

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

LEANDRO TEIXEIRA TAKATA

**ASPECTOS EXECUTIVOS E A QUALIDADE DE ESTRUTURAS
EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO**

**São Carlos
2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ASPECTOS EXECUTIVOS E A QUALIDADE DE
ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO**

LEANDRO TEIXEIRA TAKATA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Construção Civil do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Orientação: Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho.

São Carlos

2009

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

T136ae

Takata, Leandro Teixeira.

Aspectos executivos e a qualidade de estruturas em
concreto armado : estudo de caso / Leandro Teixeira
Takata. -- São Carlos : UFSCar, 2010.
149 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2009.

1. Concreto armado. 2. Estruturas de concreto armado. 3.
Execução de estruturas. 4. Patologia das estruturas. I.
Título.

CDD: 690 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

Departamento de Engenharia Civil

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Via Washington Luís, Km 235 - CEP: 13.565-905 - São Carlos/SP/Brasil

Fone(16) 3351-8262

Site: www.ppgciv.ufscar.br

Email: ppgciv@power.ufscar.br

**"ASPECTOS EXECUTIVOS E A QUALIDADE DAS ESTRUTURAS EM CONCRETO
ARMADO: ESTUDO DE CASO"**

Leandro Teixeira Takata

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 24 de setembro de 2009

Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho
Departamento de Engenharia Civil/PPGCIV/UFSCar
Orientador

Prof. Dr. Almir Sales
Departamento de Engenharia Civil/PPGCIV/UFSCar
Examinador Interno

Prof. Dr. Jefferson Benedicto Libardi Libório
Escola de Engenharia de São Carlos / Departamento de Arquitetura e
Urbanismo
Examinador Externo

*Aos meus pais Nelson e Yara
pelo sacrifício e dedicação ao longo de todos esses anos.
Um agradecimento especial ao meu pai,
sem ele esse trabalho jamais seria possível.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, principalmente, ao meu orientador Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho pela oportunidade, amizade, convivência e, acima de tudo, confiar em mim. Agradeço pela compreensão e paciência sobre todas as dificuldades que apareceram durante o percurso.

A Arlete por toda ajuda, compreensão e carinho de todas as horas.

A Angela pela ajuda fornecida em diversas fases do trabalho e à amizade ao longo de todos esses anos.

Ao meu tio Joaquim, pela confiança e chance de iniciar toda essa jornada na universidade.

Ao Altibano, pela ajuda inicial do trabalho.

Ao Rodrigo Souza, pela convivência e amizade ao longo desses anos.

Ao Fabio e ao Rafael, pela possibilidade e visitas ao campo de obra.

Ao Programa de Pós-Graduação da UFSCar pela oportunidade de crescimento profissional.

RESUMO

A execução de estruturas em concreto armado é uma etapa da construção que tem importância significativa no contexto global de uma obra e envolve materiais, fornecedores, frentes de trabalho no canteiro e vários profissionais. Nessa etapa podem ocorrer muitos problemas: uso inadequado de materiais, má interpretação de projetos, uso incorreto de equipamentos, ação de intempéries e outros inconvenientes. Descuidos nessa fase podem gerar atrasos importantes no cronograma e custos adicionais, por acarretar novas tarefas e exigir materiais e equipamentos não previstos (um novo jogo de fôrmas pode ser utilizado, mas o material e mão-de-obra para o serviço podem não estar disponíveis). Fiscalização e cuidados são necessários para um bom produto final o que, porém, nem sempre é atingido. É aí que entra a patologia das estruturas, que visa à prevenção e correção de falhas em todas as etapas construtivas. Caso contrário podem aparecer problemas na cadeia global da obra, com a necessidade de reestruturar o processo de execução da edificação. Por isso, diversos autores propõem métodos construtivos padrões e até alternativos, empresas disponibilizam manuais da boa execução e controle de qualidade dos materiais e as normas propõem requisitos mínimos para a segurança, durabilidade e qualidade das edificações. Estudar e melhorar a etapa de execução significa, portanto, evitar atrasos e custos adicionais, assim como garantir que a edificação tenha qualidade e durabilidade. Este trabalho analisa a etapa de execução de um edifício de múltiplos pavimentos, apontando erros e suas possíveis influências na qualidade do edifício durante sua vida útil.

Palavras chave: Concreto armado; Patologia das estruturas; Execução de estruturas.

ABSTRACT

The execution of reinforced concrete structures is a construction stage that has significant importance in the overall context of a work and involves materials, suppliers, work fronts in the workplace and a large number of professionals. In this stage many problems may occur: inadequate use of materials, misinterpretation of the project, incorrect use of equipments, action of weather and other inconveniences. Carelessness at this stage can lead to major schedule delays and extra costs, as this will require new tasks, materials and equipment not predicted (a new set of forms can be used, but the material and labor for the service may not be available). Surveillance and attention are needed for a good final product which, however, is not always achieved. That is where the pathology of structures acts, aiming to correct and prevent failures in all constructive stages. Otherwise, problems may appear in the global chain of the work, leading to the need to restructure the process of execution of the building. Therefore, several authors propose standard, and even alternative, construction methods, companies provide manuals of performance and quality control of materials and the codes propose minimum requirements for safety, durability and quality of buildings. To study and improve the execution phase means, therefore, avoiding delays and additional costs, as well as ensuring that the building will have quality and durability. This paper analyzes the execution phase of a given multiple floor building, pointing out mistakes and their possible influences on the quality of the building during its service life.

Keywords: Reinforced concrete; Pathology of structures; Structure execution.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FÔRMAS E TRAVAMENTOS	25
FIGURA 2 - LAJES E VIGAS COM EXCELENTE GRAU DE EXECUÇÃO	26
FIGURA 3 - POSICIONAMENTO DE ESCORAMENTOS QUE SERVIRÃO PARA A MONTAGEM E SUPORTE DAS FÔRMAS	28
FIGURA 4 - FÔRMAS PLÁSTICAS PARA EXECUÇÃO DAS NERVURAS NA LAJE.....	31
FIGURA 5 - NERVURAS QUE PROPORCIONAM À LAJE MENOR PESO NA ESTRUTURA.....	32
FIGURA 6 – ALGUNS ELEMENTOS COMPONENTES PARA ESCORAMENTOS, SENDO 1) ESCORA; 2)TORRES; 3) VIGAS METÁLICAS E 4)TRELIÇAS.	33
FIGURA 7 - ESPAÇADOR CIRCULAR	41
FIGURA 8 - TUBOS E CONES DE ENCOSTO	41
FIGURA 9- ESPAÇADOR DO TIPO PINO	42
FIGURA 10 - ESQUEMA GERAL DE UM CANTEIRO COM O DEVIDO CAMINHO PARA PASSAGEM DE MATERIAIS, PESSOAS E EQUIPAMENTOS	42
FIGURA 11 - EXEMPLO DE PILAR EXECUTADO DE MANEIRA CORRETA E SEM PROBLEMA PATOLÓGICO DE 'BICHEIRAS'	65
FIGURA 12 - REGIÃO COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE ARMADURA QUE REQUER ATENÇÃO ESPECIAL NO ADENSAMENTO PARA EVITAR INCIDÊNCIAS PATOLÓGICAS	75
FIGURA 13 - RELAÇÃO ENTRE DESEMPENHO, VIDA ÚTIL E MANUTENÇÃO DO EDIFÍCIO	82
FIGURA 14 - EXEMPLO DE EMPILHAMENTO CORRETO DOS SACOS DE CIMENTO	88
FIGURA 15 - DESNÍVEL DA VIGA	93
FIGURA 16 - ABERTURA DA FÔRMA DURANTE O PROCESSO DE CONCRETAGEM.....	93
FIGURA 17 - BICHEIRAS COM FERRAGEM EXPOSTA	94
FIGURA 18 - BICHEIRA EM LAJES NERVURADAS	95
FIGURA 19 - - BICHEIRAS NA PARTE SUPERIOR DA VIGA.....	95
FIGURA 20 - PILAR FORA DE PRUMO EM RELAÇÃO AO PAVIMENTO INFERIOR	97
FIGURA 21 - FRAGMENTOS DE FÔRMAS INCORPORADOS	99
FIGURA 22 - FRAGMENTOS DE FÔRMA INCORPORADOS AO PILAR	99
FIGURA 23 - ESPAÇADOR DE PVC.....	101
FIGURA 24 - EFEITO PAREDE	106
FIGURA 25 - POSICIONAMENTO DA PRIMEIRA ETAPA DA ESCADA	113
FIGURA 26 - FÔRMA DANIFICADA PELO USO INADEQUADO	113
FIGURA 27 - FÔRMAS DO PILAR.....	114
FIGURA 28 - BASE DO PILAR (GASTALHO).....	115
FIGURA 29 - TRAVAMENTO DO PILAR USANDO ESCORA DE MADEIRA E 'ANEL' DE AÇO	115

FIGURA 30 - FÔRMA DE PILAR NUMERADA E DEVIDAMENTE APRUMADA	116
FIGURA 31 - PILAR NUMERADO E TRAVADO PRONTO PARA A CONCRETAGEM	116
FIGURA 32 - TUBO CILÍNDRICO USADO PARA MELHOR TRAVAMENTO E ESPAÇADOR.....	117
FIGURA 33 - TUBO CILÍNDRICO CONCRETADO NO PILAR.....	117
FIGURA 34 - ESCORAS E MADEIRAMENTO DAS VIGAS.....	118
FIGURA 35 - MADEIRA DE SUPORTE PARA EVITAR O ESCORRIMENTO EXCESSIVO DO CONCRETO	119
FIGURA 36 - FÔRMA DE PILAR DANIFICADA POR MANUSEIO INCORRETO E ESTOCAGEM INADEQUADA	120
FIGURA 37 - PLACA EM 'L' PARA CONTER O CONCRETO	120
FIGURA 38 - ESCORAMENTO DISTRIBUÍDO PELO PAVIMENTO PARA MONTAGEM DAS FÔRMAS DA LAJE	121
FIGURA 39 - FÔRMAS DANIFICADAS QUE PREJUDICAM A QUALIDADE DO SERVIÇO A SER EXECUTADO	122
FIGURA 40 - ESCORAS, BARRAS DE SUPORTE E FÔRMAS DAS LAJES	123
FIGURA 41 - REVESTIMENTO QUE SERVIRÁ DE NERVURA PARA A LAJE.....	123
FIGURA 42 - PREPARO PARA ELEMENTOS QUE FICARÃO EMBUTIDOS NA LAJE	124
FIGURA 43 - CONCENTRAÇÃO DE BARRAS DE AÇO E FÔRMAS DESGASTADAS POR MANUSEIO. 125	
FIGURA 44 - USO DE CARANGUEJOS PARA POSICIONAR ARMADURA	126
FIGURA 45 - MEDIÇÃO PARA O POSICIONAMENTO ADEQUADO DAS BARRAS DA ESCADA	127
FIGURA 46 - PATAMAR DA ESCADA PRONTO PARA CONCRETAGEM.....	127
FIGURA 47 - ARMADURAS E FÔRMAS COMPLETAMENTE COMPROMETIDAS	128
FIGURA 48 - ARMADURA EXPOSTA APÓS A CONCRETAGEM	129
FIGURA 49 - APARELHO USADO PARA CONFERÊNCIA DE NÍVEL DA LAJE.....	130
FIGURA 50 - DETRITOS E SUJEIRA DEIXADOS NA FÔRMA 'PREENCHENDO' LOCAL ONDE DEVERIA IR CONCRETO	131
FIGURA 51 - COLOCAÇÃO DE UMA TELA LATERAL PARA EVITAR QUE O EXCESSO DE CONCRETO SEJA ARREMESSADO DO PAVIMENTO.....	132
FIGURA 52 - AÇO DOBRADO PARA PERMITIR PASSAGEM DA MANGUEIRA PARA CONCRETAGEM	133
FIGURA 53 - CAMINHÃO BETONEIRA COM ACESSO FÁCIL PARA A CONCRETAGEM.....	134
FIGURA 54 - SLUMP TEST	134
FIGURA 55 - CONFERÊNCIA DO ABATIMENTO ACEITÁVEL PARA O RECEBIMENTO DO CONCRETO	135
FIGURA 56 - LANÇAMENTO DO CONCRETO ATRAVÉS DA MANGUEIRA	136
FIGURA 57 - LANÇAMENTO E ADENSAMENTO DO CONCRETO NA ESCADA	136

FIGURA 58 - ADENSAMENTO INADEQUADO GERANDO PROBLEMAS DE BICHEIRA NOS PÉS DOS PILARES.....	137
FIGURA 59 - NIVELAMENTO DA ESCADA.....	137
FIGURA 60 - PASSAGEM DE PESSOAS E EQUIPAMENTO NA ARMADURA SEM UM CAMINHO PRÉ DEFINIDO.....	138
FIGURA 61 - NIVELAMENTO DO CONCRETO NA LAJE	139
FIGURA 62 - ADENSAMENTO NÃO FEITO DE MANEIRA CORRETA OCASIONANDO 'BICHEIRAS' ..	140
FIGURA 63 - VIBRAÇÃO DO CONCRETO INADEQUADA QUE OCASIONOU 'BICHEIRAS'	140
FIGURA 64 - ALISAMENTO DA SUPERFÍCIE DA LAJE	141
FIGURA 65 - MOLHAGEM DO CONCRETO PARA A ETAPA DE CURA.....	141
FIGURA 66 - MANTAS PARA EVITAR A EVAPORAÇÃO EXCESSIVA E BRUSCA DA ÁGUA DO CONCRETO	142
FIGURA 67 - PAVIMENTO NÃO COBERTO POR COMPLETO, COMPROMETENDO A CURA ADEQUADA	143
FIGURA 68 - USO DE BARRAS PARA REMOÇÃO DE FÔRMAS	144
FIGURA 69 - USO DE MARTELO PARA REMOÇÃO DE FÔRMAS DOS PILARES	144

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PRINCIPAIS TIPOS DE CONCRETO DOSADO EM CENTRAL.....	49
QUADRO 2 - PRINCIPAIS TIPOS DE ADITIVOS E SEUS RESPECTIVOS USOS.....	55
QUADRO 3 - RECOMENDAÇÕES E VERIFICAÇÕES NECESSÁRIAS PARA MATERIAIS	58
QUADRO 4 - CUIDADOS NECESSÁRIOS PARA AS ETAPAS DE EXECUÇÃO DE UM PAVIMENTO.....	71
QUADRO 5 - CLASSE DE AGRESSIVIDADE DO MEIO AMBIENTE	80
QUADRO 6 - COBRIMENTOS NOMINAIS PARA $\Delta C = 10$ MM.....	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESC – Associação Brasileira dos Serviços de Concretagem

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira Registrada

GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

PBQP-H – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

CP – Cimento Portland

ARI – Alta Resistência Inicial

PVA – Acetato de Polivinila

PVC – Policloreto de Vinila

ISO – International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2 AÇÕES POLÍTICAS E TECNOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	16
1.2.1 AÇÕES POLÍTICAS PARA A MELHORIA DA QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	16
1.2.2 AÇÕES TECNOLÓGICAS PARA MELHORIA DA QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
1.3 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	19
1.4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	20
2 FÔRMAS E CIMBRAMENTOS	21
2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS FÔRMAS	24
2.2.1 Escoramentos	27
2.2.2 Tipo de fôrma: madeira, metálica e plástica	28
2.3 ELEMENTOS CONSTITUINTES	32
2.4 RECOMENDAÇÕES DAS NORMAS PARA MONTAGEM DE FÔRMAS E ESCORAMENTOS	34
3 ARMADURA	36
3.1 ESTOCAGEM DO AÇO	36
3.2 CORTE DAS BARRAS	37
3.3 COBRIMENTO E PROTEÇÃO DA ARMADURA	38
3.4 MONTAGEM DAS ARMADURAS	40
3.5 RECOMENDAÇÃO DA NORMA - POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS	43
4 CONCRETAGEM	44
4.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	44
4.1.1 CIMENTO PORTLAND	44
4.1.1.1 Introdução	44
4.1.1.2 Características gerais de hidratação	45
4.2 CONCRETO	47

4.2.1 INTRODUÇÃO	47
4.2.2 PRINCIPAIS COMPONENTES	48
4.2.2.1 Agregados	50
4.2.2.2 Aditivos	53
4.2.3 PRODUÇÃO: CONCRETO MOLDADO IN LOCO OU USINADO	56
4.2.4 CONTROLE TECNOLÓGICO	56
4.2.5 TRABALHABILIDADE	59
4.2.6 RESISTÊNCIA	60
4.2.7 DEFORMAÇÕES	61
4.3 PRÁTICAS RECOMENDADAS NA CONCRETAGEM	62
4.3.1 TRANSPORTE	62
4.3.2 LANÇAMENTO DO CONCRETO	63
4.3.3 ADENSAMENTO DO CONCRETO	64
4.3.4 CURA	68
4.3.5 RETIRADA DE FÔRMAS E ESCORAMENTOS	71
4.4 RECOMENDAÇÕES DA NORMA PARA A ETAPA DE CONCRETAGEM	72

5 PATOLOGIA NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO **78**

5.1 ORIGEM DA PATOLOGIA DE ESTRUTURAS	83
5.1.1 CONCEPÇÃO (PROJETO)	83
5.1.2 EXECUÇÃO	83
5.1.3 UTILIZAÇÃO (MANUTENÇÃO)	84
5.2 CAUSAS DOS PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DURANTE A CONSTRUÇÃO	85
5.2.1 INTERPRETAÇÃO DO PROJETO	85
5.2.2 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO EM GERAL	86
5.2.3 CONTROLE DE QUALIDADE DE EXECUÇÃO	91
5.2.4 DEFICIÊNCIA NAS FÔRMAS E ESCORAMENTOS	92
5.2.5 DEFICIÊNCIAS NO PROJETO E EXECUÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS	96
5.2.6 JUNTAS NAS FÔRMAS	98
5.2.7 DEFICIÊNCIAS NAS ARMADURAS	100
5.2.7.1 Qualidade das armaduras	100
5.2.7.2 Posicionamento das armaduras	100
5.2.7.3 Cobrimento	101
5.2.7.4 Espaçamento mínimo	101
5.2.7.5 Dobramento e ancoragem	102
5.2.7.6 Emendas	103

5.2.8 ERROS NA CONCRETAGEM	104
<u>6 ESTUDO DE CASO</u>	<u>111</u>
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DAS VISITAS EM OBRA	111
6.2 FÔRMAS E ESCORAMENTOS – MONTAGEM E DESMONTAGEM	112
6.3 ARMADURAS - POSICIONAMENTO	124
6.4 CONCRETAGEM E PROCEDIMENTOS	129
6.5 RETIRADA DE FÔRMAS E ESCORAMENTO	143
<u>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	<u>145</u>
<u>REFERÊNCIAS</u>	<u>147</u>

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A tendência mundial, devido às pressões econômicas, é a redução de custos. Na engenharia civil não seria diferente, o que a obriga a buscar a racionalização dos processos construtivos. As etapas de projeto, de execução e de manutenção nunca tiveram tanta importância como atualmente, seja para ganho de mercado por meio da satisfação do cliente ou para redução de custos da empresa.

Entretanto, esses fatos não devem acarretar em perda de qualidade das construções. Assim, para que se evitem as manifestações patológicas é necessário que haja compatibilização entre os projetos, para que se evitem os problemas de compreensão (por parte de quem irá executar o projeto), de execução e de interligação dos mesmos. Caso contrário, a patologia pode se manifestar comprometendo o desempenho e a qualidade da edificação. Esse tipo de manifestação pode ocorrer pela falta de cuidados na execução, falta de qualidade dos materiais, falta de projetos bem detalhados e principalmente pela falta de compatibilidade entre eles.

As etapas de construção de um edifício com estrutura em concreto armado podem ser resumidas em projeto (estrutural, fôrma, elétrico, hidráulico, entre outros), montagem (fôrmas, armaduras, escoramentos), concretagem (transporte, lançamento, adensamento, nivelamento, cura), desmontagem (retirada de fôrmas e escoramentos) e acabamentos finais.

O projeto requer maior atenção e cuidado dentre todas as outras etapas. Nessa fase, os detalhes devem ser exibidos de forma exaustiva para minimizar as dúvidas referentes à execução e de como as interligações devem ser executadas.

A montagem (fôrmas, armaduras e escoramentos) requer um alto grau de atenção e de inspeção do profissional responsável. Nessa fase, encontram-se os maiores geradores de patologia, devido ao mau posicionamento e ao estado inadequado de conservação das fôrmas, além da não fixação e travamentos adequados. A armadura deve estar posicionada corretamente, observando-se os espaçamentos mínimos, as taxas limites de armadura, os detalhes construtivos e as regiões onde há o cruzamento de armaduras, de forma a permitir boa montagem e posterior concretagem.

