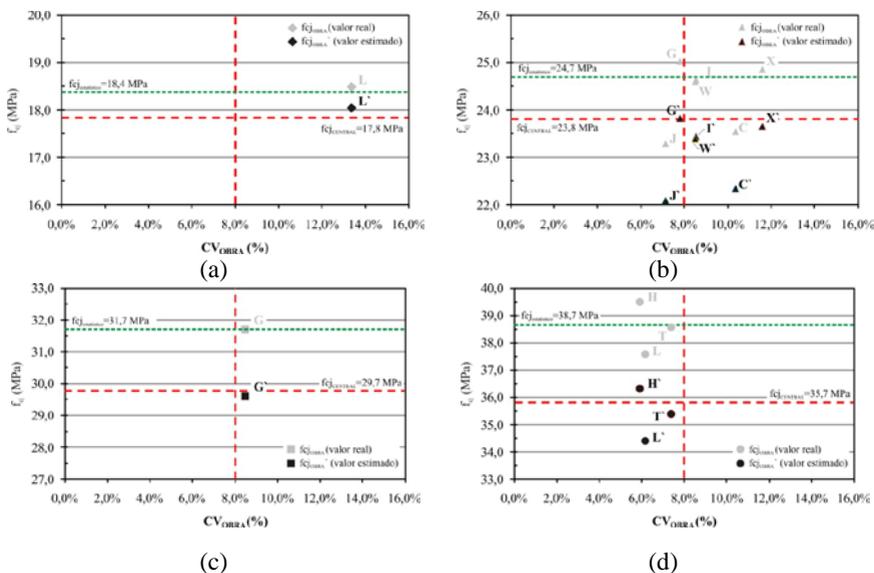


Figura 67 – Estimativa do gráfico de perfil das obras após correção do consumo de cimento para o valor $C_{RECOMENDADO}$: (a) $f_{ck}=15,0$ MPa; (b) 20,0MPa; (c) 25,0MPa; (d) 30,0MPa.

Outro ponto interessante a ser discutido diz respeito à obra G que trabalhou, para o período de amostragem utilizado, com diferentes valores de f_{ck} (20,0 e 25,0 MPa). Segundo o gráfico da Figura 66 a obra G apresenta perfil compatível com a zona I, para $f_{ck}=20,0$ MPa, e zona II, para $f_{ck}=25,0$ MPa. Contudo, acredita-se que a obra G possa ser classificada com pertencente à zona I, uma vez que o CV_{OBRA} para $f_{ck}=25,0$ MPa é de 8,4%, ou seja, bem próximo ao limite de 8,0% que divide as zonas I e II. Soma-se à esta consideração o fato de que a maior parte dos resultados da obra G é proveniente de resultados de concretos de $f_{ck}=20,0$ MPa. Assim sendo, a obra G deve passar pelo processo de intervenção proposto para a zona I conforme apresentado na Tabela 43.

Da mesma maneira, porém trabalhando com concretos de $f_{ck}=15,0$ MPa e 30,0 MPa, a obra L apresenta perfil compatível com as

zonas I e II. Neste caso, nota-se uma diferença considerável entre os valores de CV_{OBRA} , logo não existe a possibilidade de aproximação semelhante à realizada para a obra G. Todavia, acredita-se que a obra L possa ser classificada como compatível com a zona I, pois, em função da não utilização em peças estruturais, os resultados proveniente de concretos de $f_{ck}=15,0\text{MPa}$ têm variabilidade elevada independente do tipo de obra e, por isso, não refletem o controle realizado na obra L.

Por outro lado, partindo do pressuposto que a obra L consegue atingir baixo valor de CV_{OBRA} para pelo menos um f_{ck} ($CV_{OBRA}=6,2\%$ - $f_{ck}=30,0\text{MPa}$), poder-se-ia considerar a mesma como pertencente à zona I. Contudo, o presente autor considera tal afirmativa como inadequada, pois, uma vez que a obra apresentou valor de coeficiente de variação elevado para concretos de um dado f_{ck} ($CV_{OBRA}=13,4\%$ - $f_{ck}=15,0\text{MPa}$), a observação deste para outros concretos não pode ser descartada. Em casos como este, o técnico da central deve levar em consideração que a obra deveria realizar controle padronizado independente do valor de f_{ck} do concreto.

Com base nos gráficos de perfil da Figura 66 e nas análises apresentadas para as diferentes obras, determina-se a tabela de zoneamento das obras conforme disposto na Tabela 43.

Conforme mencionado no item 5.1, a metodologia proposta tem por objetivo auxiliar na identificação das causas de variabilidade e conseqüentemente na tomada de decisões referentes às intervenções no processo de produção. Assim sendo, casos como o das obras G e L podem ocorrer em outras análises e necessitam ser interpretados de forma crítica pelo técnico da central de modo que as intervenções mais adequadas à realidade de cada obra sejam realizadas.

Realizadas as eventuais análises de casos particulares e determinada a tabela de zoneamento das obras, procede-se com elaboração do relatório de saída do módulo 3. Este, por sua vez, é composto pela tabela com os valores necessários para a construção dos gráficos de perfil (Tabela 42), os gráficos de perfil (Figura 66) e a tabela de zoneamento das obras (Tabela 43) com as intervenções necessárias para cada uma das mesmas.

Elaborado o relatório de saída do módulo 3 procede-se com a análise do módulo 4 conforme apresentado no item a seguir.

Tabela 43 – Tabela de zoneamento das obras atendidas pela central CTB.

Obra	f_{ck} (MPa)	Perfil	Intervenções propostas
G	20,0	Zona I	Verificar procedimentos adotados na obra em questão e utilizar os mesmos como modelo para as obras localizadas nas demais zonas.
H	30,0		
T			
L			
I	20,0	Zona II	Maior rigor no controle do abatimento, principalmente para concretos submetidos à elevado tempo de transporte e condições climáticas adversas; Padronização dos cuidados na estocagem dos corpos-de-prova em obra.
W			
X			
C	20,0	Zona III	Incentivo imediato para o emprego de políticas de conscientização que visam apresentar à importância do controle do recebimento do concreto para o desempenho do mesmo. Esta medida inclui treinamento da equipe de obra responsável pelo recebimento do concreto.
J	20,0	Zona IV	Realização imediata de curso de treinamento da equipe técnica responsável pelo controle do concreto em obra.

6.2.5 Módulo 4 – Variação dos motoristas

A tabela com os dados referentes ao coeficiente de variação e resistência potencial da central CTB necessário para alimentar o módulo 4 foi determinada ao longo da análise do módulo 1 e é apresentada na Tabela 34.

Além da tabela citada acima, existe a necessidade da coleta dos valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ e V_{PAR} da matriz base de dados (Tabela A7 do ANEXO 5) e organização dos mesmos segundo os diferentes motoristas da central e respectivos valores de f_{ck} . Os resultados obtidos para a amostra da central CTB são apresentados da Tabela A13 à Tabela A16 do ANEXO 5.

Seguindo o processo de análise de resultados apresentado no item 5.3.2.4.2, tem-se como próxima etapa a determinação das curvas e gráficos de perfil dos motoristas. Os resultados obtidos nestas são apresentados na seqüência.

Tabela 45 – Porcentagem acumulada de V_{PAR} dos motoristas da central CTB (Motoristas 12 à 23).

Intervalo	Motoristas										
	12	13	14	15	17	18	19	20	21	22	23
	Porcentagem acumulada										
0,0%-1,0%	0	23	27	19	0	11	26	17	14	11	14
1,0%-2,0%	13	36	36	19	17	30	32	39	29	11	29
2,0%-3,0%	38	45	36	25	33	33	47	48	36	33	46
3,0%-4,0%	56	45	36	56	50	41	58	57	50	44	63
4,0%-5,0%	69	45	55	63	50	41	58	61	50	67	69
5,0%-6,0%	81	55	64	75	50	59	63	78	57	67	74
6,0%-7,0%	88	73	73	81	67	70	68	78	57	89	74
> 7,0%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

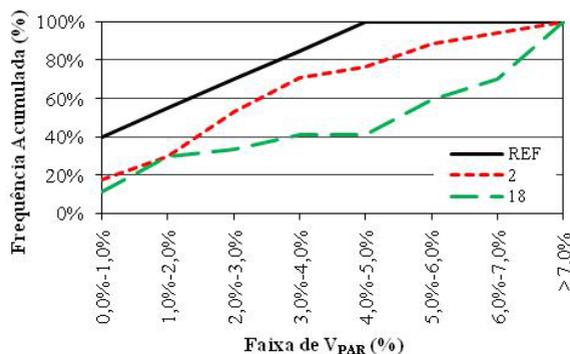


Figura 68 – Curva dos motoristas 2 e 18.

Determinação dos gráficos de perfil e tabela de zoneamento dos motoristas

Os valores necessários para a construção dos gráficos de perfil dos motoristas, obtidos através da análise da Tabela A13 e Tabela A14 do ANEXO 5, são apresentados na Tabela 46.

Tabela 46 – Valores de $f_{cj_{MOT}}$ (MPa), sd_{MOT} (MPa), CV_{MOT} (%) e N_{MOT-1} .

Motorista	f_{ck} (MPa)	$f_{cj_{MOT}}$ (Mpa)	$f_{cj_{CENTRAL}}$ (Mpa)	sd_{MOT} (Mpa)	CV_{MOT} (%)	N_{MOT-1}		
1	20,0	26,0	23,8	2,4	9,4%	16		
2		25,2		2,1	8,4%	9		
5		24,7		1,4	5,7%	13		
6		25,7		2,0	7,9%	10		
7		23,4		1,4	5,9%	6		
9		25,2		2,0	8,1%	6		
10		26,0		2,6	10,0%	11		
11		23,6		1,6	6,9%	16		
12		25,1		1,8	7,3%	10		
13		24,0		1,4	5,8%	11		
14		23,7		2,3	9,6%	8		
15		25,8		1,9	7,2%	9		
18		25,1		2,6	10,4%	15		
19		24,9		2,3	9,3%	9		
20		24,9		2,6	10,4%	12		
21		23,7		2,2	9,2%	8		
23		23,7		1,6	6,7%	23		
10		25,0		32,5	29,7	1,3	4,2%	7
13				30,1		2,9	9,8%	6
20				31,3		2,5	8,0%	6
23	30,1		1,9	6,2%		6		
10	30,0	39,9	35,7	2,7	6,7%	7		

Os gráficos de perfil são apresentados na Figura 69. Como pode ser observado nesta, os motoristas da central analisada estão concentrados, na grande maioria dos casos, entre as zonas I e II. Este fato pode estar associado à existência de folga no consumo de cimento, identificada através da análise do módulo 1. Desse modo, acredita-se que parte dos resultados dos motoristas que apresentam falta de cuidados quanto ao controle de abatimento, ou seja, adição abusiva de água, podem estar sendo mascarados pela existência de folga no consumo de cimento.

Não foram obtidas amostras com quantidade de dados suficientes ($N_{MOT-1} > 6$) para os concretos de $f_{ck} = 15,0$ MPa. Portanto, a plotagem deste gráfico não foi realizada.

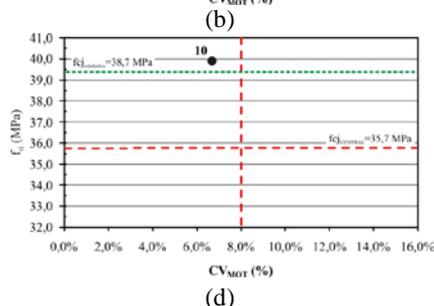
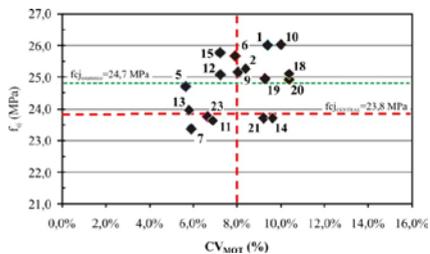
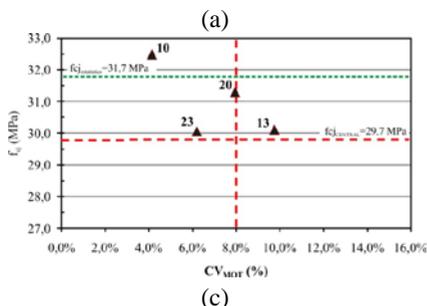


Figura 69 – Gráfico de perfil dos motoristas da central CTB: (a) $f_{ck} = 15,0$ MPa; (b) 20,0 MPa; (c) 25,0 MPa; (d) 30,0 MPa.

Assim como realizado para a análise das obras, optou-se pela estimativa do valor de $f_{cj_{MOT}}$ ($f_{cj_{MOT}}'$) após a realização das correções iniciais no consumo de cimento indicadas na Tabela 35. O valor de $f_{cj_{MOT}}'$ (Eq. 30) é calculado de forma semelhante à $f_{cj_{OBRA}}'$ (item 6.2.4) e os resultados obtidos são apresentados na Figura 70.

Com base no gráfico da Figura 70, observa-se a necessidade de atenção em relação aos motoristas 13, 20 e 23, pois a realização da correção do consumo de cimento para o valor $C_{RECOMENDADO}$ pode resultar na modificação destes para as zonas III e IV. Tais resultados confirmam a hipótese de que os resultados de parte dos motoristas da central foram mascarados devido à existência de folga no consumo de cimento.

$$f_{cj_{MOT}}' = f_{cj_{MOT}} - (C_{ATUAL} - C_{RECOMENDADO})/A \quad \text{Eq. 30}$$

Não foram obtidas amostras com quantidade de dados suficientes ($N_{MOT-1} > 6$) para os concretos de $f_{ck} = 15,0$ MPa. Portanto, a plotagem deste gráfico não foi realizada.

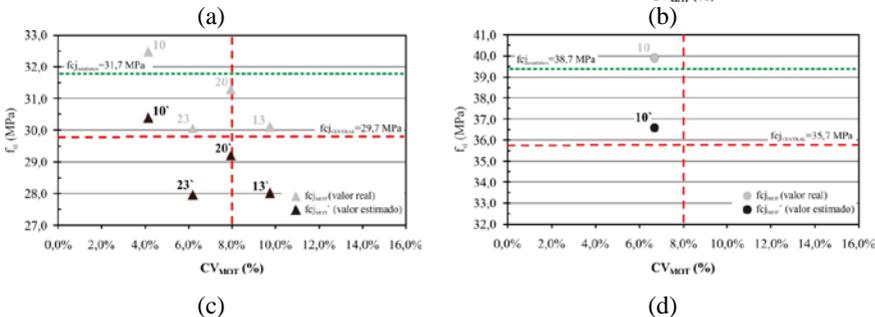


Figura 70 – Estimativa do gráfico de perfil dos motoristas da central CTB após a correção do consumo de cimento para o valor $C_{RECOMENDADO}$: (a) $f_{ck} = 15,0$ MPa ;(b) 20,0MPa;(c) 25,0MPa;(d) 30,0MPa.

O fato de uma parcela dos caminhões betoneira da central ser munidos de torquímetro para controle de abatimento (Tabela 27) poderia ser considerado como fator contribuinte para observação de valores de $f_{c_{OBRA}}$ muito superiores ao $f_{c_{CENTRAL}}$ observados na Figura 69. Todavia, de acordo com o técnico responsável pela central CTB, devido à falta de conscientização de alguns motoristas, a existência de torquímetros não corresponde à garantia total do controle de abatimento. Segundo o mesmo, este problema está associado ao fato de que apenas uma parcela da frota trabalha com os torquímetros e, por isso, não existe uma conscientização generalizada por parte de toda a equipe técnica. Acredita-se que, caso todos os caminhões estivessem equipados com os torquímetros, o controle de abatimento seria realizado de forma consciente por todos os motoristas da central.

Conforme discutido anteriormente, as curvas dos motoristas podem ser utilizadas como informação complementar na análise dos gráficos de perfil. Como exemplo a ser estudado, pode-se considerar a comparação entre os motoristas 2 e 18 (Figura 69b). Neste caso, ambos os motoristas estão contidos na zona II. Todavia, o motorista 18 apresentou CV_{MOT} elevado quando comparado com o motorista 2. Além disso, se comparadas as curvas dos motoristas (Figura 68), nota-se a existência de

elevada diferença do motorista 18 em relação ao motorista 2. Dessa maneira, pode-se considerar que, além de possivelmente afetado por variações pontuais no processo de produção, o motorista 18 apresenta problemas no processo de moldagem, contribuindo, dessa forma, para o aumento do coeficiente de variação do mesmo.

Cabe salientar que o processo de moldagem considera não apenas a moldagem, mas também as etapas de estocagem em obra, tempo de desmoldagem e transporte dos corpos-de-prova. Em casos onde este processo é dado de forma padronizada, tender-se-ia a observar curvas de motoristas semelhantes a do motorista 2 para toda a equipe técnica da central. No entanto, no caso da central CTB, nota-se uma diferença significativa na forma das curvas dos motoristas (Figura 71). Portanto, acredita-se que a verificação dos processos associados principalmente à estocagem em obra, tempo de desmoldagem e transporte até a central se faz necessário. Neste caso, em vista dos resultados obtidos no módulo 2, destaca-se que as verificações referentes aos procedimentos realizados em laboratório não são de caráter urgente.

Em uma primeira aproximação, poder-se-ia considerar que, se pelo menos um motorista obteve curva adequada, como é o caso do motorista 2, o processo de moldagem executado pela central é adequado. Todavia, em vista da elevada variação observada entre as curvas dos motoristas (Figura 71), optou-se por classificar o processo de moldagem como suspeito, sendo a verificação deste necessária.

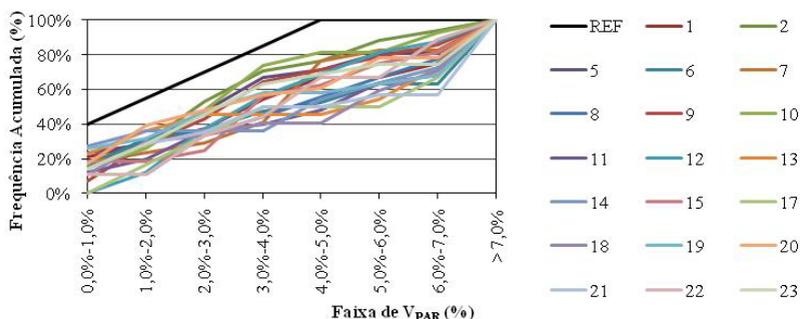


Figura 71 – Curva dos motoristas da central CTB agrupadas.

No que tange aos casos referentes aos motoristas caracterizados por mais de uma zona, caso dos motoristas 10, 13, 20 e 23, recomenda-se a interpretação destes de forma particularizada conforme apresentado a seguir:

- *Motorista 10* – este motorista é classificado como ora pertencente à zona I ($f_{ck}=25,0$ e $30,0$ MPa), ora pertencente à zona II ($f_{ck}=20,0$ MPa). Todavia, se for levado em consideração que a curva do motorista 10 (Figura 72) não apresenta elevada variabilidade, pode-se afirmar que o processo de moldagem foi efetuado de forma adequada. Além disso, independente do valor de f_{ck} , o motorista 10 sempre apresenta $fcj_{MOT} > fcj_{estatístico}$, evidenciando, por sua vez, a boa prática no que tange à correção de abatimento. Assim sendo, acredita-se que variações pontuais no processo de produção, tais como, erros de proporcionamento e elevada temperatura do cimento para uma determinada carga de concreto, entre outros, foram responsáveis pelo elevado coeficiente de variação observado para os concretos de $f_{ck}=20,0$ MPa ($CV_{MOT}=10,0\%$). Desse modo, o motorista 10 passa a ser incluído na zona I, porém com observações conforme apresentado na Tabela 47;
- *Motorista 13* – o motorista 13 é classificado na zona I, para concretos de $f_{ck}=20,0$ MPa, e zona II, para $f_{ck}=25,0$ MPa. Diferentemente do motorista 10, este apresenta curva de motorista de elevada variabilidade (Figura 72), portanto, acredita-se que este fora afetado por variações no processo de moldagem. Além disso, se considerados os valores de fcj_{MOT} , observa-se que, independente do valor de f_{ck} do concreto, este é sempre inferior ao valor de $fcj_{estatístico}$ e, por vezes, próximo ao valor de segurança $fcj_{CENTRAL}$. Desse modo, o motorista 13 apresenta problemas quanto ao controle de abatimento com tendência de descarregar o concreto com abatimento acima do especificado. Diante do exposto, o motorista 13 pode ser classificado na zona II com observações referentes à necessidade de realização de curso de treinamento e conscientização quanto às práticas de entrega do concreto (Tabela 47);
- *Motorista 20* – para concretos de $f_{ck}=20,0$ e $25,0$ MPa o motorista 20 é classificado, respectivamente, pelas zonas I e II. Considerando que os valores de fcj_{MOT} deste é igual ou menor ao valor de $fcj_{estatístico}$, pode-se concluir que o motorista 20 apresenta uma certa deficiência quanto ao controle de abatimento. Soma-se à este, o elevado valor de CV_{MOT} , observado para concretos de $f_{ck}=20,0$ MPa, o que indica a existência de variações pontuais no processo de produção. Por fim, nota-se que curva do motorista 20 apresenta variação ligeiramente superior à do motorista 10, logo, além da falta de controle de abatimento e variações pontuais na produção, existem indícios de que problemas no processo de moldagem tenham prejudicado os re-

sultados do motorista 20. Dessa maneira, optou-se pela classificação deste na zona II conforme destacado na Tabela 47;

- Motorista 23 – este motorista é caracterizado pela zona I ($f_{ck}=25,0$ MPa) e IV ($f_{ck}=20,0$ MPa). Considerando que os valores de f_{cjMOT} , independente do f_{ck} do concreto, são muito inferiores ao valor $f_{cjestatístico}$ e, por vezes, inferior ao valor limite de segurança $f_{cjCENTRAL}$, pode-se afirmar que o motorista 23 apresenta sérios problemas quanto ao controle de abatimento. Assim sendo, o motorista 23 é classificado pela zona IV e por isso existe a necessidade de treinamento do mesmo.

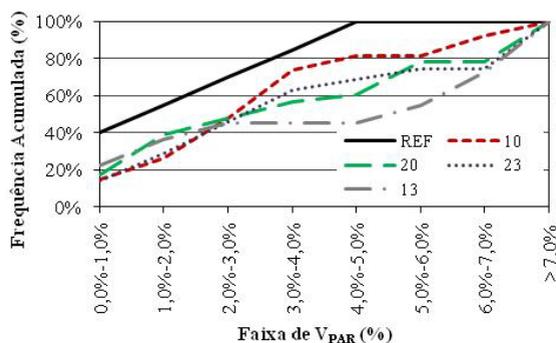


Figura 72 – Curva dos motoristas 10, 13, 20 e 23.

Quando às análises referentes aos motoristas, é importante observar que a possibilidade de variação pontual associada ao elevado tempo de transporte pode ser desconsiderada, pois os motoristas avaliados não apresentaram tempo de descarga do concreto superior à uma hora, o que para um raio de atuação de 60,0 Km pode ser considerado adequado. Os valores de tempo de descarga dos concretos considerados na análise de resultados da central CTB são apresentados na Tabela A17 do ANEXO 5.

O único caso de tempo de descarga elevado observado, dentre os motoristas avaliados, ocorreu para o motorista 14 em uma moldagem realizada na obra U ($f_{cp1}=19,3$ MPa e $f_{cp2}=11,7$ MPa) e outra na obra C ($f_{cp1}=18,0$ MPa e $f_{cp2}=18,8$ MPa). Contudo, os valores referentes à $f_{cjPOTENCIAL}$ dos exemplares foram eliminados durante a etapa de tratamento estatístico dos dados ($f_{cjINF}=19,6$ MPa; $f_{cjSUP}=30,0$ MPa)⁴³.

⁴³ Os valores do intervalo de f_{cj} apresentados foram obtidos da Tabela 29 e dizem respeito à concretos de $f_{ck}=20,0$ MPa fornecidos para as obras C e U.

Além destes, cabe ressaltar o caso do motorista 2 em moldagem realizada na obra J ($f_{cp1}=22,9$ MPa), cujo tempo de transporte foi de 1 hora e 25 minutos. Entretanto, este valor está dentro do intervalo de $I_{f_{c_j}}$ e, por isso, não foi excluído da amostra. Destaca-se, porém, que se este valor fosse retirado da amostra base, o valor de CV_{MOT} do motorista 2 (Tabela 46) seria reduzido de 8,4% para 8,1%.

Quanto à existência de variações pontuais associadas à ocorrência de condições climáticas adversas ao longo do processo de análise, destaca-se que esta não pode ser realizada em função da inexistência de banco de dados da central com informações relativas à temperatura ambiente durante o transporte e descarga do concreto.

Após análise dos casos de motoristas localizados em mais de uma zona, torna-se possível a determinação da tabela de zoneamento conforme destacado na Tabela 47.

De posse dos relatórios de saída de todos os módulos, procede-se com a elaboração do relatório final de saída. Neste relatório são apresentadas os resultados obtidos em cada uma dos módulos. Através da análise deste torna-se possível a caracterização da qualidade do processo de produção de concreto e definição das intervenções necessárias para a central analisada. As considerações referentes à central CTB, bem como sobre a eficiência dos módulos propostos são apresentadas nos itens que seguem.

Determinados os gráficos de perfil (Figura 69), tabela de zoneamento (Tabela 47) e curvas dos motoristas (Figura A9 do ANEXO 5) procede-se com a elaboração do relatório de saída do módulo 4.

Tabela 47 – Tabela de Zoneamento dos motoristas da central CTB.

Motorista	f_{ck} (MPa)	Perfil	Intervenções propostas
5	20,0	Zona I	Os motoristas incluídos na referida zona devem ser considerados como modelo da equipe técnica da central. Dentre os motoristas destaque pode ser dado ao motorista 5, pois este apresentou a melhor curva.
6			
12			
15			
10	25,0 / 30,0	Zona I com Observações	Além das intervenções usuais da zona I, recomenda-se a investigação da existência de variações pontuais no processo de produção;
1	20,0	Zona II	Realização de investigações de campo visando identificar a presença de variações pontuais. Dentre as possibilidades de variações existentes destacam-se os seguintes itens: - falta de rigor no controle de abatimento - erros de proporcionamento dos materiais na central - variações da temperatura do cimento no silo - problemas de transporte dos corpos-de-prova;
2			
9			
19			
20	20,0 / 25,0		
13	20,0 / 25,0	Zona II com observações	Advertência aos motoristas e realização de curso de treinamento;
18	20,0		
14	20,0	Zona III	Realização imediata de cursos de treinamento e emprego de políticas de conscientização dos motoristas quanto à importância das atividades desenvolvidas pelos mesmos;
21			
7	20,0	Zona IV	Implantação imediata de cursos de treinamento dos motoristas;
11			
23			

6.2.6 Considerações sobre a análise 1

Com base nos relatórios de saída dos módulos aplicados para a central CTB constatou-se que esta apresenta variabilidade acima do de-

sejado ($CV_{CENTRAL} > 8,0\%$). Desse modo, observou-se a necessidade de emprego dos demais módulos para investigação das prováveis fontes de variabilidade no processo de produção da central.

No que diz respeito à análise inicial do módulo 1, apesar do elevado valor de $CV_{CENTRAL}$, os resultados apresentados indicam que a central CTB está superestimado a variabilidade de seu processo de produção e, por esse motivo, tem trabalhado com folga de consumo de cimento. Vale ressaltar que se os valores referentes ao concreto de $f_{ck} = 15,0$ MPa forem excluídos da matriz inicial de dados da central CTB, o valor de coeficiente de variação da mesma é reduzido para $CV_{CENTRAL} = 8,2\%$. Tal exclusão tem por base a falta de controle direcionada aos concretos sem aplicação estrutural ($f_{ck} < 20,0$ MPa). Assim sendo, nota-se a possibilidade de redução do consumo de cimento para o valor $C_{RECOMENDADO}$, isto é, valor de consumo compatível com o coeficiente de variação da central de 9,6%.

Em uma primeira aproximação, se consideradas apenas as correções iniciais propostas pelo módulo 1 para os concretos de uma mesma família da central CTB (Tabela 35), a central apresenta a possibilidade de redução inicial de custos de R\$ 4.370,00/mês e redução potencial de R\$ 6.597,00/mês. Caso as correções sejam realizadas para todos os concretos produzidos pela central, a economia gerada é ainda maior. Os detalhes referentes à estimativa de redução de custos mensal da central CTB são apresentados na Tabela 48.

Cabe salientar que os resultados da análise de custos relativa à todos os concretos produzidos na central CTB levam em consideração um volume de produção mensal de 9.000 m³ (Tabela 27). Nesta análise, obteve-se um valor de economia inicial de R\$ 22.733,00 e potencial de R\$ 34.319,00.

No que tange as prováveis fontes de variabilidade, os resultados do módulo 2 indicaram que a variação resultantes dos processos realizados em laboratório existem, porém não necessitam ser corrigidas de modo urgente. Neste caso, a necessidade de investigação do processo de moldagem se mostrou mais urgente quando comparada com as intervenções no laboratório. A investigação do processo de moldagem consiste na verificação dos procedimentos realizados na moldagem, estocagem, tempo de coleta e transporte dos corpos-de-prova. Cabe salientar que caso a central CTB passe a adotar o processo de moldagem remota como padrão, a variação observada no módulo 2, tende a ser drasticamente reduzida.

Tabela 48 – Redução de custo mensal resultante das correções de dosagens indicadas para a central CTB.

f_{ck} do concreto da família base (MPa)	Produção ao longo do período de análise da central (m ³)	Valor de produção mensal média da central CTB (m ³ /mês)	Correções de dosagem	
			$C_{RECOMENDADO}$	$C_{POTENCIAL}$
			Redução mensal de consumo de cimento ⁴⁴ (Kg/mês)	
15,0	1863,0	490,3	1253,5	2653,1
20,0	2603,5	685,1	4729,9	7442,8
25,0	1041,5	274,1	3362,0	4822,0
30,0	1066,5	280,7	5467,9	7445,9
Redução total no consumo de cimento (kg/mês)			14813,2	22363,8
Custo do cimento (R\$/ton.)			295,0	
Redução de custos mensal – concretos da família base (R\$/mês)			4370,0	6597,0
Redução de custos mensal - todos os concretos da central (R\$/mês)			22733,0	34319,0

Quanto ao módulo 3, uma primeira aproximação leva a crer que os resultados são positivos, pois a maioria das obras atendidas pela central foram localizadas nas zonas I e II. Contudo, acredita-se que a folga existente no consumo de cimento dos concretos produzidos pela central contribuíram para tal resultado. Portanto, é necessário atentar determinadas obras quanto à necessidade de controle de modo que resultados não conformes sejam evitados após a correção de cimento do valor C_{ATUAL} para o valor $C_{RECOMENDADO}$.

Como recomendação geral, resultante do módulo 3, indica-se um maior rigor no controle de abatimento e padronização dos cuidados na estocagem dos corpos-de-prova para todas as obras atendidas pela central. Tais medidas podem ser empregadas mediante ao incentivo da utilização de aditivos para correção de abatimento e utilização de caixas padrão para estocagem dos corpos-de-prova em obra.

Em casos específicos, como o das obras C e J, localizadas respectivamente nas zonas III e IV, recomenda-se que estas sejam alertadas

⁴⁴ Dado pelo produto entre o valor de produção média mensal da central CTB com a correções propostas na Tabela 35

quanto a necessidade de controle tecnológico em obra e, ao mesmo tempo, incentivadas para a adequada realização do mesmo em etapas futuras. Além disso, a central CTB poderia passar a deixar de moldar corpos-de-prova nas obras C e J, uma vez que estas foram identificadas com obras de controle inadequado.

Destaca-se ainda, que os resultados obtidos no módulo 3, permitem concluir que a correção do consumo de cimento, proposta no módulo 1 (Tabela 35), não pode ser realizadas de modo imediato em todas as obras, pois conforme discutido no item 6.2.4, a estimativa do valor de fc_{JOBRA} após a correção do consumo de cimento indicou a possibilidade de resultados não conformes nas obras C, G, I, L, T, W, X. Em tais casos, recomenda-se que as obras, em parceria com a central, se responsabilizem pela manutenção do padrão de controle tecnológico do concreto no canteiro visando minimizar a possibilidade de observação de resultados não conformes.