Outro tópico importante a ser destacado é o sistema de transporte do concreto. O sistema de transporte deve ser tal que permita o lançamento direto nas fôrmas, evitando-se depósitos intermediários ou transferência de equipamentos (FREIRE, 2001). Vale lembrar também que o tempo de duração do transporte deve ser o menor possível, para minimizar os efeitos relativos à redução da trabalhabilidade com o passar do tempo.

A concretagem é uma das etapas do ciclo de execução da estrutura e, embora seja a de menor duração, necessita de um planejamento que considere os diversos fatores que interferem na produção, visando um melhor aproveitamento de recursos (RIPPER, 1984).

O lançamento do concreto geralmente é realizado pelo próprio equipamento de transporte. Deve ser tomado cuidado nessa etapa devido ao problema de segregação do concreto.

Já a concretagem deve garantir que o concreto chegue à fôrma coeso, que preencha todos os seus cantos e armadura e seja adequadamente vibrado para eliminar os vazios. É fundamental o seu controle tecnológico, com testes de verificação da sua trabalhabilidade, além de promover a retirada de corpos de prova para a medição da resistência à compressão e do módulo de elasticidade.

A realização da cura é fundamental para a garantia da resistência desejada na estrutura, pois evita a ocorrência de fissuração plástica do concreto, uma vez que impede a perda precoce da umidade (RIPPER, 1984).

Por fim, a retirada de fôrmas e escoramentos deve ser feita quando o concreto resistir com segurança seu peso próprio e as cargas atuantes. Além disso, a retirada deve ser efetuada de forma evolutiva para que a peça possa sofrer um aumento de carga gradativo, lembrando que nesse momento o concreto deve apresentar um módulo de elasticidade adequado para evitar deformações excessivas, que, caso existam, se perpetuarão ao longo da vida útil da estrutura.

Este trabalho apresenta medidas para a boa prática de execução baseadas nas normas (NBR 6118:2003: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento; NBR14931:2003: Execução de estruturas de concreto armado – Procedimento; e NBR15696:2009: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos;), referências e de dados coletados em campo, para que se possa minimizar a possibilidade de patologias e melhorar a

qualidade e o desempenho das edificações. As etapas a serem discutidas englobam o projeto, a montagem das fôrmas e armaduras, concretagem, adensamento, cura e retirada de fôrmas e escoramentos.

Em razão dessas exigências, e visto que em muitas obras esses fatores não são considerados, o que é evidente em razão das inúmeras patologias observadas, é que se procura neste trabalho discutir os procedimentos que devem ser observados em uma boa execução, a partir de recomendações de fabricantes, de boas técnicas construtivas e, principalmente, das recomendações de normas. Para demonstrar esses fatos, foi feito também um estudo de caso em que se procurou analisar aspectos importantes especificados pelas normas, e nem sempre observados, que representam a causa da grande incidência de patologias nas construções (imediatas ou que ocorrem ao longo da sua vida útil) assim como elevação de custo da edificação.

1.2 Ações políticas e tecnológicas na construção civil

O processo de execução, dividido em etapas como, planejamento, projeto e execução, têm buscado cada vez mais a redução de incidências patológicas, o aumento da qualidade de seus produtos e a redução de custos de seus processos. Grande parte dos estudos e das pesquisas de melhorias no produto final estão sendo voltadas a esses aspectos, visando as melhorias em cada etapa para buscar um melhor produto final e também redução de custos.

As preocupações com as incidências patológicas na construção civil vêm ganhando destaque em razão da elevação do nível sociocultural do país e da modernização de legislações envolvendo os fabricantes e os consumidores. Essa relação extrapolou a esfera corporativa e avançou em direção aos direitos reais dos consumidores finais, os principais prejudicados em termos de bens de consumo no Brasil. As deficiências existem, mas é crescente o número de construtoras e de incorporadoras que buscam a sua qualificação ou os certificados de qualidade.

1.2.1 Ações políticas para a melhoria da qualidade na construção civil

Qualidade e durabilidade são as palavras-chave para que as empresas do setor da construção civil sejam bem-sucedidas atualmente. Salvo as construções

eminentemente populares, nas demais, os consumidores estão tão preocupados com a qualidade e durabilidade da edificação quanto com o preço das mesmas.

Ainda que haja um crescente progresso relacionado a métodos e a técnicas de execução de estruturas das edificações, há uma barreira cultural e econômica fazendo frente a essas melhorias, principalmente quando se trata de implementar novas tecnologias e métodos construtivos.

A modernização dos meios de produção na construção civil foi induzida pela modernização das demais indústrias de outros setores produtivos, e, paralelamente, os órgãos de financiamento da construção passaram a exigir graus mínimos de qualidade e de desempenho das edificações para aprovar os projetos e liberar as verbas para a construção privada. Além disso, a legislação para as licitações públicas passa a exigir das empresas licitantes a certificação ISO 9000, sem a qual não poderiam mais participar das concorrências públicas. Dessa forma, inicialmente, as grandes empreiteiras de obras públicas buscaram obter a sua certificação, favorecendo a melhoria da qualidade e da produtividade do setor.

A partir da década de 1990, o governo, por meio da Caixa Econômica Federal, instituiu o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), que tem como meta organizar o setor da construção civil de modo que haja melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva, como forma de reestruturar e modernizar a construção civil habitacional no país (PAULA, 2004).

Outra questão fundamental para a melhoria da qualidade da construção civil foi a entrada de novos produtos complementares provenientes do exterior, com a flexibilização do mercado de importação e de exportação no Brasil. Como resultado da globalização, considerando-se apenas os efeitos benéficos, foi possível adquirir equipamentos e máquinas que até o início da década de 1990 tinham preços proibitivos no país, citando, como exemplo característico, os níveis a laser para grandes áreas pavimentadas e os teodolitos aferidos por GPS (Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global).

1.2.2 Ações tecnológicas para melhoria da qualidade na construção civil

Como efeito da globalização, todos os setores produtivos reformularam seus conceitos e buscaram modernizar sua estrutura produtiva, tendo como uma das principais premissas a qualidade e a produtividade.

Indústrias fornecedoras de pisos cerâmicos implementaram os processos produtivos que aumentaram o controle da linha de produção, dentre os quais é possível destacar o controle do gradiente de temperatura no cozimento das cerâmicas. Esse único quesito foi responsável pela melhoria da qualidade dos produtos acabados e, em obra, possibilitaram maior percentual de aproveitamento, com menor perda por motivo de irregularidade dimensional ou empenamento.

Outra ação tecnológica, ou precisamente, de gestão da produção, está baseada na concepção da edificação como um produto que deve atender requisitos mínimos de segurança, desempenho, conforto e qualidade para o usuário final.

A literatura cita, em alguns casos, o usuário final como o incorporador, mas nesse texto deve ser considerado o morador da edificação ou o seu ocupante. Com essa premissa, pode ser destacada, especialmente nas grandes construtoras e empreendedoras multinacionais, a aplicação da tecnologia denominada Engenharia Simultânea, que consiste em analisar a edificação como um produto a ser lançado no mercado e cujas etapas de desenvolvimento devem estar perfeitamente harmonizadas, interagindo entre si, por meio de cada departamento ou equipe encarregada em desenvolver ou executar o projeto.

Segundo Fabrício (2002) a aplicabilidade da Engenharia Simultânea possibilita adequar as equipes de projeto e de obra, sejam elas da empresa ou terceirizadas, de forma que o projeto aconteça total integração entre a concepção e a produção, para que possa haver o menor percentual de ajustes na fase de produção. Com essa adequação dos projetos, as incompatibilidades e detalhes a serem executados do empreendimento são reduzidos o máximo possível. Da mesma forma, existe a redução de custo global, isto é, o projeto total tem um custo menor que o projeto total realizado pela engenharia sequencial. Contudo, a engenharia simultânea requer maior investimento inicial em recursos humanos, por atuar por meio de “times” de desenvolvimento de produto.

Em relação aos profissionais atuantes numa empresa que desenvolve projetos dentro da filosofia de engenharia simultânea, devem ser incluídos, no caso da construção civil, pelo menos os engenheiros de estruturas, instalações, arquitetos e gerentes de mercado de forma que a equipe esteja focada em todos os aspectos relacionados com o produto.

É possível dizer que o tempo gasto no desenvolvimento adequado do projeto pode se traduzir em economia de escala, isto é, o custo inicial com uma equipe maior de profissionais, geralmente, não representa aumento do preço final da obra acabada. Quanto maior o empreendimento maior o potencial de surgimento de patologias e quanto menor o recurso aplicado no empreendimento também será maior a probabilidade de surgimento de patologias futuras.

1.3 Objetivos e justificativas

O trabalho tem como objetivos:

- Apresentar as etapas de execução de uma estrutura em concreto armado a partir da montagem das fôrmas e armaduras até a fase de desmontagem das mesmas;
- Analisar os métodos empregados durante o processo, os materiais e as ferramentas utilizadas;
- Comparar os dados obtidos em campo com os dados obtidos em bibliografias e nas normas prescritivas;
- Analisar as possíveis manifestações patológicas observadas devido a erros durante o processo de execução.

O objetivo de um trabalho com essas características é exibir a discussão na engenharia civil que, está sendo mais focada na qualidade e na durabilidade das estruturas, além da redução do desperdício de materiais. Para atender esses requisitos, o sistema de desenvolvimento do edifício e todas suas etapas devem ser revistas, o que envolve projetos, execução e manutenção. Mas para que essas melhorias possam ser válidas, as especificações de projeto devem ser bem elaboradas e seguidas.

Grande parte dos problemas patológicos que se manifestam provém de falhas em alguma das etapas, tais como projeto não detalhado, falta de fiscalização

adequada durante a execução ou até mesmo o uso inadequado e falta de manutenção da edificação. Por ser um item que vem gerando grandes preocupações das empresas, o presente trabalho aborda uma parte sobre patologias envolvidas nas etapas de execução de pavimentos de estruturas.

A proposta desse trabalho é apresentar algumas situações reais do canteiro de obras (estudo de caso) com ilustrações e compará-las ao que a literatura e a normas recomendam, avaliando assim, os processos de execução, desde a montagem das fôrmas até a desfôrma para que as atividades envolvidas nessas etapas possam ser realizadas de maneira correta.

É um tema de grande importância para que estruturas possam ser executadas de forma mais correta possível e para que futuras manifestações patológicas possam ser evitadas.

Deve-se ressaltar que este trabalho não enfocou em exibir ou elaborar inovações tecnológicas para a execução das estruturas em concreto armado.

1.4 Desenvolvimento do trabalho

O trabalho é dividido em sete capítulos.

O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução e os objetivos gerais do trabalho. No Capítulo 2 são apresentadas as recomendações teóricas de algumas características gerais sobre fôrmas. A caracterização das armaduras, desde a estocagem até o posicionamento pré concretagem é realizada no Capítulo 3 enquanto que no Capítulo 4 é destacado a concretagem em si e todas as etapas envolvidas. É discutido os materiais e as características gerais além de todos os processos de chegada ao canteiro até a posterior cura e desfôrma. Do segundo até o quarto capítulo são mostrados como as bibliografias existentes, manuais técnicos e as normas recomendam para uma boa execução e minimização de incidências patológicas.

O Capítulo 5 explora o fato da não execução adequada e quais as principais consequências e o Capítulo 6 apresenta um estudo de caso elaborado por meio de visitas em canteiro de obra, onde foi acompanhada a execução de três pavimentos em concreto armado de um edifício residencial.

No Capítulo 7 estão às conclusões e os comentários gerais sobre o que foi pesquisado com o que foi visto.

2 FÔRMAS E CIMBRAMENTOS

2.1 Introdução

Por ser um elemento de grande importância, principalmente no que diz respeito ao custo nas estruturas em concreto armado, as fôrmas podem ser tratadas como limitadoras nos prazos e na qualidade das obras. Muitas empresas ainda não dão a devida atenção no sistema que envolve a execução e a montagem das peças que servirão de suporte ao concreto. Nota-se isso pela maneira a qual as peças são estocadas e pelo estado de conservação das peças ao serem reutilizadas.

É um elemento de extrema importância que pode gerar muitos custos adicionais e atrasos na obra se não bem executado e pensado. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) – NBR 15696:2009 traz as definições e como deve ser feito de maneira que traga boa qualidade e segurança para as peças em questão.

A norma traz alguns termos e definições que devem ser mencionados:

- Fôrmas (item 3.1) – são estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante;
- Escoramentos (item 3.2) – estruturas provisórias com capacidade de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as fôrmas horizontais e verticais, até que o concreto se torne autoportante;
- Reescoramento e escoramento remanescente (item 3.3) – estruturas provisórias auxiliares, colocadas sob uma estrutura de concreto que não tem capacidade de resistir totalmente às ações provenientes de cargas permanentes e/ou variáveis, transmitindo-as às bases de apoio rígidas ou flexíveis.

Vale apontar que para sistemas industrializados metálicos, conforme item 4.5, devem ser verificados com o fabricante os valores admissíveis, que devem obedecer

às normas específicas do material de sua fabricação para que possa ser evitado o problema de flambagem nos postes de escoramento.

Outra norma que faz menção à etapa de fôrmas e que merece um comentário é a NBR 14931:2003 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento, que também aborda o assunto.

O item 7.1 apresenta alguns requisitos básicos que o sistema de fôrmas, escoramentos, cimbramentos e andaimes deve ter:

- A resistência às ações a que possam ser submetidos os processos de construção devem incluir: ações de fatores ambientais, carga da estrutura auxiliar, cargas das partes da estrutura permanente a serem suportadas pela estrutura auxiliar, efeitos dinâmicos acidentais produzidos pelo lançamento e adensamento do concreto;
- Rigidez suficiente para assegurar que as tolerâncias especificadas para a estrutura e nas especificações do projeto sejam satisfeitas e a integridade dos elementos estruturais não seja afetada.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 ainda cita outros pontos para a elaboração de projetos e execução, que acabam sendo similar ao da NBR 15696:2009.

O que se destaca de diferente é:

- Fôrmas perdidas – remanescentes dentro da estrutura (item 7.2.6) – onde se recomenda evitar essa prática. Nos casos em que, após a concretagem da estrutura ou de um determinado elemento estrutural, não for feita a retirada da fôrma ou parte dela, essa condição deve ser pré-estabelecida em projeto e devem ser verificadas: a durabilidade do material componente das fôrmas, a compatibilidade desse material com o concreto, a estabilidade estrutural do elemento contendo a fôrma perdida e a correta ancoragem da fôrma perdida;
- Uso de agentes desmoldantes (item 7.2.7) – quando agentes destinados a facilitar a desmoldagem forem necessários, devem ser aplicados exclusivamente na fôrma antes da colocação da armadura e de maneira a não prejudicar a superfície do concreto. Devem ser aplicados de acordo com especificações do fabricante e

normas nacionais, devendo ser evitado o excesso ou a falta. Os produtos não devem deixar resíduos na superfície do concreto ou causar a alteração na qualidade da superfície (ou alteração na cor do concreto) e nem prejudicar a aderência do revestimento a ser aplicado.

Segundo Freire (2001), a estrutura tem grande peso na determinação do prazo e da qualidade da obra, sendo um dos caminhos críticos mais longos, determinando o início da execução de quase todos os serviços subsequentes.

Diante disso, o aumento da produtividade da mão-de-obra e a redução dos desperdícios de materiais nos serviços de estruturas são de importância estratégica para o empreendimento, tanto pela sua participação, em torno de 10% do custo total da obra, como pela sua influência nos prazos e qualidade do empreendimento.

A fôrma pode ser considerada, de maneira bem simples, como o conjunto de componentes cujas funções principais são:

- Conter o concreto fresco e sustentá-lo até que tenha resistência suficiente para se sustentar por si só;
- Dar molde ao concreto;
- Proporcionar à superfície do concreto a textura requerida.

Freire (2001) ainda aponta que o sistema de formas possui outras características dentre as quais se destacam:

- Servir de suporte para o posicionamento da armação, permitindo a colocação de espaçadores para garantir o cobrimento;
- Servir de suporte para o posicionamento de elementos das instalações e outros itens embutidos;
- Servir de estrutura provisória para as atividades de armação e de concretagem, devendo resistir às cargas provenientes do seu peso próprio, além das de serviços como pessoas, equipamentos e materiais;
- Proteger o concreto novo contra choques mecânicos;
- Limitar a perda de água do concreto, facilitando a cura.

Uma fôrma deve desempenhar adequadamente suas funções e o não atendimento dessas necessidades pode gerar grandes custos para a obra. Vale mencionar que o fato da fôrma não permanecer incorporada no edifício (exceção de alguns casos, por exemplo, fôrmas do tipo ‘Steel Deck’) agrava ainda mais o fator custo total da obra caso não haja um planejamento adequado.

A necessidade de maior controle tecnológico dos materiais e a busca pela redução de perdas e de prazos tem feito as empresas construtoras prestar mais atenção às fôrmas e escoramentos.

Além da opção tradicional (madeira), o mercado oferece uma opção de sistema industrializado, que é empregado alumínio, aço e compensado de madeira.

A concepção é fazer com que a obra se torne um processo industrial, minimizando custos através de projetos mais adequados e detalhados. Por ser um processo industrializado, as fôrmas industrializadas são mais caras que as tradicionais fôrmas de madeira quando se trata de custo inicial.

As vantagens do uso desse sistema industrializado seriam canteiros mais limpos, possibilidade de menor quantidade de escoramentos, possibilitando vãos maiores e maior precisão geométrica.

As fôrmas muitas vezes não são estocadas de maneira adequada, são danificadas durante o manuseio (seja ele na fixação ou na retirada durante o processo de execução de um pilar, por exemplo), comprometendo o reaproveitamento, a durabilidade e a integridade de cada peça.

Para que esse sistema se encaixe corretamente na proposta de economia e de melhoria, o projeto deve possuir detalhes claros e que facilite seu uso (como por exemplo, mantendo uniformidade das medidas), além de depender de fatores como tipo de empreendimento e custo, além da qualidade da mão-de-obra utilizada.

2.2 Características gerais das fôrmas

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003, as fôrmas devem adaptar-se ao formato e às dimensões das peças da estrutura projetada, ser suficientemente estanques de modo a impedir a perda de pasta de cimento e que posicionem os elementos estruturantes de modo a manter o formato e a posição da fôrma durante sua utilização, ou seja, deve ser dimensionada de tal maneira

que não sofra deformações prejudiciais durante seu uso, sob efeitos de cargas (peso próprio, carga atuante, concreto no estado não endurecido) seja sob ações ambientais (intempéries).

Também necessitam alguns cuidados de montagem e posicionamento, tais como, contra flechas para compensar deformações provocadas pelo peso do material introduzido (deve ser previsto em projeto), escoramentos projetados de maneira a não sofrer sob a ação do seu peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da obra, deformações prejudiciais à forma da estrutura e que possam causar esforços no concreto na fase de endurecimento, contraventar peças esbeltas de tal modo que se evite a flambagem.

Além disso, deve-se evitar o recalque onde são apoiados os escoramentos, principalmente por esforços transmitidos a esses elementos.

Um ponto que merece bastante atenção é o fato que as fôrmas devem ser moldadas de maneira que facilite o serviço de retirada de todos os elementos envolvidos (figura 1). O maior problema encontrado, gerado pela mão-de-obra, é o uso excessivo de pregos, o que proporciona maior desgaste da madeira tanto no processo de montagem, quanto no processo de retirada das peças.