Por fim, no que tange às análises do módulo 4, os resultados das curvas de motoristas indicam tendência semelhante à observada no módulo 2, ou seja, necessidade de investigação do processo de moldagem. Tal resultado é baseado na elevada dispersão entre as curvas dos motoristas da central. No que diz respeito à análise do perfil dos motoristas, nota-se concentração destes nas zonas I e II. Tal comportamento pode estar associado, assim como observado nos resultados do módulo 3, ao fato da central estar trabalhando com folga no consumo de cimento. Assim sendo, mesmo que o motorista apresente uma determinada variabilidade, seja esta atrelada à falta de controle de abatimento ou à variações no processo de produção, o elevado consumo de cimento evita a observação de valores de $fc_{MOT} < fc_{estatístico}$.

Os casos onde foram obtidos valores de $fc_{MOT} < fc_{estatístico}$ indicam a falta de controle de abatimento por parte do motorista e requerem chamada de atenção e realização imediata de cursos de treinamento. Tal intervenção, segundo resultados apresentados na Tabela 47, deve ser direcionada principalmente aos motoristas 7, 11, 13, 14, 18, 21 e 23.

Levando em consideração a análise complementar, realizada com base na estimativa do valor de fc_{MOT} após a realização da correção inicial no consumo de cimento, acredita-se que os motoristas 5 e 20 poderiam ser adicionados à lista dos motoristas que necessitam de curso de treinamento. Os resultados indicam que a realização das correções de dosagem resultariam em relocação destes da zona I para a zona IV, indicando, assim, que os resultados foram mascarados pela folga no consumo de cimento empregado na produção do concreto.

Dentre as demais intervenções proposta no módulo 4, além da exigência de maior rigor no controle de abatimento, também indicada pelo módulo 3, recomenda-se atenção quanto à ocorrência de variações pontuais do processo de produção. Para tanto, indica-se a realização de testes de aceitação dos materiais, aferição periódica dos equipamentos de proporcionamento dos insumos e, ainda, acompanhamento da temperatura do cimento dentro dos silos.

Em vista do exposto, a metodologia proposta indicou que a central CTB apresenta considerável variabilidade e tem trabalhado com folga no consumo de cimento e, à princípio, poderia efetuar uma redução inicial conforme previsto no módulo 1. Além disso, os resultados apontados pelos módulos 2, 3 e 4 indicam a necessidade de intervenção, em caráter urgente, nos itens listados abaixo:

- controle do processo de moldagem dos corpos-de-prova, que por sua vez inclui controle de moldagem, estocagem, tempo de coleta e transporte dos corpos-de-prova;
- maior rigor no controle de abatimento e padronização dos cuidados na estocagem dos corpos-de-prova para todas as obras atendidas pela central;
- as obras C e J devem ser alertadas quanto a necessidade de controle tecnológico em obra e, se possível, incentivadas para a realização do mesmo de forma adequada;
- treinamento imediato dos motoristas 7, 11, 13, 14, 18, 21 e 23;
- visando eliminar possíveis variações pontuais no processo de produção do concreto, recomenda-se a realização de testes de aceitação dos materiais, aferição periódica das balanças e, ainda, acompanhamento da temperatura do cimento dentro dos silos e umidade dos agregados por meio de sensores automáticos.

6.3 Análise 2 - Central de Florianópolis (FLN)

A análise 2 tem como objetivo principal investigar o processo de produção de uma central da região de Florianópolis (FLN) através da utilização da metodologia proposta no capítulo 5. Além disso, será realizada a comparação desta central com a central avaliada na análise 1 (item 6.2) com o objetivo de determinar se o programa proposto permite identificar ou não diferenças entre duas centrais de características semelhantes.

Os resultados obtidos para a central FLN são apresentados de forma resumida e maior enfoque é dado às conclusões obtidas. As tabelas completas com os dados de entrada são dispostas no ANEXO 6.

6.3.1 Módulo de Identificação

Os dados referentes às condições de contorno da central são listados na Tabela 49.

Tabela 49 – Condições de contorno de produção da central FLN.

Módulo de Identificação		
	Início	Fim
a) Período de amostragem:	10/07/2009	17/09/2009
b) Insumos utilizados na produção:	Tipo	
Aglomerante	Cimento CP IV 32 RS - Granel	
Agregado Miúdo	Areia fina de duna / britagem	
Agregado Graúdo	Brita 4,75 / 12,5 e 9,5 / 25,0	
Aditivos	Aditivo polifuncional	
c) Laboratório da Central:	Respostas	
Existe laboratório na central	Sim	
Preparo dos topos dos corpos-de-prova	Capeamento com pasta de enxofre	
d) Informações sobre a central:	Respostas	
Volume médio de produção mensal (m ³ /mês)	3.500 m ³	
Raio médio de atendimento da central (Km)	≈ 60,0 Km	
Central: Disposição / Controle / Mistura	Mista / Automático / Dosadora	
Traços mais comercializados	Abatimento = 10,0cm; Agregado Graúdo - Brita 4,75/12,5 + Brita 9,5;25,0 $f_{ck} = 20,0 / 25,0 / 30,0 / 35,0$ MPa,	
Estocagem dos materiais	Baías não cobertas de intempéries	
Local de moldagem dos corpos-de-prova	Moldagem em obra	
Consumo de água médio dos concretos	175,0 à 185,0 l/m ³	
Consumo de água máximo praticado ⁴⁵	200,0 l/m ³ à 210,0 l/m ³	

⁴⁵ O valor de consumo de água de 210 l/m³ fora empregado anteriormente pela central avaliada quando esta não possuía laboratório técnico adequado e utilizava agregados miúdos de desempenho inferior.

Tabela 49 – Condições de contorno de produção da central FLN (continuação).

e) Informações sobre o processo de produção da central:	Respostas
Sistema de automação da central	Central de controle automático
Proporcionamento dos materiais	Automático – controle de peso através do uso de células de carga
Sistema de controle de umidade	Ensaio de frigideira – realizado 3 vezes / dia
Sistema de adição de aditivo	Automático
Frota completa de caminhões betoneira com torquímetro:	Não, 0 / 5 caminhões

É importante observar que para o período de amostragem apresentado na Tabela 49 não foram observadas quaisquer alterações nas composições dos concretos produzidos pela central. Dessa forma, a amostra é considerada como adequada para o emprego dos módulos propostos.

Os dados de resistência à compressão, obras e motoristas da matriz inicial de dados são apresentados na Tabela A18 do ANEXO 6.

A família base de concretos da central FLN é composta por concretos de f_{ck} variando de 25,0 à 40,0 MPa (Tabela 49). As composições utilizadas na produção destes são destacadas na Tabela 50.

Tabela 50 – Composição dos concretos da central FLN.

Materiais	f_{ck} (Mpa)			
	25,0	30,0	35,0	40,0
Cim. CP IV-32-RS - Granel	258,0	299,0	339,0	381,0
Brita 4,75 / 12,5	411,0	417,0	422,0	425,0
Brita 9,5 / 25,0	616,0	626,0	632,0	638,0
Areia de brita - tipo II	619,0	581,0	547,0	513,0
Areia fina	265,0	249,0	234,0	220,0
Aditivo polifuncional	2,3	2,7	3,1	3,4
Água – Rede Pública	178,0	178,0	178,0	178,0

Os dados utilizados para o tratamento estatístico da matriz inicial dos dados e conseqüente obtenção da matriz base são apresentados na Tabela 51. Cabe salientar que o cálculo destes foi determinado através

do uso dos valores de $f_{cj,POTENCIAL}$ da matriz inicial de dados (Tabela A18 do ANEXO 6).

Tabela 51 – Valores obtidos no tratamento estatístico da matriz inicial da central FLN.

f_{ck} (MPa)	25,0	30,0	35,0	40,0
$f_{cj,médio}$ (Mpa)	28,7	36,3	45,4	49,1
$sd_{médio}$ (Mpa)	3,0	3,8	2,8	5,1
α (%)	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
$I_{fcj,inferior}$ (Mpa)	23,7	30,0	40,5	39,3
$I_{fcj,superior}$ (Mpa)	33,6	42,6	50,2	58,8
$N_{amostra}$	63	94	18	8

Determinados os valores de I_{fcj} , procede-se com a exclusão dos dados da matriz inicial (Tabela A18) que estão fora deste intervalo. Realizado tal procedimento, obtém-se a matriz base de dados da central FLN cujos valores são apresentados na Tabela A19 do ANEXO 6. O resumo da matriz base de dados é apresentado na Tabela 52.

O relatório de saída do módulo de identificação é composto pela Tabela 49 e Tabela A19 (ANEXO 6) e Tabela 52. De posse deste, é dada a sequencia na análise da central mediante emorego do módulo 1 conforme apresentado no item que segue.

Tabela 52 – Resumo da matriz base de dados da central FLN.

f_{ck} (MPa)	25,0	30,0	35,0	40,0
$f_{cj,estatístico}$ (Mpa)	28,6	36,4	45,1	49,1
$sd_{estatístico}$ (Mpa)	2,6	3,0	2,6	5,1
$CV_{estatístico}$ (%)	9,1%	8,2%	5,7%	10,5%
$N_{estatístico}$	58	84	17	8
$N_{excluídos}$	5	10	1	0

6.3.2 Módulo 1 – Curva de Impressão

Visando completar os dados de entrada do módulo 1, compostos pela Tabela A19 (ANEXO 6) e Tabela 50, torna-se necessário determinar os valores de volume de concreto da família base produzidos ao longo do período de amostragem. Tais valores foram obtidos do banco de dados da central FLN e são apresentados na Tabela 53.

Tabela 53 – Volume de concreto produzido na central FLN ao longo do período de amostragem.

f_{ck} (MPa)	Volume (m^3)
25,0	1117,5
30,0	1640,0
35,0	316,5
40,0	59,0

A análise inicial do módulo 1 refere-se à verificação da necessidade do emprego do módulo 5. Segundo a Tabela 50, a central FLN trabalha com consumo de água de 178,0 l/m³. Dessa maneira, conclui-se que a aplicação do módulo 5 na central FLN pode ser descartada.

Dando continuidade ao módulo 1, procede-se com a determinação da Tabela 54, indispensável para o cálculo do coeficiente de variação e curva de impressão da central.

Tabela 54 – Dados para determinação do $CV_{CENTRAL}$ e curva de impressão da central.

a/c	f_{ck} (MPa)	f_{cj} estatístico (MPa)	C_C (kg/m ³)	C_A (Kg/m ³)	CV estatístico (%)	N estatístico	Volume (m^3)
0,69	25,0	28,6	258,0	178,0	9,1%	58	1117,5
0,60	30,0	36,4	299,0	178,0	8,2%	84	1640,0
0,53	35,0	45,1	339,0	178,0	5,7%	17	316,5
0,47	40,0	49,1	381,0	178,0	10,5%	8	59,0

Com base nos resultados dispostos na Tabela 54, tornou-se possível o cálculo dos valores de coeficientes da curva de impressão e coeficiente de variação da central expostos na Tabela 55.

Cabe salientar que os detalhes referentes ao cálculo dos coeficientes da curva de impressão da central FLN são apresentados na Tabela A20 do ANEXO 6. No que tange ao coeficiente de variação da central, este fora determinado através do uso da Eq. 24.

Tabela 55 – Coeficientes da curva de impressão da central FLN.

Curva de impressão – Central FLN		$CV_{CENTRAL}$ (%)
K1	162,0	8,3%
K2	12,2	
K7	11,3	
K8	-5,1	

A curva de impressão da central FLN é apresentada de forma gráfica na Figura 73.

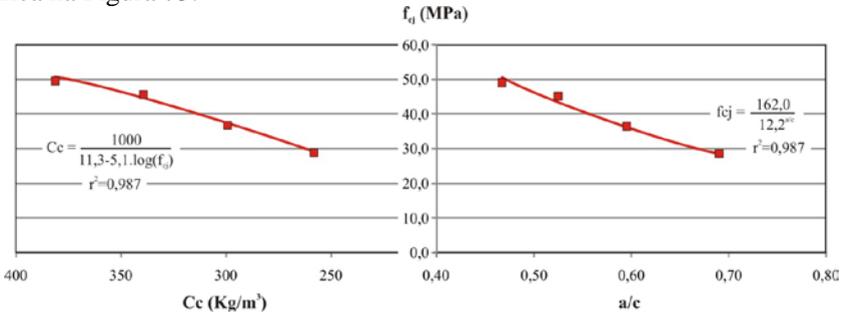


Figura 73 – Curva de impressão da central FLN.

Na Tabela 56 constam os valores de CV_{CENTRAL} e CV_{IDEAL} , bem como os respectivos valores de resistência de dosagem para os diferentes valores de f_{ck} dos concretos da família base.

Tabela 56 – Coeficientes de variação e resistências potenciais da central FLN.

f_{ck} (MPa)	CV_{CENTRAL} (%)	$f_{cj_{\text{CENTRAL}}}$ (MPa)	CV_{IDEAL} (%)	$f_{cj_{\text{IDEAL}}}$ (%)
25,0	8,3%	29,0	8,0%	28,8
30,0		34,8		34,6
35,0		40,6		40,3
40,0		46,3		46,1

Conforme exposto na Tabela 56, o valor de CV_{CENTRAL} é superior ao limite de 8,0%. Assim sendo, apesar de baixa, a central FLN apresenta variabilidade acima do desejado. Logo, torna-se necessário o emprego dos módulos 2, 3 e 4.

Além disso, existe a necessidade de correção das dosagens praticadas de modo que a central em questão pratique valores de resistência de dosagem ($f_{cj_{\text{CENTRAL}}}$) compatíveis com o valor de $CV_{\text{CENTRAL}}=8,3\%$.

As correções necessárias para os concretos, determinadas segundo a metodologia apresentada no 5.3.2.2.4.1, são apresentadas na Tabela 57. Cabe observar que os valores de $f_{cj_{\text{estatístico}}}$ e consumo de cimento atual foram obtidos da Tabela 54.

Tabela 57 – Correção do consumo de cimento dos concretos da família base da central FLN.

C_C (Kg/m ³)	f_{ck} (Mpa)	CV (%)	f_{ej} (Mpa)	C_C (Kg/m ³)	Correções (kg/m ³)
Atual	25,0	-	28,6	258,0	-
	30,0		36,4	299,0	
	35,0		45,1	339,0	
	40,0		49,1	381,0	
Recomendado	25,0	8,3%	29,0	260,1	+2,1
	30,0		34,8	290,7	-8,3
	35,0		40,6	322,7	-16,3
	40,0		46,3	356,7	-24,3
Potencial	25,0	8,0%	28,8	259,3	+1,3
	30,0		34,6	289,6	-9,4
	35,0		40,3	321,4	-17,6
	40,0		46,1	355,1	-25,9

Conforme exposto na Tabela 57, a central FLN tem trabalhado com folga no consumo de cimento para os concretos de f_{ck} superior à 30,0 MPa. Desse modo, as dosagens para tais concretos podem ter o consumo de cimento reduzido para o valor recomendado.

Por outro lado, em se tratando de concretos de $f_{ck}=25,0$ MPa, nota-se que a central está subestimando a variabilidade do processo de produção. Dessa maneira, constata-se a necessidade de aumento do consumo de cimento dos concretos de $f_{ck}=25,0$ MPa de modo que a probabilidade da ocorrência de resultados não conformes seja reduzida. Estima-se que a subestimação do coeficiente de variação da central pode estar atribuída a observação constante de resultados positivos em meses anteriores ao da amostragem considerada.

De posse dos valores de $CV_{CENTRAL}$, curva de impressão da central, exclusão da necessidade de emprego do módulo 5, tabela de correções de dosagem e seus respectivos valores, elabora-se o relatório de saída do módulo 1 e procede-se com a análise de resultados através do emprego do módulo 2.

6.3.3 Módulo 2 – Variação do laboratório

Os resultados de V_{PAR} , necessários para a determinação da curva geral da central, são listados na matriz base de dados (Tabela A19 do

ANEXO 6). A porcentagem acumulada determinada para os diferentes intervalos de V_{PAR} são apresentas na Tabela 58. Destaca-se que os valores de V_{PAR} referentes à curva de referência são dispostos na mesma tabela.

Tabela 58 – Comparação da curva geral da central FLN com a curva referência.

Intervalo V_{PAR}	Porcentagem acumulada		Comparação 1: Curva geral da central FLN com a curva referência
	Referência	Geral	
0,0% a 1,0%	40%	12%	
1,0% a 2,0%	55%	22%	
2,0% a 3,0%	70%	39%	
3,0% a 4,0%	85%	54%	
4,0% a 5,0%	100%	64%	
5,0% a 6,0%	100%	73%	
6,0% a 7,0%	100%	79%	
> 7,0%	100%	100%	

Com base nos resultados apresentados na Tabela 58, nota-se que a curva geral da central FLN não é semelhante à curva referência. Neste caso, obtém-se conclusão semelhante à observada para a central CTB, ou seja, a central FLN é caracterizada por uma variabilidade significativa nos procedimentos de moldagem, tempos de coleta, transporte, cura dos corpos-de-prova e ensaios realizados em laboratório. Portanto, necessita-se da análise da curva do laboratório da central.

Os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de exemplares moldados dentro do laboratório, necessários para determinação da curva do laboratório, são listados na Tabela A21 do ANEXO 6. Com base nestes, foram determinados os valores de V_{PAR} listados na Tabela 59.

A comparação da curva do laboratório da central FLN com a curva referência (Tabela 59) permite afirmar que o laboratório da central avaliada não corresponde à uma elevada fonte de variabilidade (Caso 1b – Figura 56a). Desse modo, as investigações devem ser focadas na verificação dos processos de moldagem, tempo de coleta e transporte dos corpos-de-prova realizados pela central.

Tabela 59 – Comparação da curva do laboratório da central FLN com a curva referência.

Intervalo V_{PAR}	Porcentagem acumulada		Comparação 2: Curva do laboratório da central FLN com a curva referência
	Referência	Lab.	
0,0% a 1,0%	40%	26%	
1,0% a 2,0%	55%	41%	
2,0% a 3,0%	70%	54%	
3,0% a 4,0%	85%	66%	
4,0% a 5,0%	100%	85%	
5,0% a 6,0%	100%	90%	
6,0% a 7,0%	100%	93%	
> 7,0%	100%	100%	

De posse das curvas apresentadas na Tabela 58 e Tabela 59, bem como as respectivas conclusões obtidas, elabora-se o relatório de saída do módulo 2 e procede-se com a avaliação das obras e motoristas da central FLN mediante o emprego dos módulos 3 e 4.

6.3.4 Módulo 3 – Variação das obras

Os dados de entrada do módulo 3 são compostos pela tabela com informações referentes ao processo de produção da central (Tabela 49), tabela de coeficientes de variação (Tabela 56) e valores de $fcj_{POTENCIAL}$ organizados segundo as diferentes obras atendidas pela central (Tabela A22 do ANEXO 6). Cabe lembrar que os valores de $fcj_{POTENCIAL}$ foram obtidos da matriz base de dados (Tabela A19 do ANEXO 6).

Com base nas informações da Tabela 49, nota-se que, assim como a central CTB, a central FLN não apresenta processo de moldagem remota e frota completa de caminhões betoneira munidos de torquímetro para controle de abatimento. Desse modo, deve-se proceder com a determinação dos gráficos de perfil das diferentes obras.

Com o objetivo de determinar os gráficos de perfil das obras deve-se calcular, com base na Tabela A22 do ANEXO 6, os valores de fcj_{OBRA} e CV_{OBRA} . Os resultados obtidos para cada uma das obras, com $N_{OBRA} > 6$, são listados na Tabela 60. Os gráficos de perfil das mesmas são ilustrados na Figura 74.

Tabela 60 – Valores de $f_{ck_{OBRA}}$ (MPa), $f_{cj_{OBRA}}$ (MPa), sd_{OBRA} (MPa), CV_{OBRA} (%) e N_{OBRA} .

Obra	$f_{ck_{OBRA}}$ (Mpa)	$f_{cj_{OBRA}}$ (Mpa)	$f_{cj_{CENTRAL}}$ (Mpa)	sd_{OBRA} (Mpa)	CV_{OBRA} (%)	N_{OBRA}
C	25,0	26,2	29,0	1,4	5,3%	10
E		27,1	29,0	2,0	7,6%	6
F		29,7	29,0	2,9	9,6%	21
L		28,0	29,0	1,2	4,3%	6
T		29,3	29,0	1,7	5,7%	8
B	30,0	37,4	34,8	3,0	8,1%	14
D		37,2	34,8	2,4	6,4%	15
H		36,1	34,8	3,3	9,0%	22
I		33,8	34,8	3,0	9,1%	7
M		35,7	34,8	3,3	9,2%	7
P		35,9	34,8	2,6	7,3%	7
Q		35,3	34,8	2,7	7,7%	6
M	35	45,1	40,6	2,6	5,7%	17
U	40	49,1	46,3	5,1	10,5%	8

A análise dos gráficos de perfil (Figura 74) permite concluir que as obras atendidas pela central FLN apresentam, na grande maioria, perfil compatível com as zonas I e II. Todavia, vários são os casos nos quais o valor de $f_{cj_{OBRA}}$ é inferior à $f_{cj_{estatístico}}$, portanto, existem fortes indícios da falta de controle de abatimento em obra. Este comportamento é ainda mais significativo se consideradas apenas as obras que trabalharam com concretos de $f_{ck}=25,0$ e $30,0$ MPa.

A tendência exposta no parágrafo anterior pode estar associada ao fato da central estar trabalhando com pouca, ou nenhuma, folga no consumo de cimento nos concretos de $f_{ck}=25,0$ MPa. Assim sendo, pequenos erros associados à adição de água para controle de abatimento refletem de modo mais significativo na redução da resistência à compressão do concreto.

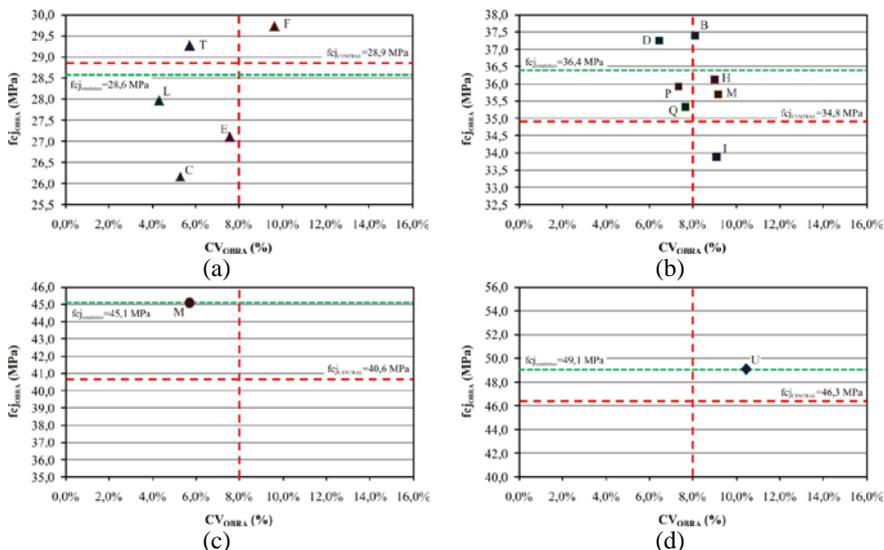


Figura 74 – Gráfico de perfil da obras atendidas pela central FLN: (a) $f_{ck}=25,0\text{MPa}$; (b) $30,0\text{MPa}$; (c) $35,0\text{MPa}$; (d) $40,0\text{MPa}$.

Assim sendo, observa-se que um maior rigor quanto ao controle de abatimento deve ser exigido para as obras cujo valor de f_{cj_OBRA} foi inferior à $f_{cj_estatístico}$. Cabe salientar que esta recomendação deve ser direcionada à todas as obras, independente do fato destas estarem ou não localizadas na zona I.

Além da intervenção proposta anteriormente, destaca-se a possibilidade da realização de estudos do uso de aditivos para a correção de abatimento. A possibilidade do emprego de tal medida seria de grande benefício para a central FLN, pois esta poderia continuar a praticar os valores de consumo de cimento sem a preocupação de observação de resultados não conformes em vista da adição abusiva de água constatada em obra.

Identicamente à análise complementar realizada para a central CTB (item 6.2.4), determinou-se, para cada uma das obras, os possíveis valores de f_{cj_OBRA} que resultariam da correção de consumo de cimento do valor atual para o valor recomendado (Tabela 57). A determinação da correção foi realizada através da Eq. 29, considerando um coeficiente de correção A igual à $5,22\text{ kg/m}^3.\text{MPa}^{46}$. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 75 e indicam que a central FLN deve ter atenção nas

⁴⁶ O valor de “A” para a central FLN foi determinado com base na curva da central e Eq. 26, considerando um intervalo $\Delta f_{cj} = 10,0\text{ MPa}$ ($f_{cj} = 25,0\text{ MPa}$ e $f_{cj} = 35,0\text{ MPa}$).

obras H, M e U, que passaram da zona II para a zona III, bem como as obras P e Q, anteriormente localadas na zona I e, após correções, reloca-das na zona IV.

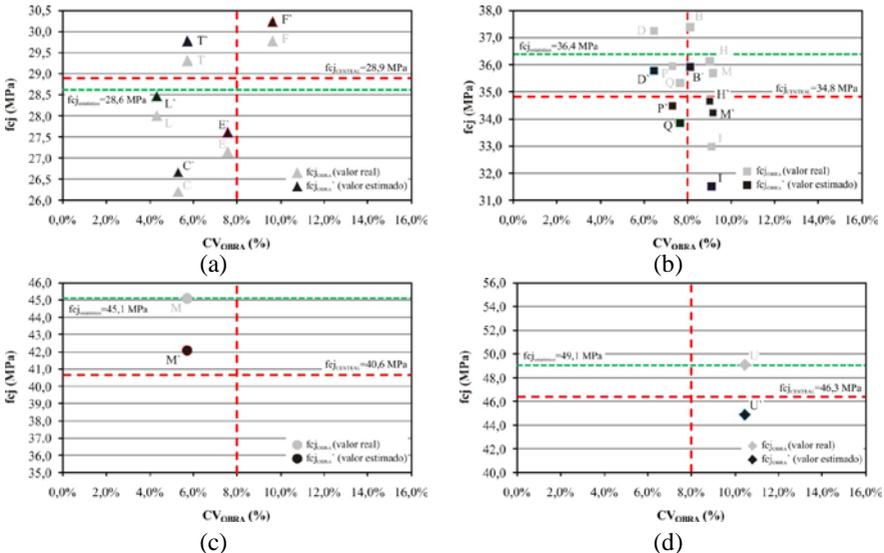


Figura 75 – Estimativa do gráfico de perfil da obras atendidas pela central FLN após as correções no consumo de cimento para o valor $C_{RECOMENDADO}$: (a) $f_{ck}=25,0\text{MPa}$; (b) $30,0\text{MPa}$; (c) $35,0\text{MPa}$; (d) $40,0\text{MPa}$.

Com base nos gráficos de perfil da Figura 74 e nas análises apresentadas para as diferentes obras, determina-se a tabela de zoneamento das obras conforme disposto na Tabela 61.

Determinada a tabela de zoneamento das obras, procede-se com elaboração do relatório de saída do módulo 3. Tal relatório é composto pela Tabela 60, Figura 74 e Tabela 61. De posse deste, dá-se continuidade à análise da central mediante ao emprego do módulo 4 apresentado no item que segue.

Tabela 61 – Tabela de zoneamento das obras.

Obra	f_{ck} (MPa)	Perfil	Intervenções propostas
T	25,0	Zona I	Verificar procedimentos adotados na obra em questão e utilizar os mesmos como modelo para as obras localizadas nas demais zonas. <i>Observação.: maior rigor no controle de abatimento em todas as obra, especialmente nas obras P, Q e M.</i>
D	30,0		
P	30,0		
Q	30,0		
M	35,0		
F	25,0	Zona II	Maior rigor no controle do abatimento, principalmente para concretos submetidos à elevado tempo de transporte e condições climáticas adversas; Padronização dos cuidados na estocagem dos corpos-de-prova em obra; <i>Observação.: maior rigor no controle de abatimento em todas as obra, especialmente nas obras H, M e U.</i>
B	30,0		
H	30,0		
M	30,0		
U	40,0		
I	30,0	Zona III	Incentivo imediato para o emprego de políticas de conscientização que visam apresentar à importância do controle do recebimento do concreto para o desempenho do concreto. Esta medida inclui treinamento da equipe de obra responsável pelo recebimento do concreto.
C	25,0	Zona IV	Realização imediata de curso de treinamento da equipe técnica responsável pelo controle do concreto em obra.
E	25,0		
L	25,0		

6.3.5 Módulo 4 – Variação dos motoristas

Os dados de entrada do módulo 4 são compostos pela Tabela 56, curva de referência (Tabela 19) e valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ e V_{PAR} organizados segundo as diferentes motoristas da central atendidas pela central. Destaca-se que os valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ são apresentados na Tabela A23 e os valores de V_{PAR} na Tabela A24, ambos no ANEXO 6. Cabe observar que tais valores foram obtidos da matriz base de dados (Tabela A19 do ANEXO 6).

Dando seqüência ao processo de análise exposto no item 5.3.2.4.2 procede-se com a determinação das curvas e gráficos de perfil dos moto-

ristas. Os resultados para cada uma destas etapas são apresentados a seguir.

Determinação da curva dos motoristas

Mediante a análise dos dados de V_{PAR} listados na Tabela A23 do ANEXO 6 obtêm-se os valores de porcentagem acumulada para cada um dos motoristas (Tabela 62). Com base nestes, determina-se a curva dos motoristas apresentadas de forma isolada na Figura A10 do ANEXO 6. Destaca-se que as curvas dos motoristas da central FLN são apresentadas de forma agrupada na Figura 78.

Tabela 62 – Porcentagem acumulada de V_{PAR} dos motoristas da central FLN.

Intervalo	Motorista				
	1	2	5	8	11
	Frequências acumulada (%)				
0,0%-1,0%	12%	11%	4%	22%	8%
1,0%-2,0%	28%	26%	14%	28%	21%
2,0%-3,0%	48%	42%	36%	34%	37%
3,0%-4,0%	60%	61%	57%	47%	50%
4,0%-5,0%	64%	61%	68%	50%	79%
5,0%-6,0%	64%	69%	79%	66%	87%
6,0%-7,0%	76%	73%	82%	75%	87%
> 7,0%	100%	100%	100%	100%	100%

Cabe observar que a pequena quantidade de resultados, associada à má distribuição destes para os diferentes motoristas, possibilitou a análise de apenas cinco dos doze motoristas da central.

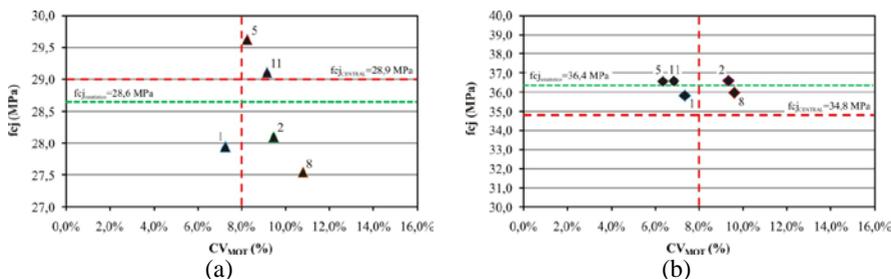
Determinação dos gráficos de perfil e tabela de zoneamento dos motoristas

Os dados necessários para a construção do gráfico de perfil dos motoristas da central FLN são apresentados na Tabela 63. Destaca-se que tais dados foram obtidos mediante a análise dos resultados de $f_{c_{j_{PO-}}}$ dispostos na Tabela A23 do ANEXO 6.

Os gráficos de perfil dos motoristas são apresentados na Figura 76. Cabe salientar que, assim como observado na determinação da curva dos motoristas, a carência na quantidade de resultados impossibilitou a análise de todos os motoristas da central.

Tabela 63 – Valores de f_{cjMOT} (MPa), sd_{MOT} (MPa), CV_{MOT} (%) e N_{MOT-1} .

Motorista	f_{ck} (Mpa)	f_{cjMOT} (Mpa)	$f_{cjCENTRAL}$ (Mpa)	sd_{MOT} (Mpa)	CV_{MOT} (%)	N_{MOT-1}
1	25,0	27,9	29,0	2,0	7,3%	10
2		28,1		2,7	9,5%	11
5		29,6		2,4	8,3%	11
8		27,5		3,0	10,8%	10
11		29,1		2,7	9,2%	13
1	30,0	35,8	34,8	2,6	7,4%	10
2		36,6		3,4	9,3%	16
5		36,5		2,3	6,4%	15
8		36,0		3,5	9,6%	19
11		36,6		2,5	6,8%	12

Figura 76 – Gráfico de perfil dos motoristas da central FLN: (a) $f_{ck}=25,0$ MPa; (b) 30,0 MPa.

Com base nos gráficos de perfil da Figura 76, observa-se que os motoristas da central FLN apresentam indícios de problemas associados à falta de controle de abatimento. Neste caso, destaque pode ser dado aos motoristas 1, caracterizado por abusar, constantemente, na quantidade de água adicionada para correção de abatimento, e os motoristas 2 e 8, por apresentarem elevada variabilidade. Por outro lado, em se tratando dos motoristas 5 e 11, nota-se que os mesmos apresentam resultados satisfatórios, sendo por isso caracterizados como eficientes no controle de abatimento em obra.

Em se tratando da análise complementar, referente à estimativa dos resultados de f_{cjMOT} após as correções iniciais propostas no módulo 1 (Tabela 57), obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 77. Cabe ressaltar que os valores de f_{cjMOT}' foram calculados com base na

Eq. 30 e coeficiente de correção de dosagem “A” da central FLN ($A=5,22 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{MPa}$).

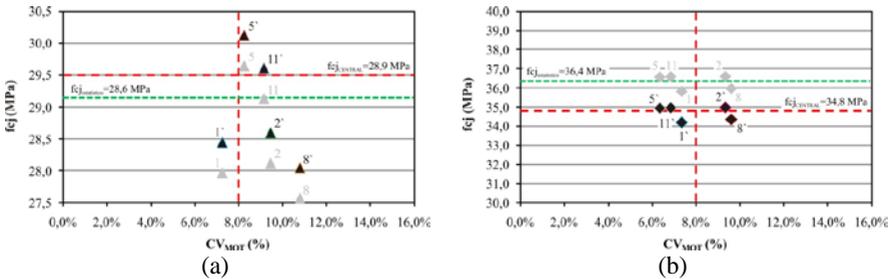


Figura 77 – Estimativa do gráfico de perfil dos motoristas da central FLN após a correção de dosagem no consumo de cimento para o valor $C_{RECOMENDADO}$: (a) $f_{ck}=25,0\text{MPa}$; (b) $30,0 \text{ MPa}$.

Com base nos resultados apresentados na Figura 77, nota-se que a central deve ficar alerta quanto aos motoristas 1 e 8 ($f_{ck}=30,0 \text{ MPa}$), pois, em ambos os casos, a correção do consumo de cimento para o valor $C_{RECOMENDADO}$ pode resultar na observação de resultados não conforme. Em outras palavras, observa-se que os resultados dos motoristas 1 e 8 foram mascarados pela folga de cimento no concreto de $f_{ck}=30,0 \text{ MPa}$.

Assim como observado na análise da central CTB (item 6.2.5), os motoristas da central FLN foram classificados em mais de uma zona para os diferentes valores de f_{ck} do concreto. Desse modo, a interpretação dos resultados de gráfico de perfil dos motoristas (Figura 76), combinados com a curva dos mesmos (Figura A10 do ANEXO 6), se faz necessária de modo a definir em qual das zonas o motorista será classificado. As considerações relativas à cada um dos motoristas são apresentadas a seguir:

- *Motorista 1*: considerando os diferentes valores de f_{ck} do concreto, o motorista 1 é classificado nas zonas I ($f_{ck}=30,0 \text{ MPa}$) e IV ($f_{ck}=25,0 \text{ MPa}$). Todavia, nota-se que, apesar do baixo coeficiente de variação apresentado por este, o valor de f_{cj_MOT} é sempre inferior à $f_{cj_estatístico}$. Desse modo, pode-se concluir que o motorista em questão vem executando os procedimentos de moldagem e controle de abatimento de forma homogênea, porém incorreta. Assim sendo, o motorista 1 foi incluído na zona IV e, portanto, o treinamento deste se faz necessário;
- *Motorista 2 e 8*: os motoristas 2 e 8 são apresentados de forma conjunta, pois ambos são classificados nas zonas II ($f_{ck}=30,0\text{MPa}$) e

III ($f_{ck}=25,0\text{MPa}$). No caso destes, a observação de valores de $f_{cj_MOT} < f_{cj_estatístico}$, especialmente para concretos de $f_{ck}=25,0\text{MPa}$, somados ao elevado coeficiente de variação (Tabela 63), indica que os motoristas em questão pertencem à zona III e, por esse motivo, necessitam de treinamento urgente. Destaca-se que a inclusão dos motoristas 2 e 8 na zona II, para concretos de $f_{ck}=30,0\text{MPa}$, pode ser atribuída à existência folga de consumo de cimento que, por sua vez, contribuiu para mascarar a redução do valor de resistência decorrente da elevada quantidade de água adicionada no concreto;

- *Motorista 5*: este motorista é classificado ora na zona I ($f_{ck}=30,0\text{MPa}$) ora na zona II ($f_{ck}=25,0\text{MPa}$). Todavia, a observação de valores de $f_{cj_MOT} > f_{cj_estatístico}$, associada ao baixo valor de CV_{MOT} observados para ambos os valores de f_{ck} (Tabela 63), permite considerar o motorista 5 com pertencente à zona I;

- *Motorista 11*: o motorista 11 é localizado na zonas I ($f_{ck}=30,0\text{MPa}$) e zona II ($f_{ck}=25,0\text{MPa}$). Considerando os resultados apresentados pelo mesmo (Tabela 63), nota-se que, independente do f_{ck} , o valor de f_{cj_MOT} é superior à $f_{cj_estatístico}$. Assim sendo, constata-se a que controle de abatimento efetuado é realizado de forma adequado por parte do motorista. Por outro lado, foi observada a existência de elevado valor de CV_{MOT} para o concreto de $f_{ck}=25,0\text{MPa}$. Todavia, acredita-se que tal observação pode estar associada à variações pontuais no processo de produção. Em vista do exposto, optou-se pela classificação do motorista 11 como pertencente à zona II, contudo, destaca-se que a necessidade de treinamento deste não se faz necessária.

É importante destacar que a possibilidade de variação pontual decorrentes do elevado tempo de transporte do concreto pode ser descartada, uma vez que foi observado apenas um caso de tempo de transporte superior à uma hora, o que para um raio de atuação de 60,0 Km pode ser considerado como adequado. Os resultados de tempo de transporte do concreto da central FLN, considerado o período de amostragem em questão, são listados na Tabela A25 do ANEXO 6.

Assim como apresentados no item 6.2.5, a central avaliada não apresenta banco de dados referente às condições climáticas observadas para o período de amostragem considerado. Desse modo, a influência de variações pontuais oriundas de condições climáticas adversas não pode ser verificada.

No que tange à curva dos motoristas, agrupadas na Figura 78, a elevada diferença observada entre estas indica a existência de problemas

associados ao processo de moldagem executado pela central. Destaca-se que tal tendência fora previamente identificada no módulo 2 e as intervenções necessária foram apresentadas no item 6.3.3.

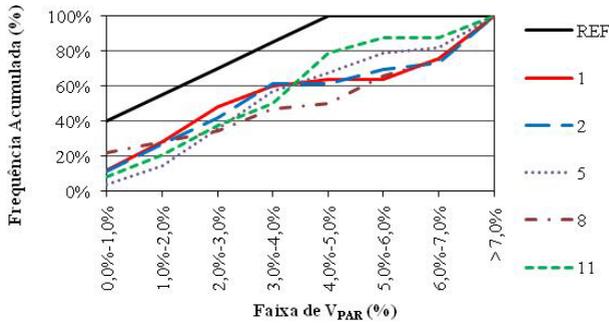


Figura 78 – Curva dos motoristas da central FLN agrupadas.

Apresentadas as análises referentes aos motoristas, torna-se possível a determinação da tabela de zoneamento dos mesmos conforme disposto na Tabela 64.

Tabela 64 – Tabela de zoneamento dos motoristas da central FLN.

Motorista	f_{ck} (MPa)	Perfil	Intervenções propostas
5	25,0 / 30,0	Zona I	Os motoristas incluídos na referida zona devem ser considerados como modelo da equipe técnica da central.
11	25,0 / 30,0	Zona II	Realização de investigações de campo visando identificar a presença de variações pontuais. Dentre as possibilidades de variações existentes destacam-se os seguintes itens: - erros de proporcionamento dos materiais na central; - variações da temperatura do cimento no silo; - problemas de transporte dos corpos-de-prova;
2	25,0 / 30,0	Zona III	Realização imediata de cursos de treinamento e emprego de políticas de conscientização dos motoristas quanto à importância das atividades desenvolvidas pelos mesmos;
8			
1	25,0 / 30,0	Zona IV	Implantação imediata de cursos de treinamento dos motoristas;

O relatório de saída do módulo 4 é composto pela Figura 76, Tabela 64 e Tabela A25 (ANEXO 6). De posse deste, procede-se com a elaboração do relatório final que, por sua vez, é composto pelos resultados obtidos em cada um dos relatórios de saída dos módulos utilizados.

A análise dos resultados apresentados no relatório de saída permite caracterizar a qualidade do processo de produção da central avaliada. Destaca-se que as considerações referentes à análise da central FLN, bem como a comparação desta com a central CTB são apresentadas no item que segue.

6.3.6 Considerações sobre a análise 2

No que tange à avaliação da variabilidade da central, obteve-se um valor de $CV_{CENTRAL}=8,3\%$ o que permite caracterizar a central como sendo de baixa variabilidade. Entretanto, apesar de relativamente baixo, tornou-se necessário o emprego dos demais módulos de modo a verificar as possíveis fontes de variabilidade. Em se tratando da comparação das centrais, os valores iniciais de $CV_{CENTRAL}$ indicam que a central FLN ($CV_{CENTRAL}=8,3\%$) apresenta variabilidade no processo de produção inferior à central CTB ($CV_{CENTRAL}=9,6\%$).

Entretanto, partindo do pressuposto que os concretos sem aplicação estrutural têm pouco ou nenhum controle de qualidade e, por isso, desconsiderando os valores de concretos com $f_{ck}<20,0$ MPa, o coeficiente de variação da central CTB é reduzido para 8,2%. Assim sendo, as centrais avaliadas podem ser consideradas como tendo o mesmo coeficiente de variação. Todavia, conforme discutido ao longo dos itens 6.2.6 e 6.3.6, e ratificado ao longo dos parágrafos que seguem, as centrais apresentam diferentes fontes de variabilidade.

A análise inicial do módulo 1, relativa à avaliação das dosagens praticadas, indicou que a central FLN está subestimando o valor real de coeficiente de variação da central para os concretos de $f_{ck}=25,0$ MPa e, por isso, tem trabalhado com consumo de cimento abaixo do valor recomendado. Por outro lado, considerando os demais valores de f_{ck} , nota-se que a central superestima a variabilidade do processo e, consequentemente, trabalha com folga no consumo de cimento. Diante do exposto, observa-se a necessidade de correção do consumo de cimento para o valor $C_{RECOMENDADO}$ de modo que a central passe a praticar dosagens compatíveis com o valor de $CV_{CENTRAL}$ determinado.

Em análise semelhante à determinada para a central CTB, estima-se que a realização das correções propostas no módulo 1 para os concretos da família base da central FLN possibilitaria a redução inicial de custos de R\$ 2.327,00/mês e redução potencial de R\$ 2.748,0/mês. Ex-

trapolando o redução de custos para todos os concretos produzidos pela central (3.000 m³/mês) a redução inicial é de cerca de R\$ 5.050,80/mês e a redução potencial de R\$ 5.964,60/mês.

No que tange à curva de impressão das centrais FLN e CTB (Figura 79), nota-se que as centrais apresentam desempenho semelhante para o primeiro quadrante (f_{cj} x a/c). Tal comportamento é atribuído ao fato das centrais trabalharem com o mesmo tipo de cimento.

Contudo, em relação ao segundo quadrante, que relaciona a quantidade de consumo de cimento com o valor de resistência do concreto, nota-se que a central CTB trabalha com consumo de cimento inferior aos praticados pela central FLN, indicando, por isso, o melhor desempenho dos materiais, com exceção do cimento, empregados na central.

O resumo dos consumos de cimentos utilizados por ambas as centrais são apresentados na Tabela 65. Destaca-se que a comparação entre as centrais foi realizada arbitrando o mesmo valor de coeficiente de variação para ambas as centrais, neste caso, 9,0%. Optou-se por arbitrar um valor de coeficiente de variação de modo a comparar o desempenho das centrais para uma mesma condição de variabilidade.

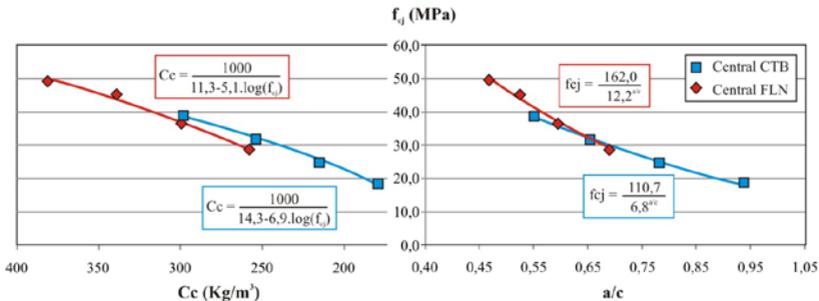


Figura 79 – Comparação entre as curvas de impressão das centrais CTB e FLN.

Tabela 65 – Consumo de cimento utilizado na produção de concreto ($f_{ck}=25,0$ e $30,0$ MPa) para as centrais FLN e CTB considerando o mesmo coeficiente de variação – $CV_{CENTRAL}=9,0\%$.

Central	$CV_{CENTRAL}^*$ (%)	f_{ck} (MPa)	$f_{cjCENTRAL}$ (MPa)	$C_{RECOMENDADO}$ (Kg/m ³)
FLN	9,0%	25,0	29,4	262,2
		30,0	35,2	293,2
CTB		25,0	29,4	239,7
		30,0	35,2	275,8

* Coeficiente de variação arbitrado para comparação das centrais.

Levando em consideração que as centrais apresentam o mesmo tipo de cimento e aditivos, acredita-se que a economia de consumo de cimento constatada para a central CTB possa estar associada, dentre outros fatores, ao desempenho dos agregados e/ou tipo/teor de aditivo polifuncional empregados na produção dos concretos.

É importante considerar que o período de amostragem das centrais investigadas não é coincidente. Assim sendo, fatores como a variação da granulometria dos agregados, cimento e desempenho do aditivos utilizados podem ter contribuído para as diferenças observadas entre as curvas de impressão apresentadas na Figura 79. Além disso, a diferença do período de amostragem impossibilita a definição da central referência para a região de estudo.

No que tange aos resultados obtidos no módulo 2, a observação da curva de laboratório permitiu descartar a hipótese de variação resultante dos processos realizados em laboratório. Neste caso, assim como na central CTB, observou-se a necessidade de investigação do processo de moldagem e, por isso, recomenda-se que a central FLN verifique os procedimentos realizados na moldagem, estocagem, tempo de coleta e transporte dos corpos-de-prova.

A comparação da curva do laboratório das diferentes centrais (Figura 80) permite afirmar que o laboratório da central FLN apresenta variabilidade inferior ao da central CTB. Desse modo, acredita-se que as medidas realizadas no laboratório da central FLN poderiam ser utilizadas como referência para a central CTB.

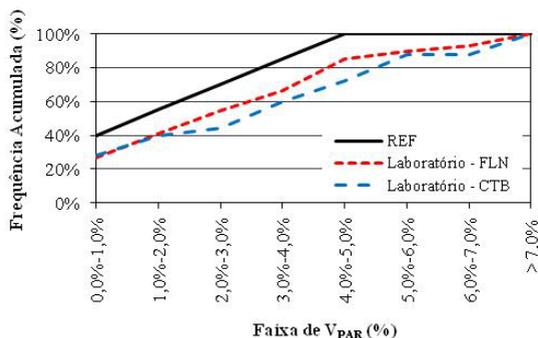


Figura 80 – Comparação entre as curvas dos laboratórios das centrais CTB e FLN.

Quanto ao módulo 3, assim como observado para a central CTB, os resultados obtidos indicaram que as obras atendidas pela central FLN tendem a estar situadas nas zonas I e II. Em se tratando dos concretos de $f_{ck}=25,0\text{MPa}$, foram constatados problemas de controle de abatimento

por parte das obras. Acredita-se, porém, que tais problemas foram potencializados devido ao baixo consumo de cimento utilizado em tais dosagens. Contudo, a hipótese associada à falta de controle de abatimento em obra não pode ser descartada.

Quando comparadas as obras atendidas pela central FLN com aquelas atendidas pela central CTB, nota-se que ambos os casos apresentam problemas associados à falta de controle de abatimento. Entretanto, os reflexos na redução da resistência à compressão do concreto, oriundos da falta de controle de abatimento, foram observados de modo menos significativo na central CTB, uma vez que esta trabalhou com relativa folga no consumo de cimento para a produção de concreto.

Em vista do exposto, recomenda-se um maior rigor no controle de abatimento e padronização dos cuidados na estocagem dos corpos-de-prova para todas as obras atendidas pela central FLN. Tais medidas podem ser empregadas mediante ao incentivo da utilização de aditivos para correção de abatimento e utilização de caixas protegidas de impactos e intempéries para estocagem dos corpos-de-prova em obra

Em casos específicos das obras localizadas nas zonas III e IV, como é o caso de I, C, E e L (Tabela 64), indica-se que estas sejam alertadas quanto à necessidade de controle tecnológico em obra e, ao mesmo tempo, incentivadas para realização adequada do mesmo em etapas futuras. Destaca-se ainda que, se possível, a central FLN poderia passar a deixar de moldar corpos-de-prova nas referidas obras, pois estas foram identificadas com obras de controle inadequado e, por esse motivo, tendem a prejudicar os resultados da central.

No que tange às considerações do módulo 4 para a central FLN, constata-se a necessidade de investigação do processo de moldagem. Quanto à análise do gráfico de perfil dos motoristas, não foram observadas tendências de concentração dos mesmos em uma determinada zona. Todavia, os resultados permitem indicar a existência de problemas associados à falta de controle de abatimento, especialmente para os motoristas 1, 2 e 8 que, por sua vez, necessitam de treinamento imediato.

Somado às intervenções associadas ao treinamento dos motoristas citados, recomenda-se, em caráter de menor urgência, atenção quando a ocorrência de variações pontuais do processo de produção. Para tanto, assim como aconselhado para a central CTB, indica-se a realização de testes de aceitação dos materiais, aferição periódica dos equipamentos de proporcionamento dos insumos e, ainda, acompanhamento da temperatura do cimento dentro dos silos.

Diante dos resultados apresentados, observa-se que a central FLN apresenta baixa variabilidade no processo de produção. Além disso, des-

taca-se que as correções de dosagem se fazem necessárias, especialmente para os concretos de $f_{ck}=25,0$ MPa. Neste caso, a central está subestimando a variabilidade e , por isso, corre risco de observação de resultados não conformes. Para os demais valores de f_{ck} , a central trabalha com folga no consumo de cimento e , por isso, poderia efetuar uma redução inicial conforme estabelecido no módulo 1. Além das correções apresentadas, os resultados apontados pelos módulos 2, 3 e 4 indicam a necessidade de intervenção, em caracter urgente, nos itens que seguem:

- controle do processo de moldagem dos corpos-de-prova, que por sua vez inclui controle de moldagem, estocagem, tempo de coleta e transporte dos corpos-de-prova;
- maior rigor no controle de abatimento e padronização dos cuidados na estocagem dos corpos-de-prova para todas as obras atendidas pela central. Destaque pode ser dados às obras I, C, E e L que devem ser alertadas quanto a necessidade de controle tecnológico em obra e , se possível, incentivadas para a realização do mesmo de forma adequada;
- treinamento imediato dos motoristas 1, 2 e 8;

Em uma primeira aproximação, pode-se afirmar que, em vista dos resultados obtidos nas análises 1 e 2, os módulos propostos são considerados adequados para a avaliação do processo de produção de CDC. Todavia, foram observadas algumas dificuldades que indicam a necessidade de alterações na metodologia proposta. As considerações referentes à eficiência dos diferentes módulos, bem como as respectivas modificações recomendadas são apresentadas no capítulo 7.

6.4 Análise 3 - Análise comparativa da resposta do programa

O presente item tem como objetivo comparar os resultados de correções de dosagem inicial obtidos no módulo 1 com as medidas tomadas pelo técnico da central. Para tanto, foram utilizados os resultados e considerações determinados na avaliação da central FLN, discutida ao longo do item anterior.

As dosagens praticadas pela central durante o período de avaliação da central (10 de Julho de 2009 à 17 de Setembro de 2009) são apresentadas na Tabela 66. Na mesma tabela, são destacadas, ainda, as novas dosagens determinadas pelo técnico da central. Tais dosagens foram mantidas inalteradas para o período compreendido entre 18 de Julho de 2009 e 10 de Novembro de 2009.

Os resultados da Tabela 66 indicam que as correções realizadas pelo técnico da central consistiram apenas em redução do consumo de

cimento. Destaca-se ainda que o teor de argamassa do concreto, bem como relação água / materiais secos e água / cimento foram mantidas constantes. Contudo, de acordo com o técnico da central, as correções não foram baseadas na observação dos valores de resistência à compressão ao longo do período de amostragem. Segundo o mesmo, com o avançar do tempo, constatou-se a possibilidade de redução do consumo de água na produção de concretos com os materiais utilizados pela central. Assim sendo, os valores de consumo de água foram levemente reduzidos e, buscando manter a relação a/c, o consumo de cimento foi proporcionalmente diminuído. Soma-se a este um leve aumento no teor de aditivo, necessário para compensar a redução do consumo de água.

Tabela 66 – Consumo de materiais empregados na central FLN para os diferentes períodos de amostragem.

Amostragem	Consumo de materiais (Kg/m ³)							
	10/07/2009 à 17/09/2009				18/09/2009 à 10/11/2009			
f_{ck} (MPa)	25,0	30,0	35,0	40,0	25,0	30,0	35,0	40,0
Cim. CP IV-32-RS	258	299	339	381	255	295	335	377
Brita 4,75 / 12,5	411	417	422	425	407	413	417	421
Brita 9,5 / 25,0	616	626	632	638	610	619	626	632
Areia de brita – t.II	619	581	547	513	613	576	542	508
Areia fina	265	249	234	220	263	247	232	218
Aditivo polifuncional	2,325	2,688	3,051	3,430	2,554	2,953	3,352	3,769
Água – Rede Pública	178	178	178	178	176	176	176	176
a/c	0,69	0,60	0,53	0,47	0,69	0,60	0,53	0,47
Teor de Arg.(%)	52,7	52,0	51,5	51,2	52,7	52,0	51,5	51,2
H (%)	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2

As correções de dosagem realizadas pelo técnico da central e aquelas determinadas segundo a avaliação da central através do emprego do módulo 1 são listadas na Tabela 67.

Conforme observado na Tabela 67, nota-se a existência de uma diferença considerável, principalmente para os maiores valores de f_{ck} , entre as correções determinadas pelo técnico da central e pela proposta do módulo 1. Tais diferenças, atribuídas ao fato das partes envolvidas considerarem variáveis distintas durante a análise de resultados, são discutidas de forma detalhada ao longo do item que segue.

Tabela 67 – Correções de dosagem propostas pelo técnico da central e pelo módulo 1.

f_{ck} (MPa)	C_{ATUAL} (Kg/m ³)	$C_{RECOM.}$ (Kg/m ³)	$C_{TÉCNICO}$ (Kg/m ³)	Correções no consumo de cimento (Kg/m ³)	
				Curva de dosagem Módulo 1 ($C_{ATUAL} - C_{RECOM.}$)	Técnico da central FLN ($C_{ATUAL} - C_{TÉCNICO}$)
20,0	258,0	260,1	255,0	+2,1	-3,0
25,0	299,0	290,7	295,0	-8,3	-4,0
30,0	339,0	322,7	335,0	-16,3	-4,0
35,0	381,0	356,7	377,0	-24,3	-4,0

6.4.1 Considerações sobre a análise 3

Com base nos resultados obtidos na análise 3, é possível concluir que existe divergência entre as correções propostas pelo módulo 1 em relação àquelas propostas pelo técnico da central (Tabela 67). Tal divergência é decorrente do fato das partes envolvidas considerarem diferentes variáveis na determinação da correção de dosagem.

Conforme discutido no item 5.3.2, o módulo 1 leva em conta os resultados de resistência à compressão do concreto, através da determinação da curva de dosagem e coeficiente de variação da central, para obtenção das correções iniciais que se fazem necessárias.

O técnico da central, por sua vez, leva em consideração, além dos resultados de resistência à compressão, o desempenho dos materiais no estado fresco para a realização de correções ao longo do processo de produção. Entretanto, segundo o mesmo, as correções no consumo de cimento realizadas não apresentam um padrão definido entre os diferentes técnicos, ficando sob responsabilidade dos mesmos a análise os resultados.

Destaca-se ainda que o acompanhamento dos valores de resistência à compressão, realizado pelo técnico, é meramente visual indicando, assim, a existência de uma considerável influência da experiência técnica do mesmo no processo de correção de dosagem.

Quanto as correções propostas pelo módulo 1 (Tabela 67), recomenda-se a realização de ensaios em laboratório com o objetivo de determinar se, depois de efetuadas as correções de dosagem, o valor de resistência característica do concreto será atingido. Outra possibilidade consiste na realização gradativa das correções de dosagem e acompanhamento dos resultados obtidos de modo a determinar se as mesmas

não resultam na observação de não conformes. Cabe salientar que as correções apresentadas pela metodologia proposta levam em consideração que a variabilidade da central, determinada no módulo 1, seja mantida.

Por fim, os resultados obtidos na análise 3 permitem concluir que as correções de dosagem indicadas pelo programa diferem daquelas determinadas pelo técnico da central, que, por sua vez, mostrou-se extremamente conservador. Acredita-se que o conservadorismo nas medidas tomadas pelo técnico da central possa estar associado ao desconhecimento, por parte deste, da real variabilidade do processo de produção.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no exposto ao longo do presente trabalho, serão apresentadas a seguir as conclusões obtidas. Cabe salientar que as tais conclusões devem ser limitadas aos tipos de centrais avaliadas, uma vez que as características das mesmas podem diferir em relação à outras centrais existentes.

Por fim, são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros que venham a contribuir para complementação desta pesquisa e conseqüente aperfeiçoamento da metodologia proposta para avaliação do processo de produção das centrais de concreto.

7.1 Conclusões

Em relação ao módulo de identificação, pode-se concluir que este contém quantidade de dados e informações satisfatórias para determinação das condições de contorno da central a ser analisada e contribui para interpretação dos resultados obtidos ao longo dos diferentes módulos. Entretanto, acredita-se que a complementação da tabela de condições de contorno com informações relativas à periodicidade da aferição de equipamentos e testes de aceitação de materiais, dentre outras, contribuiria de modo significativo na interpretação dos resultados.

Quanto ao módulo 1, este mostrou-se adequado na determinação da variabilidade do processo de produção da central. Além disso, destaca-se que o emprego deste permitiu identificar se a central em estudo trabalha ou não com folga no consumo de cimento e, a partir dos resultados obtidos, determinar as correções iniciais que se fazem necessárias para que a mesma possa compatibilizar as dosagens praticadas com a variabilidade do processo.

Além disso, observou-se que as correções propostas no módulo 1 não coincidiram com as realizadas pelo técnico da central em período posterior à análise dos resultados da central. A diferença entre os valores de correção propostos por ambas as partes foi tão maior quanto maior o valor de f_{ck} do concreto. Contudo, tal diferença não pode ser considerada como erro do módulo 1 ou do técnico da central, pois ambos tem por base diferentes enfoques para determinação das correções.

Do ponto de vista econômico, destaca-se que as correções propostas pelo módulo 1 indicaram a possibilidade de reduções consideráveis no custos mensais de produção do concreto. Se análises discutidas para as centrais avaliadas (CTB e FLN) forem extrapoladas para todas as centrais de uma mesma empresa, as vantagens econômicas decorren-

tes do uso da metodologia propostas são promissoras, viabilizando, assim, a emprego do método proposto para as centrais de concreto.

No que tange o módulo 2, apesar de possibilitar a identificação da existência de variabilidade significativa, tanto no processo de moldagem quanto nos procedimentos de laboratório, este não permitiu definir com precisão qual a parcela de variabilidade oriunda de cada um itens citados. Todavia, acredita-se que a identificação obtida através da metodologia proposta para o módulo 2 é considerada adequada, pois evita a realização de investigações aprofundadas que são, em certos casos, desnecessárias ou de menor urgência.

Como proposta para o módulo 2, recomenda-se a verificação dos limites estabelecidos para a curva de referência. Neste caso, a análise de uma série de laboratórios poderia ser realizada de modo a determinar se a curva de referência pode ser atingida ou não. Caso um dos laboratórios avaliados apresente curva idêntica à curva de referência, as conclusões referentes ao módulo 2 poderiam ser modificadas, principalmente no que tange à consideração da possibilidade de semelhança entre a curva do laboratório e curva de referência (Caso 1b – Figura 56).

O módulo 3, por sua vez, possibilitou a definição do perfil das obras atendidas pela central, porém foram encontradas dificuldades associadas à interpretação dos casos de obras classificadas em mais de uma zona para concretos de diferentes valores de f_{ck} .

Em relação ao módulo 4, observou-se a mesma deficiência apresentada pelo módulo 3, ou seja, existência de dificuldade de interpretação dos resultados em função da ocorrência de zoneamento duplo para motoristas que atenderam obras com diferentes valores de f_{ck} . Contudo, a combinação dos resultados obtidos no gráfico de perfil com as curvas dos motoristas auxiliaram na interpretação dos resultados e construção da tabela de zoneamento.

Quanto ao gráfico de perfil, utilizados nos módulos 3 e 4, pode-se concluir que estes apresentaram resultados satisfatórios na definição do comportamento dos motoristas e obras.

Visando otimizar a interpretação dos resultados dos gráficos de perfil, recomenda-se estudar a possibilidade de utilização de uma região de transição entre as diferentes zonas que compõe o gráfico. Neste caso, o uso de um intervalo de $\pm 0,5\%$ no coeficiente de variação que divide as zonas permitiria maior flexibilidade quanto à classificação das obras e motoristas. Desse modo, ficaria a cargo do técnico responsável pela central, mediante análise dos resultados e realidade observada na central, em decidir sobre a classificação das obras e motoristas localizados na zona de transição.

Ainda sobre os módulos 3 e 4, nota-se que a presença de informações complementares na tabela de condições de contorno de produção, conforme citado nas considerações sobre o módulo de identificação, serviria de auxílio na decisão das intervenções propostas na tabela de zoneamento das obras e dos motoristas.

Além disso, observou-se uma carência na quantidade de resultados, bem como distribuição dos mesmos, por parte de algumas obras e motoristas. Tal fato prejudicou, e em determinados casos impossibilitou, a definição do perfil dos mesmos. As análises dispostas ao longo dos itens 6.3.4 e 6.3.5 indicaram que algumas das obras atendidas pela central, bem como motoristas da mesma, não apresentaram quantidade suficientes de dados para serem analisados.

Em se tratando das centrais analisadas, destaque pode ser dado à carência de dados para a central FLN, que possui menor volume de produção e menor período de amostragem quando comparado com a central CTB. No caso da central CTB, o maior volume de produção permitiu a análise de uma maior quantidade de obras e motoristas, contudo alguns destes não puderam ser avaliados.