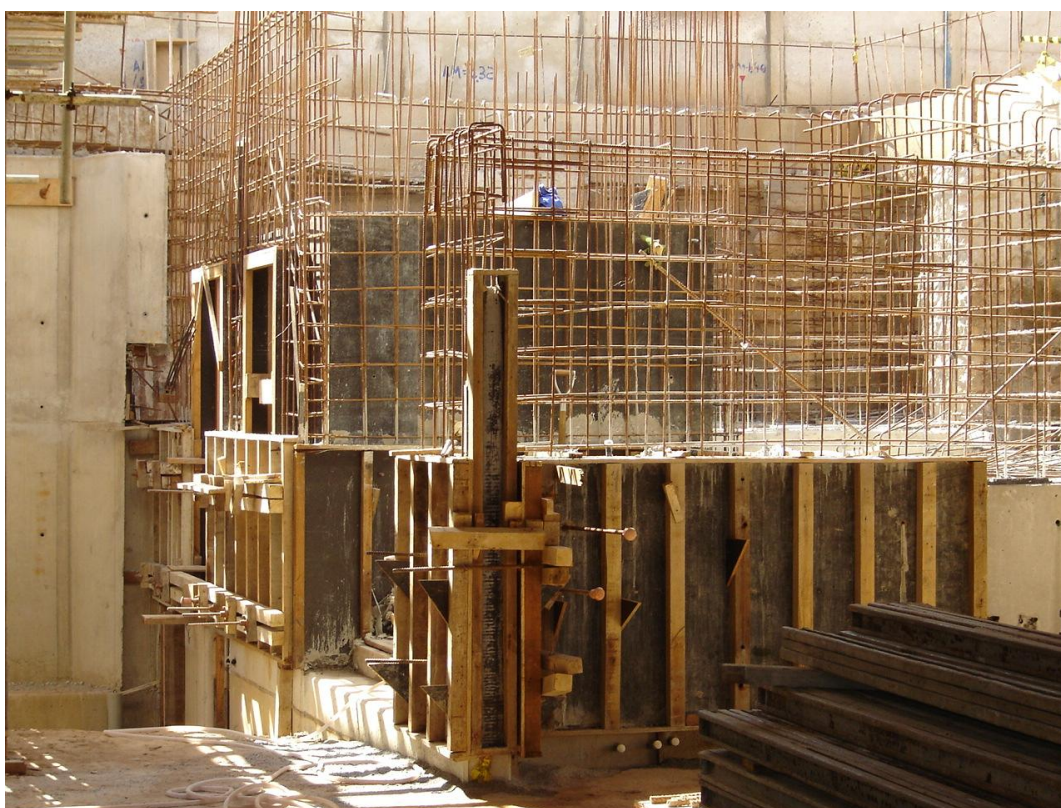


Figura 1 - Fôrmas e travamentos

Durante o processo de montagem de fôrmas e armaduras, alguns cuidados devem ser levados em conta:

- As fôrmas devem ter tido suas medidas e posições conferidas para garantir os prumos, nivelamentos, alinhamentos para que a geometria da peça corresponda ao projeto;
- Devem ter sido limpas para evitar problemas sujeira, ferramentas e detritos deixados no local para garantir qualidade na execução da tarefa seguinte;
- Verificar se estão devidamente fechadas e travadas para evitar a fuga da pasta de cimento e o inconveniente da peça se abrir durante o processo da concretagem (figura 2).



Figura 2 - Lajes e vigas com excelente grau de execução

- Devem estar molhadas para que a peça não absorva a água do concreto, evitando assim problemas de retração do material;

- As fôrmas e o travamento deverão apresentar rigidez suficiente para resistir a esforços que ocorrem durante o processo de concretagem;
- Quando necessitar de desmoldantes, estes devem ser aplicados antes da colocação da armadura;
- O escoramento deve ser dimensionado de maneira a suportar o peso das fôrmas, das ferragens e do concreto a ser aplicado, bem como das cargas que venham a ocorrer durante a concretagem - movimentação de pessoal, transporte do concreto etc. - e ainda impedir deformações que venham a alterar as dimensões da peça recém concretada.

As montagens das fôrmas serão descritas da maneira como aconteceram na obra (estudo de caso) e comparadas às recomendações das normas vigentes.

2.2.1 Escoramentos

Um elemento importante para a execução de uma estrutura em concreto de boa qualidade é o escoramento. É um elemento estrutural que recebe solicitações de cargas devidas ao próprio peso e ao de outras, principalmente se tratando de lajes. O posicionamento das escoras deve ser adequado, ou seja, deve se ter um planejamento previsto para que esse carregamento possa ser devidamente distribuído.

Um exemplo pode ser visto quando uma laje é concretada, que ainda não possui resistência necessária para suportar a carga a qual foi elaborada. Nesse ponto entram as fôrmas, e principalmente os escoramentos (figura 3).



Figura 3 - Posicionamento de escoramentos que servirão para a montagem e suporte das fôrmas

O tempo ideal para a estrutura ficar escorada após a concretagem varia de cada empreendimento (sendo seguidos os requisitos mínimos de segurança das normas), variando os custos e principalmente os prazos.

Para esse trabalho, não houve interesse em detalhar esse sistema, mas para conhecimento existem vários tipos de apoio, comentados de forma resumida:

- Madeira – escoramento mais barato e reaproveitado maior em outras partes da obra. Mais utilizados, podem sofrer deformações mais facilmente;
- Metálico – escoramento industrializado que possui maior capacidade de carga e maior durabilidade.

2.2.2 Tipo de fôrma: madeira, metálica e plástica

O desempenho da estrutura está diretamente ligado ao sistema de fôrmas. Inicialmente, o custo, incluído no cálculo do prazo da obra, deve ser ponderado na escolha do sistema. Entretanto, devem-se considerar alguns fatores decisivos na

escolha do material, como a fabricação do material (o seu custo, a taxa de reaproveitamento, o nível de desgaste entre as etapas de montagem e desmontagem), a mão-de-obra envolvida nesse processo (quanto à aptidão para o manuseio correto do jogo de fôrmas, aos cuidados ao montar e remover a peça, ao estoque em local adequado) e o transporte da peça (a distância a ser percorrida, a facilidade de acesso, a existência de obstáculos). Esses cuidados são diferentes para cada tipo de fôrma.

a) Fôrmas de madeira

O tipo de fôrma mais comum aqui no Brasil é o de madeira e oferece boas características como resistência, estabilidade e variação dimensional quando são submetidas a ações de variação de temperatura. Um dos principais pontos desse grande uso é a mão-de-obra, que necessita de equipamentos simples para a confecção. Outra vantagem é a possibilidade de ser reutilizada podendo reduzir custos para a edificação, se utilizado corretamente.

Para trabalhar com esse material existe a possibilidade de se comprar pronto ou em chapas de madeira e montando no próprio local da obra. A opção varia principalmente da localidade, sendo inviabilizada, por exemplo, pela falta de produtores de maior confiabilidade.

O projeto de fabricação deve ser feito com o intuito de evitar o desperdício do material e as chapas devem ser seladas com material impermeabilizante e ser utilizado desmoldante (para facilitar a desfôrma). Ressalta-se que o mais importante é que as peças não sejam danificadas nas laterais e nos cantos, comprometendo a durabilidade e principalmente a qualidade das próximas utilizações. Ou seja, para que as peças possam ser mais bem aproveitadas e garantir que cumpram seu papel, é necessário melhorar o aproveitamento.

Um projeto adequado é feito por meio de desenhos bem detalhados e pouco poluídos para evitar dúvidas sobre a montagem correta de determinado elemento por quem vai executar o serviço, atendendo as recomendações das normas (NBR 14931:2003 E NBR 15696:2009) para o correto dimensionamento e posterior execução em obra (gerando um desperdício elevado caso não seja feito de maneira adequada).

É um sistema que exige muita atenção desde o início do posicionamento com a limpeza adequada e o uso de substâncias para facilitar a retirada posterior (que se

não utilizadas corretamente podem afetar o material da fôrma e principalmente o concreto pode ser contaminado) até a sua posterior retirada, onde a utilização de ferramentas de maneira inadequada acaba forçando a chapa de madeira danificando a peça.

Existe a possibilidade de se usar painéis de compensado. Nesse caso, os painéis devem apresentar resistência à colagem e abrasão, as chapas não podem ter nenhum defeito principalmente na superfície (bolhas, por exemplo), e não deve haver problemas na colagem. Nos compensados é possível dividir em dois tipos de chapas: plastificadas (recebe acabamento com filme plástico, o que lhe confere excelente resistência à água e proporciona ao concreto superfície mais lisa) e resinadas (indicadas para fôrmas de concreto não aparente).

b) Fôrmas metálicas

Esse tipo é um sistema mais preciso em relação ao de madeira pelo fato de ser um material industrializado, o que gera encarecimento no produto final, em contrapartida obriga a se ter um projeto mais detalhado e preciso.

Ao longo da utilização na obra, por mais cuidadoso que tenha sido o manuseio e a estocagem das peças, as fôrmas de madeira acabam sofrendo com a repetição de uso, que se reflete no concreto e nas últimas utilizações das fôrmas demonstrará algumas imperfeições devido à absorção de água pela chapa de madeira, por exemplo. Isso não acontece com as fôrmas metálicas, que apresentam menor deformação ao longo do manuseio e do uso durante a execução da edificação.

As características desse sistema são: precisão geométrica, redução na mão-de-obra, maior estanqueidade, não gera resíduos, permite mais reutilizações, necessita de um projeto padronizado e mais detalhado, exige mais cuidado no manuseio e pessoal mais capacitado e possui pouca flexibilidade.

c) Fôrma plástica

O uso desse tipo de fôrmas permitiu vencer grandes vãos e reduzir o consumo de concreto e armaduras (o tipo de fôrma descrito nesse trabalho vale somente para lajes, sendo que pilares e vigas não são mencionadas fôrmas plásticas). Feitas de

um material inerte são feitas para preencher os vazios deixados na laje após a concretagem (figura 4), o que gera um peso extra na estrutura. Permitem um processo de montagem e de desmontagem mais rápido e muitas vezes dispensam o uso de pregos para a fixação.



Figura 4 - Fôrmas plásticas para execução das nervuras na laje

A resistência à flexão, ao impacto e à tração, assim como a estabilidade dimensional necessária para suportar os esforços da concretagem e da desfôrma são garantidos pelas nervuras estruturais internas e por aditivos, que ajudam a evitar a deformação do plástico diante dos raios ultravioleta (NAKAMURA, 2007).

A vantagem desse sistema é o fato de ser industrializado, reduzindo o desperdício e o retrabalho, além da vantagem econômica e ambiental, por ser produzido através da reciclagem de materiais ao contrário da madeira. Comparado à madeira a capacidade de uso é maior, ou seja, é possível usar mais vezes sem que haja problemas de deformação (desde que manuseado corretamente).

É um sistema que exige alguns cuidados para o investimento compensar. É recomendado usar um sistema de escoramentos que possa facilitar a remoção das fôrmas quando necessário, não se deve usar pregos na fixação para que as peças não quebrem.

Como características gerais são possíveis apontar: o baixo peso do material (facilita o transporte e a estocagem – figura 5); reciclável; garante grande número de usos; redução no consumo do concreto e armaduras; e é necessário que se tenha uma mão-de-obra melhor qualificada para utilização.



Figura 5 - Nervuras que proporcionam à laje menor peso na estrutura

2.3 Elementos constituintes

A fôrma e os seus componentes podem ser classificados em molde, estrutura do molde, cimbramento e peças acessórias.

O molde caracteriza a forma da peça, é o elemento que entra em contato direto com o concreto. A estrutura do molde dá sustentação e travamento; é destinado a enrijecer o molde, garantindo que ele não se deforme quando submetido aos esforços originados pelas atividades de armação e concretagem. O cimbramento serve de apoio à estrutura da fôrma; elemento destinado a transmitir os esforços da estrutura do molde para algum ponto de suporte no solo ou na própria estrutura. As peças acessórias auxiliam o desempenho das outras, isto é, são componentes utilizados para nivelamento, prumo e locação das peças.

Algumas peças acessórias podem ser visualizadas na Figura 6, que são:

- As escoras são equipamentos de aço que permitem regulagens de altura. São compostas de tubo base e flauta. Indicadas para escoramento e reescoramento predial. Acessórios: copo de regulagem fina, pino-trava, suporte superior para fundo de fôrmas, forcado simples e duplo para fixação de peças de madeira e tripé para estabilidade.
- As torres são um conjunto de elementos modulares com encaixes macho-e-fêmea que permitem a formação de torres com alturas variadas. Indicadas para

lajes e vigas de médio e grande porte. Seus acessórios são forcado e macaco que servem para apoio de vigas metálicas e nivelamento, trapézio, diagonal horizontal para contraventamento, travessa de extremidade para ligação dos quadros às torres, mão-francesa que permite dois apoios simultâneos por poste, pino-trava e placa-base para apoio.

- Viga metálica que é um perfil metálico em "U" com grande capacidade de carga e enrijecida com sarrafos de madeira e fixada por parafusos. Podem ser usadas como vigas principais ou como barrotes;
- As treliças são elementos de dimensões variadas que, compostas, permitem vencer grandes vãos. Indicadas para gabaritos de passagem, passarelas e coberturas.

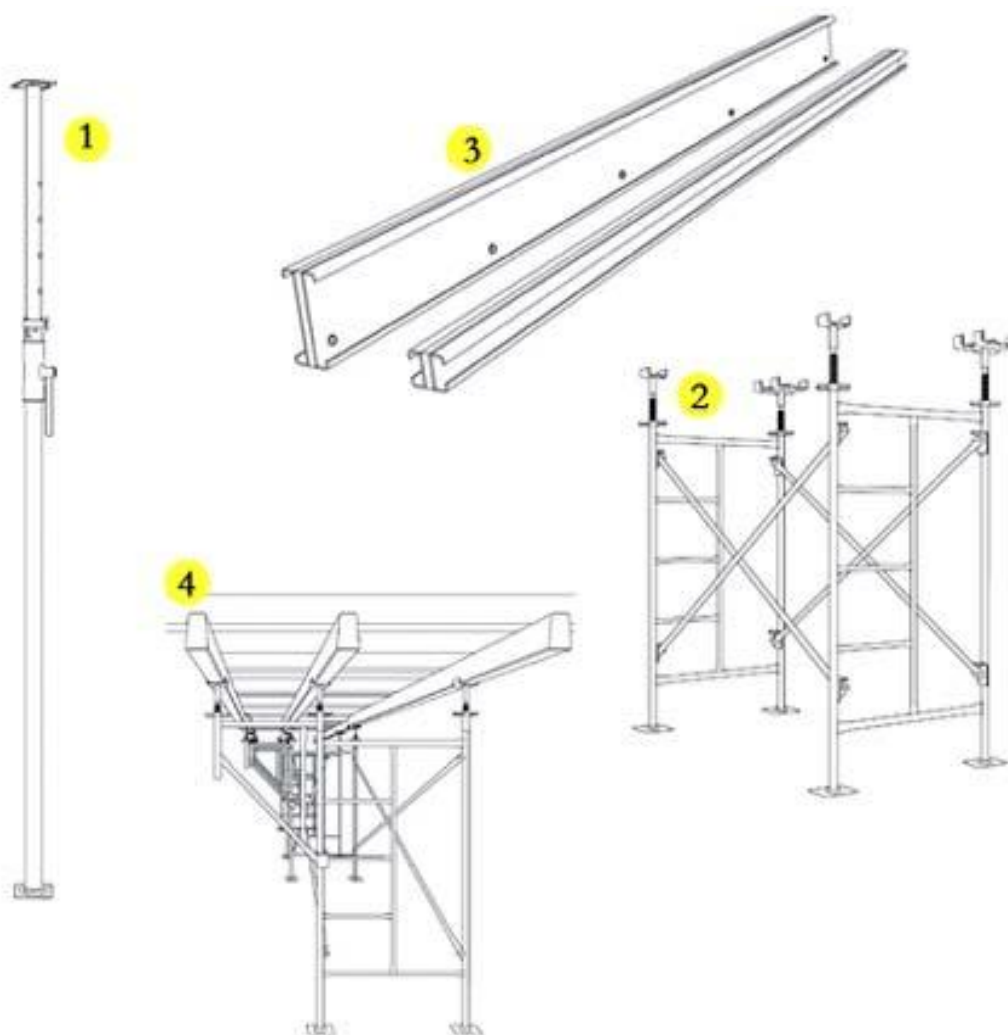


Figura 6 – Alguns elementos componentes para escoramentos, sendo 1) escora; 2)torres; 3) vigas metálicas e 4)treliças.

Fonte: LOTURCO, 2005

2.4 Recomendações das normas para montagem de fôrmas e escoramentos

A norma Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) – NBR 15696:2009 prevê uma série de instruções para que a estrutura seja feita de maneira adequada e assim, evitar, ou pelo menos reduzir, a possibilidade de manifestações patológicas que afetarão a durabilidade e principalmente a qualidade.

Alguns dos tópicos da norma para o preparo do projeto:

- Requisitos para projeto (item 4.1.2.1) – o projeto deve especificar as cargas admissíveis dos equipamentos utilizados, definir exatamente o posicionamento de todos os elementos, definir as cargas nas bases de apoio, ser bem detalhado (com plantas, cortes, vistas e demais detalhes), de tal forma que não fiquem dúvidas para a execução correta da montagem;
- Projeto de fôrmas (item 4.1.2.2) – o projeto deve especificar os materiais utilizados, definir claramente o posicionamento de todos os elementos utilizados, mencionar os critérios adotados para o dimensionamento da fôrma (tais como pressão do concreto, velocidade de lançamento, altura de concretagem e vibração, consistência do concreto, etc.), ser detalhado (com plantas, cortes, vistas e demais detalhes) para que não haja dúvida para a correta execução da montagem;
- Cargas (item 4.2) – as cargas consistem em peso próprio dos elementos da estrutura de escoramentos e das fôrmas além dos elementos da estrutura de concreto a serem suportados (lajes, vigas, pilares, e outros), cargas provenientes do lançamento, vibração do concreto e as decorrentes de equipamentos de adensamento;
- Peso próprio dos materiais (item 4.2.1).

Principais recomendações da norma para a execução de estruturas de fôrmas e escoramentos:

- Requisitos para fôrmas (item 6.2) – as fôrmas devem ter rigidez para assegurar o formato e as dimensões das peças da estrutura projetada, ser suficientemente

estanque de modo a impedir a pasta de cimento (admitindo-se como limite o surgimento do agregado miúdo da superfície do concreto);

- Cuidados na montagem de fôrmas e escoramentos (item 6.3) – toda montagem de fôrmas e escoramentos deve ser executada mediante a utilização de um projeto específico, no plano da obra deve constar a descrição do método a ser seguido para montar e remover estruturas auxiliares (sendo especificados os requisitos de manutenção, ajuste, contra flecha, desfôrma e remoção);
- O escoramento deve ser apoiado (sobre hastes reguláveis, cunhas, caixas de areia ou outro dispositivo apropriado para facilitar a posterior remoção, de maneira a não submeter à estrutura a impactos, sobrecargas e outros danos), qualquer componente embutido deve preservar a geometria das peças durante a operação de concretagem e resistir a contaminações que possam afetar sua integridade (servindo também para concreto e armaduras envolvidas), conforme item 6.3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) – NBR 15696:2009.

Quando alguns agentes destinados a facilitar a desmoldagem forem necessários devem ser aplicados exclusivamente nas fôrmas, não podem prejudicar a superfície do concreto, deve ser evitado o excesso ou a falta do produto, além de não poderem deixar resíduos na superfície do concreto ou acarretar algum dano que altere a qualidade da superfície e nem prejuízo na aderência do revestimento, conforme item 6.3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) – NBR 15696:2009.

3 ARMADURA

O princípio básico das peças de concreto armado, de uma maneira geral, é combinar o concreto e o aço de maneira tal que, em uma mesma peça, os esforços de tração sejam absorvidos pelo aço e os esforços de compressão pelo concreto (há casos em que a armadura sofre compressão e a resistência à tração do concreto deve ser considerada).

As barras da armadura devem absorver os esforços de tração que surgem nas peças submetidas à flexão ou à tração, já que o concreto possui alta resistência à compressão, porém pequena resistência à tração.

É importante comentar a aderência aço-concreto para que essa união funcione de maneira adequada e não comprometa toda a estrutura. Resumidamente a aderência pode ser obtida por adesão, por atrito e mecanicamente (feitas através de moedas ou saliências). Um fator que implica diretamente na qualidade dessa união é a posição da barra. Barras horizontais na parte superior da viga ou laje têm aderência menor que aquelas colocadas na parte inferior (devido à segregação do concreto fresco, onde ocorre um acúmulo de água sob as barras superiores que é absorvida posteriormente pelo concreto formando vazios nessa região diminuindo a qualidade da aderência).

Quanto ao formato das barras, podem ser redondas lisas ou com saliências (são utilizadas também, em casos particulares telas soldadas ou malhas). A norma que se aplica aos aços destinados ao emprego em concreto armado é a NBR-7480:1996.

3.1 Estocagem do aço

Em canteiros de obra, é necessário, quando se emprega barras de aço, um local adequado para a estocagem do material. Admitindo o tamanho das barras de 12m, o local para estocagem deve ser superior a essa medida. Existe a possibilidade também de se adquirir barras pré-cortadas, o que reduz o espaço necessário para o armazenamento.

As normas recomendam que a estocagem deva ser feita de forma a impedir o contato do material com qualquer tipo de contaminante (solo, óleo, graxa,

entre outros) para manter inalteradas as características geométricas e, principalmente, as suas propriedades.

Um dos grandes problemas encontrados na estocagem do aço no solo é o possível contato com água, que acaba gerando uma interação destrutiva do material com o ambiente por meio de reações químicas, proporcionando a oxidação e posteriormente a corrosão.

Quando esses cuidados não são tomados e o aço começa a sofrer esses efeitos, a intervenção pode ser dada pela aplicação de inibidores que diminuem a velocidade das reações de corrosão. Outra forma de se resolver é a aplicação de uma técnica conhecida como a proteção catódica, que utiliza anodos de sacrifício (que são mais eletronegativos que o ferro, consumindo esses materiais ao invés da barra de aço em uso). Se a estocagem das peças não for adequada e o material apresentar indícios de corrosão, este deve passar por um processo de limpeza rigoroso analisando a possível redução da seção transversal da armadura.

3.2 Corte das barras

Antes de qualquer consideração para os cortes, a montagem e o posicionamento, será feita uma breve consideração sobre o projeto. Um grande problema para quem vai executar é essa etapa. Desenhos com detalhes confusos e a nomenclatura usada para cada barra podem influenciar negativamente. Para o cálculo estrutural, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 6118:2003 recomenda uma série de fatores a serem adotados a favor da segurança. Itens como o tipo de superfície, o módulo de elasticidade, os diagramas de tensão-deformação, as características de ductilidade e a resistência à fadiga são alguns dos pontos tratados que não serão abordados neste trabalho.

Um dos pontos importantes que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 6118:2003 aponta como fundamental para um bom projeto é que sejam obedecidas as exigências de aderência de ancoragem e de emendas das armaduras, conforme item 9.2.1.

O importante no projeto é que os detalhes sejam feitos e de maneira clara para quem executará, as emendas devem ter seus locais definidos e o tipo a ser feito, seja estabelecido e apontado o cobrimento mínimo necessário e que se houver qualquer

tipo de mudança na situação desenhada o projetista deve ser imediatamente consultado. Feito isso as etapas seguintes podem prosseguir.

Para considerar o corte das barras, alguns fatores devem ser analisados: ferramentas, produtividade e o espaço necessário para o trabalho. É possível utilizar, basicamente, dois tipos de ferramentas, as manuais e elétricas. As ferramentas manuais (por exemplo, arco de serra e tesoura de cortar aço) devem ser empregadas apenas em serviços de pequeno porte, devido à baixa precisão, exigindo grande esforço do funcionário, resultando uma baixa produtividade. As ferramentas elétricas (serras elétricas, por exemplo) garantem o corte de várias barras, exigindo menor esforço do operário, sendo possível o corte de mais barras simultaneamente, aumentando a produção. Vale lembrar que o processo utilizando ferramentas manuais não exige espaço tão grande quanto ao processo com ferramentas elétricas.

3.3 Cobrimento e proteção da armadura

Cobrimento é uma proteção para a armadura que depende tanto da qualidade do concreto (que oferece uma proteção baseada no impedimento da formação de células eletroquímicas, através de proteção física e proteção química), quanto de uma camada com espessura adequada.

Esse tipo de proteção depende da maneira como o concreto é feito. Se teor de argamassa no concreto for homogêneo e adequado, ou seja, dentro dos cuidados requeridos, ele garante proteção ao aço contra ataque de agentes agressivos externos por impermeabilidade (esses agentes geralmente estão hospedados em águas residuais ou na própria atmosfera). Outro tipo de proteção oferecida pelo concreto é a proteção à película protetora da armadura contra eventuais danos mecânicos.

O cobrimento deve proteger todas as barras da armadura, devendo ser medida a partir das barras mais próximas à superfície da peça, considerando inclusive a presença de estribos e de armaduras construtivas. Essa proteção é feita para proteger a armadura das ações de corrosão sofridas pelo meio, devido à alcalinidade do meio ambiente - pH da água existente nos poros de concreto atinge valores até superiores a 12,5 (FUSCO, 1995).

Corrosão é definida como a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química ou eletroquímica. As armaduras de aço podem sofrer:

- Oxidação - que é um processo envolvendo reações dos gases e do metal formando películas, os óxidos; a variação da reação do fenômeno depende muito do ambiente de exposição das peças;
- Corrosão – fenômeno de natureza eletroquímica ocorrido em meio aquoso, gerada pela formação de uma película de eletrólito na superfície da barra.

Tendo em vista a necessidade de que o concreto envolva completamente a armadura e que não se apresente falhas de concretagem, é preciso que haja pelo menos certo afastamento mínimo entre as barras da armadura. Isto garante uma solidarização adequada da armadura ao concreto da peça estrutural (aderência).

A aderência concreto-aço é definida como fenômeno basilar sobre o qual se apoia o funcionamento do concreto armado como material estrutural. Se não existisse aderência, as barras seriam incapazes de receber o esforço de tração, pois o aço deslizaria sem encontrar a resistência em todo o seu comprimento e não acompanharia o concreto em suas deformações, com o que, ao fissurar-se o concreto, ocorreria ruína brusca. Ao contrário, graças à aderência, as armaduras são capazes de trabalhar, inicialmente, junto com o concreto. Depois, quando o concreto fissura, o faz de forma mais ou menos regularmente distribuída ao longo da peça, em virtude da aderência, o que permite ao aço absorver os esforços de tração, mantendo a união entre os materiais nas zonas entre as fissuras (MONTROYA, 1991).

Dessa forma, esse revestimento garante às barras de aço proteção física e química:

- Proteção física – um bom revestimento, com concreto em boas condições (sem ‘bicheiras’, homogêneo e teor de argamassa adequado), já garante proteção à barra de aço por impermeabilidade;
- Proteção química – proporciona uma película protetora da armadura (formada em ambiente alcalino para proteção das barras de aço).

Em locais em que o revestimento não é feito corretamente, a corrosão progressiva pode causar tensões que geram fissuras no concreto, e conseqüentemente o lascamento. Essas fissuras geralmente acompanham a direção da armadura principal, e

na maioria das vezes aparecem manchas no concreto (geralmente marrom-avermelhada). Em locais com execução de menor qualidade correm mais riscos de sofrer esse fenômeno e a corrosão se dará em ambientes mais quentes, úmidos com risco de condensação maior. O sintoma aparente é a coloração marrom-avermelhada.

Quando o cobrimento não é feito de maneira adequada, as peças sofrem processo de corrosão e é necessário que haja um reparo na peça de concreto. Feita a análise e a limpeza adequada do aço exposto, a reconstrução do cobrimento é realizada com concreto bem adensado (com a finalidade de impedir ataques de agentes externos, recomposição da seção original do concreto e criar uma camada para manter a capa do aço intacta).

3.4 Montagem das armaduras

Essa etapa é uma das principais causadoras de incidências patológicas que afetam a durabilidade e o desempenho da estrutura. Diversos fatores devem ser levados em conta nesse procedimento, sendo que a proteção à armadura, materiais e ferramentas estão entre eles.

A montagem deve ser realizada sobre um cavalete (no caso de lajes sobre a própria fôrma), marcadas com giz nos pontos onde devem ser amarrados os estribos, fazendo com que fiquem bem presos.

A próxima etapa é a colocação dos espaçadores, que podem variar dependendo da peça. Esses espaçadores servem para manter a armadura na posição durante a montagem, o lançamento e o adensamento do concreto a fim de garantir o cobrimento mínimo prescrito no projeto. Existem alguns tipos de espaçadores que foram selecionados a título de exemplo, e que aparecem no estudo de caso observado:

- Espaçador circular (figura 7): serve para garantir o cobrimento em ferragem vertical e centralizar a ferragem. Utilizados em vigas e pilares;



Figura 7 - Espaçador circular

- Tubos e cones de encosto (figura 8): servem para garantir fechamento de fôrmas paralelas;



Figura 8 - Tubos e cones de encosto

- Pino (figura 9): garantem o cobrimento e apoiam a ferragem. Pode ser utilizado em ferragens de várias bitolas e são indicadas para ferragem horizontal em lajes, fundos de vigas, telas soldadas e piso industrial.



Figura 9- Espaçador do tipo pino

Outro cuidado deve ser levado em conta, no posicionamento, a fim de evitar deslocamento da armadura durante o transporte de materiais ou tráfego de pessoas, é providenciar um caminho apropriado para a situação (figura 10), além de posicionar de maneira adequada os espaçadores.



Figura 10 - Esquema geral de um canteiro com o devido caminho para passagem de materiais, pessoas e equipamentos

3.5 Recomendação da norma - posicionamento das armaduras

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR14931:2003 prevê algumas considerações para as armaduras preparadas no local ou pré-fabricadas:

- As características do aço a ser utilizado nas armaduras são estabelecidas pela NBR 7480:1996;
- Barras de aço para construção, telas soldadas e armaduras pré-fabricadas não devem ser danificadas durante as operações de transporte, estocagem, limpeza, manuseio e posicionamento no elemento estrutural. Além disso, cada produto deve ter identificação na obra para evitar trocas, e não devem ser estocados em contato direto com o solo (item 8.1.3);
- A superfície deve estar livre de ferrugem e de substâncias que possam afetar de maneira adversa o aço, o concreto ou a aderência entre esses materiais. Armaduras que apresentem produtos destacáveis na sua superfície devem passar por limpeza superficial antes do lançamento, além de verificação de seção estrutural (item 8.1.4);
- O cobrimento especificado para a armadura no projeto deve ser mantido por dispositivos adequados ou espaçadores e sempre se refere à armadura mais exposta. É permitido o uso de espaçadores de concreto ou de argamassa, desde que apresente relação água/cimento inferior ou igual a 0,5, e espaçadores plásticos ou metálicos com as partes em contato com as fôrmas revestidas com material plástico ou outro similar. Não devem ser utilizados calços de aço cujo cobrimento, depois de lançado o concreto, tenha espessura menor do que o especificado no projeto (item 8.1.5.5);

Antes e durante o lançamento do concreto, caminhos e passarelas devem estar dispostos de modo a não acarretarem deslocamento da armadura (item 8.1.6.1).

4 CONCRETAGEM

Concretagem é o conjunto de atividades relativas à produção, recebimento, transporte e aplicação do concreto. Essa é a etapa final de um ciclo de execução da estrutura e, embora seja a de menor duração, necessita de bom planejamento e gestão dos diversos fatores que interferem no melhor ou pior aproveitamento dos recursos, induzindo ou evitando os desperdícios.

4.1 Conceitos fundamentais

Concreto é uma mistura resultante entre cimento, britas, areia e água que em conjunto formam uma pasta resistente. A mistura desses componentes em suas diversas proporções recebe o nome de dosagem. A dosagem varia de acordo com a finalidade de uso e com as condições de aplicação. Portanto, o tipo de concreto a ser obtido (mais resistente, mais plástico) deriva da forma a qual será efetuada a mistura entre seus materiais. Um dos materiais mais importantes nessa mistura é o cimento.

4.1.1 Cimento Portland

4.1.1.1 Introdução

A Associação Brasileira de Cimento Portland define o cimento hidráulico como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Como concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991) – NBR 5732:91 classifica cimento Portland como o aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. O clínquer é obtido pela seguinte mistura:

- Fase silicato: silicatos tricálcico (C3S) e silicatos dicálcico (C2S);
- Fase intersticial: fase aluminato (C3A) e fase ferrita (C4AF).

Neville (1997) relata o processo de fabricação do cimento Portland que consiste, de maneira sucinta, em moer a matéria-prima, misturá-la em determinadas proporções e submetê-la à queima em forno rotativo a elevadas temperaturas. O produto obtido na queima é o clínquer que é finamente moído. Para controlar a pega e o endurecimento, é acrescentado o gesso. Esse material pode receber outras adições posteriormente, como a escória de alto forno, as cinzas volantes, as sílicas ativas, entre outros.

Os tipos de cimento Portland fabricados no Brasil, conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland, são:

- CP I – cimento Portland comum;
- CP I-S – cimento Portland comum com adição;
- CP II-E – cimento Portland composto com escória de alto forno;
- CP II-F – cimento Portland composto com fíler (calcário);
- CP II-Z – cimento Portland composto com pozolana;
- CP III – cimento Portland de alto forno;
- CP IV – cimento Portland pozolânico;
- CP V-ARI – cimento Portland de alta resistência inicial.

4.1.1.2 Características gerais de hidratação

O cimento ao entrar em contato com a água reage quimicamente passando por um processo de hidratação, o que proporciona ao concreto a passagem do estado pastoso a um material endurecido.

A água é retida nos pequenos vazios existentes na pasta de cimento e disposição de agregados e contribui diretamente para a retração por secagem. Os espaços não preenchidos pelo cimento ou produtos que proporcionam a hidratação são denominados vazios capilares e são relacionados à distância das partículas de cimento e o grau de hidratação.

Grande (2003) cita que o conhecimento dos produtos formados pela hidratação do cimento, bem como dos diversos fatores (calor liberado e velocidade) que constituem essa reação, é de grande importância para o uso prático do cimento Portland.

De fato, por se tratar de um componente do solo-cimento, é preciso compreender algumas características tecnológicas desse material.

As propriedades dos componentes principais do cimento em hidratação são as seguintes:

- C3A – reage nos primeiros minutos e ocasiona elevado calor de hidratação; propicia pouco desenvolvimento de resistência e forte retração;
- C3S – responsável pelo desenvolvimento de resistência nas idades iniciais e propicia alto desprendimento de calor, libera cerca de 40% em massa de hidróxido de cálcio (CH);
- C2S – proporciona o desenvolvimento de resistência em idades mais avançadas com baixa liberação de calor, produz cerca de 18% em massa de CH;
- C4AF – desenvolvimento lento e pequeno de resistência mecânica e boa resistência ao ataque por sulfatos.

Grande (2003) atenta ao processo de hidratação do cimento que é bastante complexo e representado por várias reações químicas simultâneas e que interferem umas nas outras. É fato ainda que o comportamento da hidratação (velocidade, distribuição e formação dos produtos hidratados) é função do tamanho dos grãos do cimento (área específica), da temperatura, da quantidade de água disponível e de procedimentos de mistura.

Apesar de várias reações ocorrerem simultaneamente não é possível dizer que elas se hidratam na mesma velocidade pelo fato de o cimento ser uma mistura heterogênea que contém vários componentes.

Fagury (2002) aponta as principais características que se observa na liberação do calor de hidratação do cimento como sendo:

- Período de pré-indução: hidratação do silicato tricálcico e molhagem das partículas finas - pequeno desenvolvimento de calor nos primeiros minutos;
- Período de indução ou dormente: precedência da reação química de hidratação - não há desenvolvimento de calor;
- Aceleração da hidratação: rápido desenvolvimento de calor - início de pega;

- Difusão controlada da hidratação - desenvolvimento lento - durante semanas, meses e anos.

Giannotti (2006) afirma que o mecanismo de hidratação do cimento Portland pode ser entendido por dois mecanismos diferentes em estágios diferentes: dissolução-precipitação (em estágios iniciais) e topoquímico ou hidratação no estado sólido (em estágios posteriores).

- Dissolução-precipitação: consiste na dissolução de compostos anidros em seus constituintes iônicos, na formação de hidratos na solução e, devido a sua baixa solubilidade, numa eventual precipitação de hidratos provenientes da solução supersaturada. Corresponde a 30% da hidratação, entre 3 e 24 horas.
- Topoquímico: quando a mobilidade iônica na solução torna-se restrita, a hidratação da partícula residual de cimento ocorre por reação no estado sólido (difusão iônica). Essas reações ocorrem diretamente na superfície do cimento anidro sem entrarem em solução.

O processo de hidratação do cimento é importante e a cura deve ser feita de maneira adequada. Caso contrário pode haver a evaporação da água livre e a interrupção da hidratação, o que gera problemas de retração (gerando fissuras) e a perda da resistência mecânica.

4.2 Concreto

4.2.1 Introdução

A análise para a escolha do modo de produção do concreto (fabricado no canteiro ou em centrais) dependendo do sistema estrutural empregado (concreto armado, protendido ou pré-moldado), deve considerar o seguinte:

- Espaço disponível do canteiro, devido à área necessária para estocagem dos materiais constituintes: cimento, areia e brita;
- Aquisição de equipamento para mistura do concreto;

- Implantação de método de controle para garantir a uniformidade na dosagem tempo e mão-de-obra demandada para produção do concreto.

Optar pelo concreto dosado em central proporciona diversas vantagens que são facilmente observadas, entre as quais podem ser destacadas:

- Eliminação das perdas de areia, brita e cimento;
- Racionalização do número de operários da obra, com conseqüente diminuição dos encargos sociais e trabalhistas;
- Maior agilidade e produtividade da equipe de trabalho;
- Redução no controle de suprimentos, materiais e equipamentos, bem como eliminação das áreas de estoque, com melhor aproveitamento do canteiro de obras;
- Redução do custo total da obra.

4.2.2 Principais componentes

Atualmente, muitas empresas optam por concreto dosado em central. Essa é uma prática recomendada, pois reduz o estoque dos materiais na obra, agiliza o processo de produção e proporciona um maior grau de controle do concreto. O quadro 1 mostra os principais tipos de concreto dosado em central:

TIPO	APLICAÇÃO	VANTAGENS
Rolado	Barragens, pavimentação rodoviária (base e sub-base) e urbanas (pisos, contra-pisos).	Maior durabilidade.
Bombeável	De uso corrente em qualquer obra. Obras de difícil acesso. Necessidade de vencer alturas elevadas ou longas distâncias.	Maior rapidez na concretagem. Otimização da mão-de-obra e equipamentos. Permite concretar grandes volumes em curto espaço de tempo.
Resfriado	Peças de elevado volume como bases ou blocos de fundações.	Permite o controle da fissuração.
Colorido	Estruturas de concreto aparente, pisos (pátios, quadras e calçadas), guarda-corpo de pontes etc.	Substitui gasto com revestimento. Evita o custo de manutenção de pinturas.
Projetado	Reparo ou reforço estrutural, revestimento de túneis, monumentos, contenção de taludes, canais e galerias.	Dispensa a utilização de fôrmas.
Alta Resistência Inicial	Estruturas convencionais ou protendidas, pré-fabricados (estruturas, tubos etc).	Melhor aproveitamento das fôrmas. Rapidez na desforma. Ganhos de produtividade.
Fluido	Peças delgadas, elevada taxa de armadura, concretagens de difícil acesso para a vibração.	Reduz a necessidade de adensamento (vibração). Rapidez na aplicação.
Pesado	Como lastro, contra-peso, barreira à radiação (câmaras de raios-X ou gama, paredes de reatores atômicos) e lajes de subpressão.	Redução do volume de peças utilizadas como lastro ou contra-peso, substituição de painéis de chumbo (radiação).
Leve (600 kg/m ³ a 1200 kg/m ³)	Elementos de vedação (paredes, painéis, rebaxos de lajes, isolante termo-acústico e nivelamento de pisos).	Redução do peso próprio da estrutura. Isolamento termo-acústico.
Leve estrutural	Peças estruturais, enchimento de pisos e lajes, painéis pré-fabricados.	Redução do peso próprio da estrutura.
Pavimentos Rígidos	Pavimentos rodoviários e urbanos, pisos industriais e pátios de estocagem.	Maior durabilidade, menor custo de manutenção.
Alto Desempenho (CAD)	Elevada resistência (mecânica, física e química), pré-fabricados e peças protendidas.	Melhora aderência entre concreto e aço.
Convencional (a partir de 20 MPa)	Uso corrente na construção civil.	O concreto dosado em central possui controle de qualidade e propicia ao construtor maior produtividade e menor custo.
Submerso	Plataformas marítimas.	Resistência à agressão química.
Com fibras e aço, plásticas ou de polipropileno	Reduz a fissuração.	Maior resistência à abrasão, à tração e ao impacto.
Grout	Agregados de diâmetro máximo de 4,8 mm.	Grande fluidez e auto-adensável.

Quadro 1 - Principais tipos de concreto dosado em central

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM, 2009.

O preparo do concreto no canteiro somente é recomendável para situações de extrema urgência ou quando há a necessidade de pequena quantidade de concreto.

Mesmo que seja pequena a quantidade de concreto a ser produzida na obra, é importante conhecer as características dos materiais constituintes, para que a escolha dos materiais seja realizada tecnicamente. No caso do concreto dosado em central, o conhecimento das características dos materiais permite que o pedido do concreto seja feito baseando-se em parâmetros técnicos (resistência característica, trabalhabilidade, ambiente a ser usado), não considerando somente o preço do fornecedor. Além das características técnicas para o bom desempenho do material, também é importante ressaltar que a do concreto e sua resistência é individual, ou seja, cada empreendimento tem suas necessidades (um concreto mais plástico, com resistência inicial alta, com mais resistência, e outros).

Independentemente de ser produzido em obra ou em centrais, o conhecimento dos cuidados necessários para a seleção dos materiais é imprescindível, pois a qualidade do concreto está diretamente relacionada às características dos componentes, sendo os principais:

4.2.2.1 Agregados

Entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia. Podem ser classificados conforme suas dimensões, massa e origem.

Salvador Filho (2007) cita que os agregados podem ser assim designados com relação ao tamanho de suas partículas:

- Filer: material com dimensão de partícula inferior à malha de 75um;
- Areia: material encontrado em estado natural que passa na peneira 4,8mm;
- Pó de pedra: também denominado areia de brita ou areia artificial, é o material obtido por fragmentação de rocha que atravessa a peneira de 4,8mm;
- Seixo rolado: é o material encontrado fragmentado na natureza (fundo do leito dos rios ou em jazidas), retido na malha 4,8mm;
- Brita: material obtido por trituração de rocha e retido na peneira 4,8mm.