Assim sendo, espera-se que, em etapas futuras de implantação da metodologia proposta, as centrais sigam as recomendações, indicadas no item 5.3.1, referentes à quantidade de corpos-de-provas a serem moldados nas diferentes obras, com diferentes valores de f_{ck} e motoristas. Desse modo, garantir-se-á uma melhor distribuição dos dados e, conseqüentemente, maior cobertura na avaliação do espectro de obras e motoristas independente do porte da central avaliada.

Além da necessidade observada quanto à distribuição dos dados da matriz base, bem como complementação das informações na tabela de condições de contorno, acredita-se que a obtenção de dados referentes à temperatura do cimento nos silos e condições climáticas diárias, tanto na obra quanto na central, ao longo do período de amostragem seria de grande auxílio na interpretação dos resultados obtidos no programa proposto.

Por fim, conclui-se que a metodologia apresentada é considerada adequada para avaliação das fontes de variabilidade do processo de produção. O emprego dos módulos propostos permitiu não apenas a correção do consumo de cimento praticado pelas centrais, mas também na identificação das principais fontes de variabilidade no processo de produção do CDC. Destaca-se ainda, a possibilidade de utilização dos resultados do relatório final para eventual comparação entre centrais semelhantes e pertencentes à uma mesma região de controle.

Estima-se que, caso as intervenções propostas sejam aplicadas, o coeficiente de variação da central será reduzido de modo significativo resultando, assim, em aumento na qualidade do processo e, ao mesmo tempo, redução de custos em vista da redução potencial do consumo de cimento.

7.2 Sugestões para trabalhos futuros

Apesar de oferecer sua contribuição à avaliação da variabilidade do processo de produção nas centrais de concreto, o presente estudo deve ser considerado como um trabalho pontual e, por isso, as conclusões obtidas com a realização deste tem caráter limitado às condições de contorno das centrais investigadas.

Assim sendo, observa-se a necessidade da realização de trabalhos futuros de modo que as conclusões obtidas neste trabalho possam ser complementadas. Dentre as possíveis propostas para trabalhos futuros, destacam-se:

- Avaliação da aplicação da metodologia proposta em centrais de concreto com características diferentes das centrais avaliadas no presente trabalho;
- Aplicação do método proposto com periodicidades determinadas (mensal, bimestral, trimestral e acumulada ao longo do ano);
- Automatização mediante programação de um software específico;
- Acompanhamento, em tempo real, da implantação do programa proposto em uma central de concreto visando investigar os efeitos das intervenções e correções de dosagem determinadas pelos diferentes módulos. Com base nos resultados, poder-se-ia obter novas propostas de aperfeiçoamento da metodologia proposta;
- Investigação da influência da realização do curso de treinamento dos motoristas e obras na variabilidade dos resultados dos mesmos;
- Investigação da influência do emprego do processo de moldagem remota nos resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos, bem como na variabilidade da central;
- Avaliação do efeito da utilização de caminhões betoneira com torquímetros na correção de abatimento realizado pelos motoristas e na variabilidade dos resultados da central;
- Avaliação do efeito da correção de abatimento em obra com uso de aditivos na variabilidade dos resultados da central;
- Estudo de padronização dos procedimentos de estocagem dos corpos-de-prova em obra e transporte destes até a central de concreto.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÏTCIN, P.C. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo: Pini, 2000. 667 p.

AÏTCIN, A.. **Aggregate Bond and Modulus of Elasticity of Concrete**. In: ACI Materials Journal. V. 94, n. 1, p. 71-74. January-February, 1997.

AGUILAR, M. T. P., SILVA, A. P. E., CORRÊA, E. C. S.; CETLIN, P. R.. *Análise da Capacidade de Deformação do Concreto: Módulo de Young X Módulo de Deformação*. In: **XVII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - CBECiMat**, 2006, Foz do Iguaçu. Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - CBECiMat, 2006. p. 3672-3684.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 116 R-00: Cement and Concrete Terminology**. Reported by ACI Committee 116, Farmington Hills, Michigan, 2000. 73 p.

_____ **ACI 214 R-02: Evaluation of Strength Test Results of Concrete**. Reported by ACI Committee 214, Farmington Hills, Michigan, 2002. 20 p.

_____ **ACI 305R: Hot Weather Concreting**. In: ACI Materials Journal. V. 88, n. 4, p. 417-436. August, 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM C94/C94M-04: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete**. West Conshohocken, 2004. 10 p.

_____ **ASTM C125-03: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates**. West Conshohocken, 2003. 4 p.

_____ **ASTM C232-09: Standard Test Methods for Bleeding of Concrete**. West Conshohocken, 2009. 5 p.

_____ **ASTM C403-08: Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance**. West Conshohocken, 2008. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM - ABESC. Apresenta informações sobre o Concreto Dosado em Central. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br>>. Acesso em: 01 de Setembro de 2009.

_____ **Manual do Concreto Dosado em Central.** São Paulo, Abril, 2007. 36p.

_____ **Concreto Dosado em Central – meio século de serviços ao Brasil.** 1ed. São Paulo, Dezembro, 2003. 140 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Apresenta informações sobre os tipos e especificações dos cimentos comercializados no Brasil. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acessado em: 26 de Agosto de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA - AsBEA. Apresenta informações sobre os índices da construção civil. Disponível em: <<http://www.asbea.org.br>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto. Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

_____ **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____ **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009

_____ **NBR 7212:** Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 1984.

_____ **NBR 8522:** Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____ **NBR ISO 9000:** Sistema de Gestão da Qualidade: Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2000.

_____ **NBR ISO 9000-3:** Normas de Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade. Rio de Janeiro, 1993.

_____ **NBR 9833:** Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

_____ **NBR 10342:** Concreto - Perda de abatimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____ **NBR 12654:** Controle tecnológico de materiais componentes do concreto.. Rio de Janeiro, 1992.

_____ **NBR NM 9:** Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração. Rio de Janeiro, 2002.

_____ **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____ **NBR NM 102:** Concreto - Determinação da exsudação. Rio de Janeiro, 1996.

BAALBAKI, W., AÏTCIN, P. C., BALLIVY, G.. **On prediction modulus of elasticity in high-strength concrete.** In: ACI Materials Journals, v. 89, p. 517-520. September-October, 1992.

BARATA, M. S.. **Concreto de Alto Desempenho no Pará: estudo da viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim.** Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998. 164 p.

BARBOSA, F. R., MOTA, J. M. F., COSTA E SILVA, A. J., OLIVEIRA, R. A.. **Análise da Influência do Capeamento de Corpos-de-prova Cilíndricos na Resistência à Compressão do Concreto.** In: 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais. IBRACON. Curitiba, 2009.

BARTOS, P., SONEBI, M., TAMIMI, A.. **Workability and rheology of fresh concrete: compendium of tests.** In: Report of RILEM Technical Committee TC145 WSM, Workability of special Concrete Mixes, 86 p.

BIASIOLI, F. **Ready Mixed Concrete: and old-new material for the 21st century.** In: DHIR, R. K. & LIMBACHIYA, M. C. (Ed.). Utilizing Ready Mixed Concrete and Mortar. Londres, 1999. 465 p.

BINNS, T.. **Pumped Concrete.** In: NEWMAN, J. & CHOO, B. S. (Ed) Advanced Concrete Technology – Processes Engineering. Londres: Butterworth-Heinemann - BH, 2003. 699 p.

CHIARA, F. F.. **Concrete Mixing Methods and Concrete Mixers: State of the Art.** In: Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. Vol. 106, n. 2, p. 391–399. April, 2001.

CHUNG, H. W.. **Control of Concrete Quality Through Statistics.** In: Concrete International. p. 38-43. May, 1993.

COLLEPARDI, M.. **Admixtures Used To Enhance Placing Characteristics Of Concrete.** In: Cement and Concrete Research, v.20, p. 103-112, 1998.

CSM - FORMAS E MÁQUINAS. Apresenta informações sobre equipamentos utilizados em centrais de concreto para caminhão betoneira. Disponível em: <<http://www.csm.ind.br>>. Acesso em: 01 de Setembro de 2009.

CROMPTON, S.. **Production of Ready Mixed Concrete.** In: NEWMAN, J. & CHOO, B. S. (Ed). Advanced Concrete Technology – Processes Engineering. Londres, 2003. 699 p.

DAY, K. W.. **Concrete Mix Design, Quality Control and Specification.** 2ªEd. London, E & FN Spon, 1999. 327 p.

DAL MOLIN, D. C. C.. **Adições Minerais para Concreto Estrutural.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. 1600 p.

DEWAR, J. D. & ANDERSON, R.. **Manual of Ready Mixed Concrete.** 2ªEd. Glasgow, 2004. 247 p.

DELIGIANNIS, V., MANESIS, S.. **Concrete batching and mixing plants: A new modeling and control approach based on global automata.** In: Automation in Construction. n. 17, p. 368–376. June, 2008.

DOMONE, P. L.. **Fresh Concrete.** In: NEWMAN, J. & CHOO, B. S. (Ed). Advanced Concrete Technology – Concrete Properties. Londres: Butterworth-Heinemann - BH, 2003. 349 p.

DRANSFIELD, J.. **Admixtures for concrete, mortar and grout.** In: NEWMAN, J. & CHOO, B. S. (Ed). Advanced Concrete Technology – Constituent Materials. London: Butterworth-Heinemann - BH, 2003. 280 p.

ERDOĞDU, Ş.. **Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected**

to prolonged mixing. In: Cement and Concrete Research, v.35, p. 907–912, 2005.

FLORES, C. D.. **Fundamentos dos Sistemas Especialistas.** In: BARONE, D. A. C. (Ed.). *Sociedades Artificiais: a nova fronteira da inteligência nas máquinas.* Porto Alegre: Bookman, 2003. p.332.

FREYNE, S. F., HALE, W. M., RUSSELL, B. W.. **Statistical Measures of HPC Compressive Strength.** In: ACI Special Publication 229, p. 335-348, September, 2005.

FUSCO, P. B.. **Tecnologia do Concreto Estrutural: Tópicos aplicados.** 1ªEd. São Paulo, 2008. 179 p.

GEBLER, S. H.. **Interpretation of Quality-Control Charts for Concrete Production.** In: ACI Materials Journal. v. 87, n. 4 ,p. 319-326 , July-August 1990.

GUIMARÃES, A. T. C. **Propriedades do concreto fresco.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.* São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. 1600 p.

HELENE, P. R. L., TERZIAN, P.. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** São Paulo: PINI, 1993. 349p.

HELENE, P. R. L.. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.* São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. 1600 p.

HOSHINO, G.. **Relationship Between Bleeding, Coarse Aggregate and Specimen Height of Concrete.** In: ACI Materials Journal. v. 86, n. 2, p. 185-190. March-April, 1989.

KIHARA, Y., CENTURIONE, S. L.. **O Cimento Portland.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.* São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. 1600 p.

JACINTO, A. G., GIONGO, J. S.. **Resistência Mecânica do Concreto.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.* São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. 1600 p.

KENNEDY, L. K.. **The Contractor's Guide to Quality Concrete Construction.** 3ªEd. American Society of Concrete Contractors – ASCC, 2005. 147 p.

KOSMATKA, S. H., KERKHOFF, B., PANARESE, W. C.. **Design and Control of Concrete Mixtures**. 14^oEd.. Estados Unidos: Portland Cement Association – PCA, 2003. 360 p.

LAMOND, J. F.. **Making and Curing Concrete Specimens**. In.: LAMOND, J. F., PIELERT, J. H. (Ed.). STP169D - Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials. West Conshohocken, 2006. 665 p.

LIEBHERR BRASIL. Apresenta informações sobre equipamentos utilizados para produção, transporte e descarga de concreto em central. Disponível em: <<http://www.liebherr.com.br>>. Acesso em: 01 de Setembro de 2009.

LOBO, C. L., GAYNOR, R. D.. **Ready Mixed Concrete**. In.: LAMOND, J. F., PIELERT, J. H. (Ed.). STP169D - Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials. West Conshohocken, 2006. 665 p.

LOBO, C. L.. **Control Charts: An Important Tool in Quality Control to Save Money**. In: Concrete in Focus – NRMCA. v. 4 , n. 4 , p. 15-16. Winter, 2006.

LODI, V.H. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó-SC**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

MAHBOUB, K. C., CUTSHAW, Q. A.. **Effects of Fresh Concrete Temperature and Mixing Time on Compressive Strength of Concrete**. In: ACI Materials Journal. v. 98, n.. 1. January-February, 2001.

MARTINS, V. C. **Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com a utilização de aditivos: estudo de caso**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. 198 p.

MALHOTRA, V. M.. **Fly ash, slag, sílica fume and rice-husk ash in concrete: a review**. In.: Concrete International. p. 23-28. April, 1993.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2008. 674 p.

MINDESS, S.. **Concrete Constituent Materials**. In: NAWY, E. G. (Ed.). Concrete Construction Engineering Handbook (2ªEd). Florida: CRC Press, 2008. 1586 p.

NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION - NRMCA. Apresenta informações sobre os tipos de centrais de concreto. Disponível em: <<http://www.nrmca.org>>. Acesso em: 01 de Setembro de 2009.

NAWY, E. G.. **Design and Placing of Concrete Mixtures**. In: NAWY, E. G. (Ed.). Concrete Construction Engineering Handbook (2ªEd). Florida: CRC Press, 2008. 1586 p.

NEGHEIMISH, A. A., ALHOZAIMY, A. M.. **Impact of Extremely Hot Weather and Mixing Method on Changes in Properties of Ready Mixed Concrete during Delivery**. In: ACI Materials Journal. v. 105, n. 5, September-October, 2008.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2ª Ed. rev. atual. São Paulo: Pini, 1997. 738 p.

OBLA, K., RODRIGUEZ, F., BEN-BARKA, S..**Effects of Non-Standard Curing on Strength of Concrete**. In: Concrete in Focus – NRMCA. v. 3 , n. 4 , p. 57-59. Winter, 2005.

PIERCE, J. S.. **Mixing and Curing water for Concrete**. In.: LAMOND, J. F., PIELERT, J. H. (Ed.). STP169D - Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials. West Conshohocken, 2006. 665 p.

POPOVICS, S.. **The Slump test is useless – Or Is It?** In.: Concrete International. p. 30-33. September, 1994.

PRUDÊNCIO JR, L. R. **Materiais de Construção Civil**. Notas de aula. Disciplina ECV4236 – Ciência e Tecnologia do Concreto – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

PRUDÊNCIO JR, L. R., OLIVEIRA, A. L., WEIDMANN, D. F.. **Variabilidade da Resistência à Compressão dos Concretos Dosados em Central**. Florianópolis. Março, 2007. 25 p. Trabalho não publicado.

PRUDÊNCIO JR, L. R., OLIVEIRA, A. L., SILVA, W. R. L., TOCHETTO, E., PARIZOTTO, R. M.. **Utilização de Ferramentas Estatísticas Visando a Criação de um Modelo de Decisão para Redução**

dos Custos Variáveis do Concreto Dosado em Central. Florianópolis. Março, 2009. 23 p. Trabalho não publicado.

PUTZMEISTER – Putzmeister Brasil - Bombas de Concreto. Apresenta informações sobre equipamentos de bombeamento de concreto. Disponível em: <<http://www.putzmeister.com.br>>. Acesso em: 01 de Setembro de 2009.

RAMACHANDRAN, V. S., PAROLI, R. M., BEAUDOIN, J. J., DELGADO, A. H.. **Handbook of Thermal Analysis Of Construction Materials.** Nova York: Noyes Publication, 2002. 681 p.

RAVINA, D.. **Slump Loss of Fly Ash Concrete.** In: Concrete International. p. 35-39. April, 1984.

RAVINA, D.. **Slump Retention of Fly Ash Concrete with and without Chemical Admixtures.** In: Concrete International. p. 25-29, April, 1995.

REPETTE, W. L.. **Aditivos.** Notas de aula. Disciplina ECV4235 – Ciência e Tecnologia de Aditivos para Concreto e Argamassa – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

RIXOM, R., MAILVAGANAM, N.. **Chemical Admixtures for Concrete.** Londres: E & FN Spon, 1999.

SBRIGHI NETO, C.. **Agregados para Concreto.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. 1600 p.

SCHWING. Apresenta informações sobre equipamentos de transporte e bombeamento de concreto. Disponível em: <<http://www.schwing.com>>. Acesso em: 01 de Setembro de 2009.

SEAR, L.. **Quality Control.** In: NEWMAN, J. & CHOO, B. S. (Ed). Advanced Concrete Technology – Testing and Quality. Londres, 2003. 320 p.

SHAPIRA, A.. **Equipment for Concrete Building Construction.** In: NAWY, E. G. (Ed.). Concrete Construction Engineering Handbook (2ªEd). Florida: CRC Press, 2008. 1586 p.

SILVA, W. R. L., OLIVEIRA, A. L., TOCHETTO, E., PRUDÊNCIO JR., L. R.. **Concreto Convencional produzido em Central: estudo de**

composição e otimização de traço. Florianópolis. Setembro, 2008. 11 p. Trabalho não publicado.

SILVA, W. R. L., DAMO, G., OLIVEIRA, A. L., TOCHETTO, E., PRUDÊNCIO JR., L. R.. **Influence of Air Temperature on the Performance of Different Water Reducing Admixtures with Respect to the Properties of Fresh and Hardened Mortar.** In: Recent Advances in Characterization, Processing, Design and Modeling of Structural and Functional Materials. Proceedings of Materials 2009, Lisbon, 2009.

SILVA, W. R. L., DAMO, G., TOCHETTO, E., PRUDÊNCIO JR., L. R., REPETTE, W. L.. **Estudo da influência da temperatura na eficiência de aditivos à base de lignosulfonato, naftaleno e policarboxilato na produção de argamassas.** In: 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais. IBRACON, Curitiba, 2009b.

SOUZA, A. F.. **Otimização do uso de aditivo estabilizador de hidratação do cimento em águas de lavagem de caminhões betoneira para produção de concreto.** Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007. 162 p.

SOUZA, J., PEREIRA, L. A., BIANCHINI, M.. **Avaliação da influência de altas dosagens de aditivo polifuncional em concreto dosado em central. Estudo de caso – Sul do Brasil.** In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais. IBRACON. Rio de Janeiro, 2006.

SOROKA, I., RAVINA, D.. **Hot Weather Concreting with Admixtures.** In: Cement and Concrete Composites, v.20, p. 129-136, 1998.

SOROKA, I.. **Concrete in Hot Environments.** London, Taylon & Francis Group, 2004. 272 p.

STETTER. Apresenta informações sobre equipamentos utilizados para produção, transporte e descarga de concreto em central. Disponível em: <<http://www.stetter.de>>. Acesso em: 01 de Setembro de 2009.

SYVERSON, C.. **Market: Ready Mixed Concrete.** In: Journal of Economics Perspective. Vol. 22, n. 1, p. 271–234. 2008.

TAERWE, L.. **Quality Control of Concrete: from routine testing to management strategy.** In: Proceedings 14 - Second International RILEM/CEB Symposium - Quality Control of Concrete Structures. Ghent, Belgium, 1991. 567 p.

TANGO, C. E. S.. **Produção, Controle e Transporte do Concreto**. In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. 1600 p.

TATTERSALL, G. H.. **Workability and Quality Control of Concrete**. London: E & FN Spon, 1991.

TAYLOR, H. F. W.. **Cement Chemistry**. London: Academic Press Limited, 1990. 491 p.

VIEIRA, F. L.. **A Influência da Variabilidade da Resistência do Cimento no Concreto de Cimento Portland, no Caso de uma Concreteira da Grande Florianópolis**. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Gerenciamento de Obras de Edificações, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2005. 45 p.

WEIDMANN, D. F.. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008. 268 p.

WEIDMANN, D. F., OLIVEIRA, A. L., SOUZA, J., PRUDÊNCIO JR., L. R.. **Comparação da eficiência de aditivos plastificantes e polifuncionais**. In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais. IBRACON. Rio de Janeiro, 2006.

ANEXOS

ANEXO 1**Fluxograma completo do programa proposto.**

Figura A1 – Fluxograma completo do programa proposto.

ANEXO 2

Determinação do valor de significância “ α ” para o programa proposto.

ANEXO 2 - Determinação do valor de significância “ α ” para o programa proposto.

Para a determinação do valor da significância (α) mais adequado a ser considerado no tratamento estatístico dos dados foi realizada uma análise complementar. Tal análise consistiu na determinação do valor de I_{fcj} de uma dada amostra para valores variados de “ α ”. Os dados utilizados para a análise complementar foram obtidos de uma central de concreto da cidade de Curitiba e são apresentados na Tabela A1.

Tabela A1 – Amostra utilizada para análise complementar – f_{cj} (MPa).

$f_{ck}=25,0$ MPa				$f_{ck}=30,0$ MPa		
f_{cj} (MPa)						
32,3	35,4	36,7	39,4	34	41,8	45,6
32,7	35,4	36,9	39,4	34,2	42,0	45,7
32,8	35,6	37,3	39,7	34,9	42,7	46,1
33,3	36,1	37,6	39,9	36,1	43,0	46,2
33,4	36,2	37,7	41,4	36,2	43,7	46,4
33,5	36,3	38,3	41,5	36,6	43,8	46,8
33,8	36,5	38,8	-	36,6	44,1	47,7
33,9	37,1	38,9	-	37,4	46,1	48,5
34,7	36,6	38,9	-	40,2	45,0	52,3

Considerando a variação da “ α ” e utilizando a Eq. 14 juntamente com os dados apresentados na Tabela A1 são obtidos os seguintes resultados para I_{fcj} (Tabela A2).

Tabela A2 – I_{fcj} – inferior e superior.

α (%)	f_{ck} (MPa)			
	25		30	
	I_{fcj} -inferior (MPa)	I_{fcj} -superior (MPa)	I_{fcj} -inferior (MPa)	I_{fcj} -superior (MPa)
0%	32,3	41,5	34,0	52,3
5%	32,3	40,9	33,9	50,7
10%	33,3	39,9	35,8	48,9
15%	33,9	39,3	37,1	47,6
20%	34,4	38,8	38,1	46,6

De posse dos intervalos de f_{cj} para cada um dos valores de “ α ”, pode-se calcular os valores de $f_{cj,estatístico}$, $S_{d,estatístico}$ e $CV_{estatístico}$. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela A3.

Tabela A3 – Valores de $f_{cj,estatístico}$, $S_{d,estatístico}$ e $CV_{estatístico}$

α (%)	f_{ck} (MPa)					
	25			30		
	$f_{cj,estatístico}$ (MPa)	$S_{d,estatístico}$ (MPa)	$CV_{estatístico}$ (%)	$f_{cj,estatístico}$ (MPa)	$S_{d,estatístico}$ (MPa)	$CV_{estatístico}$ (%)
0%	36,6	2,5	6,9%	42,4	5,0	11,8%
5%	36,3	2,3	6,3%	42,0	4,7	11,1%
10%	36,7	2,0	5,5%	43,0	4,0	9,2%
15%	36,9	1,2	3,4%	43,9	2,5	5,8%
20%	36,5	1,0	2,6%	44,2	1,9	4,3%

Com base nos dados apresentados na Tabela A3, observa-se que a utilização de um valor de “ α ” acima de 5,0 % no tratamento estatístico é responsável por consideráveis variações no valor de $CV_{estatístico}$. Assim sendo, diante da necessidade de utilização de tratamento estatístico para eliminação de valores não representativos na amostra e buscando afetar da menor maneira possível o coeficiente de variação da central optou-se pela utilização do valor de “ α ” de 5,0 %. Logo, a Eq. 14 pode ser definida como apresentado abaixo.

$$I_{fcj} = f_{cj,médio} \pm t_{5\%,(n-1)} \cdot S_d$$

ANEXO 3

Determinação da equação do segundo quadrante da curva de impressão.

ANEXO 3 - Determinação da equação do segundo quadrante da curva de impressão.

A determinação da equação do segundo quadrante da curva de impressão é dada com base nas equações que compõe o diagrama de dosagem do método ITERS-IPT-EPUSP. Conforme apresentado ao longo do item 5.3.2.2.1 as curvas de dosagem são obtidas por meio de três equações, sendo estas listadas abaixo.

$$f_{cj} = \frac{K_1}{K_2^{a/c}} \quad \text{Lei de Abrams (1918) – Eq. 15}$$

Onde:

f_{cj} – resistência de dosagem [MPa];

a/c – relação água / cimento;

K_1 e K_2 – constantes particulares de cada conjunto de materiais;

$$m = K_3 + K_4 \cdot a/c \quad \text{Lei de Lyse (1932) – Eq. 16}$$

Onde:

m – relação em massa seca de agregados / cimento [Kg/Kg];

K_3 e K_4 – constantes particulares de cada conjunto de materiais;

$$C_C = \frac{1000}{K_5 + K_6 \cdot m} \quad \text{Lei de Prizkulnik & Kirilos (1974) – Eq. 17}$$

Onde:

C_C – Consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado [Kg/m³];

K_5 e K_6 – constantes particulares de cada conjunto de materiais;

A equação do segundo quadrante é obtida mediante os seguintes passos:

Substitui-se a *Lei de Abrams (1918)* – Eq. 15 na *Lei de Lyse (1932)* – Eq. 16:

$$a/c = \frac{\log K_1 - \log f_{cj}}{\log K_2} \rightarrow m = K_3 + K_4 \cdot a/c$$

Logo,

$$m = K_3 + K_4 \cdot \frac{\log K_1 - \log f_{cj}}{\log K_2}$$

A equação obtida é então substituída na *Lei de Prizkulnik & Kirilos (1974)* – Eq. 17, desse modo:

$$C_c = \frac{1000}{K_5 + K_6 \cdot \left(K_3 + K_4 \cdot \frac{\log K_1 - \log f_{cj}}{\log K_2} \right)}$$

A equação obtida pode escrita da seguinte maneira:

$$C_c = \frac{1000}{K_5 + K_6 \cdot K_3 + K_6 \cdot K_4 \cdot \frac{\log K_1}{\log K_2} - \frac{K_6 \cdot K_4}{\log K_2} \cdot \log f_{cj}}$$

Observa-se que os valores destacados na equação obtida no passo anterior correspondem a valores constantes. Assim sendo, a equação pode também ser escrita conforme apresentado abaixo. Tal equação corresponde a equação do segundo quadrante da curva de impressão da central de concreto.

$$C_c = \frac{1000}{K_7 + K_8 \cdot \log f_{cj}}$$

Onde:

$$K_7 = K_5 + K_6 \cdot K_3 + K_6 \cdot K_4 \cdot \frac{\log K_1}{\log K_2}$$

$$K_8 = \frac{K_6 \cdot K_4}{\log K_2}$$

K_7 e K_8 - constantes particulares de cada conjunto de materiais;

ANEXO 4

Recomendações práticas de laboratório para realização de ensaios e análise de resultados – teste de agregados / aditivos.

ANEXO 4 - Recomendações práticas de laboratório para realização de ensaios e análise de resultados– teste de agregados / aditivos.

A avaliação de aditivos e agregados miúdos para seleção e utilização em uma central normalmente exige uma quantidade excessiva de testes que, quando realizados em concreto, demandam uma considerável quantidade de material, tempo e mão-de-obra. Estes testes têm sido realizados com frequência nos laboratórios das centrais que, apesar do esforço, muitas vezes não conseguem avaliar todos os materiais e combinações disponíveis.

Quando se fala da avaliação de aditivos, poucos são os casos observados em que se avalia a perda de fluidez das misturas ao longo do tempo, mais uma vez, por demandarem muito tempo e mão-de-obra. Sem dúvida, testes são necessários e a perda de fluidez é uma importante propriedade a ser avaliada para os concretos dosados em central (CDC).

Por conta disto e pelas boas correlações observadas entre as propriedades do estado fresco e endurecido de concretos e argamassas confeccionadas com os mesmos materiais, foi desenvolvido pelo GTec-UFSC uma metodologia para avaliação do desempenho de agregados miúdos e aditivos em argamassa, visando principalmente a redução de custos do produto concreto.

Esta metodologia é geralmente utilizada para avaliação comparativa de diferentes tipos e/ou teores de aditivos e também de agregados miúdos distintos e/ou composições deles para emprego em concreto. Vale ressaltar que os resultados de melhor desempenho obtidos em argamassas normalmente precisam de um pequeno ajuste na utilização em concreto, servindo, contudo, como ponto base de partida para os testes em concreto.

Nos estudos em argamassas deve-se sempre levar em consideração as condições de contorno da aplicação do concreto. Onde, para o caso específico do CDC, deve ser levada em consideração a perda de fluidez das misturas tendo em vista que normalmente há um tempo relativamente elevado entre o contato do cimento com a água, na central, e a aplicação do concreto, na obra.

Além da perda de fluidez, outros parâmetros geralmente são avaliados:

- Fluidez (trabalhabilidade);
- Incorporação de ar;
- Tempo de pega;
- Resistência à compressão.

A seguir serão apresentados os métodos e a justificativa de avaliação de cada parâmetro mencionado.

Fluidez:

A fluidez de argamassas geralmente é medida no ensaio de espalhamento realizado na mesa para índice de consistência (NBR 7215:1996) – *Flow Table Test* – Figura A2. Este ensaio consiste na medida de espalhamento (diâmetros) de uma porção de argamassa inicialmente moldada em uma forma tronco-cônica sobre uma mesa de ensaio. A argamassa moldada é forçada a deformar-se mediante quedas padronizadas desta mesa e são medidos dois diâmetros ortogonais da base do tronco de cone de argamassa após a deformação, sendo a média aritmética dessas medidas o chamado índice de consistência, expresso em milímetros. Estas medidas são realizadas com auxílio de um paquímetro.

Nesses estudos, geralmente são determinados os espalhamentos inicial, sem aplicação de quedas na mesa, e com 5 e 10 quedas. São utilizados estes valores de quedas, diferentemente do que recomenda a referida norma, pois as argamassas normalmente possuem fluidez elevada. Em casos de argamassas muito fluidas, esta propriedade pode ainda ser determinada no funil V para argamassas, também utilizado em estudos de concreto auto-adensável.



Figura A2 - Mesa para índice de consistência – *Flow Table Test*

A NBR 7215:1996 prescreve que o molde tronco cônico deve ser preenchido com argamassa em 3 camadas de igual altura adensadas com golpes uniformes e homogeneamente distribuídos do soquete padronizado. A primeira camada deve ser adensada com 15, a segunda com 10 e a terceira com 5 golpes, procedendo-se a rasadura do material ao final do adensamento da última camada.

Depois de preenchido, o molde é içado verticalmente com cuidado e, em seguida, procede-se a medida do espalhamento (Flow 0) – Fi-

gura A3. Aplicam-se 5 quedas em aproximadamente 5 segundos e determina-se o espalhamento gerado (Flow 5). Repete-se a aplicação das quedas e determina-se o novo espalhamento (Flow 10).

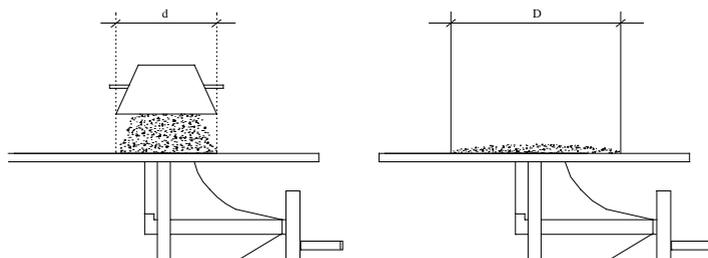


Figura A3 - Determinação do diâmetro do espalhamento (D) na mesa para índice de consistência.

Normalmente, a determinação do Flow 0 de uma argamassa gera uma boa correlação com o abatimento (slump) de uma mistura de concreto quando utilizados os mesmos materiais e a mesma relação água/cimento. No entanto, para argamassas mais secas o espalhamento inicial é muito pequeno (próximo ao diâmetro da base do molde tronco cônico – 125mm) e diferenças entre as misturas podem ser mascaradas pela própria variabilidade do ensaio. Por conta disto, normalmente se utiliza o Flow 10 como parâmetro comparativo. Por outro lado, para argamassas muito fluidas, a aplicação de quedas na mesa dificulta a avaliação das misturas.

Na Figura A4 são apresentados valores de Flow 0, 5 e 10 quedas para diferentes composições de dois agregados miúdos. Este estudo serviu como base para definição da composição ideal entre os agregados miúdos para confecção de concretos.

No estudo apresentado na Figura A4, a melhor composição entre as areias, do ponto vista técnico e econômico, obtida em argamassas, teve que ser alterada para a utilização em concreto por falta de coesão apresentada na mistura. Na ocasião, foi selecionado em argamassa, pelos critérios mencionados, a proporção 25% Areia Natural e 75% de Areia A. Ao final da dosagem em concreto, utilizou-se as proporções de 35% de Areia Natural e 65% de Areia A.

A medida de fluidez inicial, logo após a mistura, tem grande utilização na definição de agregados ou de suas composições. No entanto, esta propriedade por si só pode ser insuficiente para a avaliação do tipo e/ou teor de aditivo a ser utilizado, devendo nesses casos ser investigado

também a perda de fluidez, o tempo de início de pega e também a incorporação de ar e resistência.

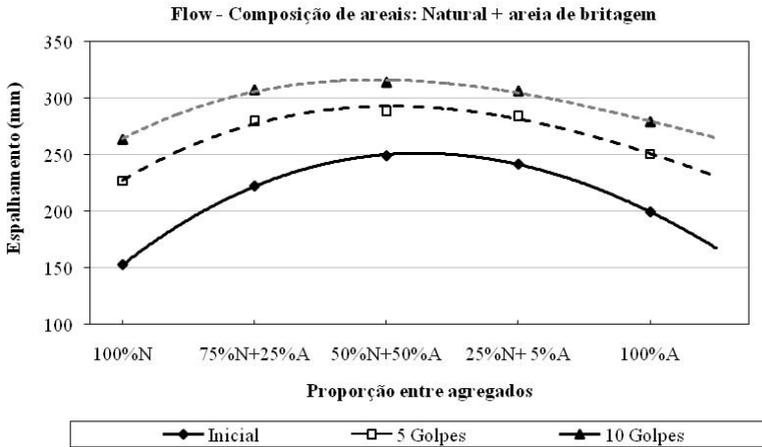


Figura A4 - Estudo comparativo de fluidez para diferentes composições de duas areias [LODI, 2006].

Perda de fluidez:

O monitoramento da fluidez de uma mistura ao longo do tempo tem sido comumente chamado de perda de fluidez. A manutenção da fluidez ao longo do tempo é uma característica importante das misturas, principalmente para aquelas que serão aplicadas algum tempo após o contato do cimento com a água, como é o caso do CDC.

Essa perda de fluidez está relacionada principalmente ao tipo e teor do aditivo redutor de água e do cimento utilizado, bem como a interação entre esses dois materiais. Outros fatores importantes a serem considerados são: a relação água/cimento da mistura, a temperatura do material, a umidade relativa e temperatura ambiente.

Conforme comentado, esta é uma importante propriedade a ser avaliada quando da seleção de aditivos e ou teores a serem utilizados nas misturas de concreto. No entanto, sua avaliação em concreto demanda excessiva quantidade de material e de trabalho. Assim, uma noção de comportamento pode ser obtida realizando-se ensaios em argamassas. Para tal avaliação, utiliza-se, na confecção das argamassas, o mesmo traço empregado em concreto (inclusive relação água/cimento e teor de aditivo) e incorpora-se um pouco mais de agregado miúdo à mistura para que esta não fique com elevada fluidez.

O monitoramento da fluidez de argamassas pode ser feito realizando-se ensaios de espalhamento na mesa para índice de consistência ao longo do tempo. Normalmente o ensaio de fluidez é realizado em intervalos de tempo de 20 ou 30 minutos e num período total de 1 ou 1,5 horas. Neste tipo de estudo, após determinado tempo de perda de fluidez, pode-se avaliar também o comportamento da mistura na redosagem, observando-se principalmente a recuperação da fluidez e sua manutenção ao longo do tempo (Figura A5). As redosagens podem ser feitas com o emprego de aditivos e/ou água suplementar do traço utilizado.

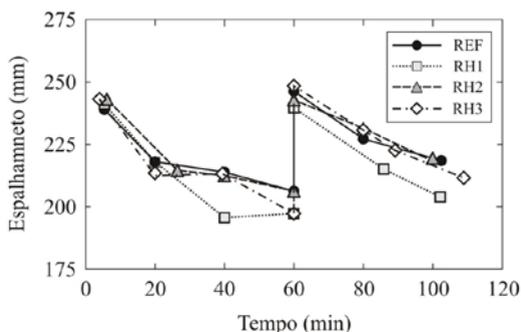


Figura A5 - Espalhamentos iniciais e perda de fluidez ao longo do tempo de argamassas contendo diferentes aditivos. Emprego de aditivos superplastificantes nas redosagens aos 60min.

Teor de ar incorporado

A determinação do teor de ar incorporado à mistura é de suma importância, pois esta propriedade possui relação direta com a resistência à compressão, além de poder influenciar na fluidez da mistura. O teor de ar incorporado deve ser avaliado tanto nos estudos de seleção de aditivos quanto de agregados e suas proporções.

Quanto aos aditivos, uma incompatibilidade com o cimento pode acarretar em elevado teor de ar incorporado. O teor de aditivo utilizado também pode alterar a quantidade de ar incorporado.

Já para os agregados, quando avaliadas composições contendo areia natural e outra de britagem, por exemplo, normalmente a incorporação de ar será tanto maior quanto maior for o teor de areia natural (Figura A6).

O emprego de areias naturais muito finas, de duna ou mesmo de cava, por exemplo, como é o caso da areia do Albardão da região da Grande Florianópolis, pode provocar efeito contrário, reduzindo o teor de ar incorporado dependendo da composição adotada.



Figura A6 - Teor de ar incorporado para diferentes composições de areia natural e areia de britagem [LODI, 2006].

Basicamente existem duas maneiras de determinar o teor de ar incorporado em misturas frescas: a gravimétrica e a pressiométrica. No presente trabalho será apresentada apenas a gravimétrica. Para esse método, determina-se a massa específica da mistura fresca e com base nas massas específicas dos materiais empregados, calcula-se o teor de ar incorporado.

A metodologia aqui apresentada para a determinação da massa específica da mistura fresca tem como base a sugerida pela NBR 13276:2005:

- preencher um recipiente indeformável e de volume constante (V) em 3 camadas de igual volume adensadas com a aplicação de 20 golpes de espátula padronizada;
- ao final do adensamento de cada camada, deixar o recipiente cair por três vezes de uma altura de aproximadamente 3cm, eliminando possíveis vazios deixados pela espátula;
- após as quedas padronizadas da última camada, proceder a retirada do material excedente e nivelar a mistura no recipiente;
- determinar a massa de material contida no recipiente (m).

Para o cálculo do teor de ar incorporado utiliza-se a seguinte expressão (Eq. 31):

$$\%AR = \left(1 - \left(\frac{m/V}{\frac{\text{massa total da mistura}}{\text{volume total da mistura}}} \right) \right) \cdot 100 \quad \text{Eq. 31}$$

Que também pode ser escrita como:

$$\%AR = \left(1 - \left(\frac{\frac{m/V}{1 + a_1 + a_2 + a/c + ad}}{\frac{1}{d_{cim}} + a_1 \cdot \frac{1}{d_{areia\ 1}} + a_2 \cdot \frac{1}{d_{areia\ 2}} + \frac{1}{a/c} + ad \cdot \frac{1}{d_{aditivo}}} \right) \right) \cdot 100 \quad \text{Eq. 31}$$

Onde:

m - massa de material colocada no recipiente;

V - volume do recipiente;

a_1 , a_2 , a/c e ad - proporções de areia 1, areia 2, água e aditivo, respectivamente, no traço (1: a_1 : a_2 : a/c : ad);

d_{cim} , d_{areia1} , d_{areia2} e $d_{aditivo}$ - massas específicas do cimento, areia 1, areia 2 e aditivo, respectivamente.

Vale ressaltar que a fórmula apresentada para o cálculo não contempla o volume de água absorvido pelos grãos, devendo este ser descontado do volume total da mistura caso seja conhecida esta propriedade.

Tempo de pega:

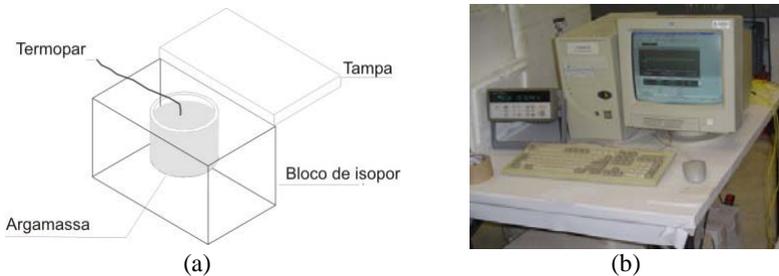
Alguns tipos de aditivos, dependendo da dosagem empregada, podem promover o retardo da pega e do endurecimento do cimento. Por este motivo, a avaliação desta propriedade é de suma importância quando são realizadas comparações de aditivos e/ou teores.

O ensaio normalizado para a determinação do tempo de início de pega do cimento, não aborda o emprego de aditivos. Da mesma maneira, também não há uma metodologia consagrada para avaliação desta propriedade em argamassas. Por outro lado a determinação desta propriedade em concreto, que poderia conter aditivos, também é de difícil determinação uma vez que é necessário o peneiramento do concreto e o monitoramento da sua resistência ao longo do tempo pela utilização das agulhas de Proctor.

No entanto, como o início de pega do cimento se caracteriza pela perda excessiva de fluidez e por uma elevação brusca da temperatura da mistura devido principalmente à hidratação do composto C_3A do cimento, pode-se adotar como medida de avaliação indireta da pega o monitorando a evolução da temperatura de argamassas ao longo do tempo. Convencionou-se como “início de pega comparativo” o ponto onde a geração de calor aumenta abruptamente. É importante destacar que o resultado deste ensaio serve apenas para comparação de resultados de

estudos e não deve ser interpretado como o tempo limite de aplicação do concreto em obra.

Diante disto, em trabalhos realizados pelo GTec-UFSC envolvendo a determinação de tempos de início de pega de misturas, comumente tem-se monitorado a evolução da temperatura ao longo do tempo e correlacionado esta curva de evolução da temperatura com o tempo de início de pega. Nesta metodologia, uma amostra da mistura é colocada em um bloco de isopor (calorímetro semi-adiabático) e dentro deste material é inserido um termopar. Um sistema de aquisição de dados faz a coleta e armazenagem dos dados (Figura A7). É importante que os calorímetros não sejam muito diferentes e que os volumes das amostras de argamassa colocadas dentro de cada calorímetro sejam parecidos.



Resistência:

A avaliação da resistência de argamassas em estudos comparativos serve basicamente para caracterização das misturas. Geralmente, a avaliação da incorporação de ar no estado fresco já fornece uma boa noção de resistência mecânica da mistura. No entanto, em alguns casos de avaliação de diferentes tipos de agregados ou composições, a avaliação desta propriedade também é importante.

Para avaliação da resistência, normalmente são moldados corpos-de-prova cilíndricos de 5x10cm (diâmetro x altura), sendo indicado no mínimo um par de cp's para cada idade avaliada. Na moldagem, o preenchimento da forma deve ser feito em duas camadas, compactadas com a lâmina da espátula com leves golpes para evitar a segregação. Após a moldagem, deixar a superfície da argamassa ligeiramente mais alta do que o topo do molde por aproximadamente 2 horas para depois proceder a rasadura do topo e aplicar uma placa de vidro para evitar evaporação.

Manter o molde em câmara úmida por 24 horas, desformar e colocar em água de cal até a data da ruptura. Antes do ensaio de rompimento, os topos devem ser regularizados com pasta de cimento, pasta de enxofre ou fresados.

ESTUDOS CRUZADOS PARA VERIFICAR AS CAUSAS DO BAIXO DESEMPENHO DE CONCRETOS DOSADOS EM CENTRAL

Conforme mencionado no item 5.3.2.6, quando uma dada central pertencente à uma determinada região de controle apresenta elevado consumo de cimento para atingir um certo valor de f_{ck} , o problema de dosagem pode estar associado a qualidade do aditivo redutor de água e/ou agregado miúdo utilizados.

Visando identificar a origem do problema, é necessário propõe-se a realização de um estudo cruzados do desempenho dos materiais, comparando-os com os utilizados na central de referência.

Nos itens que seguem são apresentados os procedimento recomendados para este fim. Destaca-se que tais procedimentos seguem a proposta apresentada no fluxograma da Figura 62.

Comparação entre aditivos:

Se o aditivo empregado na central em análise for distinto daquele da central de referência, deve-se realizar primeiramente o estudo comparativo do desempenho desses aditivos.

Recomenda-se utilizar inicialmente o traço e as quantidades de material apresentados na Tabela A4. A areia empregada no estudo deverá ser a da central de referência. No caso desta utilizar uma mistura de duas ou mais areias, o agregado miúdo empregado deverá ser também uma mistura destas areias, mantendo-se a mesma proporção em massa.

Caso a areia esteja úmida, deve-se fazer a correção da massa da mesma e também da quantidade de água a ser adicionada. Deve-se primeiramente preparar a mistura de referência e avaliar a consistência inicial. Se o Flow 0 estiver entre 200 e 250 mm, empregando-se toda a água da mistura, a proporção apresentada pode ser mantida. Caso contrário, pode-se ainda realizar testes com relações água/cimento diferentes até que se obtenha a fluidez (Flow 0) dentro da faixa citada para facilitar as futuras comparações.

Tabela A4 – Traço e quantidade dos materiais para estudos comparativos em argamassa

Material	Traço	Massa Seca (g)
Cimento	1,000	600,0
Areia	3,000	1800,0
Água*	0,650	390,0
Aditivo Polifuncional**	0,80%	4,800
H = 16,25%		

* quantidade de água inicial que talvez necessite de ajuste;

** teor de aditivo a ser adotado no caso dos teores adotados pelas centrais em comparação sejam distintos;

Para a produção das argamassas, utilizar misturador mecânico normalizado para ensaios de cimento, que possui duas velocidades de rotação da pá: baixa (140 ± 5)rpm e alta (285 ± 10)rpm; e duas velocidades de rotação do planetário: baixa (62 ± 5)rpm e alta (125 ± 10) rpm.

O procedimento de mistura a ser adotado deve ser o seguinte:

- Colocar na cuba o cimento e 90% da água;
- Misturar em velocidade baixa por 30 segundos;
- Colocar a(s) areia(s), sem paralisar a operação de mistura, em 30 segundos;
- Misturar em velocidade baixa por mais 30 segundos;
- Desligar o misturador por 1 minuto: nos primeiros 30 segundos, retirar com o auxílio de uma espátula, a argamassa aderida às paredes da cuba e à pá e colocar no interior da cuba; no tempo restante, deixar a mistura em repouso, coberta com um pano úmido;
- Colocar o aditivo e ligar o misturador em velocidade baixa, deixando misturar por 1 minuto.
- Determinar o Flow 0_{inicial} .
- Passar a mistura para um recipiente plástico fechado e deixar o material em repouso por 1 hora.
- Remisturar a argamassa até a perfeita homogeneização e determinar novamente a fluidez (Flow 0_{1h}), avaliando-se a perda de consistência.
- Colocar a argamassa novamente na argamassadeira e adicionar o restante da água, determinando novamente a fluidez (Flow 0_{final}).
- Determinar a massa específica da mistura e moldar ao menos 2 corpos-de-prova 5x10cm para avaliação da resistência aos 7 dias.

O aditivo empregado na central em análise será considerado inferior ao da central de referência se o seu Flow O_{final} e resistência à compressão forem inferiores aos da mistura de referência. Se apenas um dos parâmetros for inferior, é necessário um novo estudo comparativo de argamassas onde a quantidade de água a ser adicionada na mistura da central em análise (Etapa 10) será variável até que se obtenha o mesmo Flow O_{final} da mistura de referência. Neste caso, o aditivo empregado na central em análise será considerado inferior ao da central de referência se a sua resistência à compressão for inferior à da mistura de referência.

Deve-se aqui enfatizar que o tempo de início pega das misturas produzidas com os aditivos em análise já foram previamente avaliados e que não comprometem o desempenho dos concretos nas primeiras idades. No caso de desejar-se testar um novo aditivo, juntamente com o procedimento acima descrito, deve-se avaliar o tempo de início de pega. O aditivo em teste será considerado melhor que o da central de referência se, no teor testado, além de cumprir os requisitos descritos no parágrafo anterior, apresentar um tempo de início de pega não superior ao do aditivo da central de referência.

Comparação entre agregados miúdos:

O procedimento para avaliação da composição de agregados é semelhante ao apresentado no item anterior. Deve-se utilizar o mesmo procedimento de mistura e devem ser realizados os mesmos ensaios. O aditivo (tipo e teor) devem ser os utilizados na central de referência.

Neste caso específico, para diminuir o tempo do estudo, não é necessário avaliar-se a perda de fluidez, ou seja, na etapa 1 deve-se adicionar toda a água da mistura. Os parâmetros de comparação serão o Flow_{0-inicial}, teor de ar incorporado (não se pode comparar diretamente as massas específicas das argamassas pois a massa específica dos agregados miúdos das duas misturas podem ser distintas) e resistência à compressão aos 7 dias. Será considerado que o agregado miúdo da central em análise é inferior ao da central de referência se o Flow_{0-inicial} de sua mistura e/ou sua resistência à compressão a 7 dias for inferior ao da mistura de referência. Se isto acontecer, segundo o fluxograma da Figura 64, é necessário que se realize novos estudos com agregados miúdos da região próxima a da central em análise até que se encontre um agregado (após um máximo de 4 tentativas), ou uma composição de desempenho melhor que a da central de referência ou, pelo menos, melhor que a atualmente utilizada.

No caso de optar-se por combinação de 2 agregados (uma areia de britagem e uma areia natural, por exemplo), deve-se inicialmente determinar a composição ideal entre elas.

Para a avaliação da composição ideal para utilização em concreto, deve-se partir de 100% de uma das areias- geralmente a mais barata (areia 1 - pesar materiais conforme Tabela A4) e estudar substituições em volume de 25%, 50%, 75% e 100% por outra areia (areia 2). As proporções de cada uma das areias devem ser calculadas conforme a seguir (Eq. 32 e Eq. 33):

$$\text{Areia 1:} \quad m_{\text{areia 1}}(\text{g}) = \frac{1800 \cdot \text{Teor}_{\text{areia 1}}}{100} \quad \text{Eq. 32}$$

$$\text{Areia 2:} \quad m_{\text{areia 2}}(\text{g}) = \frac{1800 \cdot (100 - \text{Teor}_{\text{areia 1}})}{100} \cdot \frac{d_{\text{areia 2}}}{d_{\text{areia 1}}} \quad \text{Eq. 33}$$

Onde:

$\text{teor}_{\text{areia 1}}$ - é a proporção de areia 1 em volume;

$d_{\text{areia 1}}$ e $d_{\text{areia 2}}$ - são as massas específicas da areia 1 e areia 2, respectivamente.

Com os valores de espalhamento (Flow) e ar incorporado obtidos nos ensaios, construir curvas conforme as apresentadas na Figura A4 e Figura A6. Pode-se ainda testar intervalos de proporções menores (intervalos de 10%, por exemplo) nos pontos próximos ao ótimo, refinando assim o estudo. Não se pode afirmar diretamente que a melhor composição é aquela que apresentar a maior fluidez, principalmente se o módulo de finura desta composição for elevado. Estudos anteriores realizados pelo GTec mostram que existe uma boa relação entre o consumo de cimento dos concretos para uma dada resistência quando se fixa o tipo de agregado graúdo da mistura e otimiza-se o teor de argamassa no concreto (Figura A8). Será então considerada a melhor mistura aquela que proporcionar a maior relação $\text{Flow}_{0\text{-inicial}}/\text{Módulo de finura}$. Cabe destacar que o critério custo da solução deve ser levado em consideração.

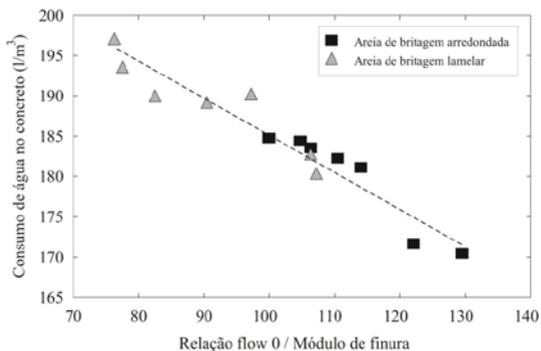


Figura A8 - Variação do consumo de água do concreto (litros/m³) em função da relação Flow 0, obtido nos ensaios em argamassas, sobre módulo de finura do agregado miúdo total para materiais e relação água/cimento semelhantes. Argamassa com teor de pasta de 46,1%, em volume [WEIDMANN, 2008].

Na Tabela A5 são apresentados os resultados obtidos para um estudo de composição de agregados levando em consideração os critérios de escolha apresentados anteriormente.

Tabela A5 – Módulo de finura composição.

Composição de Agregados	MF _{COMPOSIÇÃO}	Flow ₀ (mm)	Flow ₀ / MF
100%Natural	1,94	152,5	78,42
75%Natural+25%Artificial	2,29	222,5	97,05
50%Natural + 50%artificial	2,64	249,5	94,49
25%Natural + 75%Artificial	2,99	242,0	80,98
100%Artificial	3,34	199,5	59,79

ANEXO 5**Análise 1 - Resultados da aplicação da metodologia proposta para a central CTB.**

ANEXO 5 - Análise 1 - Resultados da aplicação da metodologia proposta para a central CTB.

No presente anexo constam os dados obtidos da base de dados da central CTB. Além destes, são apresentados partes dos resultados da aplicação da metodologia proposta.

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB.

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra	f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
15	16,9	13	L	20	22,5	20	G
15	18,2	13	L	20	25,1	20	G
15	16,6	5	L	20	24,8	20	W
15	17,1	5	L	20	24,8	20	W
15	17,5	5	A	20	28	10	X
15	18,6	5	A	20	26,9	10	X
15	23,3	7	L	20	25,3	18	W
15	21,6	7	L	20	25,7	18	W
15	20,6	15	L	20	26,8	6	X
15	21,6	15	L	20	27,3	6	X
15	19,2	2	L	20	26,7	2	W
15	20,3	2	L	20	26,9	2	W
15	20,7	6	L	20	23,3	11	X
15	22,9	13	L	20	27,3	11	X
15	25,3	13	L	20	28,7	10	W
15	18,2	10	L	20	28,5	10	W
15	17,6	10	L	20	28	6	X
15	23,3	18	L	20	24,3	6	X
15	21,8	7	L	20	24,9	1	W
15	22,8	7	L	20	25	1	W
15	19,9	23	L	20	28	2	X
15	20,3	23	L	20	27,4	2	X
15	18,5	19	L	20	23,8	9	W
15	19,2	19	L	20	25,5	9	W
15	19,8	1	L	20	27,5	15	X
15	20,1	1	L	20	26,9	15	X
15	17,9	17	L	20	26,8	21	W
15	17,2	17	L	20	26,4	21	W
15	26	9	L	20	31,1	18	X
15	26,4	9	L	20	28,1	18	X

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
15	16	8	L		20	27,2	18	I
15	13,9	8	L		20	28,8	18	I
15	15	10	L		20	26,4	1	G
15	15,6	10	L		20	24,5	1	G
15	20,7	22	L		20	26,2	15	I
15	18,7	22	L		20	27,6	12	G
15	17,8	11	L		20	25,8	20	I
15	18,8	11	L		20	25,5	20	I
15	17,3	23	L		20	22,4	14	G
15	17,7	23	L		20	26,5	14	G
15	16,5	17	L		20	26,3	2	G
15	14,7	17	L		20	27,1	2	G
15	15,5	21	L		20	24,2	7	I
15	17,7	21	L		20	23,1	7	I
15	17,6	5	L		20	26,9	1	G
15	18,1	5	L		20	27,3	1	G
15	18,4	19	L		20	23,7	23	I
15	17,7	19	L		20	22,5	23	I
15	19	12	L		20	24,3	12	I
15	18,6	12	L		20	24,8	12	I
15	17,5	18	L		20	28,4	15	D
15	16,3	18	L		20	27,4	15	D
15	15,7	20	L		20	22,9	4	D
15	16,6	20	L		20	25,7	4	D
15	16,7	18	L		20	25,6	8	T
15	16,8	18	L		20	24,8	8	T
15	19,1	22	L		20	24,1	19	T
15	20,5	22	L		20	23,6	19	T
15	19,5	16	L		20	22,9	11	T
15	18,5	16	L		20	24,9	11	T
15	19,4	2	L		20	24,3	12	T
15	19,3	2	L		20	25	12	T
15	19,9	10	L		20	21,5	16	V
15	57,6	4	L		20	21,1	16	V
15	57,3	4	L		20	24,2	9	V
15	16,5	16	L		20	22,9	9	V

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
15	15,9	16	L		20	25	5	G
15	16,5	6	L		20	25,1	5	G
15	16,5	6	L		20	25,2	1	G
15	19,1	6	L		20	24	1	G
15	19	6	L		20	24,4	6	E
15	16,6	17	L		20	23,5	6	E
15	16,2	17	L		20	23	18	G
15	14,8	20	L		20	25	18	G
15	17,9	20	L		20	23,3	23	E
15	15	9	L		20	23,4	23	E
15	15,6	9	L		20	23,9	10	G
15	28,9	5	L		20	23,7	10	G
15	28,2	5	L		20	20,2	7	G
15	19,3	4	L		20	23,2	7	G
15	17,9	4	L		20	22	11	G
15	18,4	9	L		20	21,5	11	G
15	18,4	9	L		20	23,3	13	G
15	21,8	22	L		20	21,8	13	G
15	21,9	22	L		20	22,8	1	G
15	15,7	16	L		20	21,4	1	G
15	16,5	16	L		20	21,4	18	G
15	16,9	10	L		20	23,3	18	G
15	18,2	20	L		20	22	23	E
15	18,8	20	L		20	22,7	23	E
15	19,1	1	L		20	23,7	10	E
15	19,7	1	L		20	24,2	10	E
15	17,6	19	L		20	23,2	20	G
15	19	19	L		20	23,2	20	G
15	19,1	23	L		20	23,2	15	G
15	17,4	12	L		20	23	15	G
15	18,1	12	L		20	21,6	13	G
15	15	21	L		20	23,4	13	G
15	15,5	21	L		20	24,5	9	G
15	18	9	L		20	25,3	9	G
15	17,5	9	L		20	21,9	12	G
15	23,1	13	L		20	23,1	12	G

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
15	21,7	13	L		20	24,4	2	G
15	16,1	7	L		20	24,2	2	G
15	15,4	7	L		20	26,5	23	G
15	15,4	21	L		20	24,6	23	G
15	17	21	L		20	26,7	19	G
15	15,2	6	L		20	24,3	19	G
15	16,7	6	L		20	24,7	2	S
15	13,8	1	L		20	23,5	2	S
15	15,3	1	L		20	26,4	13	Q
15	14	21	L		20	24,4	13	Q
15	14	21	L		20	23,3	4	S
15	17,5	21	L		20	24	4	S
15	15,1	21	L		20	24	6	Q
15	15,6	11	L		20	26,1	6	Q
15	15,6	11	L		20	25,2	1	S
15	15,6	8	L		20	27	1	S
15	16,8	8	L		20	38,4	7	S
15	15,3	18	L		20	37,8	7	S
15	15,3	18	L		20	21,4	9	T
15	18	20	L		20	22	9	T
15	17	20	L		20	26,8	5	C1
15	16,8	13	L		20	25,7	5	C1
15	15,8	13	L		20	28,9	1	C1
15	16,6	13	L		20	29	1	C1
15	16,3	13	L		20	23,7	23	C1
15	16,1	23	C		20	22,9	23	C1
15	16	23	C		20	26,9	6	P
15	17,2	20	C		20	29,3	6	P
15	18,1	20	C		25	22,1	21	B1
15	17,6	18	C		25	21,5	21	B1
15	14,9	18	C		25	29,1	19	G
15	16,7	6	C		25	29,4	19	G
15	15,4	6	C		25	34,4	7	G
15	17,3	19	L		25	33,7	7	G
15	17,2	19	L		25	29,9	11	G

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra	f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
20	21,3	20	J	25	29,3	11	G
20	21,7	20	J	25	34,1	1	G
20	24,3	15	J	25	34,9	1	G
20	26,2	15	J	25	33,5	13	G
20	22,8	10	W	25	31,4	13	G
20	24,5	10	W	25	32,6	1	G
20	20,3	20	X	25	36,2	1	G
20	19,5	20	X	25	31,7	14	G
20	21,8	23	W	25	33,4	14	G
20	23,8	23	W	25	35,1	8	G
20	25,7	9	W	25	34,1	8	G
20	24,5	4	X	25	30,6	20	G
20	21,9	23	X	25	31	20	G
20	22,4	23	X	25	33,8	10	G
20	23,2	7	W	25	32,7	10	G
20	24,4	7	W	25	27,4	2	G
20	24,2	23	W	25	28,3	2	G
20	24,5	23	W	25	30,6	1	G
20	22	21	W	25	30,4	1	G
20	24,5	21	W	25	30,6	10	G
20	25,3	5	Z	25	28,6	10	G
20	24	5	Z	25	28,3	22	G
20	25,3	20	Z	25	29,7	22	G
20	25,3	20	Z	25	33,2	8	G
20	21,1	11	Z	25	31,8	8	G
20	16,9	11	Z	25	25,5	19	G
20	23,7	23	Z	25	27,2	19	G
20	26,3	23	Z	25	36	5	G
20	22	14	Z	25	31,5	5	G
20	22,2	14	Z	25	18,6	14	G
20	17	13	C	25	32,2	14	G
20	16,1	13	C	25	26,3	18	G
20	18,9	19	C	25	27,7	18	G
20	19,4	19	C	25	28,2	23	G
20	19,3	19	C	25	27,3	23	G
20	19	13	C	25	31,1	5	G

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
20	18,1	13	C		25	27,1	23	G
20	18	14	C		25	27,7	23	G
20	18,8	14	C		25	26,9	11	G
20	26,9	1	M		25	26,3	11	G
20	26	1	M		25	28	18	B
20	21,2	23	C		25	26,2	18	B
20	21	23	C		25	33	12	B
20	19,4	18	C		25	30,8	12	B
20	19,6	18	C		25	35,4	20	B
20	22,1	13	C		25	33,6	20	B
20	20,9	13	C		25	35	14	G
20	23,7	19	C		25	34,9	14	G
20	23,8	19	C		25	30,2	23	G
20	22	14	C		25	29,6	23	G
20	21	14	C		25	34,1	9	G
20	21	8	C		25	32,9	9	G
20	19,9	8	C		25	25,5	13	G
20	18	13	X		25	27,2	13	G
20	18,9	13	X		25	33,2	7	G
20	20,9	11	C		25	32,7	7	G
20	21,4	11	C		25	25,7	17	G
20	21	21	W		25	27,6	17	G
20	20,8	21	W		25	32,5	6	G
20	21	14	W		25	33,7	6	G
20	21,2	14	W		25	32	7	G
20	21,1	1	W		25	30,6	7	G
20	22	1	W		25	27,8	13	G
20	21	7	W		25	28,1	13	G
20	18,9	7	W		25	31,2	10	O
20	20	18	W		25	33,3	10	O
20	20,4	18	W		25	26,3	11	O
20	23,8	21	W		25	25,9	11	O
20	25,2	21	W		25	27,3	7	O
20	25	13	W		25	27,1	7	O
20	25,2	13	W		25	25,2	6	O
20	23,9	7	W		25	25,1	6	O