Se não houver um conhecimento adequado dos agregados, reações podem ocorrer em contato com outros materiais, pode sofrer expansões que ocasionam fissuras.

a) Agregado graúdo

Por razão de normalização de malha e designação comercial, as britas recebem as seguintes classificações:

- Pedrisco: de 4,8 a 9,5mm;
- Brita 1: de 9,5 a 19mm;
- Brita 2: de 19 a 38mm;
- Brita 3: de 38 a 76mm;
- Pedra de mão: maior que 76mm.

De uma maneira geral, os agregados definem várias características desejadas ao concreto devido ao seu tamanho, à densidade e à forma dos grãos. Transmitem tensões aplicadas ao concreto através dos seus grãos e podem reduzir o efeito das variações volumétricas ocasionadas pela retração. Ou seja, o índice de vazios e o consumo de aglomerantes são diretamente influenciados pelos agregados.

Os mais encontrados no Brasil são compostos de granito, calcário, basalto e gnaiss. Também são encontrados seixos rolados, que, dependendo do traço, pode gerar concretos com maiores resistências do que o concreto com britas.

b) Agregado miúdo

Liborio (2003) classifica e define os agregados miúdos como sendo naturais ou artificiais. Convencionalmente apresentam partículas que variam de 75 μ m a 4,8mm. Os agregados artificiais são as argilas ou folhelhos expandidos. No Brasil as pedras britadas são consideradas agregados artificiais. Escória de alto-forno e cinza volante também pertence a essa categoria. As massas unitárias das areias geralmente variam entre 1520 kg/m³ e 1680 kg/m³. Os agregados leves têm massa unitária menor

que 1120 kg/m^3 , enquanto os agregados pesados poderão apresentar massa unitária até 2200 kg/m^3 .

As impurezas contidas nos agregados podem interferir química e fisicamente. Quimicamente agem da seguinte maneira:

- Partículas que ocasionam reações químicas com o cimento;
- Impureza orgânica - sendo que a principal é a que se compõe principalmente de húmus, resultante da decomposição parcial, por micro organismos, dos vegetais e animais. Essa impureza encontra-se muito mais presente no agregado miúdo que no graúdo, podendo interferir na pega e no endurecimento e causando também significativas perdas de resistência;
- Impurezas de origem mineral (sais) - Diversos sais minerais podem estar misturados com os agregados, causando, por exemplo, alterações, na pega e no endurecimento, causando a deterioração dos concretos querem produzindo reações prejudiciais com o cimento ou com as armaduras - certos compostos de chumbo e zinco, óxidos de ferro, sulfatos (gesso), sulfuretos e cloretos.

Liborio (2003) ainda afirma que granulometria do agregado influencia na quantidade de água, para uma mesma consistência. Agregados mais finos, de angulosidade parecidas, exigem quantidade de água maior. Isso indica que a forma do agregado influencia na consistência. Agregados mais angulosos promovem uma menor consistência. É possível então obter-se maior consistência, para uma mesma quantidade de água, com agregados mais finos, porém com um bom índice de forma.

Bocchile (2003) alerta que a umidade influi na medida dos agregados miúdos em volume, devido ao inchamento dos grãos, e pode ser medida pelo frasco de Chapman quando se conhece a massa específica dos grãos. Na impossibilidade da dosagem dos agregados em massa deve-se trabalhar a partir da umidade crítica, a partir da qual o inchamento é desprezível, ou seja, a variação de volume daí em diante é muito pequena. Assim, há uma constância maior na quantidade real de agregado medida, colaborando com menor variabilidade do traço do concreto.

4.2.2.2 Aditivos

Aditivos são produtos adicionados em pequenas quantidades ao cimento Portland com o intuito de alterar algumas de suas propriedades para diferentes situações: aumentar a plasticidade, retardar/acelerar tempo de pega, acelerar a resistência nas primeiras idades, entre outras. Ou seja, servem para melhorar ou conferir boas características de desempenho ao concreto, e não servem para recuperar ou resolver problemas relacionados às propriedades e qualidade do concreto. Além disso, os aditivos, se usados de maneira inadequada ou estiverem fora de seus prazos de validade, podem comprometer a durabilidade e a resistência do concreto, além de poder reagir com algum componente.

De acordo com Pitta (2000), os aditivos químicos podem ter importante ação na melhoria das condições de trabalhabilidade, na diminuição da retração e da permeabilidade, no aumento da resistência mecânica e na durabilidade do concreto. Nos pavimentos de concreto os mais comuns são os redutores de água (também conhecidos como superplastificantes), os incorporadores de ar e os aceleradores de endurecimento. De forma geral, no concreto fresco, os redutores de água melhoram a trabalhabilidade, possibilitando a redução da relação água/cimento; os incorporadores de ar melhoram a trabalhabilidade e reduzem a exsudação, a retração e a segregação; e os aceleradores de endurecimento diminuem o tempo de pega, aumentam a retração e o calor de hidratação. No concreto endurecido, os primeiros aumentam a resistência mecânica aos 28 dias e a resistência ao desgaste; os segundos melhoram a resistência ao ataque de águas agressivas, diminuem a absorção e a permeabilidade e podem reduzir a resistência mecânica ao desgaste; e os últimos conferem maior resistência mecânica nas primeiras idades, embora possam diminuí-la levemente nas idades posteriores.

Liborio (2003) ainda afirma que os aditivos superplastificantes atuam como redutores de água, ocasionando um aumento de resistência mecânica e de durabilidade, atuam como plastificante, melhorando a trabalhabilidade (lançamento, adensamento e acabamento) para um mesmo consumo de água e reduzindo a segregação. Atuam ainda como redutores do consumo de cimento, gerando a redução dos custos, da retração e das tensões térmicas.

Liborio (2003) afirma que a escolha do superplastificante é importante quando se faz concreto de alto desempenho, pois nem todos os tipos e marcas reagem da mesma forma com um determinado cimento.

A aplicação do aditivo deve ser previsto posteriormente e aplicado junto à fabricação do concreto. A adição do material não deve ser feita durante o trajeto e nem na obra.

O quadro 2 exemplifica alguns tipos de aditivos e seus respectivos usos.

ADITIVOS				
USOS				
TIPOS	EFEITOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS	EFEITOS NA MISTURA
Plasticantes (P)	<ul style="list-style-type: none"> • aumenta o índice de consistência • possibilita redução de no mínimo 6% da água de amassamento 	<ul style="list-style-type: none"> • maior trabalhabilidade para determinada resistência • maior resistência para determinada trabalhabilidade • menor consumo de cimento para determinada trabalhabilidade e resistência 	<ul style="list-style-type: none"> • retardamento do início de pega para dosagens elevadas do aditivo • riscos de segregação • enrijecimento prematuro em determinadas condições 	<ul style="list-style-type: none"> • efeitos significativos da mistura nos três casos (uso) citados.
Retardadores (R)	<ul style="list-style-type: none"> • aumenta o tempo de início de pega 	<ul style="list-style-type: none"> • mantém trabalhabilidade a temperaturas elevadas • retarda a elevação do calor de hidratação • amplia os tempos de aplicação 	<ul style="list-style-type: none"> • pode promover exsudação • pode aumentar a retração plástica do concreto 	<ul style="list-style-type: none"> • retardamento do tempo de pega
Aceleradores (A)	<ul style="list-style-type: none"> • pega mais rápida • resistência inicial mais elevada 	<ul style="list-style-type: none"> • concreto projetado • ganho de resistência em baixas temperaturas • redução do tempo de desforma • reparos 	<ul style="list-style-type: none"> • possível fissuração devido ao calor de hidratação • risco de corrosão de armaduras (cloretos) 	<ul style="list-style-type: none"> • acelera o tempo de pega e a resistência inicial
Plasticantes e Aceleradores: (PA)	<ul style="list-style-type: none"> • efeito combinado de (P) e (A) 	<ul style="list-style-type: none"> • reduz a água e permite ganho mais rápido de resistência 	<ul style="list-style-type: none"> • riscos de corrosão de armadura (cloretos) 	<ul style="list-style-type: none"> • efeitos iniciais significativos. Reduz os tempos de início e fim de pega
Plasticante e Retardador: (PR)	<ul style="list-style-type: none"> • efeito combinado de (P) e (R) 	<ul style="list-style-type: none"> • em climas quentes diminui a perda de consistência 	<ul style="list-style-type: none"> • aumento da exsudação e retração plástica • segregação 	<ul style="list-style-type: none"> • efeitos iniciais significativos. Reduz a perda de consistência
Incorporadores de ar: (IAR)	<ul style="list-style-type: none"> • incorpora pequenas bolhas de ar no concreto 	<ul style="list-style-type: none"> • aumenta a durabilidade ao congelamento do concreto sem elevar o consumo de cimento e o conseqüente aumento do calor de hidratação • reduz o teor de água e a permeabilidade do concreto • bom desempenho em concretos de baixo consumo de cimento 	<ul style="list-style-type: none"> • necessita de controle cuidadoso da porcentagem de ar incorporado e do tempo de mistura • o aumento da trabalhabilidade pode ser inaceitável 	<ul style="list-style-type: none"> • efeitos iniciais significativos
Superplasticantes: (SP)	<ul style="list-style-type: none"> • elevado aumento do índice de consistência • possibilita redução de, no mínimo, 12% da água de amassamento 	<ul style="list-style-type: none"> • tanto como eficiente redutor de água como na execução de concretos fluidos (auto-adensáveis) 	<ul style="list-style-type: none"> • riscos de segregação da mistura • duração do efeito fluidificante • pode elevar a perda de consistência 	<ul style="list-style-type: none"> • efeitos iniciais significativos

Quadro 2 - Principais tipos de aditivos e seus respectivos usos

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM, 2009

4.2.3 Produção: concreto moldado in loco ou usinado

Não existe um procedimento único para mistura dos materiais. No entanto, sabe-se que, dependendo dos materiais que irão constituir um concreto, há uma condição ideal de procedimento de mistura para se alcançar a maior eficiência em homogeneidade, consistência e trabalhabilidade da mistura, permitindo-se que se alcancem facilmente todas as hipóteses que foram pré-estabelecidas para o concreto armado, além da satisfação de uma expectativa idealizada (LIBORIO, 2003).

Na teoria, as vantagens da utilização do concreto usinado frente ao in loco seria a eliminação de perdas (areia, cimento e brita); garantia na qualidade do concreto (possível ao controle tecnológico adotado pelas centrais); redução no controle dos suprimentos, materiais e locais para estocagem, eliminando assim a necessidade de grandes espaços destinados ao armazenamento e a redução do custo total da obra.

A grande dúvida é relacionada à procedência na usina (quem está preparando o concreto e se está seguindo e aplicando as normas destinadas) e ao que ocorre durante o transporte. Muitas vezes, em grandes distâncias o transportador adiciona produtos ao concreto para retardar a pega. O que não se sabe é o quanto está sendo adicionado. Isso tem gerado muitos problemas nas obras, principalmente nas armaduras que sofrem processo de corrosão, prejudicando todo o sistema estrutural.

4.2.4 Controle tecnológico

O controle de qualidade do concreto é muito importante para assegurar que esteja sendo usado um material com as especificações exigidas pela obra. O grande problema encontrado é o meio termo, ou seja, desde a fabricação até o local de uso. Isso porque geralmente o concreto está sujeito a exposição do transporte (dependendo da distância e do horário a ser utilizado na obra), manuseio e lançamento. Então mesmo que um concreto esteja atendendo as especificações pedidas, o transporte e a aplicação do mesmo pode afetar a qualidade do produto. A norma que rege as centrais dosadoras para a confecção é a NBR 7212:1984 – Execução de concreto dosado em central, que trata as operações de armazenamento dos materiais, dosagem, mistura, transporte, recebimento, controle de qualidade, inspeção, aceitação e rejeição.

A dosagem consiste em determinar quantidades dos materiais envolvidos (agregados, cimento e água). Lembrando que os aditivos também podem entrar na elaboração da dosagem. O objetivo é fabricar o material com as propriedades exigidas, de maneira que os componentes dessa mistura satisfaçam os requisitos mínimos estabelecidos em projeto (requisitos como, por exemplo, trabalhabilidade, resistência mecânica e a ataques de agentes externos - ambientes extremamente agressivos). Alguns pontos devem ser levados em conta para o desenvolvimento adequado da dosagem: a resistência característica do concreto, as dimensões das fôrmas, o espaçamento e a distribuição das armaduras nas peças, o tipo de lançamento e de adensamento.

Além disso, para a obtenção de um concreto com boa qualidade, é necessário cuidado na escolha dos materiais, na dosagem (para que seja atendida a resistência, trabalhabilidade e durabilidade adequada para a obra), no transporte adequado e na utilização (lançamento, adensamento e cura). Existem algumas normas que atuam como a recomendação para o concreto: NBR 12654:1992 - Controle tecnológico de materiais e componentes do concreto, NBR 12317:1992 – Verificação de desempenho de aditivos para concreto – procedimento.

O outro fator que influencia no controle tecnológico é o fator água x cimento.

Fator água x cimento (a/c) é a relação entre a massa da água e do cimento utilizados na dosagem. Um cuidado que se deve ter no preparo do concreto é a qualidade e a quantidade de água a ser utilizada, pois é o principal responsável na ativação da reação química que transformará o cimento na pasta resistente (se houver excesso de água, por exemplo, a resistência do concreto irá diminuir, em função dos poros deixados pela água quando ela evaporar). Portanto, a escolha desse fator está ligado diretamente a durabilidade e a resistência do concreto.

Na chegada do caminhão betoneira na obra, alguns cuidados devem ser tomados. Deve ser verificada a quantidade de água do concreto recebido. Se houver água em excesso isso gera diminuição na resistência, se houver em falta, haverá a criação de nichos de concretagem, sem falar na dificuldade de aplicação do concreto.

O quadro 3 mostra as recomendações necessárias para os materiais.

NÚMERO	MATERIAL	CONTROLE DE ...	VERIFICAÇÕES / ENSAIOS	FREQÜÊNCIA
1	Cimento	* documento de entrega e embalagem	* conformidade ao pedido * certificado de controle de qualidade	* a cada entrega
		* resistência * pega * finura * outros, quando necessário	* atendimento às especificações	* a cada 15 dias ou a cada 100 ton +/- 20
2	Agregados	* documento de entrega	* conformidade ao pedido	* a cada entrega
		* inspeção visual	* variações de aspecto e textura etc.	
		* granulometria * formato do grão * matéria orgânica * material pulverulento	* especificações * variações que exijam providências	* no mínimo uma vez por semana para agregado miúdo e 1 vez a cada 15 dias para agregado graúdo, ou a cada 500 m³ de agregado
3	Adições	* documento de entrega	* conformidade ao pedido	* a cada entrega
		* inspeção visual	* variações do aspecto, textura etc	
		* caracterização	* ensaios * certificado de controle de qualidade	* a cada 30 dias
4	Aditivos	* documento de entrega	* conformidade ao pedido	* a cada remessa
		* inspeção visual e olfativa	* variações de aspecto, textura, odor, cor, sedimentos etc	
		* desempenho	* redução de água, incorporação de ar, efeito sobre a pega, conforme o aditivo	
5	Água	* qualidade	* presença de substâncias prejudiciais	* uso inicial ou quando não houver outras informações
6	Concreto	* verificação de dosagem	* especificações do concreto	* mudanças de traços ou materiais
7	Concreto Fresco	* inspeção visual	* consistência, coesão e homogeneidade	* em todas as betonadas
		* abatimento	* especificações do concreto, conforme NBR 7223	* uma vez por período ou em caso de dúvida
		* outros	* conforme normalização vigente	* conforme especificado
8	Concreto Endurecido	* resistência à compressão	* especificações do concreto	* ≤ 50 m³
		* outros	* conforme normalização vigente	* conforme especificado

Quadro 3 - Recomendações e verificações necessárias para materiais

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM, 2009

4.2.5 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade está relacionada à propriedade física do concreto antes que se inicie a pega e o endurecimento. É uma propriedade do concreto ou da argamassa que determina a facilidade e a homogeneidade com que o material pode ser misturado, lançado e adensado.

É composta de pelo menos dois componentes principais: fluidez, que descreve a facilidade de mobilidade do concreto fresco; e coesão, que descreve a resistência à exsudação ou à segregação (METHA; MONTEIRO, 1994).

A qualidade do concreto fresco é determinada pela sua homogeneidade e a sua capacidade e facilidade de ser misturado, transportado e adensado.

Independente da sofisticação usada nos procedimentos de dosagem e de outras considerações, como o custo, uma mistura de concreto que não pode ser lançada facilmente ou adensada em sua totalidade provavelmente não apresentará as características de resistência e de durabilidade inicialmente desejadas (METHA; MONTEIRO, 1994).

A trabalhabilidade é influenciada pelo tempo (decorrido após a mistura), pelas propriedades dos materiais envolvidos (cimento, agregados, adição química – principalmente pelas quantidades e características dos agregados e pela plasticidade da pasta do cimento), assim como as proporções entre eles. Pode-se concluir que diminui com o tempo, originados de fatores físicos (reestruturação da micro estrutura) ou químico (redução da quantidade de água livre). Portanto, a perda da trabalhabilidade pelo tempo varia muito relacionada a distância (local onde é produzido o concreto e o local onde será lançado) e à quantidade fabricada. Deve se atentar um detalhe relacionado ao tempo, à idade do cimento. O fato de usar um cimento (principal componente da mistura) envelhecido pode ocasionar o endurecimento do concreto.

É possível, através da adição de aditivos químicos, melhorar a plasticidade, a coesão e a viscosidade do material, desde que sejam conhecidas reações envolvidas e o que elas podem provocar no concreto.

Um fato que pode ser considerado agravante em muitas situações é a perda da trabalhabilidade. Quando isso ocorre, a eficiência do lançamento do concreto é dificultada ou até mesmo impossibilitada. O concreto perde a fluidez que é consumida pelas reações de hidratação. Devido às reações químicas durante a hidratação do

cimento, há a diminuição da quantidade de água livre, aumentando o atrito entre as partículas sólidas, o que reduz a fluidez, e conseqüentemente diminui a trabalhabilidade.

Há alguns ensaios que visam medir a trabalhabilidade e o mais utilizado é o ensaio de abatimento de tronco de cone (mais conhecido como ‘slump test’).

4.2.6 Resistência

Uma das principais características do material é a resistência à compressão. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 6118:2003, a evolução da resistência à compressão com a idade deve ser obtida por meio de ensaios especialmente executados para tal fim. O ensaio característico dessa medida é o ensaio de compressão, que será descrito posteriormente.

O concreto endurecido deve apresentar resistência mecânica e durabilidade compatíveis com as condições do projeto e ao ambiente ao qual a estrutura fica exposta. Ele deve ser especificado por meio de sua resistência característica à compressão (f_{ck}), estimada pela moldagem e ensaios de corpos de prova.

Para obter a resistência especificada no projeto estrutural, vários fatores devem ser considerados:

- Na dosagem do concreto, é importante ter a especificação da resistência a ser adquirida, fato que vai influenciar diretamente a relação água/cimento; as características dos agregados; a especificação do cimento;
- Durante a execução, devem ser tomados cuidados no recebimento, transporte, lançamento, adensamento e cura.

Alguns outros pontos relacionados às resistências devem ser mencionados:

- A principal característica do concreto é a sua resistência à compressão, que independente dos ensaios envolvidos tem vários fatores decisivos tais como: fator água/cimento, agregado, água e a idade do concreto;
- A resistência característica à compressão é avaliada por meio de uma quantidade de ensaios de corpo de prova, se obtendo valores que são distribuídos

estatisticamente chegando-se a um coeficiente. Esses valores obtidos podem variar significativamente até na mesma obra devido ao modo de fabricação do concreto ser ou não rigoroso. Vale lembrar que esse coeficiente adquirido é um valor representativo, pois não mostra a verdadeira qualidade do concreto de obra e nem tal como foi feito. Então a resistência característica à compressão é um valor que apresenta um grau de confiança baseado nos ensaios feitos em laboratório dos corpos de prova. Na prática, o projetista adota um valor para fazer todos os cálculos e o fabricante deve chegar a um tipo de concreto. Esse valor deve satisfazer o traço relacionado ao fator água/cimento e agregados, fabricando um concreto que posteriormente é ensaiado para verificar se as condições de projeto podem ser supridas.

4.2.7 Deformações

De uma forma geral, as deformações no concreto podem ser originadas por variação no ambiente (retração e deformações geradas por variação na temperatura e na umidade) e/ou por ações externas (deformações causadas por cargas externas).

Podem ser causadas por cargas externas de duas naturezas: deformação imediata, que é aquela observada na aplicação da carga; e a deformação lenta, que acontece quando a carga atuante é mantida durante um certo período de tempo. Existe também a deformação elástica e plástica. A deformação elástica é aquela que o material deformado retorna ao seu estado original depois da retirada da carga imposta e a plástica não gera o retorno ao estado original (é uma situação irreversível).