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
20	24,7	7	W		25	26,9	13	O
20	22	23	G		25	27,1	13	O
20	24,1	23	G		25	24,1	10	O
20	22,3	2	U		25	26	10	O
20	22,6	2	U		25	30,7	15	F
20	19,3	14	U		25	29,6	15	F
20	11,7	14	U		25	30,4	1	G
20	23,5	5	J		25	29,7	1	G
20	23,5	5	J		25	32,8	9	G
20	24,3	5	W		25	29,7	9	G
20	23,7	5	W		25	27,7	20	G
20	25	11	W		25	28,5	20	G
20	22,3	11	W		25	30,5	5	G
20	23,8	5	C		25	26,5	5	G
20	21,9	5	C		25	31	20	G
20	19,9	12	W		25	30,6	20	G
20	21,8	12	W		25	32,8	10	G
20	21,2	23	C		25	33,7	10	G
20	22,2	23	C		25	32,2	18	B
20	20	19	X		25	34,9	18	B
20	22,1	19	X		25	33	5	G
20	20,7	10	G		25	31,9	5	G
20	20	10	G		25	35,5	12	G
20	23	5	G		25	36,4	12	G
20	22,3	5	G		25	31	10	B
20	22,9	13	X		25	31,8	10	B
20	20,1	13	X		25	30	8	G
20	23,2	2	W		25	32,1	8	G
20	21,2	2	W		25	35,7	18	G
20	20,7	19	X		25	26,5	18	G
20	21,8	19	X		25	30,7	11	G
20	21,5	18	G		25	27,8	11	G
20	25,3	18	G		25	29,4	15	F
20	21,6	22	X		25	31,6	15	F
20	23	22	X		25	31,1	12	G
20	23,1	18	G		25	32,6	12	G
20	23,7	18	G		25	31,9	4	G

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
20	22,6	23	I		25	31,7	4	G
20	25,1	23	I		25	28,6	17	G
20	24,2	1	I		25	28,1	17	G
20	25,2	1	I		25	30,9	20	G
20	26,6	18	I		25	32,6	20	G
20	30,5	18	I		25	32,6	10	G
20	22,8	5	I		25	33,2	10	G
20	22,9	5	I		25	36,4	11	K
20	21,7	23	I		25	34,5	11	K
20	20,9	23	I		25	34,8	18	K
20	44,1	1	I		25	35,3	18	K
20	50,4	1	I		25	34,2	2	K
20	22,9	2	J		25	34,9	2	K
20	23,7	18	J		25	32,5	12	K
20	22,8	18	J		25	31,9	12	K
20	19,4	21	J		25	32,1	13	K
20	21,7	21	J		25	32,4	13	K
20	25,2	5	G		25	34,3	8	G
20	25,3	5	G		25	33,3	8	G
20	26,6	19	G		25	33,7	6	G
20	25,9	19	G		25	31	6	G
20	24,9	23	G		25	32,1	23	G
20	24,8	23	G		25	31,2	23	G
20	23,2	13	G		25	29,2	20	Z
20	23,7	13	G		25	28,6	20	Z
20	26,6	18	G		25	31,8	13	Z
20	28,2	18	G		25	32,3	13	Z
20	20,1	23	G		25	30	23	Z
20	21,9	23	G		25	19	23	Z
20	24	13	G		25	31,3	6	F
20	21,9	13	G		25	29,1	6	F
20	22,5	15	G		25	31,3	7	F
20	21,6	15	G		25	33,2	7	F
20	23,2	1	G		25	32,1	23	F
20	25,9	1	G		25	31,3	23	F
20	21,4	23	G		25	31,2	14	N
20	20,7	23	G		25	37,2	14	N
20	27,9	20	G		25	25,1	12	N

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
20	24,6	20	G		25	25,2	12	N
20	25,2	18	G		25	30,8	10	N
20	27,6	18	G		25	30,9	10	N
20	22,7	11	G		30	34,4	15	H
20	24	11	G		30	40,1	15	H
20	25,8	5	G		30	29,6	18	H
20	24,8	5	G		30	31,3	18	H
20	24,6	23	G		30	30,3	18	H
20	23,2	23	G		30	30,6	18	H
20	26,3	12	G		30	39,5	15	T
20	24,3	12	G		30	41,9	15	T
20	25,5	20	C		30	41,2	11	T
20	28,5	20	C		30	44,4	11	T
20	21,9	11	C		30	36,8	21	T
20	24,2	11	C		30	36,3	21	T
20	24,1	18	C		30	44,6	12	T
20	25,6	18	C		30	42,5	12	T
20	27,2	10	G		30	44,4	10	T
20	26,3	10	G		30	39,4	10	T
20	25,8	1	G		30	38,1	10	T
20	28,1	1	G		30	33,3	17	H
20	26,4	18	G		30	38,1	17	H
20	22,5	8	G		30	37,5	9	H
20	25,6	1	G		30	38	9	H
20	24,8	1	G		30	32	8	T
20	23,4	5	G		30	30,1	8	T
20	23,1	5	G		30	37,3	19	T
20	25,3	23	G		30	33,4	19	T
20	22,9	23	G		30	36,8	10	T
20	28,6	19	W		30	35,1	10	T
20	26,5	19	W		30	34,7	23	T
20	26,5	12	W		30	34,6	23	T
20	27,5	12	W		30	42,2	14	T
20	27,3	5	W		30	41,7	14	T
20	25,2	5	W		30	36,1	23	T
20	24,1	19	W		30	34,8	23	T
20	26,2	13	W		30	32,5	9	T
20	26,1	13	W		30	36,3	9	T

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
20	23,6	11	W		30	36,2	7	T
20	23,3	11	W		30	36,2	7	T
20	23	13	W		30	32,2	12	T
20	23,5	13	W		30	31,9	12	T
20	23,7	14	L		30	32,3	20	T
20	24,6	6	W		30	31,8	20	T
20	23,5	6	W		30	34,4	7	T
20	25,2	10	Y		30	35,9	7	T
20	27,5	10	Y		30	33,1	19	T
20	30,6	15	Y		30	33,2	19	T
20	28,2	15	Y		30	31,3	23	T
20	28,2	9	Y		30	33,1	23	T
20	27,9	9	Y		30	37,9	5	R
20	22,3	21	L		30	38,2	5	R
20	24,1	14	I		30	40,8	6	T
20	28,4	1	I		30	41,4	6	T
20	28,3	1	I		30	41,9	2	T
20	24,1	20	I		30	40,7	2	T
20	21,2	1	G		30	40	3	T
20	21,2	1	G		30	40,6	3	T
20	24,4	12	G		30	34,9	8	T
20	23,2	12	G		30	35	8	T
20	25,2	11	G		30	35,5	9	T
20	23,3	11	G		30	37,2	9	T
20	26	15	G		30	38,6	18	H
20	25	15	G		30	41,7	18	H
20	22,3	14	G		30	44,3	18	H
20	21,4	14	G		30	41,6	18	H
20	21,9	7	G		30	39,1	10	H
20	22,7	7	G		30	43,8	10	H
20	28,7	20	G		30	39,5	16	H
20	24	20	G		30	38,6	16	H
20	22,1	21	AI		30	42,3	15	H
20	23,7	11	G		30	42,7	15	H
20	22,2	11	G		30	40,4	10	H
20	27,4	2	G		30	41,5	10	H
20	25,7	2	G		30	38,2	23	H
20	25,4	12	G		30	41,3	23	H

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
20	25,7	12	G		30	37,1	19	H
20	22,8	13	G		30	39,9	19	H
20	22,7	13	G		30	39,1	5	T
20	28,5	10	G		30	37,6	5	T
20	29	10	G		30	39,7	10	T
20	24,3	11	G		30	40,7	10	T
20	24,4	11	G		30	42,1	18	T
20	22,4	6	G		30	40,7	18	T
20	22	6	G		30	41,1	2	T
20	25,6	23	G		30	39	2	T
20	25,9	23	G		30	35,6	21	H
20	26,3	18	G		30	37	21	H
20	26,4	18	G		30	32,2	23	T
20	25,6	22	G		30	32,2	23	T
20	26,7	22	G		30	35,5	12	T
20	26,5	19	G		30	34,4	12	T
20	26,7	19	G		30	41,6	2	T
20	22,1	11	I		30	40,3	2	T
20	23,1	11	I		30	35,7	23	T
20	21,4	11	I		30	37,5	23	T
20	20,5	11	I		30	36,7	2	H
20	24,5	6	G		30	35,3	2	H
20	24,5	6	G		30	38,1	22	H
20	24,4	12	G		30	39,5	22	H
20	23,1	12	G		30	36,2	10	H
20	24,5	5	G		30	34,7	10	H
20	24	5	G		30	35,8	18	H
20	24,5	10	G		30	36,2	18	H
20	24,1	10	G		30	38,7	19	H
20	26,7	18	G		30	39,5	19	H
20	25,2	18	G		30	37,2	2	T
20	23,5	20	G		30	37,8	2	T
20	23,6	20	G		30	39,6	11	T
20	22,7	23	L		30	38,3	11	T
20	22,2	23	L		30	40,8	10	T
20	23,1	11	C		30	39,9	10	T
20	23,1	11	C		30	39,8	20	T
20	22,7	23	C		30	40,6	20	T

Tabela A6 – Matriz Inicial de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
20	23,7	15	C		30	42,8	7	T
20	25,6	15	C		30	43	7	T
20	25,3	21	C		30	37,8	6	T
20	26	21	C		30	39,8	6	T
20	27,4	22	C		30	39,8	1	L
20	26,6	22	C		30	38,2	1	L
20	27,9	10	G		30	37,4	18	L
20	28	10	G		30	40	18	L
20	25,9	14	G		30	40	15	L
20	27,6	14	G		30	37,7	15	L
20	24,7	6	G		30	36,8	19	L
20	24	6	G		30	37	19	L
20	25,3	23	G		30	37,7	4	L
20	24,8	23	G		30	32,9	4	L
20	26,2	15	G		30	33,7	14	L
20	26	15	G		30	31,3	14	L
20	23,5	11	G		30	36	15	L
20	22,1	11	G		30	34,7	15	L
20	25,3	6	G		30	38,9	21	L
20	24	6	G		30	34,2	21	L
20	27,5	1	G		30	34,1	22	L
20	29,9	1	G		30	35,0	22	L

É importante observar que os resultados destacados na Tabela A6 com sombreamento cinza na dizem respeito aos resultados de corpos-de-prova isolados, ou ainda, à grupos de três corpos-de-prova.

Tabela A7 – Matriz base de dados para a central CTB.

f_{ck} (Mpa)	$f_{cjPOT.}$ (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra	f_{ck} (Mpa)	$f_{cjPOT.}$ (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
15	18,2	7,1%	13	L	20	24,7	2,8%	6	G
15	17,1	2,9%	5	L	20	25,3	2,0%	23	G
15	18,6	5,9%	5	A	20	26,2	0,8%	15	G
15	23,3	7,3%	7	L	20	23,5	6,0%	11	G
15	21,6	4,6%	15	L	20	25,3	5,1%	6	G
15	20,3	5,4%	2	L	20	29,9	8,0%	1	G
15	20,7	-	6	L	20	25,1	10,4%	20	G
15	25,3	9,5%	13	L	20	24,8	0,0%	20	W
15	18,2	3,3%	10	L	20	28	3,9%	10	X
15	23,3	-	18	L	20	25,7	1,6%	18	W
15	22,8	4,4%	7	L	20	27,3	1,8%	6	X
15	20,3	2,0%	23	L	20	26,9	0,7%	2	W
15	19,2	3,6%	19	L	20	27,3	14,7%	11	X
15	20,1	1,5%	1	L	20	28,7	0,7%	10	W
15	17,9	3,9%	17	L	20	28	13,2%	6	X
15	26,4	1,5%	9	L	20	25	0,4%	1	W
15	16	13,1%	8	L	20	28	2,1%	2	X
15	15,6	3,8%	10	L	20	25,5	6,7%	9	W
15	20,7	9,7%	22	L	20	27,5	2,2%	15	X
15	18,8	5,3%	11	L	20	26,8	1,5%	21	W
15	17,7	2,3%	23	L	20	28,8	5,6%	18	I
15	16,5	10,9%	17	L	20	26,4	7,2%	1	G
15	17,7	12,4%	21	L	20	26,2	-	15	I
15	18,1	2,8%	5	L	20	27,6	-	12	G
15	18,4	3,8%	19	L	20	25,8	1,2%	20	I
15	19	2,1%	12	L	20	26,5	15,5%	14	G
15	17,5	6,9%	18	L	20	27,1	3,0%	2	G
15	16,6	5,4%	20	L	20	24,2	4,5%	7	I
15	16,8	0,6%	18	L	20	27,3	1,5%	1	G
15	20,5	6,8%	22	L	20	23,7	5,1%	23	I

Tabela A7 – Matriz base de dados para a central CTB (*continuação*).

f_{ck} (Mpa)	$f_{cjPOT.}$ (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra		f_{ck} (Mpa)	$f_{cjPOT.}$ (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
15	19,5	5,1%	16	L		20	24,8	2,0%	12	I
15	19,4	0,5%	2	L		20	28,4	3,5%	15	D
15	19,9	-	10	L		20	25,7	10,9%	4	D
15	16,5	3,6%	16	L		20	25,6	3,1%	8	T
15	16,5	0,0%	6	L		20	24,1	2,1%	19	T
15	19,1	0,5%	6	L		20	24,9	8,0%	11	T
15	16,6	2,4%	17	L		20	25	2,8%	12	T
15	17,9	17,3%	20	L		20	21,5	1,9%	16	V
15	15,6	3,8%	9	L		20	24,2	5,4%	9	V
15	19,3	7,3%	4	L		20	25,1	0,4%	5	G
15	18,4	0,0%	9	L		20	25,2	4,8%	1	G
15	21,9	0,5%	22	L		20	24,4	3,7%	6	E
15	16,5	4,8%	16	L		20	25	8,0%	18	G
15	16,9	-	10	L		20	23,4	0,4%	23	E
15	18,8	3,2%	20	L		20	23,9	0,8%	10	G
15	19,7	3,0%	1	L		20	23,2	12,9%	7	G
15	19	7,4%	19	L		20	22	2,3%	11	G
15	19,1	-	23	L		20	23,3	6,4%	13	G
15	18,1	3,9%	12	L		20	22,8	6,1%	1	G
15	15,5	3,2%	21	L		20	23,3	8,2%	18	G
15	18	2,8%	9	L		20	22,7	3,1%	23	E
15	23,1	6,1%	13	L		20	24,2	2,1%	10	E
15	16,1	4,3%	7	L		20	23,2	0,0%	20	G
15	17	9,4%	21	L		20	23,2	0,9%	15	G
15	16,7	9,0%	6	L		20	23,4	7,7%	13	G
15	15,3	9,8%	1	L		20	25,3	3,2%	9	G
15	14	0,0%	21	L		20	23,1	5,2%	12	G
15	17,5	13,7%	21	L		20	24,4	0,8%	2	G
15	15,6	0,0%	11	L		20	26,5	7,2%	23	G
15	16,8	7,1%	8	L		20	26,7	9,0%	19	G
15	15,3	0,0%	18	L		20	24,7	4,9%	2	S
15	18	5,6%	20	L		20	26,4	7,6%	13	Q
15	16,8	6,0%	13	L		20	24	2,9%	4	S
15	16,6	1,8%	13	L		20	26,1	8,0%	6	Q
15	16,1	0,6%	23	C		20	27	6,7%	1	S

Tabela A7 – Matriz base de dados para a central CTB (*continuação*).

f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra	f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
15	18,1	5,0%	20	C	20	22	2,7%	9	T
15	17,6	15,3%	18	C	20	26,8	4,1%	5	C1
15	16,7	7,8%	6	C	20	29	0,3%	1	C1
15	17,3	0,6%	19	L	20	23,7	3,4%	23	C1
15	21,7	1,8%	20	J	20	29,3	8,2%	6	P
15	26,2	7,3%	15	J	25	29,4	1,0%	19	G
15	24,5	6,9%	10	W	25	34,4	2,0%	7	G
15	20,3	3,9%	20	X	25	29,9	2,0%	11	G
15	23,8	8,4%	23	W	25	34,9	2,3%	1	G
20	25,7	-	9	W	25	33,5	6,3%	13	G
20	24,5	-	4	X	25	36,2	9,9%	1	G
20	22,4	2,2%	23	X	25	33,4	5,1%	14	G
20	24,4	4,9%	7	W	25	35,1	2,8%	8	G
20	24,5	1,2%	23	W	25	31	1,3%	20	G
20	24,5	10,2%	21	W	25	33,8	3,3%	10	G
20	25,3	5,1%	5	Z	25	28,3	3,2%	2	G
20	25,3	0,0%	20	Z	25	30,6	0,7%	1	G
20	21,1	19,9%	11	Z	25	30,6	6,5%	10	G
20	26,3	9,9%	23	Z	25	29,7	4,7%	22	G
20	22,2	0,9%	14	Z	25	33,2	4,2%	8	G
20	26,9	3,3%	1	M	25	27,2	6,3%	19	G
20	21,2	0,9%	23	C	25	36	12,5%	5	G
20	19,6	1,0%	18	C	25	32,2	42,2%	14	G
20	22,1	5,4%	13	C	25	27,7	5,1%	18	G
20	23,8	0,4%	19	C	25	28,2	3,2%	23	G
20	22	4,5%	14	C	25	31,1	-	5	G
20	21	5,2%	8	C	25	27,7	2,2%	23	G
20	21,4	2,3%	11	C	25	26,9	2,2%	11	G
20	21	1,0%	21	W	25	28	6,4%	18	B
20	21,2	0,9%	14	W	25	33	6,7%	12	B
20	22	4,1%	1	W	25	35,4	5,1%	20	B
20	21	10,0%	7	W	25	35	0,3%	14	G
20	20,4	2,0%	18	W	25	30,2	2,0%	23	G

Tabela A7 – Matriz base de dados para a central CTB (continuação).

f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra	f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
20	25,2	5,6%	21	W	25	34,1	3,5%	9	G
20	25,2	0,8%	13	W	25	27,2	6,3%	13	G
20	24,7	3,2%	7	W	25	33,2	1,5%	7	G
20	24,1	8,7%	23	G	25	27,6	6,9%	17	G
20	22,6	1,3%	2	U	25	33,7	3,6%	6	G
20	23,5	0,0%	5	J	25	32	4,4%	7	G
20	24,3	2,5%	5	W	25	28,1	1,1%	13	G
20	25	10,8%	11	W	25	33,3	6,3%	10	O
20	23,8	8,0%	5	C	25	26,3	1,5%	11	O
20	21,8	8,7%	12	W	25	27,3	0,7%	7	O
20	22,2	4,5%	23	C	25	27,1	0,7%	13	O
20	22,1	9,5%	19	X	25	30,7	3,6%	15	F
20	20,7	3,4%	10	G	25	30,4	2,3%	1	G
20	23	3,0%	5	G	25	32,8	9,5%	9	G
20	22,9	12,2%	13	X	25	28,5	2,8%	20	G
20	23,2	8,6%	2	W	25	30,5	13,1%	5	G
20	21,8	5,0%	19	X	25	31	1,3%	20	G
20	25,3	15,0%	18	G	25	33,7	2,7%	10	G
20	23	6,1%	22	X	25	34,9	7,7%	18	B
20	23,7	2,5%	18	G	25	33	3,3%	5	G
20	25,1	10,0%	23	I	25	36,4	2,5%	12	G
20	25,2	4,0%	1	I	25	31,8	2,5%	10	B
20	22,9	0,4%	5	I	25	32,1	6,5%	8	G
20	21,7	3,7%	23	I	25	35,7	25,8%	18	G
20	22,9	-	2	J	25	30,7	9,4%	11	G
20	23,7	3,8%	18	J	25	31,6	7,0%	15	F
20	21,7	10,6%	21	J	25	32,6	4,6%	12	G
20	25,3	0,4%	5	G	25	31,9	0,6%	4	G
20	26,6	2,6%	19	G	25	28,6	1,7%	17	G
20	24,9	0,4%	23	G	25	32,6	5,2%	20	G
20	23,7	2,1%	13	G	25	33,2	1,8%	10	G
20	28,2	5,7%	18	G	25	36,4	5,2%	11	K
20	21,9	8,2%	23	G	25	35,3	1,4%	18	K

Tabela A7 – Matriz base de dados para a central CTB (*continuação*).

f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra	f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
20	24	8,8%	13	G	25	34,9	2,0%	2	K
20	22,5	4,0%	15	G	25	32,5	1,8%	12	K
20	25,9	10,4%	1	G	25	32,4	0,9%	13	K
20	21,4	3,3%	23	G	25	34,3	2,9%	8	G
20	27,9	11,8%	20	G	25	33,7	8,0%	6	G
20	27,6	8,7%	18	G	25	32,1	2,8%	23	G
20	24	5,4%	11	G	25	29,2	2,1%	20	Z
20	25,8	3,9%	5	G	25	32,3	1,5%	13	Z
20	24,6	5,7%	23	G	25	30	36,7%	23	Z
20	26,3	7,6%	12	G	25	31,3	7,0%	6	F
20	28,5	10,5%	20	C	25	33,2	5,7%	7	F
20	24,2	9,5%	11	C	25	32,1	2,5%	23	F
20	25,6	5,9%	18	C	25	30,9	0,3%	10	N
20	27,2	3,3%	10	G	30	40,1	14,2%	15	H
20	28,1	8,2%	1	G	30	41,9	5,7%	15	T
20	26,4	-	18	G	30	36,8	1,4%	21	T
20	22,5	-	8	G	30	39,4	3,3%	10	T
20	25,6	3,1%	1	G	30	38,1	12,6%	17	H
20	23,4	1,3%	5	G	30	38	1,3%	9	H
20	25,3	9,5%	23	G	30	37,3	10,5%	19	T
20	28,6	7,3%	19	W	30	36,8	4,6%	10	T
20	27,5	3,6%	12	W	30	34,7	0,3%	23	T
20	27,3	7,7%	5	W	30	42,2	1,2%	14	T
20	24,1	-	19	W	30	36,1	3,6%	23	T
20	26,2	0,4%	13	W	30	36,3	10,5%	9	T
20	23,6	1,3%	11	W	30	36,2	0,0%	7	T
20	23,5	2,1%	13	W	30	35,9	4,2%	7	T
20	23,7	-	14	L	30	33,2	0,3%	19	T
20	24,6	4,5%	6	W	30	33,1	5,4%	23	T
20	27,5	8,4%	10	Y	30	38,2	0,8%	5	R
20	28,2	1,1%	9	Y	30	41,4	1,4%	6	T
20	22,3	-	21	L	30	41,9	2,9%	2	T
20	24,1	-	14	I	30	40,6	1,5%	3	T

Tabela A7 – Matriz base de dados para a central CTB (continuação).

f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra		f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
20	28,4	0,4%	1	I		30	35	0,3%	8	T
20	24,1	-	20	I		30	37,2	4,6%	9	T
20	21,2	0,0%	1	G		30	41,7	7,4%	18	H
20	24,4	4,9%	12	G		30	43,8	10,7%	10	H
20	25,2	7,5%	11	G		30	39,5	2,3%	16	H
20	26	3,8%	15	G		30	42,7	0,9%	15	H
20	22,3	4,0%	14	G		30	41,5	2,7%	10	H
20	22,7	3,5%	7	G		30	41,3	7,5%	23	H
20	28,7	16,4%	20	G		30	39,9	7,0%	19	H
20	22,1	-	21	A1		30	39,1	3,8%	5	T
20	23,7	6,3%	11	G		30	40,7	2,5%	10	T
20	27,4	6,2%	2	G		30	42,1	3,3%	18	T
20	25,7	1,2%	12	G		30	41,1	5,1%	2	T
20	22,8	0,4%	13	G		30	37	3,8%	21	H
20	29	1,7%	10	G		30	35,5	3,1%	12	T
20	24,4	0,4%	11	G		30	41,6	3,1%	2	T
20	22,4	1,8%	6	G		30	37,5	4,8%	23	T
20	25,9	1,2%	23	G		30	36,7	3,8%	2	H
20	26,4	0,4%	18	G		30	39,5	3,5%	22	H
20	26,7	4,1%	22	G		30	36,2	4,1%	10	H
20	26,7	0,7%	19	G		30	36,2	1,1%	18	H
20	23,1	4,3%	11	I		30	39,5	2,0%	19	H
20	21,4	4,2%	11	I		30	37,8	1,6%	2	T
20	24,5	0,0%	6	G		30	39,6	3,3%	11	T
20	24,4	5,3%	12	G		30	40,8	2,2%	10	T
20	24,5	2,0%	5	G		30	40,6	2,0%	20	T
20	24,5	1,6%	10	G		30	43	0,5%	7	T
20	26,7	5,6%	18	G		30	39,8	5,0%	6	T
20	23,6	0,4%	20	G		30	39,8	4,0%	1	L
20	22,7	2,2%	23	L		30	40	6,5%	18	L
20	23,1	0,0%	11	C		30	40	5,7%	15	L
20	22,7	-	23	C		30	37	0,5%	19	L
20	25,6	7,4%	15	C		30	37,7	12,7%	4	L

Tabela A7 – Matriz base de dados para a central CTB (continuação).

f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra	f_{ck} (Mpa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
20	26	2,7%	21	C	30	33,7	7,1%	14	L
20	27,4	2,9%	22	C	30	36	3,6%	15	L
20	28	0,4%	10	G	30	38,9	12,1%	21	L
20	27,6	6,2%	14	G	30	35	2,6%	22	L

Tabela A8 – Determinação dos coeficientes da curva de impressão da central CTB.

a/c	f_{ck} (Mpa)	f_{cj} estático (Mpa)	C_C (Kg/m ³)	C_A (Kg/m ³)
0,94	15,0	18,4	179	168
0,78	20,0	24,7	215	168
0,65	25,0	31,7	254	166
0,55	30,0	38,7	298	164

I Quadrante – f_{cj} x a/c

a/c	$\log(f_{ci})$ (MPa)	Gráfico – linearização	Coeficientes	
0,94	1,265		a_1	2,044
0,78	1,393		b_1	-0,831
0,65	1,501		K_1	110,7
0,55	1,587		K_2	6,8

II Quadrante – f_{cj} x C_C

$1/C$ (Kg/m ³) ⁻¹	$\log(f_{ci})$ (MPa)	Gráfico – linearização	Coeficientes	
0,0056	1,265		a_2	0,0143
0,0047	1,393		b_2	-
0,0039	1,501		K_7	14,3
0,0034	1,587		K_8	-6,9

Tabela A9 – Matriz inicial da central CTB – concreto isolado.

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
25	34,4	4	H		25	30,6	9	H
25	34,7	4	H		25	28,9	11	H
25	31,1	7	H		25	26,6	11	H
25	28,7	7	H		25	32,7	13	H
25	33,5	24	H		25	31,3	13	H
25	30,7	24	H		25	32,6	6	H
25	29,8	14	H		25	30	6	H
25	29,6	14	H		25	31	4	F
25	30,9	11	H		25	31,4	4	F
25	28,3	11	H		25	27,7	19	F
25	31,9	19	H		25	28,3	19	F
25	32,1	19	H		25	30,7	9	F
25	34,1	1	H		25	31,5	9	F
25	31	1	H		25	30,2	1	F
25	30,1	12	H		25	31,9	1	F
25	30	12	H		25	29,5	12	F
25	29,8	17	H		25	27,7	12	F
25	28	17	H		25	28,8	15	F
25	31,1	20	H		25	30,9	15	F
25	29,9	20	H		25	25,8	4	F
25	29	17	H		25	26,8	4	F
25	28,4	17	H		25	25,7	16	F
25	23,7	22	H		25	25,7	16	F
25	28,8	20	H		25	28,6	14	G
25	29,4	20	H		25	31,9	14	G
25	26,3	16	H		25	33,7	3	G
25	25,6	16	H		25	32,5	3	G
25	25,7	21	H		25	34,8	2	G
25	27	21	H		25	31,5	2	G
25	28	20	H		25	38,2	15	G
25	26,5	20	H		25	33,6	15	G
25	25,8	11	I		25	29,6	18	G
25	25,8	11	I		25	33,4	18	G
25	28,5	17	I		25	34,7	4	G
25	30	17	I		25	34,8	4	G
25	26,5	11	I		25	31,9	3	G
25	26,9	11	I		25	30,9	3	G
25	32,1	18	H		25	31,9	2	G

Tabela A9 – Matriz inicial da central CTB – concreto isolado (*continuação*)

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
25	27,9	18	H		25	32	2	G
25	30	9	H		-	-	-	-
Tratamento estatístico da matriz inicial – concreto isolado								
$f_{cj,médio}$ (Mpa)					30,7			
$sd_{médio}$ (Mpa)					3,0			
α (%)					5,0%			
$I_{f_{cj},inferior}$ (Mpa)					25,7			
$I_{f_{cj},superior}$ (Mpa)					35,7			
$N_{amostra}$					40			

Tabela A10 – Matriz base de dados da central CTB - concreto isolado.

f_{ck} (Mpa)	$f_{cj,POT}$ (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra		f_{ck} (Mpa)	$f_{cj,POT}$ (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
25	34,7	0,9%	4	H		25	30,6	2,0%	9	H
25	31,1	7,7%	7	H		25	28,9	8,0%	11	H
25	33,5	8,4%	24	H		25	32,7	4,3%	13	H
25	29,8	0,7%	14	H		25	32,6	8,0%	6	H
25	30,9	8,4%	11	H		25	31,4	1,3%	4	F
25	32,1	0,6%	19	H		25	28,3	2,1%	19	F
25	34,1	9,1%	1	H		25	31,5	2,5%	9	F
25	30,1	0,3%	12	H		25	31,9	5,3%	1	F
25	29,8	6,0%	17	H		25	29,5	6,1%	12	F
25	31,1	3,9%	20	H		25	30,9	6,8%	15	F
25	29	2,1%	17	H		25	26,8	3,7%	4	F
25	29,4	2,0%	20	H		25	25,7	0,0%	16	F
25	26,3	2,7%	16	H		25	31,9	10,3%	14	G
25	27	4,8%	21	H		25	33,7	3,6%	3	G
25	28	5,4%	20	H		25	34,8	9,5%	2	G
25	25,8	0,0%	11	I		25	33,4	11,4%	18	G
25	30	5,0%	17	I		25	34,8	0,3%	4	G
25	26,9	1,5%	11	I		25	31,9	3,1%	3	G
25	32,1	13,1%	18	H		25	32	0,3%	2	G

Tabela A11 – Resultados de ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de exemplares moldados dentro do laboratório da central CTB por equipe técnica experiente.

C.p-1	C.p-2	fcjPOT (Mpa)	V _{PAR} (%)		C.p-1	C.p-2	fcjPOT (Mpa)	V _{PAR} (%)
35,6	36,1	36,1	1,4%		42,5	44,4	44,4	4,3%
32,8	31	32,8	5,5%		23,7	23,8	23,8	0,4%
29,0	31,4	31,4	7,6%		31,4	31,5	31,5	0,3%
31,9	35,8	35,8	10,9%		38,5	39,7	39,7	3,0%
5,1	4,8	5,1	5,9%		42,7	45	45,0	5,1%
16,6	17	17,0	2,4%		32,4	33	33,0	1,8%
25,7	25,9	25,9	0,8%		27,5	28,6	28,6	3,8%
30,4	31,8	31,8	4,4%		20,2	20,1	20,2	0,5%
13,2	13,1	13,2	0,8%		16,0	15,8	16,0	1,3%
24,4	24,3	24,4	0,4%		31,6	29,8	31,6	5,7%
32,2	31,1	32,2	3,4%		27,7	27,5	27,7	0,7%
27,7	29,1	29,1	4,8%		21,4	19,4	21,4	9,3%
38,5	39,7	39,7	3,0%		-	-	-	-

Tabela A12 – Valores de fcjPOTENCIAL da central CTB ordenados segundo as diferentes obras.

fcjPOTENCIAL (Mpa)										
fc _{OBRA} 15,0MPa	fc _{OBRA} 20,0MPa						fc _{OBRA} 25,0MPa	fc _{OBRA} 30,0MPa		
L	C	G	I	J	W	X	G	H	L	T
14,0	19,6	20,7	25,2	21,7	20,4	20,3	26,9	36,2	39,8	33,1
15,3	21,0	21,2	21,4	21,7	21,0	21,8	27,2	36,2	33,7	33,2
15,3	21,2	21,4	21,7	22,9	21,0	22,1	27,2	36,7	35,0	34,7
15,5	21,4	21,9	22,9	23,5	21,2	22,4	27,6	37,0	36,0	35,0
15,6	22,0	22,0	23,1	23,7	21,8	22,9	27,7	38,0	37,0	35,5
15,6	22,1	22,3	23,7	26,2	22,0	23,0	27,7	38,1	37,7	35,9
15,6	22,2	22,4	24,1	-	23,2	24,5	28,1	39,5	38,9	36,1
16,0	22,7	22,5	24,1	-	23,5	27,3	28,2	39,5	40,0	36,2
16,1	23,1	22,5	24,2	-	23,6	27,3	28,3	39,5	40,0	36,3
16,5	23,8	22,7	24,8	-	23,8	27,5	28,5	39,9	-	36,8
16,5	23,8	22,8	25,1	-	24,1	28,0	28,6	40,1	-	36,8
16,5	24,2	22,8	25,8	-	24,3	28,0	29,4	41,3	-	37,2
16,5	25,6	23,0	26,2	-	24,4	28,0	29,7	41,5	-	37,3
16,6	25,6	23,1	28,4	-	24,5	-	29,9	41,7	-	37,5
16,6	26,0	23,2	28,8	-	24,5	-	30,2	42,7	-	37,8

Tabela A12 – Valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ da central CTB ordenados segundo as diferentes obras (*continuação*).