Alguns conceitos devem ser compreendidos para que essas deformações possam ser melhor entendida. Conceitos como a retração, a fluência e o módulo de elasticidade. Por ser um trabalho que não visa o cálculo da estrutura, esses tópicos serão abordados com definições simples e sem aprofundamento.

a) Retração - diminuição de volume do concreto desde o fim da cura até atingir um estado de equilíbrio compatível com as condições ambientes.

b) Módulo de elasticidade do concreto – é um parâmetro utilizado em cálculo estrutural relacionando a tensão aplicada a deformação instantânea obtida segundo a

NBR 8522:2008 (Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão). Esse parâmetro permite ao projetista ‘prever’ o comportamento da estrutura com relação à desfôrma ou outras características desejadas do concreto. E tudo isso com o intuito de deixar o projeto estrutural próximo ao comportamento real de uma estrutura. Mas o simples fato de conhecer as propriedades do material concreto para prever as deformações instantâneas e ao longo do tempo não é suficiente para um bom passo inicial. É preciso também conhecer as propriedades dos agregados utilizados para a composição da dosagem do concreto. Segundo o Eurocode 2 (1999), o módulo de elasticidade não depende unicamente da classe de resistência do concreto, mas também das propriedades dos agregados utilizados, e que na falta de valores, ou quando não for necessário uma grande precisão, pode-se estimar um valor médio para o módulo de elasticidade secante em cada classe de concreto de acordo com uma tabela. A partir disso tira-se a conclusão de que as equações para estimativa do módulo previstas nas normas de projeto estrutural não atendem a todos os tipos de concreto.

c) Fluência – fenômeno que surge ao longo do tempo em um objeto solicitado por tensão constante que pode ou não ser reversível, ou seja, a retirada do carregamento uma parte dessa deformação é restituída e outra parte não. A deformação gerada pela fluência é caracterizada por deformação rápida (acontecendo logo após o carregamento ser efetivado) e deformação lenta.

4.3 Práticas recomendadas na concretagem

A concretagem é a etapa final de um ciclo de execução da estrutura e, embora seja a de menor duração, necessita de um planejamento que considere os diversos fatores que interferem na produção, visando um melhor aproveitamento de recursos.

4.3.1 Transporte

O transporte do concreto é um item importante numa concretagem, pois é um condicionante que interfere diretamente nas definições das características do

concreto (trabalhabilidade desejada, por exemplo), na produtividade do serviço e, se houver na elaboração de um projeto para produção.

O sistema de transporte deve permitir o lançamento direto nas fôrmas, evitando-se depósitos intermediários ou transferência de equipamentos. Além disso, deve ser planejado um caminho a ser percorrido para o transporte de materiais, equipamentos e pessoas para que se evite o deslocamento das armaduras nas fôrmas.

O tempo de duração do transporte deve ser o menor possível, para minimizar os efeitos relativos à redução da trabalhabilidade com o passar do tempo.

Para a escolha e o dimensionamento do sistema de transporte do concreto, deve ser considerado:

- Volume a ser concretado;
- Velocidade de aplicação;
- Distância, horizontal e vertical, entre o recebimento e a utilização.

O transporte mal executado pode causar alterações graves no concreto, tendo-se como exemplos as de natureza mecânica (segregação dos materiais), física (evaporação da água) ou química (início de pega, por exemplo). O transporte mais conveniente é o caminhão basculante do tipo dumpcrete, cujo formato e chicanas internas conservam o concreto homogêneo. Os caminhões basculantes comuns e as betoneiras podem ser usados em pequenos percursos e não devem ser empregados para concretos mais úmidos ou com baixa porcentagem de agregado graúdo. O tempo máximo de percurso gira em torno dos 30 minutos. A incorporação de aditivo retardador de pega permite a ampliação do tempo entre a mistura do concreto e o começo da concretagem, recomendando-se que este seja inferior a 60 minutos (PITTA, 2000).

4.3.2 Lançamento do concreto

Geralmente é realizada pelo próprio equipamento de transporte e devido à maior probabilidade de segregação do concreto durante as operações de lançamento, a consistência deve ser escolhida em função do sistema a ser adotado.

Os cuidados necessários, segundo bibliografia e manuais técnicos de construtoras, durante o lançamento são: o concreto preparado na obra deve ser lançado após o amassamento, não sendo permitido o intervalo superior a uma hora após o preparo; o concreto bombeado, o tamanho máximo dos agregados não deve ser superior a 1/3 do diâmetro do tubo no caso de brita ou 2/5 no caso de seixo rolado.

O lançamento não pode ocorrer após o início da pega e nos pilares, a altura de queda livre do concreto não pode ser superior a 2m, pois pode ocorrer a segregação dos componentes e nas lajes e vigas, o concreto deve ser lançado encostado à porção colocada anteriormente, não devendo formar montes separados de concreto para distribuí-lo posteriormente. Esse procedimento deve ser respeitado, pois possibilita a separação da argamassa que flui à frente do agregado graúdo.

Uma boa concretagem deve garantir que o concreto chegue à fôrma coeso, que preencha todos os seus cantos e armadura e seja adequadamente vibrado.

Quando o lançamento é interrompido, formam-se juntas de concretagem. Essas juntas devem ser tratadas, para garantir a ligação do concreto endurecido com o novo. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003, as juntas devem ter em sua região a remoção cuidadosa de detritos, deve ser removida a nata da pasta de cimento. Outra precaução que a norma atenta é que normalmente deve ser deixado arranques da armadura ou barras cravadas no concreto mais velho para que seja garantida a resistência aos esforços que podem agir na superfície da junta.

4.3.3 Adensamento do concreto

Tem como função retirar os vazios do concreto, diminuindo a porosidade e, conseqüentemente, aumentando a resistência do elemento estrutural.

Tem também a função de acomodar o concreto na fôrma, para tornar as superfícies aparentes com textura lisa, plana e estética (figura 11).



Figura 11 - Exemplo de pilar executado de maneira correta e sem problema patológico de 'bicheiras'

A energia e o tempo de adensamento dependem da trabalhabilidade do concreto, devendo crescer o sentido do emprego de concretos de consistências plásticas para secas.

O adensamento pode ser realizado de forma manual ou mecânica. No adensamento manual, utilizam-se barras de aço ou de madeira, que atuam como soquetes estreitos, que expulsam as bolhas de ar do concreto. É um procedimento que exige experiência e é de baixa eficiência, de modo que deve ficar restrito em serviços de pequeno porte, utilizando-se nesse caso, concretos com abatimentos superiores a 8 cm, tendo as camadas de concreto uma espessura máxima de 20 cm.

Geralmente, o adensamento é realizado mecanicamente e, nesse caso, o equipamento mais utilizado é o vibrador de imersão. Embora não seja dada muita importância na escolha do aparelho, o equipamento adequado pode proporcionar melhor manuseio, trabalho para o funcionário encarregado da tarefa, minimizando assim problemas que podem gerar patologias. Vibradores de imersão são equipamentos

desenvolvidos para adensar concretos, mantendo essa mistura de maneira homogênea, garantindo a ocupação do concreto em todo local a ser utilizado, eliminando bolsões de ar que fazem com que o concreto tenha sua resistência diminuída.

Alguns cuidados são necessários na etapa de adensamento e são resumidamente descritos a seguir:

a) Tempo necessário de vibração

O método mais usado no adensamento é a vibração por meio de vibradores de imersão. A sua vantagem é que o aparelho pode ser aplicado em todas as regiões necessárias, facilitando a saída do ar, preenchendo os vazios existentes.

É sempre bom lembrar que o manuseio correto do aparelho durante o adensamento é imerso na posição vertical, e também que o vibrador deve penetrar por volta de 10 a 15 cm na camada anterior. Também é necessário dizer que não é recomendado forçar para imergir (pode acarretar no deslocamento ou até mesmo prender o aparelho em alguma parte da armadura posicionada) e nem se deve retirar o aparelho rapidamente (pode gerar bolhas no concreto).

É um trabalho que se não feito da maneira correta compromete o desempenho e a durabilidade da peça concretada (surgimento de fissuras e deixar a armadura exposta à ação de intempéries são dois exemplos).

A vibração excessiva pode desagregar o concreto e a deficiente pode prejudicar as características de resistência, durabilidade e aparência do material. O término da vibração é recomendado quando a superfície, logo após ser adensada, torna-se brilhante e úmida.

b) Nivelamento

Também conhecida por sarrafeamento, o nivelamento é uma atividade realizada nas lajes e vigas. A ferramenta empregada é o sarrafo, que pode ficar apoiado em mestras, que definem a espessura das lajes. É recomendável que a fôrma da laje esteja nivelada, pois isso facilita o posicionamento correto das mestras.

A fim de obter um maior controle no nivelamento das lajes, pode-se empregar taliscas (peça estreita e fina de madeira) ou mestras metálicas.

No caso dos pilares é realizada uma conferência do prumo e do esquadro, pois durante a concretagem as fôrmas podem sair do ajuste inicial.

Nas lajes, pode-se empregar também a régua vibratória, que tem a vantagem de nivelar e adensar simultaneamente. Por outro lado, o manuseio desse equipamento exige certa habilidade por parte de quem opera.

As operações de acabamento começam enquanto o concreto recém-adensado encontra-se ainda plástico. Verifica-se o nivelamento da superfície com uma régua de 3 m de comprimento, disposta paralelamente ao eixo longitudinal do pavimento e avançando de cada vez em movimentos de vaivém de, no máximo, metade de seu comprimento, em toda a largura concretada. Depressões são imediatamente preenchidas com concreto fresco, rasadas e adensadas, enquanto as saliências são cortadas e niveladas. Somente depois das correções e assim que o brilho superficial devido à umidade começar a desaparecer é que se procederá ao acabamento final (PITTA, 2000).

c) Acabamento superficial

Etapa em que se procura proporcionar à laje a textura desejada. De acordo com o padrão desejado, podem se ter os seguintes tipos de laje:

- Convencionais: aquelas em que não são realizados controles do nivelamento e da rugosidade superficial;
- Nivelada: possuem controle do nivelamento, para que o contra piso seja aplicado com a espessura definida no projeto;
- Acabada: também conhecida como laje zero, oferecem um substrato com rugosidade superficial adequada, bem como controle de nivelamento, sem a camada de contra piso.

Existem diversos equipamentos que proporcionam rugosidade diferente na superfície do concreto. Dessa forma, é preciso utilizar o equipamento adequado para cada tipo de acabamento.

Para essa operação, é possível utilizar desempenadeiras metálicas ou de madeira.

As primeiras são empregadas quando se deseja um acabamento liso na superfície de concreto. Pelo fato da desempenadeira de madeira propiciar um acabamento rugoso, são utilizadas quando a especificação do projeto indicar o uso de contra piso.

Ainda se pode gerar um ganho na produtividade fazendo uso de desempenadeiras motorizadas, deve ser aplicada a partir do instante em que for possível caminhar sobre o concreto, sem esse estar completamente endurecido. O momento adequado para essa operação ocorre quando o concreto suporta a pressão do operário, deixando apenas uma pequena marca da bota, com cerca de 2 mm de profundidade.

4.3.4 Cura

Conjunto de medidas que tem como finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento, consistindo em realizar o controle do tempo, temperatura e condições de umidade após o lançamento do concreto nas fôrmas.

Neville (1997) define cura como a denominação dada aos procedimentos a que se recorre para promover a hidratação do cimento e consiste em controlar a temperatura, a saída e a entrada de umidade do concreto. O objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou mais próximo possível disso até que os espaços da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchidos com água, tenham sido preenchidos pelos produtos da hidratação do cimento até uma condição desejável.

Além disso, a cura do concreto também favorece outros aspectos, tais como: aparência, baixa permeabilidade e a diminuição de fissuras, por exemplo.

A evaporação da água mais rápida que o aumento da resistência gera o fenômeno da retração, gerando assim fissuras no concreto. Se a perda de água é grande, é possível que não haja hidratação suficiente do cimento, gerando perda de resistência do material. Segundo Afonso (1995) a perda de água ainda faz aumentar o fenômeno da deformação lenta, ou fluência, que é a deformação que aparece quando o concreto é submetido a um carregamento constante.

A realização da cura é fundamental para a garantia da resistência desejada na estrutura, pois evita a ocorrência de fissuração plástica do concreto, uma vez que impede a perda precoce da umidade.

Essa proteção precisa ser feita atentando-se para os seguintes fatos:

- A cura deve ser iniciada assim que a superfície tenha resistência à ação da água;
- No caso de lajes, recomenda-se a cura por um período mínimo de sete dias;
- O concreto deve estar saturado até que os espaços ocupados pela água sejam preenchidos por produtos da hidratação do cimento;
- Em peças estruturais mais esbeltas ou quando empregado concreto de baixa resistência à compressão, deve-se realizar a cura com bastante cuidado (ocorre um decréscimo de resistência à compressão caso a cura não seja realizada de maneira adequada).

A cura, ou proteção contra secagem prematura, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 6118:2003 deverá ser feita pelo menos durante os sete primeiros dias após o lançamento do concreto, aumentando esse mínimo quando a natureza do cimento o exigir. Esta proteção pode ser feita mantendo-se umedecida a superfície do concreto ou protegendo-a com uma película impermeável.

As temperaturas iniciais são as mais importantes para o concreto, sendo as baixas temperaturas mais prejudiciais ao crescimento da resistência.

Outro aspecto que pode ser abordado são os tipos de cura, que podem ser realizados por:

- Molhagem das fôrmas;
- Irrigação periódica das superfícies;
- Recobrimento com material para manter a estrutura sempre úmida, podendo ser areia, sacos de aniagem, papel impermeável ou mantas;
- Películas de cura;
- Submersão;
- Cura a vapor.

A cura feita por molhagem da superfície ficaria da seguinte maneira:

- Lajes e escadas – podem ser usadas mantas umedecidas para evitar a perda de água na superfície;

- Elementos verticais (pilares) – pode ser feito por meio do envolvimento das peças nos próprios sacos de cimento vazios umedecidos de maneira constante e ininterrupta;
- Vigas – podem ser combinados dois métodos, mantendo as superfícies molhadas e envolver suas laterais e fundo nos sacos de cimento molhado.

No entanto, apesar de todas as superfícies do concreto necessitarem de cura, na maioria dos casos, a mesma é feita apenas na face superior das lajes. O borrifamento de água é uma opção, mas também se adota o represamento, a cobertura com sacos de aniagem molhados e o borrifamento de resinas de PVA.

O melhor agente de cura é a água potável. Na impossibilidade de utilizá-la, é possível também o uso de películas. Essas películas são produtos obtidos por soluções ou por emulsões aquosas de resinas e parafinas, que se depositam durante certo prazo sobre a superfície do concreto, impedindo a secagem prematura.

Para a garantia contra o aparecimento de fissuras na estrutura, recomenda-se a realização da cura até os 14 dias após o lançamento do concreto. Deve-se evitar que os procedimentos de cura sejam realizados apenas nos primeiros dias.

Em dias excessivamente quentes e secos, a cura com água deve ser iniciada antes da pega, para evitar fissuras originadas por retração plástica.

O quadro 4 resume as principais etapas de execução de um pavimento em concreto armado e os cuidados necessários.

FÔRMAS E ESCORAMENTO	ARMADURAS	LANÇAMENTO	ADENSAMENTO	CURA
CONFERÊNCIA	CONFERÊNCIA (BITOLA / QUANTIDADES)	PROGRAMAÇÃO (VOLUME, INTERVALOS, ACESSOS)	VIBRADORES (AGULHA, RÉGUA, PLACA)	DURAÇÃO (INÍCIO / TÉRMINO)
CAPACIDADE DE SUPORTE	POSICIONAMENTO	EQUIPE	ESCORAMENTO	PROCESSOS (ÚMIDA / PELÍCULA, VAPOR)
ESTANQUEIDADE	AMARRAÇÃO	DESCONTINUIDADE (JUNTAS, ENCONTROS)	TREINAMENTO	
LIMPEZA E DESMOLDANTE	COBRIMENTOS (PASTILHAS ETC.)	TIPO (BOMBA, CAÇAMBA, CONVENCIONAL)		
SUPERFÍCIE (SOLO / CONCRETO)	LIMPEZA	EQUIPAMENTOS (JERICAS, GUINCHOS ETC.)		
		PLANO (POSIÇÃO, CAMADA, ALTURA ETC.)		

Quadro 4 - Cuidados necessários para as etapas de execução de um pavimento

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM, 2009

4.3.5 Retirada de fôrmas e escoramentos

Outro tópico que precisa ser analisado é a retirada das fôrmas, feita somente quando o concreto resistir com segurança e sem sofrer deformações, ao seu peso próprio e às cargas atuantes. Os apoios devem ser retirados gradualmente, de modo que a peça entre em carga progressivamente e de forma uniforme.

Os escoramentos devem permanecer íntegros e sem modificações até que o concreto adquira resistência suficiente para suportar as tensões e deformações.

Os períodos mínimos para retirada de escoramentos dependem de fatores como: a velocidade do aumento da resistência do concreto e os processos de cura adotados. Assim, a sua remoção somente deve ser feita quando o concreto adquirir

resistência adequada às ações que sobre ele atuem e não conduzir as deformações inaceitáveis, comprovadas por rompimentos de corpos de prova.

Para Barros e Melhado (2006), as recomendações para a etapa de retirada de fôrmas são:

- Respeitar o tempo de cura para início da desfôrma, que segundo a norma de execução, de estruturas de concreto armado, dado por: três dias para retirada de fôrmas de faces laterais; sete dias para a retirada de fôrmas de fundo, deixando-se algumas escoras bem encunhadas; 21 dias para retirada total do escoramento;
- Execução do reescoramento (antes do início da desfôrma propriamente dita);
- Retirada dos painéis com cuidado para não haver queda e danificá-los;
- Fazer a limpeza dos painéis;
- Efetuar os reparos (manutenção) necessários;
- Transportar os painéis para o local de montagem;
- Verificar o concreto das peças deformadas.

A retirada do escoramento e da fôrma deve ser efetuada sem choques ou a utilização de ferramentas que danifiquem a superfície do concreto.

As condições e as peças das fôrmas de pilares, vigas, lajes e escadas, que foram acompanhadas neste trabalho, devem receber cuidados prescritos em normas e em recomendações técnicas de fabricantes.