$f_{cjPOTENCIAL}$ (Mpa)										
f_{ckOBRA} 15,0MPa	f_{ckOBRA} 20,0MPa						f_{ckOBRA} 25,0MPa	f_{ckOBRA} 30,0MPa		
L	C	G	I	J	W	X	G	H	L	T
16,6	27,4	23,2	-	-	24,5	-	30,4	43,8	-	39,1
16,7	28,5	23,2	-	-	24,6	-	30,5	-	-	39,4
16,8	-	23,3	-	-	24,7	-	30,6	-	-	39,6
16,8	-	23,3	-	-	24,8	-	30,6	-	-	39,8
16,8	-	23,4	-	-	25,0	-	30,7	-	-	40,6
16,9	-	23,4	-	-	25,0	-	31,0	-	-	40,6
17,0	-	23,5	-	-	25,2	-	31,0	-	-	40,7
17,1	-	23,6	-	-	25,2	-	31,1	-	-	40,8
17,3	-	23,7	-	-	25,5	-	31,9	-	-	41,1
17,5	-	23,7	-	-	25,7	-	32,0	-	-	41,4
17,5	-	23,7	-	-	25,7	-	32,1	-	-	41,6
17,7	-	23,9	-	-	26,2	-	32,1	-	-	41,9
17,7	-	24,0	-	-	26,8	-	32,2	-	-	41,9
17,9	-	24,0	-	-	26,9	-	32,6	-	-	42,1
17,9	-	24,1	-	-	27,3	-	32,6	-	-	42,2
18,0	-	24,4	-	-	27,5	-	32,8	-	-	43,0
18,0	-	24,4	-	-	28,6	-	33,0	-	-	-
18,1	-	24,4	-	-	28,7	-	33,2	-	-	-
18,1	-	24,4	-	-	-	-	33,2	-	-	-
18,2	-	24,5	-	-	-	-	33,2	-	-	-
18,2	-	24,5	-	-	-	-	33,4	-	-	-
18,4	-	24,5	-	-	-	-	33,5	-	-	-
18,4	-	24,6	-	-	-	-	33,7	-	-	-
18,8	-	24,7	-	-	-	-	33,7	-	-	-
18,8	-	24,9	-	-	-	-	33,7	-	-	-
19,0	-	25	-	-	-	-	33,8	-	-	-
19,0	-	25,1	-	-	-	-	34,1	-	-	-
19,1	-	25,1	-	-	-	-	34,3	-	-	-
19,1	-	25,2	-	-	-	-	34,4	-	-	-
19,2	-	25,2	-	-	-	-	34,9	-	-	-
19,3	-	25,3	-	-	-	-	35,0	-	-	-

Tabela A13– Valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas (*parte 1-continuação*).

f_{ck} (MPa)	Motorista											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	30,4	28,3	-	31,9	30,5	31,3	27,3	32,1	32,8	31,8	26,3	33
	30,6	34,9	-	-	31,1	33,7	32	33,2	34,1	30,6	26,9	32,5
	34,9	-	-	-	33	33,7	33,2	34,3	-	30,9	29,9	32,6
	36,2	-	-	-	36	-	33,2	35,1	-	33,2	30,7	36,4
	-	-	-	-	-	-	34,4	-	-	33,3	36,4	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,7	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,8	-	-
30	39,8	36,7	40,6	37,7	38,2	39,8	35,9	35	38	36,2	39,6	35,5
	-	37,8	-	-	39,1	41,4	36,2	-	36,3	36,8	-	-
	-	41,1	-	-	-	-	43	-	37,2	39,4	-	-
	-	41,6	-	-	-	-	-	-	-	40,7	-	-
	-	41,9	-	-	-	-	-	-	-	40,8	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41,5	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,8	-	-

Tabela A15 – Valores de V_{PAR} da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas (*parte I*).

V_{PAR} (%)									
Motorista									
1	2	5	6	7	8	9	10	11	12
0,0%	0,5%	5,9%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,3%	0,0%	1,2%
0,3%	0,7%	0,0%	0,0%	0,5%	2,8%	1,1%	0,4%	0,0%	1,8%
0,4%	0,8%	0,4%	0,5%	0,7%	2,9%	1,3%	0,7%	0,4%	2,0%
0,4%	1,3%	0,4%	1,4%	1,5%	3,1%	1,5%	0,8%	1,3%	2,1%
0,7%	1,6%	0,4%	1,8%	2,0%	4,2%	2,7%	1,6%	1,5%	2,5%
1,5%	2,0%	0,8%	1,8%	3,2%	5,2%	2,8%	1,7%	2,0%	2,8%
1,5%	2,1%	1,3%	2,8%	3,5%	6,5%	3,2%	1,8%	2,2%	3,1%
2,3%	2,9%	2,0%	3,6%	4,2%	7,1%	3,5%	2,1%	2,3%	3,6%
2,3%	3,0%	2,5%	3,7%	4,3%	13,1%	3,8%	2,2%	2,3%	3,9%
3,0%	3,1%	2,8%	4,5%	4,4%	-	4,6%	2,5%	3,3%	4,6%
3,1%	3,2%	2,9%	5,0%	4,4%	-	5,4%	2,5%	4,2%	4,9%
3,3%	3,8%	3,0%	5,1%	4,5%	-	6,7%	2,7%	4,3%	5,2%
4,0%	4,9%	3,3%	7,0%	4,9%	-	9,5%	2,7%	5,2%	5,3%
4,0%	5,1%	3,8%	7,8%	5,7%	-	10,5%	3,3%	5,3%	6,7%
4,1%	5,4%	3,9%	8,0%	7,3%	-	-	3,3%	5,4%	7,6%
4,8%	6,2%	4,1%	8,0%	10,0%	-	-	3,3%	6,0%	8,7%
6,1%	8,6%	5,1%	8,2%	12,9%	-	-	3,3%	6,3%	-
6,7%	-	7,7%	9,0%	-	-	-	3,4%	7,2%	-
7,2%	-	8,0%	13,2%	-	-	-	3,8%	7,5%	-
8,0%	-	12,5%	-	-	-	-	3,9%	8,0%	-
8,2%	-	13,1%	-	-	-	-	4,1%	9,4%	-
9,8%	-	-	-	-	-	-	4,6%	9,5%	-
9,9%	-	-	-	-	-	-	6,3%	10,8%	-
10,4%	-	-	-	-	-	-	6,5%	14,7%	-
-	-	-	-	-	-	-	6,9%	19,9%	-
-	-	-	-	-	-	-	8,4%	-	-
-	-	-	-	-	-	-	10,7%	-	-

Tabela A17 –Tempo de descarga dos concretos da matriz base de dados da central CTB.

f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)		f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)
15	13	L	0:10:00		20	6	G	0:25:00
15	5	L	0:15:00		20	23	G	0:16:00
15	5	A	0:30:00		20	15	G	0:15:00
15	7	L	0:13:00		20	11	G	0:20:00
15	15	L	0:20:00		20	6	G	0:15:00
15	2	L	0:30:00		20	1	G	0:16:00
15	6	L	0:25:00		20	20	G	0:25:00
15	13	L	0:14:00		20	20	W	0:35:00
15	10	L	0:15:00		20	10	X	0:21:00
15	18	L	0:20:00		20	18	W	0:30:00
15	7	L	0:15:00		20	6	X	0:25:00
15	23	L	0:16:00		20	2	W	0:50:00
15	19	L	0:10:00		20	11	X	0:21:00
15	1	L	0:14:00		20	10	W	0:26:00
15	17	L	0:15:00		20	6	X	0:25:00
15	9	L	0:17:00		20	1	W	0:26:00
15	8	L	0:14:00		20	2	X	0:10:00
15	10	L	0:15:00		20	9	W	0:29:00
15	22	L	0:13:00		20	15	X	0:20:00
15	11	L	0:18:00		20	21	W	0:25:00
15	23	L	0:14:00		20	18	I	0:30:00
15	17	L	0:15:00		20	1	G	0:21:00
15	21	L	0:23:00		20	15	I	0:20:00
15	5	L	0:15:00		20	12	G	0:21:00
15	19	L	0:15:00		20	20	I	0:25:00
15	12	L	0:20:00		20	14	G	0:30:00
15	18	L	0:20:00		20	2	G	0:15:00
15	20	L	0:15:00		20	7	I	0:25:00
15	18	L	0:10:00		20	1	G	0:17:00
15	22	L	0:14:00		20	23	I	0:27:00
15	16	L	0:16:00		20	12	I	0:30:00
15	2	L	0:15:00		20	15	D	0:20:00
15	10	L	0:16:00		20	4	D	0:33:00

Tabela A17 – Tempo de descarga dos concretos da matriz base de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)	f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)
15	16	L	0:13:00	20	8	T	0:30:00
15	6	L	0:20:00	20	19	T	0:35:00
15	6	L	0:30:00	20	11	T	0:40:00
15	17	L	0:15:00	20	12	T	0:25:00
15	20	L	0:15:00	20	16	V	0:30:00
15	9	L	0:18:00	20	9	V	0:24:00
15	4	L	0:15:00	20	5	G	0:15:00
15	9	L	0:15:00	20	1	G	0:17:00
15	22	L	0:17:00	20	6	E	0:20:00
15	16	L	0:20:00	20	18	G	0:25:00
15	10	L	0:18:00	20	23	E	0:15:00
15	20	L	0:15:00	20	10	G	0:18:00
15	1	L	0:17:00	20	7	G	0:15:00
15	19	L	0:15:00	20	11	G	0:16:00
15	23	L	0:14:00	20	13	G	0:17:00
15	12	L	0:18:00	20	1	G	0:15:00
15	21	L	0:14:00	20	18	G	0:15:00
15	9	L	0:40:00	20	23	E	0:13:00
15	13	L	0:13:00	20	10	E	0:16:00
15	7	L	0:15:00	20	20	G	0:25:00
15	21	L	0:09:00	20	15	G	0:15:00
15	6	L	0:15:00	20	13	G	0:16:00
15	1	L	0:13:00	20	9	G	0:15:00
15	21	L	0:16:00	20	12	G	0:18:00
15	21	L	0:19:00	20	2	G	0:33:00
15	11	L	0:10:00	20	23	G	0:17:00
15	8	L	0:17:00	20	19	G	0:15:00
15	18	L	0:15:00	20	2	S	0:45:00
15	20	L	0:20:00	20	13	Q	0:19:00
15	13	L	0:11:00	20	4	S	0:34:00
15	13	L	0:12:00	20	6	Q	0:20:00
15	23	C	0:15:00	20	1	S	0:36:00
15	20	C	0:20:00	20	9	T	0:35:00

Tabela A17 – Tempo de descarga dos concretos da matriz base de dados da central CTB (*continuação*).

f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)		f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)
15	18	C	0:15:00		20	5	C1	0:45:00
15	6	C	0:14:00		20	1	C1	0:39:00
15	19	L	0:10:00		20	23	C1	0:45:00
20	20	J	0:25:00		20	6	P	0:30:00
20	15	J	0:25:00		25	19	G	0:15:00
20	10	W	0:40:00		25	7	G	0:20:00
20	20	X	0:40:00		25	11	G	0:16:00
20	23	W	0:35:00		25	1	G	0:17:00
20	9	W	0:40:00		25	13	G	0:16:00
20	4	X	0:15:00		25	1	G	0:16:00
20	23	X	0:20:00		25	14	G	0:15:00
20	7	W	0:30:00		25	8	G	0:18:00
20	23	W	0:25:00		25	20	G	0:25:00
20	21	W	0:37:00		25	10	G	0:25:00
20	5	Z	0:15:00		25	2	G	0:13:00
20	20	Z	0:15:00		25	1	G	0:17:00
20	11	Z	0:22:00		25	10	G	0:20:00
20	23	Z	0:15:00		25	22	G	0:16:00
20	14	Z	0:15:00		25	8	G	0:20:00
20	1	M	0:20:00		25	19	G	0:22:00
20	23	C	0:15:00		25	5	G	0:20:00
20	18	C	0:15:00		25	14	G	0:20:00
20	13	C	0:15:00		25	18	G	0:25:00
20	19	C	0:15:00		25	23	G	0:20:00
20	14	C	0:25:00		25	5	G	0:15:00
20	8	C	0:14:00		25	23	G	0:15:00
20	11	C	0:20:00		25	11	G	0:14:00
20	21	W	0:30:00		25	18	B	0:45:00
20	14	W	0:30:00		25	12	B	0:40:00
20	1	W	0:39:00		25	20	B	0:25:00
20	7	W	0:30:00		25	14	G	0:20:00
20	18	W	0:25:00		25	23	G	0:15:00
20	21	W	0:25:00		25	9	G	0:20:00

Tabela A17 – Tempo de descarga dos concretos da matriz base de dados da central CTB (*continuação*).

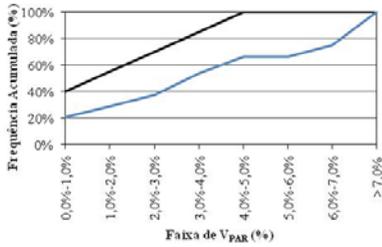
f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)		f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)
20	13	W	0:28:00		25	13	G	0:15:00
20	7	W	0:40:00		25	7	G	0:15:00
20	23	G	0:15:00		25	17	G	0:22:00
20	2	U	0:45:00		25	6	G	0:20:00
20	5	J	0:40:00		25	7	G	0:15:00
20	5	W	0:30:00		25	13	G	0:23:00
20	11	W	0:32:00		25	10	O	0:20:00
20	5	C	0:10:00		25	11	O	0:14:00
20	12	W	0:32:00		25	7	O	0:20:00
20	23	C	0:13:00		25	13	O	0:13:00
20	19	X	0:20:00		25	15	F	0:05:00
20	10	G	0:20:00		25	1	G	0:32:00
20	5	G	0:15:00		25	9	G	0:26:00
20	13	X	0:23:00		25	20	G	0:30:00
20	2	W	0:35:00		25	5	G	0:15:00
20	19	X	0:15:00		25	20	G	0:20:00
20	18	G	0:15:00		25	10	G	0:20:00
20	22	X	0:11:00		25	18	B	0:35:00
20	18	G	0:20:00		25	5	G	0:15:00
20	23	I	0:30:00		25	12	G	0:22:00
20	1	I	0:26:00		25	10	B	0:30:00
20	5	I	0:30:00		25	8	G	0:14:00
20	23	I	0:27:00		25	18	G	0:20:00
20	2	J	1:25:00		25	11	G	0:15:00
20	18	J	0:40:00		25	15	F	0:10:00
20	21	J	0:33:00		25	12	G	0:24:00
20	5	G	0:20:00		25	4	G	0:13:00
20	19	G	0:20:00		25	17	G	0:14:00
20	23	G	0:23:00		25	20	G	0:25:00
20	13	G	0:20:00		25	10	G	0:21:00
20	18	G	0:15:00		25	11	K	0:28:00
20	23	G	0:17:00		25	18	K	0:25:00
20	13	G	0:18:00		25	2	K	0:35:00
20	15	G	0:20:00		25	12	K	0:30:00

Tabela A17 – Tempo de descarga dos concretos da matriz base de dados da central CTB (*continuação*).

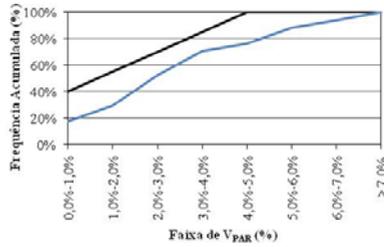
f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)		f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)
20	1	G	0:27:00		25	13	K	0:29:00
20	23	G	0:19:00		25	8	G	0:20:00
20	20	G	0:25:00		25	6	G	0:20:00
20	18	G	0:15:00		25	23	G	0:16:00
20	11	G	0:16:00		25	20	Z	0:25:00
20	5	G	0:20:00		25	13	Z	0:15:00
20	23	G	0:16:00		25	23	Z	0:14:00
20	12	G	0:22:00		25	6	F	0:15:00
20	20	C	0:20:00		25	7	F	0:05:00
20	11	C	0:33:00		25	23	F	0:04:00
20	18	C	0:15:00		25	10	N	0:18:00
20	10	G	0:18:00		30	15	H	0:15:00
20	1	G	0:20:00		30	15	T	0:15:00
20	18	G	0:15:00		30	21	T	0:13:00
20	8	G	0:25:00		30	10	T	0:10:00
20	1	G	0:15:00		30	17	H	0:15:00
20	5	G	0:15:00		30	9	H	0:20:00
20	23	G	0:16:00		30	19	T	0:15:00
20	19	W	0:30:00		30	10	T	0:20:00
20	12	W	0:35:00		30	23	T	0:12:00
20	5	W	0:25:00		30	14	T	0:15:00
20	19	W	0:30:00		30	23	T	0:15:00
20	13	W	0:28:00		30	9	T	0:17:00
20	11	W	0:30:00		30	7	T	0:15:00
20	13	W	0:35:00		30	7	T	0:15:00
20	14	L	0:15:00		30	19	T	0:15:00
20	6	W	0:25:00		30	23	T	0:13:00
20	10	Y	0:04:00		30	5	R	0:15:00
20	9	Y	0:05:00		30	6	T	0:15:00
20	21	L	0:14:00		30	2	T	0:08:00
20	14	I	0:30:00		30	3	T	0:15:00
20	1	I	0:30:00		30	8	T	0:17:00
20	20	I	0:30:00		30	9	T	0:20:00
20	1	G	0:22:00		30	18	H	0:15:00

Tabela A17 – Tempo de descarga dos concretos da matriz base de dados da central CTB (*continuação*).

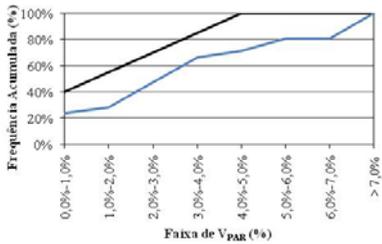
f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)		f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)
20	12	G	0:25:00		30	10	H	0:27:00
20	11	G	0:24:00		30	16	H	0:37:00
20	15	G	0:15:00		30	15	H	0:15:00
20	14	G	0:02:00		30	10	H	0:29:00
20	7	G	0:15:00		30	23	H	0:15:00
20	20	G	0:25:00		30	19	H	0:15:00
20	21	A1	0:15:00		30	5	T	0:15:00
20	11	G	0:25:00		30	10	T	0:14:00
20	2	G	0:10:00		30	18	T	0:15:00
20	12	G	0:20:00		30	2	T	0:15:00
20	13	G	0:15:00		30	21	H	0:29:00
20	10	G	0:15:00		30	12	T	0:16:00
20	11	G	0:23:00		30	2	T	0:15:00
20	6	G	0:20:00		30	23	T	0:14:00
20	23	G	0:19:00		30	2	H	0:30:00
20	18	G	0:15:00		30	22	H	0:20:00
20	22	G	0:14:00		30	10	H	0:21:00
20	19	G	0:20:00		30	18	H	0:20:00
20	11	I	0:46:00		30	19	H	0:15:00
20	11	I	0:27:00		30	2	T	0:15:00
20	6	G	0:25:00		30	11	T	0:12:00
20	12	G	0:25:00		30	10	T	0:15:00
20	5	G	0:20:00		30	20	T	0:25:00
20	10	G	0:20:00		30	7	T	0:15:00
20	18	G	0:15:00		30	6	T	0:20:00
20	20	G	0:20:00		30	1	L	0:13:00
20	23	L	0:15:00		30	18	L	0:20:00
20	11	C	0:24:00		30	15	L	0:10:00
20	23	C	0:15:00		30	19	L	0:25:00
20	15	C	0:15:00		30	4	L	0:12:00
20	21	C	0:21:00		30	14	L	0:20:00
20	22	C	0:18:00		30	15	L	0:15:00
20	10	G	0:21:00		30	21	L	0:25:00
20	14	G	0:20:00		30	22	L	0:11:00



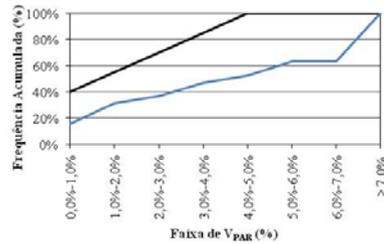
(a) Motorista 1



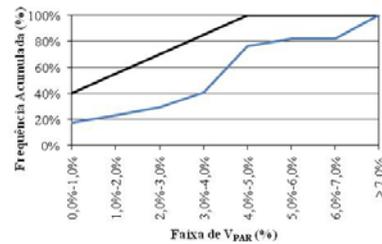
(b) Motorista 2



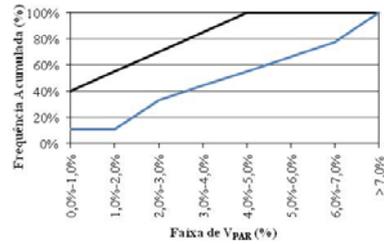
(c) Motorista 5



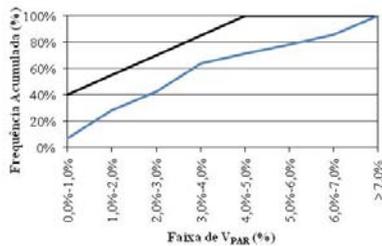
(d) Motorista 6



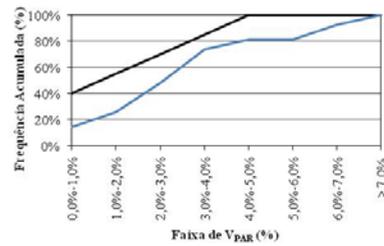
(e) Motorista 7



(f) Motorista 8

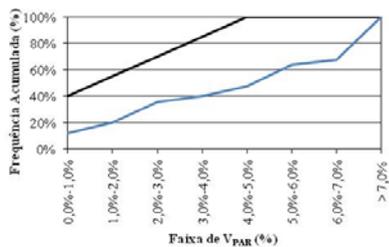


(g) Motorista 9

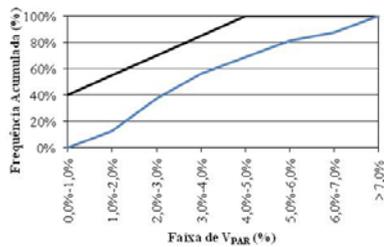


(h) Motorista 10

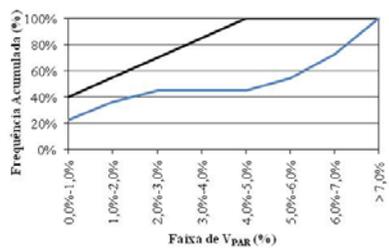
Figura A9 – Curva dos motoristas da central CTB.



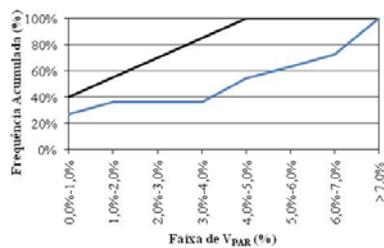
(i) Motorista 11



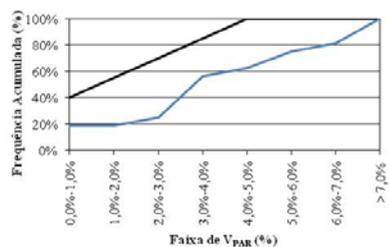
(j) Motorista 12



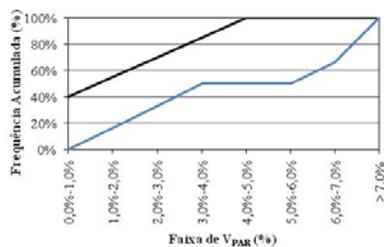
(l) Motorista 13



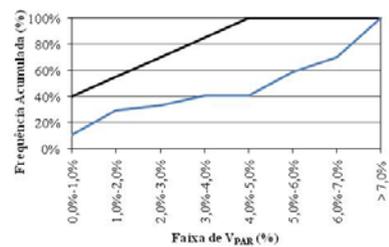
(m) Motorista 14



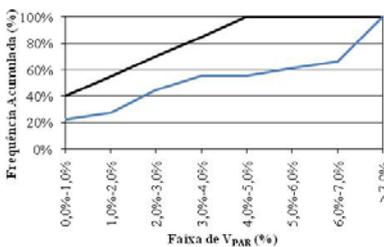
(n) Motorista 15



(o) Motorista 17

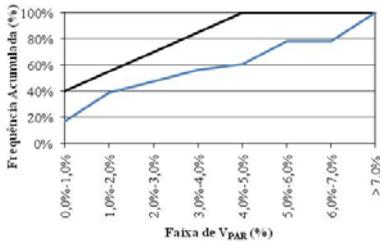


(p) Motorista 18

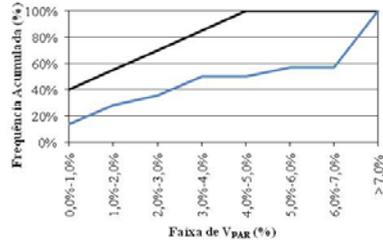


(q) Motorista 19

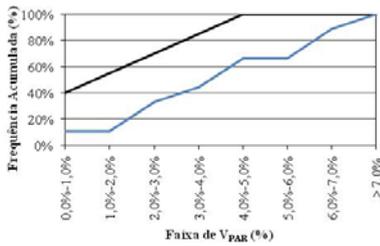
Figura A9 – Curva dos motoristas da central CTB (continuação).



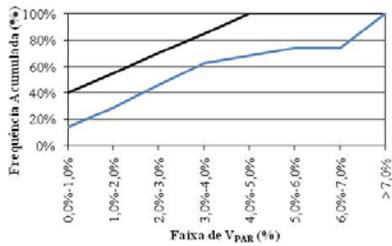
(r) Motorista 20



(s) Motorista 21



(t) Motorista 22



(u) Motorista 23

Figura A9 – Curva dos motoristas da central CTB (*continuação*).

ANEXO 6**Análise 2 - Resultados da aplicação da metodologia proposta para a central FLN.**

ANEXO 6 - Análise 2 - Resultados da aplicação da metodologia proposta para a central FLN.

No presente anexo constam os dados obtidos da base de dados da central FLN. Além destes, são apresentados partes dos resultados da aplicação da metodologia proposta.

Tabela A18 – Matriz inicial de dados da central FLN.

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
25	27,4	1	E		30	35,5	11	D
25	28,5	1	E		30	35,5	8	D
25	22,5	8	E		30	36,4	8	D
25	24,3	8	E		30	36,9	5	P
25	24,7	2	E		30	38,4	5	P
25	24,5	2	E		30	31,9	8	P
25	27,4	5	E		30	29,5	8	P
25	28,1	5	E		30	36	2	P
25	28,9	2	E		30	35,4	2	P
25	28,5	2	E		30	39,4	5	P
25	30	1	T		30	38,5	5	P
25	30,8	1	T		30	35,6	8	P
25	28,7	5	T		30	33,4	8	P
25	30,2	5	T		30	36,4	5	M
25	32,1	8	T		30	34,4	5	M
25	30,8	8	T		30	34,1	11	M
25	26,2	11	C		30	36,2	11	M
25	27,3	11	C		30	37,7	2	B
25	26	8	C		30	41,2	2	B
25	10,4	8	C		30	36,4	11	B
25	26,1	5	C		30	35,4	11	B
25	24,7	1	C		30	39,4	2	B
25	24,7	1	C		30	42	2	B
25	27,3	2	C		30	38,1	1	B
25	27,6	8	C		30	37,4	1	B
25	27,1	8	C		30	30,7	2	B
25	28,1	2	C		30	30,7	2	B
25	27,2	2	C		30	36,9	2	H
25	33,0	5	O		30	37,1	2	H

Tabela A18 – Matriz inicial de dados da central FLN (continuação).

f_{ek} (MPa)	f_{ej} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ek} (MPa)	f_{ej} (MPa)	Mot.	Obra
25	23,1	2	O		30	39,7	11	H
25	25	2	O		30	39,1	11	H
25	29,9	5	O		30	38,5	8	D
25	33,2	11	F		30	40,7	8	D
25	32,1	11	F		30	34,6	2	H
25	33,3	5	F		30	35,8	2	H
25	31,9	5	F		30	34,9	11	H
25	26,9	12	F		30	35,9	11	H
25	30,2	12	F		30	47,5	8	D
25	30,5	5	F		30	43,7	8	D
25	33,8	2	F		30	40,3	9	H
25	32,3	2	F		30	42,2	9	H
25	31,7	12	F		30	36,7	1	H
25	32,3	12	F		30	39,2	1	H
25	29,4	11	F		30	44	8	A
25	28,8	11	F		30	41,1	8	A
25	28,3	1	F		30	37,9	2	A
25	28,9	1	F		30	38,7	2	A
25	28,8	8	F		30	37,3	5	A
25	35	8	F		30	36,4	5	A
25	28,2	5	F		30	37,4	8	A
25	29,1	5	F		30	37	8	A
25	33,2	11	F		30	34,5	1	D
25	29,1	11	F		30	37,6	1	D
25	33	8	F		30	32,2	6	V
25	33	8	F		30	32,2	6	V
25	31,4	2	F		30	36,8	5	I
25	32,3	2	F		30	38	5	I
25	30,7	1	F		30	29,1	8	I
25	30	1	F		30	27,7	8	I
25	31,1	11	F		30	36,7	3	H
25	32,6	11	F		30	34,5	3	H
25	30,5	5	F		30	39	5	H
25	31,7	5	F		30	35,2	5	H
25	25,2	8	F		30	29,4	7	H

Tabela A18 – Matriz inicial de dados da central FLN (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ek} (MPa)	f_{ej} (MPa)	Mot.	Obra
25,0	21,7	8	F		30,0	29,2	7	H
25,0	30,8	2	K		30,0	35,8	8	H
25,0	30,2	11	K		30,0	33,6	8	H
25,0	31,5	11	K		30,0	41,5	2	H
25,0	28,3	2	T		30,0	37,2	11	D
25,0	29,2	2	T		30,0	35	11	D
25,0	27,9	2	N		30,0	32,9	6	D
25,0	29,5	2	N		30,0	31,3	6	D
25,0	33,8	5	N		30,0	34,4	3	D
25,0	30,7	5	N		30,0	34,1	3	D
25,0	27,6	8	J		30,0	38,4	7	H
25,0	27,5	8	J		30,0	36,2	7	H
25,0	25,9	11	E		30,0	36,4	5	D
25,0	28,2	11	E		30,0	33	5	D
25,0	22,3	8	C		30,0	40,4	11	D
25,0	25,3	8	C		30,0	42,4	11	D
25,0	23,8	2	C		30,0	34,6	2	D
25,0	23,1	2	C		30,0	35	2	D
25,0	22,3	11	C		30,0	34,6	11	B
25,0	22,6	11	C		30,0	37,5	11	B
25,0	25,5	8	C		30,0	29,9	1	B
25,0	22,8	1	G		30,0	29,7	1	B
25,0	22,1	1	G		30,0	35	11	M
25,0	25,4	11	F		30,0	34,6	11	M
25,0	24,5	11	F		30,0	40,4	10	M
25,0	23,5	1	F		30,0	41,5	10	M
25,0	26	1	F		30,0	30,3	8	M
25,0	27,1	5	F		30,0	30,4	8	M
25,0	26,6	5	F		30,0	33,2	1	I
25,0	25,3	11	F		30,0	33,6	1	I
25,0	26,5	11	F		30,0	35,7	5	M
25,0	27,4	11	F		30,0	34,8	5	M
25,0	26,2	1	F		30,0	33,4	11	I
25,0	25,6	1	F		30,0	33,4	11	I
25,0	27,8	8	L		30,0	32,3	8	I