4.4 Recomendações da norma para a etapa de concretagem

É sempre bom lembrar que o projetista deve levar em consideração todas as propriedades requeridas em projeto, principalmente com relação a resistência característica, ao módulo de elasticidade do concreto e de durabilidade da estrutura para a confecção de um bom concreto. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 prevê uma série de recomendações a serem seguidas para essa etapa, dentre as quais se detalha:

a) Concreto

- A especificação do concreto deve levar em consideração todas as propriedades requeridas em projeto, em especial quanto à resistência característica, ao módulo de elasticidade do concreto e a durabilidade da estrutura, bem como as condições eventualmente necessárias em função do método de preparo escolhido e das condições de lançamento, de adensamento e de cura (item 9.1.2.1.1);
- O concreto é solicitado especificando-se o consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto, a dimensão máxima característica do agregado graúdo e o abatimento do concreto fresco no momento da entrega (item 9.1.2.1.2);
- O concreto é solicitado especificando-se as quantidades por metro cúbico de cada um dos seus componentes, incluindo-se aditivos, se for o caso (item 9.1.2.1.3).

b) Cuidados preliminares

- Fôrmas – antes do lançamento do concreto devem ser devidamente conferidas as dimensões e a posição (nivelamento, prumo e esquadro) das fôrmas, a fim de assegurar que a geometria dos elementos estruturais e da estrutura como um todo estejam conforme estabelecido no projeto. A superfície interna deve ser limpa e verificada a estanqueidade das juntas, de maneira a evitar a perda de pasta ou argamassa. Fôrmas que absorvam umidade ou facilitem evaporação devem ser molhadas até a saturação para minimizar a perda de água do concreto (item 9.2.1);
- Escoramentos – antes do lançamento do concreto devem ser devidamente conferidos as posições e as condições estruturais do escoramento a fim de assegurar que as dimensões e as posições das fôrmas sejam mantidas de acordo com o projeto e permitir o tráfego de pessoal e de equipamento necessários à operação de concretagem com segurança (item 9.2.2);
- Armaduras – a montagem, o posicionamento e o cobrimento especificados para as armaduras passivas devem ser verificados e as barras de aço devem estar previamente limpas (item 9.2.3);

- Condições operacionais na obra – é necessário verificar as condições operacionais dos equipamentos disponíveis no local de trabalho e sua adequabilidade ao volume de concreto a ser produzido e transportado. No caso de concreto dosado em central, o trajeto a ser percorrido pelo caminhão betoneira no canteiro de obras até o ponto de descarga do concreto deve estar desimpedido e o terreno firme, de forma a evitar dificuldades na concretagem e atrasos no cronograma (item 9.2.5).

c) Lançamento

- Generalidades: antes da aplicação do concreto deve ser feita a remoção de detritos. O concreto deve ser lançado e adensado de modo que toda a armadura, além dos componentes embutidos previstos no projeto, sejam envolvidos na massa de concreto, e não deve ser lançado após o início da pega. Deve ser lançado com técnica que reduza a segregação entre seus componentes, observando maiores cuidados quanto maior for a altura de lançamento e a densidade de armadura. Deve haver um cuidado especial em evitar o deslocamento de armaduras, ancoragens e fôrmas. Bem como para não produzir danos nas superfícies das fôrmas, principalmente quando o lançamento do concreto for realizado em peças altas, por queda livre (item 9.5.1).

d) Adensamento

- Generalidades – durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deve ser vibrado ou apiloado continua e energicamente com equipamento adequado à sua consistência. O adensamento deve ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os recantos das fôrmas. Durante esse processo é necessário cuidado para que não se forme ninhos ou haja a segregação do material, e também evitar a vibração da armadura para que não se formem vazios ao seu redor, prejudicando sua aderência. O plano de lançamento deve estabelecer a altura das camadas de lançamento do concreto e o processo mais adequado de adensamento. No caso de alta densidade de armaduras (figura 12), cuidados

especiais devem ser tomados para que o concreto seja distribuído de maneira homogênea (item 9.6.1);



Figura 12 - Região com alta concentração de armadura que requer atenção especial no adensamento para evitar incidências patológicas

- Cuidados no adensamento com vibradores de imersão devem ser tomados no uso desse aparelho: utilizar preferencialmente na posição vertical, vibrar o maior número possível de pontos ao longo do elemento estrutural, retirar de maneira lenta e sempre o mantendo ligado (para que a cavidade formada pela agulha se feche novamente), não permitir que o aparelho entre em contato com a parede das fôrmas (para evitar a formação de bolhas de ar na superfície da peça e promover um adensamento adequado e uniforme), mudar a posição do vibrador quando a superfície apresentar-se brilhante (item 9.6.2).

e) Juntas de concretagem

- O item 9.7 recomenda que, quando o lançamento for interrompido e, assim, se formar uma junta de concretagem não prevista, devem ser tomadas algumas

precauções para garantir a ligação do concreto já endurecido com o novo trecho. O concreto deve ser perfeitamente adensado até a superfície da junta, usando-se fôrmas temporárias, quando necessário para garantir apropriadas condições de adensamento;

- Antes de reiniciar o lançamento do concreto deve ser removida a pasta de cimento (vitrificada) e feita a limpeza da superfície da junta, com a retirada do material solto;
- Devem ser tomadas as precauções necessárias para garantir a resistência aos esforços que podem agir na superfície da junta;
- As juntas de concretagem, sempre que possível devem ser previstas no projeto estrutural e estar localizadas onde forem menores os esforços de cisalhamento, preferencialmente em posição normal aos esforços de compressão, salvo se demonstrado que a junta não provocará a diminuição da resistência do elemento estrutural.

f) Cura e cuidados especiais

- O item 10.1 recomenda que enquanto o concreto não atingir endurecimento satisfatório deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para evitar a perda de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e assegurar a formação de uma capa superficial durável;
- Os agentes prejudiciais proporcionam fissuras na massa de concreto e também prejudicam a aderência à armadura;
- Se utilizar água, esta deve ser potável e satisfazer as exigências da NBR 12654:1992.

g) Desfôrma

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) – NBR 15696: 2009 prevê a retirada de fôrmas e de escoramentos (item 6.3, item c) feita de maneira a respeitar o comportamento da estrutura em serviço. No caso de dúvidas quanto ao modo de funcionamento da estrutura o responsável técnico deve providenciar esclarecimentos técnicos para tal procedimento.

Outros cuidados devem ser seguidos segundo a própria norma (item 6.5):

- Nenhuma carga deve ser imposta e nenhum escoramento removido de qualquer parte da estrutura, enquanto não houver certeza de que os elementos estruturais e o novo sistema de escoramento têm resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estarão sujeitos;
- Nenhuma ação adicional não prevista nas especificações do projeto ou na programação da execução da estrutura de concreto deve ser imposta à estrutura ou ao sistema de escoramento sem que se comprove que o conjunto tem resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estará sujeito;
- Verificação de que a estrutura de concreto suporta as ações previstas, considerando a capacidade de suporte do sistema de escoramento e os dados de resistência e de deformabilidade do concreto.

Além desses detalhes a norma ainda prevê a retirada do escoramento e das fôrmas sem choques e obedecendo a um programa elaborado e que a aplicação dos esforços na estrutura deve ser feita gradualmente. Um ponto especial que é definido é a atenção ao tempo especificado para a retirada, para que a livre movimentação das juntas de retração ou dilatação possa ser impedida.

Um responsável técnico da obra deve acompanhar as condições e o comportamento da estrutura e informar ao projetista qualquer situação adversa ao projeto para que seja feita uma análise no ‘novo’ comportamento da edificação.

5 PATOLOGIA NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Nesta pesquisa foram focados os processos de execução causados pelos diversos agentes atuantes no ambiente onde a edificação foi construída. Tais agentes podem ser de origem externa, como as variações térmicas ou, internas como métodos e técnicas construtivas inapropriados para o local onde a edificação deverá cumprir seu papel.

A durabilidade de uma estrutura está diretamente relacionada com o meio onde foi edificada, bem como com a tecnologia com a qual foi construída.

Segundo Helene (1992), a patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

Para Souza e Ripper (1998), designa-se genericamente por Patologia das Estruturas um novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Segundo Metha e Monteiro (1994), uma determinada estrutura cumpre seu papel devidamente, quando mantém sua integridade no decorrer da sua vida útil. Essa integridade está relacionada ao desempenho estrutural e à durabilidade.

Relacionado ao desempenho estrutural estão associados os seguintes principais quesitos:

- Projeto bem detalhado e documentado;
- Coordenação de obra interagindo com os projetistas;
- Utilização de materiais que atendem os requisitos de norma;
- Concreto que atenda os requisitos de qualidade (durante toda a execução e materiais), além da resistência e critérios de cobrimento da armadura, transporte, lançamento, adensamento e cura;
- Aço que atenda os requisitos de norma;
- Fôrmas executadas corretamente e estáveis dimensionalmente.

Alguns aspectos de resistência também se relacionam com critérios de qualidade, o qual pode representar maior ou menor durabilidade da estrutura, em função do atendimento das normas. A durabilidade, por sua vez, depende do grau de exigência ao qual a estrutura é submetida durante sua vida útil.

A partir da segunda metade da década de 1980, a questão da durabilidade em estruturas de concreto ganhou importância devido a incidências patológicas e a deterioração em diversas estruturas em todo o mundo. Algumas causas foram o aumento da poluição ambiental a partir da década de 1960, nos centros industriais mundiais, ao envelhecimento das estruturas em concreto construídas nas primeiras décadas do século XX, quando o conhecimento sobre a constituição e a dosagem científica dos materiais não estava bem desenvolvido. Conforme Metha e Monteiro (1994) “... a água, que é o agente primário tanto na criação como na destruição de muitos materiais na natureza, é o fator central para a maioria dos problemas de durabilidade no concreto.” Além disso, outros fenômenos associados à água podem ser observados como causadores de degradação no concreto, como:

- Transporte de íons agressivos;
- Possível aumento da permeabilidade e capilarização;
- Reações químicas envolvendo os compostos alcalinos resultantes da cura com águas ácidas provenientes de chuvas;
- Reações físicas causadas pelo aumento e diminuição do volume da água residual no interior do concreto quando ocorre seu congelamento (algumas regiões do Brasil).

O cobrimento da armadura e os procedimentos de preparação do concreto, como usinagem e dosagem em central, minimizam efeitos de retração ou de fissuração. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 6118:2003, as aberturas de fissuras aceitáveis para estruturas de concreto armado variam em até 0,4 mm para concreto armado e 0,2 mm para concreto protendido, respeitando outros requisitos como ambiente onde a obra será construída ou mesmo, exigências contratuais do cliente.

O principal fator que determina a abertura permitida das fissuras é a classe de agressividade ambiental, que influenciará também nos valores mínimos de

resistência característica que deve ser respeitado e no valor mínimo do cobrimento da armadura. A norma define as classes ambientais dependendo de onde a estrutura será construída conforme quadro 5.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Quadro 5 - Classe de agressividade do meio ambiente

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003) – NBR6118:2003

O item 6.4.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 6118:2003 explica que a agressividade do meio está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

As estruturas devem ser projetadas, construídas e utilizadas de modo que conservem sua segurança, estabilidade e conforto no decorrer de sua vida útil. Esse conceito pode ser aplicado tanto para a edificação como um todo, como para suas partes.

O modelo probabilístico já previsto pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 6118:2003 considera inúmeros fatores como agentes intervenientes na qualidade de uma determinada estrutura. Entre os principais podem ser mencionados:

- Qualidade do material utilizado;
- Qualificação da mão-de-obra;
- Processos construtivos adequados;
- Projeto totalmente resolvido e detalhado, como já descrito anteriormente.

O ambiente também exerce grande influência na durabilidade, por essa razão as construções devem ser analisadas sob diversos enfoques, como a localização, a proximidade de centros industriais, região costeira ou, ainda onde ocorrem abalos sísmicos.

Como descrito, a qualidade dos materiais também é de grande importância para garantir-se a qualidade do produto final.

Alguns fatores devem ser atendidos para se assegurar a qualidade dos materiais utilizados para executar estruturas de concreto, como os seguintes:

- Os agregados graúdo e miúdo devem ser limpos e isentos de impurezas que possam reagir com os compostos químicos presentes na pasta cimentícia;
- A água deve ser limpa e não estar contaminada com resíduos químicos industriais ou biológicos;
- O cimento deve estar em perfeito estado, seco e sem grânulos;
- O fator água / cimento deve ser controlado para evitar-se excesso de retração no momento da cura e perda de pasta.

Em relação à qualidade dos materiais como lajes, blocos de concreto ou cerâmicos, madeiramento para formas e cimbramentos e outros materiais de acabamentos, também existem critérios de aceitabilidade em relação à qualidade visando minimizar as incidências patológicas futuras.

A Figura 13 apresenta a relação entre desempenho, manutenção e vida útil de uma edificação (LICHTENSTEIN, 1985), demonstrando uma intervenção gradativa na estrutura. No caso, essa intervenção seria uma manutenção na edificação para que o desempenho mínimo que a estrutura deve apresentar seja mantido por um tempo maior possível do que se não houvesse nenhuma interferência.

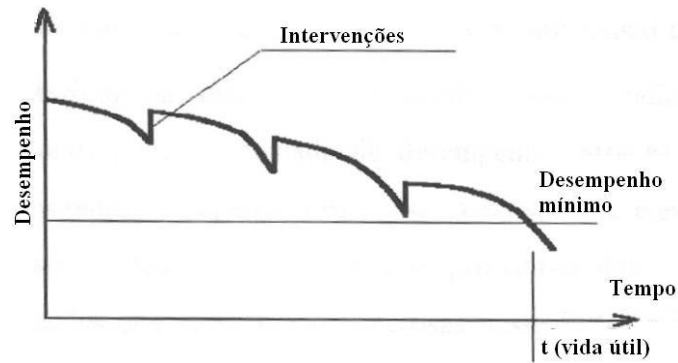


Figura 13 - Relação entre desempenho, vida útil e manutenção do edifício
Fonte: LICHTENSTEIN, 1985

É possível falar basicamente de duas maneiras nesse fator patologia: um quando o projeto está sendo executado (desde a sua concepção até a sua execução propriamente dita, considerando todas as etapas envolvidas da estrutura) e outro quando a edificação está ocupada por moradores (que podem ou não utilizar de maneira adequada fazendo ou não as manutenções necessárias).

As incidências patológicas são ocasionadas, em geral, pela desconsideração de parte dos ocupantes das edificações em adotar procedimentos e medidas de manutenção preventiva, no decorrer da vida útil da construção. Além, disso, outras causas também exercem grande influência para o aparecimento de patologia. Segundo Cánovas (1988), as edificações podem ser comparadas aos seres vivos, que necessitam de certos cuidados no decorrer da vida.

A patologia ocorrente nas estruturas das edificações são evolutivas, o que pode comprometer a estrutura a curto e a longo prazo. As causas são diversas: projeto estrutural (não detalhado de maneira adequada ou de difícil interpretação), materiais (de baixa qualidade), erros de execução e agressividade ambiental.

Visualizado o problema, o passo seguinte é a tentativa da correção, o que alguns chamam de terapia. A terapia cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos (HELENE, 1992). Para obter êxito nas medidas terapêuticas, é necessário que o estudo precedente, o diagnóstico da questão, tenha sido bem conduzido. As medidas terapêuticas de correção dos problemas tanto podem incluir pequenos reparos localizados, quanto uma recuperação generalizada da estrutura ou reforços de fundações, pilares, vigas e lajes. É sempre recomendável que, após qualquer uma das intervenções citadas, sejam tomadas medidas de proteção da estrutura, com implantação de um programa de manutenção periódica.

5.1 Origem da patologia de estruturas

Os problemas patológicos têm suas origens em falhas que ocorrem durante a realização de uma ou mais das atividades inerentes da construção civil (salvo os casos de catástrofes naturais), processo este que pode ser dividido, em três etapas básicas: concepção, execução e utilização.

5.1.1 Concepção (projeto)

Várias são as falhas possíveis de ocorrer durante a etapa de concepção da estrutura. Elas podem se originar durante o estudo preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto de execução.

Ripper (1984) constatou que os responsáveis, principalmente, pelo encarecimento do processo de construção, ou por transtornos relacionados à utilização da obra, são as falhas originadas de um estudo preliminar deficiente, ou de anteprojetos equivocados, enquanto as falhas geradas durante a realização do projeto final de engenharia geralmente são as responsáveis pela implantação de problemas patológicos sérios e podem ser tão diversas como:

- Elementos de projeto inadequados;
- Falta de compatibilização entre a estrutura e a arquitetura, bem como com os demais projetos;
- Especificação inadequada de materiais;
- Detalhes construtivos de difícil execução;
- Falta de padronização das representações;
- Erros de dimensionamento.

5.1.2 Execução

Iniciada a construção, podem ocorrer falhas das mais diversas naturezas, associadas a causas tão diversas como falta de condições locais de trabalho (cuidados e motivação), não capacitação profissional da mão-de-obra, inexistência de controle de

qualidade de execução, má qualidade de materiais e componentes, irresponsabilidade técnica e sabotagem.

Nas estruturas, vários problemas patológicos podem surgir. Uma fiscalização deficiente e um fraco comando de equipes, normalmente relacionados a uma baixa capacitação dos profissionais envolvidos podem, com facilidade, levar a graves erros em determinadas atividades, como a implantação da obra, escoramento, fôrmas, posicionamento e quantidade de armaduras e a qualidade do concreto.

5.1.3 Utilização (manutenção)

Acabadas as etapas de concepção e de execução, e mesmo quando tais etapas tenham sido de qualidade adequada, as estruturas podem vir a apresentar problemas patológicos originados da utilização errônea ou da falta de um programa de manutenção adequado.

Souza e Ripper (1998) apontam a necessidade de definir estratégias de manutenção de cada obra em função da maior ou menor confiança, por um lado, e dos cuidados, por outro, que, quando da própria concepção, a construção – e a estrutura e suas principais peças, em particular – venha a requerer, em termos de utilização. E consideram dois grandes grupos classificadores de estratégias de manutenção:

- Casos em que a estrutura terá, previsivelmente, um só responsável durante toda a sua vida útil, o que geralmente acontece com as chamadas estruturas de grande porte, como pontes e viadutos, os estádios e ginásios, as galerias subterrâneas (metrô inclusive), grandes estruturas industriais e fabris, usinas nucleares e mesmo alguns cais e ancoradouros;
- Casos de estruturas para construções em que os proprietários ou responsáveis são vários, sucedendo-se durante a vida útil delas. Esta é a situação mais comum, particularmente para os edifícios de escritório, e mesmo para os residenciais, em que a análise econômica comporta horizontes previsivelmente curtos, como é compreensível em sistemas de propriedade privada ou de economia capitalista.

Os problemas patológicos ocasionados por manutenção inadequada, ou pela ausência total de manutenção, têm sua origem no desconhecimento técnico, na incompetência, no desleixo e em problemas econômicos.

Os procedimentos inadequados durante a utilização podem ser divididos em dois grupos: ações previsíveis e ações imprevisíveis ou acidentais. Nas ações previsíveis, pode-se compreender o carregamento excessivo, devido à ausência de informações no projeto e/ou inexistência de manual de utilização. No caso das ações imprevisíveis tem-se: a alteração das condições de exposição da estrutura, incêndios, abalos provocados por obras vizinhas, choques acidentais, por exemplo.

5.2 Causas dos processos de deterioração das estruturas durante a construção

5.2.1 Interpretação do projeto

Nessa etapa de extrema importância, há ocasiões em que se tem um bom projeto e a estrutura está perfeitamente calculada e, no entanto, são encontrados defeitos em obra que, analisados, indicam que houve erros da parte dos desenhistas que passaram as plantas de projeto para plantas de execução.

Na verdade, nos passos intermediários entre o projeto em si e a execução, podem ser introduzidos erros evitáveis, quando se faz uma revisão e uma comprovação muito meticulosa para retificar o que for necessário antes do início da obra.

Ripper (1984) aponta que em casos de dúvidas ou de falhas de projeto, o responsável da obra deve consultar o projetista, porque somente este sabe o objetivo do elemento construtivo em questão. Em casos excepcionais, se for difícil a consulta ou por falta de tempo, só um engenheiro pode tomar as providências necessárias, conhecendo como trabalham os diversos componentes do concreto armado e da estrutura, e somente ele pode saber que medidas devem ser tomadas. Um exemplo são os defeitos nas plantas de armação, com o emprego de escalas insuficientes ou como consequência de substituição de plantas claras por listas de armações confusas, realizadas em obra e, em geral, deficientes.

5.2.2 Materiais de construção em geral

O material mais utilizado em estruturas é o concreto armado, entendendo-se como tal a mistura íntima de cimento, agregados, água, eventualmente aditivos e o aço que vai constituir a fibra de que o concreto necessita para ser um material estrutural completo.

A patologia do concreto armado está, portanto, relacionada a de seus componentes, que deverão reunir uma série de características que impeçam a ocorrência, a curto prazo, de defeitos mais ou menos graves no concreto.

Segue-se a apreciação de alguns dos casos mais comuns de utilização incorreta de materiais de construção:

- Utilização de concreto com f_{ck} (resistência característica à compressão) inferior ao especificado, seja no caso de encomenda errada ou de erro no fornecimento de concreto pronto, seja por erro em concreto virado na própria obra;
- Utilização de aço com características diferentes das especificadas, seja em termos de categorias ou de bitolas;
- Assentamento das fundações em camadas de solo com capacidade resistente — ou características, de uma maneira geral — inferior à requerida;
- Utilização de agregados reativos, instaurando, desde o início, a possibilidade de geração de reações expansivas no concreto, e potencializando os quadros de desagregação e fissuração do mesmo;
- Utilização inadequada de aditivos, alterando as características do concreto, em particular as relacionadas com resistência e durabilidade;
- Dosagem inadequada do concreto, seja por erro no cálculo da mesma, seja pela utilização incorreta de agregados, do tipo de cimento ou de água.

a) Cimentos

O armazenamento adequado do cimento é essencial para garantir a conservação de suas qualidades e evitar possíveis alterações em suas propriedades que possam ocasionar problemas nos concretos fabricados.

Para conservar o cimento devem ser tomadas precauções: o local deve estar completamente seco e contar com estrado de madeira feito com tábuas grossas, 20 a 30 cm acima do solo. A pilha não deverá ser constituída de mais de 10 sacos, salvo se o tempo de armazenamento for no máximo 15 dias, caso em que poderá atingir 15 sacos.

Devem ser evitadas as correntes de ar, principalmente em climas úmidos.

Algumas considerações sobre os cimentos devem ser feitas:

- Estoques de cimento devem ser elaborados de tal forma que os mais antigos sejam utilizados primeiro e que não haja problemas com a validade do lote;
- Os sacos não podem estar úmidos ou com aparência de já molhados;
- Cuidados com materiais que possam contaminar o cimento, por exemplo, no caminhão do transporte dos sacos (rasgando ou misturando com outros produtos). Não deve ser utilizado cimento contaminado;
- Cimento não pode ter pedras. Se isso aconteceu é porque o cimento foi exposto à umidade e foi hidratado. Não deve ser usado;
- Muitos pedreiros podem adicionar açúcar ou sal no cimento (visando modificar a pega do cimento). É uma prática não permitida, visto que, o sal pode provocar corrosão na armadura;
- Outro cuidado importante é na estocagem do material. Empilhar no máximo 10 sacos para evitar a compactação, não colocar os sacos diretamente no solo (evitar contaminação e absorção de água), utilizar uma plataforma de madeira para elevar em relação ao solo e utilizar lonas, não encostar os sacos em paredes ou tetos (figura 14);
- Identificar os cimentos para ter controle no estoque a fim de saber qual é o lote mais novo e o mais velho, diferenciar também se houver marcas diferentes e tipos diferentes.