Tabela A18 – Matriz inicial de dados da central FLN (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
25,0	28,8	8	L		30,0	32,4	8	I
25,0	26,1	2	L		30,0	36,8	2	H
25,0	29,4	2	L		30,0	35,6	2	H
25,0	28,9	11	L		30,0	38,7	2	H
25,0	26,5	1	L		30,0	36,8	9	P
25,0	26,6	1	L		30,0	33,9	9	P
25,0	25,7	5	L		30,0	33,4	6	P
25,0	26,8	5	L		30,0	32,3	6	P
25,0	26,8	11	L		30,0	31,5	1	I
25,0	27,3	11	L		30,0	28,7	1	I
25,0	28,9	1	T		30,0	26,2	5	I
25,0	27,7	1	T		30,0	28	5	I
25,0	26,2	11	T		30,0	33,9	8	I
25,0	27,4	11	T		30,0	33,7	8	I
25,0	28,1	1	T		30,0	29,6	8	B
25,0	27,7	1	T		30,0	29,3	8	B
25,0	27,4	7	T		30,0	33,2	1	Q
25,0	25	7	T		30,0	31,2	1	Q
30,0	27,5	2	S		30,0	34,1	5	Q
30,0	27,6	2	S		30,0	32,2	5	Q
30,0	38,9	1	S		30,0	35,5	8	Q
30,0	39	1	S		30,0	36,6	8	Q
30,0	36,7	8	S		30,0	35,9	2	Q
30,0	41,7	8	S		30,0	34,1	2	Q
30,0	42,6	11	S		30,0	39,8	8	Q
30,0	38	11	S		30,0	32,4	2	Q
30,0	34,6	5	M		30,0	31,4	2	Q
30,0	33,3	5	M		35,0	43,5	8	M
30,0	31,5	1	H		35,0	46,6	8	M
30,0	35,5	1	H		35,0	42,9	2	M
30,0	31,1	5	H		35,0	44,5	2	M
30,0	31,4	5	H		35,0	40,6	11	M
30,0	31,7	8	H		35,0	41	11	M
30,0	33,6	8	H		35,0	44,8	1	M
30,0	34,4	1	H		35,0	38,6	1	M

Tabela A18 – Matriz inicial de dados da central FLN (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ek} (MPa)	f_{ej} (MPa)	Mot.	Obra
30,0	33,2	1	H		35,0	38,2	6	M
30,0	35,6	5	H		35,0	40,9	6	M
30,0	36,3	5	H		35,0	50,3	11	M
30,0	32,2	8	H		35,0	50,1	11	M
30,0	32,5	8	H		35,0	46,9	1	M
30,0	30,8	2	H		35,0	47,7	1	M
30,0	30,3	2	H		35,0	46	5	M
30,0	33	5	H		35,0	45,4	5	M
30,0	33,9	5	H		35,0	44,8	6	M
30,0	35,9	11	H		35,0	46	6	M
30,0	35	11	H		35,0	45,5	8	M
30,0	28,7	8	H		35,0	46,8	8	M
30,0	30,3	8	H		35,0	44,6	5	M
30,0	39,8	5	R		35,0	47,6	5	M
30,0	37,6	5	R		35,0	46,1	8	M
30,0	42,9	10	R		35,0	47,7	8	M
30,0	43,5	10	R		35,0	49,8	5	M
30,0	35,1	2	B		35,0	45,3	5	M
30,0	36,1	2	B		35,0	43,9	7	M
30,0	41,1	10	B		35,0	45,5	7	M
30,0	37,5	10	B		35,0	43,9	8	M
30,0	38,1	8	B		35,0	41,3	8	M
30,0	36,7	8	B		35,0	38,7	1	M
30,0	35,9	2	B		35,0	41,6	1	M
30,0	25,4	2	B		35,0	41	12	M
30,0	36,7	10	B		35,0	42,9	12	M
30,0	37,6	10	B		35,0	43,1	5	M
30,0	39,1	8	B		35,0	41,4	5	M
30,0	35,5	8	B		40,0	48,4	2	U
30,0	35,1	1	B		40,0	57,9	2	U
30,0	35,9	1	B		40,0	51,7	5	U
30,0	33,6	11	B		40,0	47,5	5	U
30,0	32,3	11	B		40,0	41,6	1	U
30,0	37,4	5	D		40,0	50,8	1	U
30,0	33,7	5	D		40,0	45,3	8	U

Tabela A18 – Matriz inicial de dados da central FLN (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cj} (MPa)	Mot.	Obra
30,0	32,7	8	D		40,0	42,7	8	U
30,0	37,7	8	D		40,0	52,2	5	U
30,0	39,3	8	D		40,0	50,7	5	U
30,0	39,2	8	D		40,0	48,5	4	U
30,0	38,3	10	D		40,0	47,5	4	U
30,0	37,2	10	D		40,0	43,1	1	U
30,0	34,6	2	D		40,0	41,8	1	U
30,0	37,5	2	D		40,0	41,1	7	U
30,0	33,8	11	D		40,0	43	7	U

É importante observar que os resultados destacados na Tabela A18 com sombreamento cinza na dizem respeito aos resultados de corpos-de-prova isolados, ou ainda, à grupos de três corpos-de-prova.

Tabela A19 – Matriz base de dados da central FLN.

f_{ck} (MPa)	$f_{cjPOT.}$ (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	$f_{cjPOT.}$ (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
25,0	28,5	3,9%	1	E		30,0	37,5	7,7%	2	D
25,0	24,3	7,4%	8	E		30,0	35,5	4,8%	11	D
25,0	24,7	0,8%	2	E		30,0	36,4	2,5%	8	D
25,0	28,1	2,5%	5	E		30,0	38,4	3,9%	5	P
25,0	28,9	1,4%	2	E		30,0	31,9	7,5%	8	P
25,0	30,8	2,6%	1	T		30,0	36,0	1,7%	2	P
25,0	30,2	5,0%	5	T		30,0	39,4	2,3%	5	P
25,0	32,1	4,0%	8	T		30,0	35,6	6,2%	8	P
25,0	27,3	4,0%	11	C		30,0	36,4	5,5%	5	M
25,0	26,0	60,0%	8	C		30,0	36,2	5,8%	11	M
25,0	26,1	-	5	C		30,0	41,2	8,5%	2	B
25,0	24,7	0,0%	1	C		30,0	36,4	2,7%	11	B
25,0	27,3	-	2	C		30,0	42,0	6,2%	2	B
25,0	27,6	1,8%	8	C		30,0	38,1	1,8%	1	B
25,0	28,1	3,2%	2	C		30,0	30,7	0,0%	2	B
25,0	33,0	-	5	O		30,0	37,1	0,5%	2	H
25,0	25,0	7,6%	2	O		30,0	39,7	1,5%	11	H

Tabela A19 – Matriz base de dados da central FLN (continuação).

f_{ck} (MPa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
25,0	29,9	-	5	O		30,0	40,7	5,4%	8	D
25,0	33,2	3,3%	11	F		30,0	35,8	3,4%	2	H
25,0	33,3	4,2%	5	F		30,0	35,9	2,8%	11	H
25,0	30,2	10,9%	12	F		30,0	42,2	4,5%	9	H
25,0	30,5	-	5	F		30,0	39,2	6,4%	1	H
25,0	32,3	1,9%	12	F		30,0	38,7	2,1%	2	A
25,0	29,4	2,0%	11	F		30,0	37,3	2,4%	5	A
25,0	28,9	2,1%	1	F		30,0	37,4	1,1%	8	A
25,0	29,1	3,1%	5	F		30,0	37,6	8,2%	1	D
25,0	33,2	12,3%	11	F		30,0	32,2	0,0%	6	V
25,0	33,0	0,0%	8	F		30,0	38,0	3,2%	5	I
25,0	32,3	2,8%	2	F		30,0	36,7	6,0%	3	H
25,0	30,7	2,3%	1	F		30,0	39,0	9,7%	5	H
25,0	32,6	4,6%	11	F		30,0	35,8	6,1%	8	H
25,0	31,7	3,8%	5	F		30,0	41,5	-	2	H
25,0	25,2	13,9%	8	F		30,0	37,2	5,9%	11	D
25,0	30,8	-	2	K		30,0	32,9	4,9%	6	D
25,0	31,5	4,1%	11	K		30,0	34,4	0,9%	3	D
25,0	29,2	3,1%	2	T		30,0	38,4	5,7%	7	H
25,0	29,5	5,4%	2	N		30,0	36,4	9,3%	5	D
25,0	27,6	0,4%	8	J		30,0	42,4	4,7%	11	D
25,0	28,2	8,2%	11	E		30,0	35,0	1,1%	2	D
25,0	25,3	11,9%	8	C		30,0	37,5	7,7%	11	B
25,0	23,8	2,9%	2	C		30,0	35,0	1,1%	11	M
25,0	25,5	-	8	C		30,0	41,5	2,7%	10	M
25,0	25,4	3,5%	11	F		30,0	30,4	0,3%	8	M
25,0	26,0	9,6%	1	F		30,0	33,6	1,2%	1	I
25,0	27,1	1,8%	5	F		30,0	35,7	2,5%	5	M
25,0	26,5	4,5%	11	F		30,0	33,4	0,0%	11	I
25,0	27,4	-	11	F		30,0	32,4	0,3%	8	I
25,0	26,2	2,3%	1	F		30,0	38,7	8,0%	2	H
25,0	28,8	3,5%	8	L		30,0	36,8	7,9%	9	P
25,0	29,4	11,2%	2	L		30,0	33,4	3,3%	6	P
25,0	28,9	-	11	L		30,0	31,5	8,9%	1	I

Tabela A19 – Matriz base de dados da central FLN (continuação).

f_{ck} (MPa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra		f_{ck} (MPa)	f_{cjPOT} (MPa)	V_{PAR} (%)	Mot.	Obra
25,0	26,6	0,4%	1	L		30,0	33,9	0,6%	8	I
25,0	26,8	4,1%	5	L		30,0	33,2	6,0%	1	Q
25,0	27,3	1,8%	11	L		30,0	34,1	5,6%	5	Q
25,0	28,9	4,2%	1	T		30,0	36,6	3,0%	8	Q
25,0	27,4	4,4%	11	T		30,0	35,9	5,0%	2	Q
25,0	28,1	1,4%	1	T		30,0	39,8	-	8	Q
25,0	27,4	8,8%	7	T		30,0	32,4	3,1%	2	Q
30,0	39,0	0,3%	1	S		35,0	46,6	6,7%	8	M
30,0	41,7	12,0%	8	S		35,0	44,5	3,6%	2	M
30,0	34,6	3,8%	5	M		35,0	41,0	1,0%	11	M
30,0	35,5	11,3%	1	H		35,0	44,8	13,8%	1	M
30,0	31,4	1,0%	5	H		35,0	40,9	6,6%	6	M
30,0	33,6	5,7%	8	H		35,0	47,7	1,7%	1	M
30,0	34,4	3,5%	1	H		35,0	46,0	1,3%	5	M
30,0	36,3	1,9%	5	H		35,0	46,0	2,6%	6	M
30,0	32,5	0,9%	8	H		35,0	46,8	2,8%	8	M
30,0	30,8	1,6%	2	H		35,0	47,6	6,3%	5	M
30,0	33,9	2,7%	5	H		35,0	47,7	3,4%	8	M
30,0	35,9	2,5%	11	H		35,0	49,8	9,0%	5	M
30,0	30,3	5,3%	8	H		35,0	45,5	3,5%	7	M
30,0	39,8	5,5%	5	R		35,0	43,9	5,9%	8	M
30,0	36,1	2,8%	2	B		35,0	41,6	7,0%	1	M
30,0	41,1	8,8%	10	B		35,0	42,9	4,4%	12	M
30,0	38,1	3,7%	8	B		35,0	43,1	3,9%	5	M
30,0	35,9	29,2%	2	B		40,0	57,9	16,4%	2	U
30,0	37,6	2,4%	10	B		40,0	51,7	8,1%	5	U
30,0	39,1	9,2%	8	B		40,0	50,8	18,1%	1	U
30,0	35,9	2,2%	1	B		40,0	45,3	5,7%	8	U
30,0	33,6	3,9%	11	B		40,0	52,2	2,9%	5	U
30,0	37,4	9,9%	5	D		40,0	48,5	2,1%	4	U
30,0	37,7	13,3%	8	D		40,0	43,1	3,0%	1	U
30,0	39,3	0,3%	8	D		40,0	43,0	4,4%	7	U
30,0	38,3	2,9%	10	D		-	-	-	-	-

Tabela A20 – Determinação dos coeficientes da curva de impressão da central FLN.

a/c	f_{ck} (Mpa)	f_{cj} estatístico (Mpa)	C_C (Kg/m ³)	C_A (Kg/m ³)
0,69	25,0	28,6	258	178
0,60	30,0	36,4	299	178
0,53	35,0	45,1	339	178
0,47	40,0	49,1	381	178

I Quadrante – f_{cj} x a/c				
a/c	$\log(f_{cj})$ (MPa)	Gráfico – linearização	Coeficientes	
0,69	1,456		a_1	2,2096
0,60	1,561		b_1	-1,0872
0,53	1,654		K_1	162,0
0,47	1,691		K_2	12,2

II Quadrante – f_{cj} x C_C				
$1/C$ (Kg/m ³) ⁻¹	$\log(f_{cj})$ (MPa)	Gráfico – linearização	Coeficientes	
0,004	1,456		a_2	0,0113
0,003	1,561		b_2	-0,0051
0,003	1,654		K_7	11,3
0,003	1,691		K_8	-5,1

Tabela A21 – Resultados de ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de exemplares moldados dentro do laboratório da central FLN por equipe técnica experiente.

C.p-1	C.p-2	fcj _{POT} (Mpa)	V _{PAR} (%)		C.p-1	C.p-2	fcj _{POT} (Mpa)	V _{PAR} (%)
18,2	18,0	18,2	1,1%		11,5	10,6	11,5	7,8%
24,2	24,0	24,2	0,8%		15,3	14,6	15,3	4,6%
29,3	29,2	29,3	0,3%		19,2	18,4	19,2	4,2%
43,7	41,1	43,7	5,9%		27,4	26,7	27,4	2,6%
22,4	21,6	22,4	3,6%		15,5	15,3	15,5	1,3%
27,2	27,1	27,2	0,4%		20,0	19,0	20,0	5,0%
33,3	31,7	33,3	4,8%		23,5	22,5	23,5	4,3%
46,0	45,9	46,0	0,2%		31,7	30,2	31,7	4,7%
33,1	29,4	33,1	11,2%		22,8	22,7	22,8	0,4%
13,1	13,1	13,1	0,0%		8,8	8,9	8,9	1,1%
17,6	17,6	17,6	0,0%		11,8	12,4	12,4	4,8%
19,5	20,4	20,4	4,4%		14,0	14,2	14,2	1,4%
28,2	28,8	28,8	2,1%		20,7	20,8	20,8	0,5%
30,1	30,9	30,9	2,6%		20,9	21,0	21,0	0,5%
17,7	17,9	17,9	1,1%		12,3	12,6	12,6	2,4%
21,8	22,6	22,6	3,5%		16,7	17,9	17,9	6,7%
30,4	33,0	33,0	7,9%		22,0	23,0	23,0	4,3%
34,9	34,9	34,9	0,0%		25,6	26,0	26,0	1,5%
39,6	40,2	40,2	1,5%		27,7	28,5	28,5	2,8%
14,4	13,8	14,4	4,2%		10,3	10,9	10,9	5,5%
22,2	20,2	22,2	9,0%		15,5	15,6	15,6	0,6%
27,2	26,2	27,2	3,7%		20,6	20,8	20,8	1,0%
33,0	32,7	33,0	0,9%		25,0	25,7	25,7	2,7%
36,9	36,6	36,9	0,8%		29,0	29,4	29,4	1,4%
19,2	19,8	19,8	3,0%		15,3	15,3	15,3	0,0%
26,6	27,6	27,6	3,6%		20,2	20,3	20,3	0,5%
31,1	32,2	32,2	3,4%		24,4	25,2	25,2	3,2%
35,2	36,7	36,7	4,1%		27,9	28,6	28,6	2,4%
37,6	37,8	37,8	0,5%		28,3	28,9	28,9	2,1%
11,5	12,4	12,4	7,3%		9,4	9,1	9,4	3,2%
15,7	16,1	16,1	2,5%		12,5	11,7	12,5	6,4%
21,3	22,3	22,3	4,5%		16,8	16,5	16,8	1,8%
25,6	26,9	26,9	4,8%		21,9	20,6	21,9	5,9%
33,0	33,0	33,0	0,0%		25,8	25,3	25,8	1,9%

Tabela A22 – Valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ da central FLN ordenados segundo as diferentes obras.

$f_{cjPOTENCIAL}$ (MPa)													
f_{ckOBRA} 25,0MPa					f_{ckOBRA} 30,0MPa							f_{ckOBRA} 35,0MPa	f_{ckOBRA} 40,0MPa
C	E	F	L	T	B	D	H	I	M	P	Q	M	U
23,8	24,3	25,2	26,6	27,4	30,7	32,9	30,3	31,5	30,4	31,9	32,4	40,9	43,0
24,7	24,7	25,4	26,8	27,4	33,6	34,4	30,8	32,4	34,6	33,4	33,2	41,0	43,1
25,3	28,1	26,0	27,3	28,1	35,9	35,0	31,4	33,4	35,0	35,6	34,1	41,6	45,3
25,5	28,2	26,2	28,8	28,9	35,9	35,5	32,5	33,6	35,7	36,0	35,9	42,9	48,5
26,0	28,5	26,5	28,9	29,2	36,1	36,4	33,6	33,9	36,2	36,8	36,6	43,1	50,8
26,1	28,9	27,1	29,4	30,2	36,4	36,4	33,9	38,0	36,4	38,4	39,8	43,9	51,7
27,3	-	27,4	-	30,8	37,5	37,2	34,4	-	41,5	39,4	-	44,5	52,2
27,3	-	28,9	-	32,1	37,6	37,4	35,5	-	-	-	-	44,8	57,9
27,6	-	29,1	-	-	38,1	37,5	35,8	-	-	-	-	45,5	-
28,1	-	29,4	-	-	38,1	37,6	35,8	-	-	-	-	46,0	-
-	-	30,2	-	-	39,1	37,7	35,9	-	-	-	-	46,0	-
-	-	30,5	-	-	41,1	38,3	35,9	-	-	-	-	46,6	-
-	-	30,7	-	-	41,2	39,3	36,3	-	-	-	-	46,8	-
-	-	31,7	-	-	42,0	40,7	36,7	-	-	-	-	47,6	-
-	-	32,3	-	-	-	42,4	37,1	-	-	-	-	47,7	-
-	-	32,3	-	-	-	-	38,4	-	-	-	-	47,7	-
-	-	32,6	-	-	-	-	38,7	-	-	-	-	49,8	-
-	-	33,0	-	-	-	-	39,0	-	-	-	-	-	-
-	-	33,2	-	-	-	-	39,2	-	-	-	-	-	-
-	-	33,2	-	-	-	-	39,7	-	-	-	-	-	-
-	-	33,3	-	-	-	-	41,5	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	42,2	-	-	-	-	-	-

Tabela A23 – Valores de f_{cj} POTENCIAL da central FLN ordenados segundo os diferentes motoristas.

f_{ck} (MPa)	Motoristas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25,0	24,7	23,8	-	-	26,1	-	27,4	24,3	-	-	25,4	30,2
	26,0	24,7	-	-	26,8	-	-	25,2	-	-	26,5	32,3
	26,2	25	-	-	27,1	-	-	25,3	-	-	27,3	-
	26,6	27,3	-	-	28,1	-	-	25,5	-	-	27,3	-
	28,1	28,1	-	-	29,1	-	-	26	-	-	27,4	-
	28,5	28,9	-	-	29,9	-	-	27,6	-	-	27,4	-
	28,9	29,2	-	-	30,2	-	-	27,6	-	-	28,2	-
	28,9	29,4	-	-	30,5	-	-	28,8	-	-	28,9	-
	30,7	29,5	-	-	31,7	-	-	32,1	-	-	29,4	-
	30,8	30,8	-	-	33,0	-	-	33,0	-	-	31,5	-
	-	32,3	-	-	33,3	-	-	-	-	-	32,6	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,2	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,2	-	
30,0	31,5	38,7	34,4	-	37,3	32,2	38,4	30,3	36,8	37,6	33,4	-
	33,2	30,7	36,7	-	31,4	32,9	-	30,4	42,2	38,3	33,6	-
	33,6	30,8	-	-	33,9	33,4	-	31,9	-	41,1	35,0	-
	34,4	32,4	-	-	34,1	-	-	32,4	-	41,5	35,5	-
	35,5	35	-	-	34,6	-	-	32,5	-	-	35,9	-
	35,9	35,8	-	-	35,7	-	-	33,6	-	-	35,9	-
	37,6	35,9	-	-	36,3	-	-	33,9	-	-	36,2	-
	38,1	35,9	-	-	36,4	-	-	35,6	-	-	36,4	-
	39,0	36	-	-	36,4	-	-	35,8	-	-	37,2	-
	39,2	36,1	-	-	37,4	-	-	36,4	-	-	37,5	-
	-	37,1	-	-	38,0	-	-	36,6	-	-	39,7	-
	-	37,5	-	-	38,4	-	-	37,4	-	-	42,4	-
	-	38,7	-	-	39,0	-	-	37,7	-	-	-	-
	-	41,2	-	-	39,4	-	-	38,1	-	-	-	-
	-	41,5	-	-	39,8	-	-	39,1	-	-	-	-
	-	42,0	-	-	-	-	-	39,3	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	39,8	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	40,7	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	41,7	-	-	-	-	

Tabela A23 – Valores de $f_{cjPOTENCIAL}$ da central FLN ordenados segundo os diferentes motoristas (*continuação*).

f_{ck} (MPa)	Motoristas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
35,0	41,6	44,5	-	-	43,1	40,9	45,5	43,9	-	-	41	42,9
	44,8	-	-	-	46	46,0	-	46,6	-	-	-	-
	47,7	-	-	-	47,6	-	-	46,8	-	-	-	-
	-	-	-	-	49,8	-	-	47,7	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	43,1	57,9	-	48,5	51,7	-	43	45,3	-	-	-	-
	50,8	-	-	-	52,2	-	-	-	-	-	-	-

Tabela A24 – Valores de V_{PAR} da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas.

Motorista						Motorista				
1	2	5	8	11		1	2	5	8	11
0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%		6,0%	5,0%	4,1%	5,3%	4,6%
0,3%	0,5%	1,3%	0,3%	1,0%		6,4%	5,4%	4,2%	5,4%	4,7%
0,4%	0,8%	1,8%	0,3%	1,1%		7,0%	6,2%	5,0%	5,7%	4,8%
1,2%	1,1%	1,9%	0,3%	1,5%		8,2%	7,6%	5,5%	5,7%	5,8%
1,4%	1,4%	2,3%	0,4%	1,8%		8,9%	7,7%	5,5%	5,9%	5,9%
1,7%	1,6%	2,4%	0,6%	2,0%		9,6%	8,0%	5,6%	6,1%	7,7%
1,8%	1,7%	2,5%	0,9%	2,5%		11,3%	8,5%	6,3%	6,2%	8,2%
2,1%	2,1%	2,5%	1,1%	2,7%		13,8%	11,2%	8,1%	6,7%	12,3%
2,2%	2,8%	2,7%	1,8%	2,8%		18,1%	16,4%	9,0%	7,4%	-
2,3%	2,8%	2,9%	2,5%	3,3%		-	29,2%	9,3%	7,5%	-
2,3%	2,9%	3,1%	2,8%	3,5%		-	-	9,7%	9,2%	-
2,6%	3,1%	3,2%	3,0%	3,9%		-	-	9,9%	11,9%	-
3,0%	3,1%	3,8%	3,4%	4,0%		-	-	-	12,0%	-
3,5%	3,2%	3,8%	3,5%	4,1%		-	-	-	13,3%	-
3,9%	3,4%	3,9%	3,7%	4,4%		-	-	-	13,9%	-
4,2%	3,6%	3,9%	4,0%	4,5%		-	-	-	60,0%	-

Tabela A25 – Valores de V_{PAR} da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas.

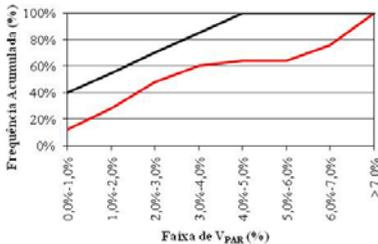
f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)	f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)
25,0	1	E	0:30:00	30,0	2	D	0:13:00
25,0	8	E	0:34:00	30,0	11	D	0:14:00
25,0	2	E	0:35:00	30,0	8	D	0:10:00
25,0	5	E	0:32:00	30,0	5	P	0:18:00
25,0	2	E	0:30:00	30,0	8	P	0:20:00
25,0	1	T	0:16:00	30,0	2	P	0:21:00
25,0	5	T	0:24:00	30,0	5	P	0:18:00
25,0	8	T	0:11:00	30,0	8	P	0:16:00
25,0	11	C	0:25:00	30,0	5	M	0:19:00
25,0	8	C	0:24:00	30,0	11	M	0:16:00
25,0	5	C	0:24:00	30,0	2	B	0:19:00
25,0	1	C	0:23:00	30,0	11	B	0:19:00
25,0	2	C	0:25:00	30,0	2	B	0:20:00
25,0	8	C	0:23:00	30,0	1	B	0:20:00
25,0	2	C	0:25:00	30,0	2	B	0:20:00
25,0	5	O	0:25:00	30,0	2	H	0:25:00
25,0	2	O	0:20:00	30,0	11	H	0:19:00
25,0	5	O	0:22:00	30,0	8	D	0:11:00
25,0	11	F	0:23:00	30,0	2	H	0:15:00
25,0	5	F	0:22:00	30,0	11	H	0:18:00
25,0	12	F	0:25:00	30,0	9	H	0:20:00
25,0	5	F	-	30,0	1	H	0:10:00
25,0	12	F	0:25:00	30,0	2	A	0:15:00
25,0	11	F	0:24:00	30,0	5	A	0:16:00
25,0	1	F	0:20:00	30,0	8	A	0:13:00
25,0	5	F	0:23:00	30,0	1	D	0:11:00
25,0	11	F	0:24:00	30,0	6	V	0:35:00
25,0	8	F	0:34:00	30,0	5	I	0:19:00
25,0	2	F	0:36:00	30,0	3	H	0:25:00
25,0	1	F	0:33:00	30,0	5	H	0:22:00
25,0	11	F	0:39:00	30,0	8	H	0:19:00
25,0	5	F	0:29:00	30,0	2	H	0:20:00
25,0	8	F	0:34:00	30,0	11	D	0:14:00
25,0	2	K	0:20:00	30,0	6	D	0:10:00

Tabela A25 – Valores de V_{PAR} da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas (*continuação*).

f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)	f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)
25,0	11	K	0:19:00	30,0	3	D	0:10:00
25,0	2	T	0:21:00	30,0	7	H	0:18:00
25,0	2	N	0:30:00	30,0	5	D	0:11:00
25,0	8	J	0:12:00	30,0	11	D	0:12:00
25,0	11	E	0:39:00	30,0	2	D	0:13:00
25,0	8	C	0:24:00	30,0	11	B	0:20:00
25,0	2	C	0:30:00	30,0	11	M	0:17:00
25,0	8	C	0:27:00	30,0	10	M	0:10:00
25,0	11	F	0:25:00	30,0	8	M	0:24:00
25,0	1	F	0:23:00	30,0	1	I	0:18:00
25,0	5	F	0:21:00	30,0	5	M	0:20:00
25,0	11	F	0:33:00	30,0	11	I	0:11:00
25,0	11	F	0:36:00	30,0	8	I	0:23:00
25,0	1	F	0:22:00	30,0	2	H	0:22:00
25,0	8	L	0:38:00	30,0	9	P	0:18:00
25,0	2	L	0:40:00	30,0	6	P	0:32:00
25,0	11	L	1:09:00	30,0	1	I	0:06:00
25,0	1	L	0:35:00	30,0	8	I	0:19:00
25,0	5	L	0:38:00	30,0	1	Q	0:19:00
25,0	11	L	0:52:00	30,0	5	Q	0:25:00
25,0	1	T	0:17:00	30,0	8	Q	0:19:00
25,0	11	T	0:22:00	30,0	2	Q	0:18:00
25,0	1	T	0:19:00	30,0	8	Q	0:18:00
25,0	7	T	0:10:00	30,0	2	Q	0:15:00
30,0	1	S	0:30:00	35,0	8	M	0:14:00
30,0	8	S	0:31:00	35,0	2	M	0:15:00
30,0	5	M	0:16:00	35,0	11	M	0:17:00
30,0	1	H	0:22:00	35,0	1	M	0:12:00
30,0	5	H	0:22:00	35,0	6	M	0:13:00
30,0	8	H	0:21:00	35,0	1	M	0:12:00
30,0	1	H	0:19:00	35,0	5	M	0:14:00
30,0	5	H	0:20:00	35,0	6	M	0:22:00
30,0	8	H	0:22:00	35,0	8	M	0:15:00
30,0	2	H	0:20:00	35,0	5	M	0:14:00
30,0	5	H	0:18:00	35,0	8	M	0:14:00

Tabela A25 – Valores de V_{PAR} da central CTB ordenados segundo os diferentes motoristas (*continuação*).

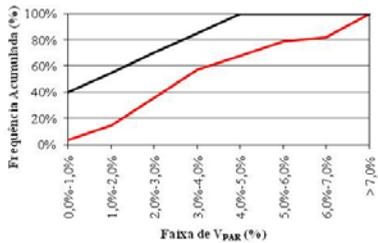
f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)		f_{ck} (Mpa)	Mot.	Obra	Tempo de descarga (h:m:s)
30,0	11	H	0:18:00		35,0	5	M	0:14:00
30,0	8	H	0:19:00		35,0	7	M	0:09:00
30,0	5	R	0:44:00		35,0	8	M	0:12:00
30,0	2	B	0:24:00		35,0	1	M	0:17:00
30,0	10	B	0:18:00		35,0	12	M	0:15:00
30,0	8	B	0:18:00		35,0	5	M	0:17:00
30,0	2	B	0:22:00		40,0	2	U	0:20:00
30,0	10	B	0:20:00		40,0	5	U	0:26:00
30,0	8	B	0:16:00		40,0	1	U	0:16:00
30,0	1	B	0:18:00		40,0	8	U	0:18:00
30,0	11	B	0:26:00		40,0	5	U	0:20:00
30,0	5	D	0:17:00		40,0	4	U	0:21:00
30,0	8	D	0:06:00		40,0	1	U	0:18:00
30,0	8	D	0:10:00		40,0	7	U	0:10:00
30,0	10	D	0:10:00		-	-	-	-



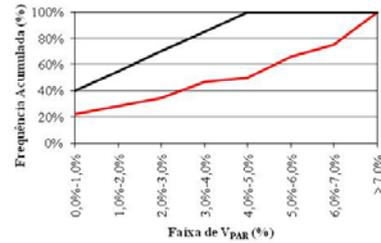
(a) Motorista 1



(b) Motorista 2

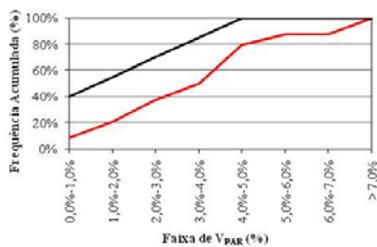


(c) Motorista 5



(d) Motorista 8

Figura A10 – Curva dos motoristas da central FLN.



(e) Motorista 11

Figura A10 – Curva dos motoristas da central FLN (continuação).

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina,
como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil – PPGEC para obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Civil

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr

Florianópolis, 2010