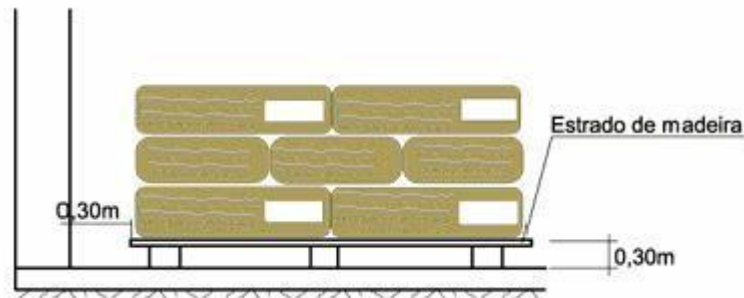


Figura 14 - Exemplo de empilhamento correto dos sacos de cimento
Fonte: Fabricação...,2010

b) Agregados

Os agregados empregados na fabricação de concreto não devem ser reativos com o cimento e ser suficientemente estáveis diante da ação dos agentes externos com os quais estarão em contato na obra e isentos de substâncias prejudiciais, argila e matéria orgânica, que diminuam sua aderência à pasta de cimento ou que prejudiquem as reações de pega e de endurecimento do concreto.

Os agregados não devem reagir com o cimento dando lugar a produtos expansivos que possam criar tensões internas na massa de concreto, que alterem ou diminuam as resistências mecânicas ou a durabilidade dos mesmos.

Os agregados diferentes deverão ser depositados em plataformas separadas, de modo que não haja possibilidade de se misturarem com outros agregados ou com materiais estranhos que venham prejudicar a sua qualidade; também no manuseio deverão ser tomadas precauções para evitar essa mistura.

c) Água

Do ponto de vista patológico, o emprego no ‘amassamento’ do concreto de águas não potáveis e não recomendadas pela prática, pode criar problemas a curto e a longos prazos.

Embora possam provocar efeitos patológicos no concreto, as águas que contêm impurezas, dentro de certos limites, podem ser usadas e inclusive podem nem aparecer.

A água de ‘amassamento’ não deve conter matérias orgânicas indesejáveis nem substâncias inorgânicas em teores excessivos.

As águas devem ser analisadas quando não se conheçam antecedentes de sua utilização e no caso de haver dúvidas quanto à sua idoneidade.

A qualidade tem um papel importante: as impurezas contidas na água podem influenciar negativamente a resistência do concreto ou causar manchas na sua superfície, ou, também, resultar em corrosão da armadura. Por essas razões, deve-se dar atenção à qualidade para o ‘amassamento’ e para a cura do concreto.

d) Aditivos

Segundo Neville (1997), um aditivo pode ser definido como um produto químico que, exceto em casos especiais, é adicionado à mistura de concreto em teores não maiores do que 5 % em relação à massa de cimento durante a mistura ou durante uma mistura complementar antes do lançamento do concreto, com a finalidade de se obter modificações específicas, ou modificações das propriedades normais do concreto (como, por exemplo, aumentar a plasticidade, resistência inicial, etc).

O motivo do grande crescimento do uso dos aditivos é a capacidade de proporcionar ao concreto consideráveis melhorias físicas e econômicas. Essas melhorias incluem o uso em condições nas quais seria difícil ou impossível usar o concreto sem aditivos. Eles também tornam possível o uso de uma grande variedade de componentes na mistura.

Os aditivos embora nem sempre baratos, não representam necessariamente um custo adicional porque podem resultar economias, como, por exemplo, no custo do trabalho necessário para o adensamento, na possibilidade de redução do teor de cimento ou na melhoria da durabilidade sem outras providências.

Deve se lembrar que, embora usados corretamente, sejam benéficos para o concreto, os aditivos não são um remédio para a falta de qualidade dos ingredientes do concreto, para proporções não adequadas da mistura, ou para o despreparo da mão de obra para transporte, lançamento e adensamento.

Os aditivos podem ser classificados de diversas maneiras. Como normas gerais no emprego de aditivos podem-se salientar:

- Sempre que possível, evitar o emprego de aditivos, recorrendo ao uso de materiais, dosagem, fabricação, posta em obra e cura corretas para conseguir concretos com as propriedades desejadas;
- Quando for necessário empregar aditivos por motivos particulares, realizar ensaios prévios e sem um controle rigoroso de sua dosagem;
- É preciso procurar aditivos de boa qualidade e que se tenham referências, ou seja, estejam comprovados na prática, desconfiando dos fabricantes que fornecem aditivos que só possuem vantagens e servem para tudo. Os aditivos costumam apresentar efeitos secundários que é necessário conhecer e controlar, pois os prejuízos que possam ocasionar, talvez sejam maiores que as vantagens que podem trazer;
- Os aditivos escolhidos devem ser protegidos adequadamente. Se em pó, devem ser conservados em lugares secos, evitando a possível formação de torrões por efeito da umidade, bem como a alteração de suas propriedades. Quando em estado líquido devem ser protegidos do calor e agitados antes de usar para evitar que as sedimentações produzidas tirem a uniformidade do aditivo;
- Ao empregá-los, assegurar-se de que estão dentro de seu prazo de validade e seguir as precauções indicadas pelo fabricante no caso, pouco freqüente, de serem tóxicos;
- Evitar os erros que possam ter origem na confusão de proporções para a mistura, bem como a repartição do aditivo ser uniforme, podendo ocasionar efeitos indesejáveis;
- Pode existir incompatibilidade de alguns tipos de aditivos com o aglomerado empregado, reforçando a necessidade de realizar ensaios prévios em laboratório antes de optar pelo emprego de um determinado aditivo;
- Não esquecer que um concreto de qualidade ruim não pode converter-se em bom, pelo emprego de aditivos.

O emprego de vários aditivos num mesmo concreto pode ocasionar importantes problemas devido às incompatibilidades em sua mistura.

e) Armaduras

As barras empregadas como armadura em concreto armado não devem apresentar defeitos superficiais, fissuras ou bolhas. Para evitar possíveis erros que ocasionariam efeitos patológicos, é recomendável empregar, em obra, o menor número possível de diâmetros diferentes e, que estes entre si, se diferenciem o mais possível. Quando for previsto o emprego de barras de aço com qualidades diversas (diâmetro), deverão ser tomadas as necessárias precauções para evitar a troca involuntária.

As barras de aço deverão ser convenientemente limpas de qualquer substância prejudicial à aderência, retirando-se as escamas eventualmente destacadas por oxidação.

Antes e durante o lançamento do concreto, as plataformas de serviço deverão estar dispostas de modo a não acarretarem em deslocamentos das armaduras.

As barras de espera deverão ser devidamente protegidas contra a oxidação; ao ser retomada a concretagem, deverão ser perfeitamente limpas de modo a permitir boa aderência.

Por fim, a execução das obras deverá ser a mais cuidadosa a fim de que as dimensões, a forma e a posição das peças e, as dimensões e a posição da armadura obedeçam às indicações do projeto com a maior precisão possível.

5.2.3 Controle de qualidade de execução

Sendo a última, esta é, talvez, a maior de todas as causas relacionadas com as falhas na construção, posto que, se existir controle de qualidade adequado, as causas relacionadas anteriormente, na sua grande maioria, terão substancialmente reduzidas as possibilidades de virem a ocorrer, ou, pelo menos, terão atenuadas suas consequências, em termos do quadro patológico resultante.

Um ponto fundamental para se diminuir a possibilidade de deterioração precoce da estrutura, no que diz respeito à composição e à confecção do concreto in loco, é que se tenha em todas as suas etapas a presença de um engenheiro tecnologista que deverá seguir as recomendações da norma para que o material tenha a melhor qualidade possível.

A limpeza inadequada dos equipamentos antes do uso para transporte do concreto pode provocar contaminações ao mesmo, proporcionando queda da resistência ou de manchas.

Durante o uso destes equipamentos no processo de concretagem deve-se tomar o cuidado de lavá-los periodicamente com jatos de água, a fim de evitar a formação de películas de argamassa endurecida em sua superfície. A água utilizada na lavagem não deve permanecer no interior do equipamento.

5.2.4 Deficiência nas fôrmas e escoramentos

O uso de fôrmas convencionais de madeira ou metal faz com que junto às superfícies do concreto forme-se uma camada de pasta e de argamassa com qualidade inferior as camadas internas do concreto devido à elevada relação água/cimento.

Essas fôrmas podem ocasionar efeitos indesejáveis no concreto, que podem afetar sua própria estrutura produzindo vazios, alvéolos, ondulações, deformações, ou efeitos que podem afetar seu aspecto, produzindo mudança de coloração que deixam concretos aparentes com aparência desagradável. Para Cánovas (1988) esses efeitos indesejáveis podem ser resumidos em:

- Grupos de cavidades em forma de ninhos de pedras, devido à segregação, à má compactação ou à fuga da nata por meio das juntas da fôrma;
- Destacamentos por aderência do concreto à forma;
- Deformações por deficiência no alinhamento da fôrma (figura 15);
- Deformação da forma sob a carga do concreto fresco;
- Abertura da fôrma durante a concretagem (figura 16).



Figura 15 - Desnível da viga
Fonte: ALVES, et al., 2006



Figura 16 - Abertura da fôrma durante o processo de concretagem
Fonte: ALVES, et al., 2006

Além das causas de patologia, anteriormente citadas, existem outras decorrentes de execução e que podem ser consideradas como consequência da falta de fiscalização na limpeza: emprego de fôrmas sujas e com restos de argamassa ou pasta de usos anteriores, a falta de verificação de sujeira quando irá concretar e o não umedecimento ou a falta de desmoldantes nas superfícies das fôrmas.

Um ponto que necessita de atenção especial é com relação ao uso inadequado ou a montagem não apropriada das fôrmas. O uso inadequado seja ele originado pela falta de um projeto bem detalhado (ou pela falta de projeto), pela confecção inadequada das fôrmas (dimensões fora do especificado, descuido no preparo da peça), assim como um adensamento não apropriado pode gerar entre outras coisas a aparição de bicheiras.

As juntas entre tábuas ou chapas compensadas devem ser bem fechadas para evitar o vazamento da nata de cimento, que causam vazios e deixa caminho livre para a penetração de água, que ataca a armadura (figura 17).



Figura 17 - Bicheiras com ferragem exposta

Fonte: ALVES, *et al*, 2006

Os vazios de concretagem, comumente chamados de bicheiras, além de ser visualmente desagradáveis, afetam a durabilidade e a resistência da edificação. Bicheiras são cavidades em forma de nichos de pedras, devido à segregação, à má compactação do concreto ou à fuga da nata por meio das juntas da fôrma (figuras 18 e 19).

As causas desse agente podem estar na concepção do projeto, que, pelo excesso na concentração de armadura, dificulta a passagem de equipamentos que possam adensar a superfície gerando bolhas de ar ou até mesmo impossibilitando o adensamento. O que acontece nesse caso, é que o agregado não consegue passar e apenas a argamassa preenche o espaço destinado aos dois. Outro problema pode ser o tamanho do agregado usado no concreto. Por exemplo, a variação de tamanho seja quase nula, impedindo assim a ‘acomodação’ e originando a formação de bolhas.

Outro problema é a vibração excessiva, que acaba ocasionando a segregação dos componentes. Ou então, até a frequência e o tempo de vibração, além da maneira inadequada de se utilizar o vibrador de imersão podem gerar vazios de concretagem.

Antes mesmo do problema do adensamento é necessário verificar a altura a qual o concreto será lançado. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 recomenda que o concreto não seja lançado com alturas superiores a 2 metros (se isso ocorrer, alguns cuidados devem ser providenciados). Isso faz com que o agregado chegue à base do elemento a ser concretado antes da argamassa, gerando bicheira no inferior da peça. Em situações com peças esbeltas, é recomendado o uso de funis e janelas intermediárias para que a peça possa ser concretada em etapas.

Uma dosagem inadequada seja ela com muito agregado ou pouca argamassa também pode gerar esse tipo de patologia.



Figura 18 - Bicheira em lajes nervuradas
Fonte: ALVES, *et al*; 2006



Figura 19 - - Bicheiras na parte superior da viga
Fonte: ALVES, *et al*, 2006

5.2.5 Deficiências no projeto e execução de elementos estruturais

Os próximos itens a serem apresentados são demonstrações de um procedimento inadequado, seja por falta de detalhamento em projeto ou por desleixo durante a execução e que geram problemas durante a utilização das peças ou um custo adicional à obra.

a) Pilares

Deve-se prever contraventamento segundo duas direções perpendiculares entre si (geralmente é feito só em uma direção). Devem ser bem apoiadas no terreno em estacas firmemente batidas ou nas fôrmas da estrutura inferior.

É necessário cuidado na fixação dos contraventamentos, onde se erra muito, aplicando-se um ou dois pregos. Os contraventamentos podem receber esforços de tração e por este motivo devem ser bem fixados com muitos pregos nas ligações com a fôrma e com os apoios no solo.

No caso de pilares altos, prever contraventamento em dois ou mais pontos de altura. Em contraventamentos longos prever travessas com sarrafos para evitar flambagem.

Deixar na base dos pilares uma janela para a limpeza e a lavagem do fundo (isto é muito importante). No caso de pilares altos, deixar janelas intermediárias para concretagem em etapas e atentar para os problemas de desaprumo. O desaprumo de pilares, por exemplo, pode decorrer da falta de cuidado na execução da fôrma ou de seu posicionamento, com a não utilização ou emprego incorreto dos instrumentos destinados à colocação da estrutura no prumo. Além de gerar um aspecto estético desagradável, o desaprumo pode introduzir esforços adicionais nos pilares, pois as forças são aplicadas fora da posição prevista no projeto (figura 20).



Figura 20 - Pilar fora de prumo em relação ao pavimento inferior
Fonte: ALVES, *et al* , 2006

b) Vigas e lajes

Deve-se verificar se as fôrmas têm as amarrações, os escoramentos e os contraventamentos (escoras laterais inclinadas) suficientes para não sofrerem deslocamentos ou deformações durante o lançamento do concreto.

Cuidado especial nos apoios dos pontaletes sobre o terreno para evitar o recalque e, em conseqüência, flexão nas vigas e nas lajes. Quanto mais fraco o terreno, maior a tábua, ou, melhor ainda, duas tábuas ou pranchas, para que a carga do pontalete seja distribuída em uma área maior.

Nas fôrmas laterais das vigas (principalmente no caso de vigas altas) e das paredes (muros de arrimo, cortinas) não é suficiente a armação com escoras verticais e horizontais, ancoradas por meio do espaço interior das fôrmas com arame grosso ou ferro redondo fino. É necessário prever também um bom escoramento lateral com mãos francesas entre a parte superior da escora vertical e a travessa do pontalete ou contra o piso ou terreno, conforme o caso. Nas paredes altas é necessário prever mãos francesas em diversas alturas. Este escoramento lateral inclinado evita um empenamento das fôrmas sob pressão do concreto fresco e garante um perfeito alinhamento da peça.

Assim se evitam as desagradáveis flechas ou superfícies tortas. Nas vigas de grandes vãos deve-se prever contra-flecha.

Há outros elementos importantes, tais como escadas, reservatórios, dentre outros que não foram acompanhados nesse estudo de caso e que não serão citados no contexto geral do trabalho.

5.2.6 Juntas nas fôrmas

As juntas entre tábuas ou chapas compensadas devem ser bem fechadas para evitar o vazamento da nata de cimento que pode causar rebarbas ou vazios na superfície do concreto. Estes vazios deixam caminho livre à penetração de água, que ataca a armadura, no caso de concreto aparente.

O fechamento dessas juntas se faz geralmente com papel de sacos de cimento ou jornais, um procedimento pouco eficiente.

É mais eficiente o fechamento das juntas com massa plástica (mesmo de qualidade inferior) ou com mata-juntas. É importante colocar as tábuas com o lado do cerne voltado para o interior das fôrmas para evitar que as juntas se abram quando essas tábuas empenam por efeito da umidade ou exposição ao sol.

Ripper (1984) recomenda fazer o fechamento das juntas somente pouco antes da concretagem porque, quando expostas por muito tempo às intempéries e ao sol, as fôrmas começam a sofrer deformações, as juntas se abrem e esse fechamento se desprende, perdendo esse serviço.

Por esse motivo, as mata-juntas são mais seguras e para um serviço de melhor qualidade deve-se assumir esse custo adicional.

Exemplificação das falhas construtivas mais comuns relacionadas diretamente às fôrmas e aos escoramentos convencionais:

- Falta de limpeza e de aplicação de desmoldantes nas fôrmas antes da concretagem, o que acaba por ocasionar distorções e flechas nos elementos estruturais (o que leva à necessidade de enchimentos de argamassa maiores do que os usuais e, conseqüentemente, à sobrecarga da estrutura), e também à difícil remoção posterior, o que acaba deixando fragmentos de fôrma incorporados na estrutura (figuras 21 e 22).



Figura 21 - Fragmentos de fôrmas incorporados
 Fonte: ALVES, *et al*, 2006



Figura 22 - Fragmentos de fôrma incorporados ao pilar
 Fonte: ALVES, *et al*, 2006

- Insuficiência de estanqueidade das fôrmas, o que torna o concreto mais poroso, por causa da fuga da nata de cimento por meio das juntas e das fendas próprias da madeira, com a conseqüente exposição desordenada dos agregados;
- Retirada prematura das fôrmas e dos escoramentos, o que resulta em deformações indesejáveis na estrutura e, em muitos casos, em acentuada fissuração;
- Remoção incorreta dos escoramentos (especialmente em balanços, casos em que as escoras devem sempre ser retiradas da ponta do balanço para o apoio), o que provoca o surgimento de trincas nas peças, como conseqüência da imposição de comportamento estático não previsto em projeto (esforços não dimensionados).

5.2.7 Deficiências nas armaduras

As armaduras, citadas anteriormente, também acarretam patologias nas estruturas. Os problemas patológicos causados por deficiências ou erros na colocação das armaduras são das mais diversas ordens e, lamentavelmente, ocorrem com frequência elevada.

As deficiências que podem ser apontadas como as mais frequentes são: má interpretação de projetos; insuficiência, qualidade e posicionamento de armaduras.

A má interpretação dos projetos, em geral, implica na inversão do posicionamento de algumas armaduras ou na troca de uma peça com as de outra; e também em defeitos nas plantas de armação, emprego de escalas insuficiente ou substituição de plantas por lista de armações confusas.

A insuficiência nas armaduras são consequências de certa irresponsabilidade ou incompetência, que implica diretamente na diminuição da capacidade resistente da peça estrutural.

5.2.7.1 Qualidade das armaduras

Nas obras, deve-se tomar de cada remessa de aço e de cada bitola dois pedaços de barras de 2,2 m de comprimento (não considerando 200 mm da ponta da barra fornecida) para ensaios de tração e eventualmente outros ensaios. Isso é necessário para a verificação da qualidade do aço, pois muitos laminadores que não garantem a qualidade exigida pelas normas que serviram como base para os cálculos.

5.2.7.2 Posicionamento das armaduras

O posicionamento inadequado das armaduras pode traduzir na não observância do correto espaçamento entre as barras (em lajes isto é muito comum), ou no deslocamento das barras de aço de suas posições originais, muitas vezes motivado pelo trânsito de operários e carrinhos de mão por cima da malha de aço durante as operações de concretagem (o que é praticamente comum nas armaduras negativas das lajes e poderá ser crítico nos casos de balanço). O recurso a dispositivos adequados

(espaçadores, pastilhas, caranguejos) é fundamental para garantir o correto posicionamento das barras da armadura;

A concentração de armaduras em nós ou outros pontos singulares impede, não apenas que sejam corretamente posicionadas, mas que seja realizada a concretagem de maneira correta nessas zonas.

5.2.7.3 Cobrimento

O cobrimento de concreto insuficiente, ou de má qualidade, facilita a implantação de processos de deterioração tal como a corrosão das armaduras, ao propiciar o acesso mais direto dos agentes agressivos externos. Também, neste caso, torna-se indispensável o recurso aos espaçadores (figura 23).



Figura 23 - Espaçador de PVC

5.2.7.4 Espaçamento mínimo

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 6118:2003 prevê que para garantir o cobrimento mínimo, o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal, que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δ_c). Assim, as dimensões das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimento nominais estabelecidos no quadro 6 para $\Delta_c=10$ mm.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Quadro 6 - Cobrimentos nominais para $\Delta c = 10$ mm

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) - NBR6118:2003

Além do cobrimento mínimo, deverão ser tomadas medidas para aumento de proteção da armadura se o concreto for sujeito à abrasão, a altas temperaturas, a correntes elétricas ou a agentes fortemente agressivos, tais como ambiente marinho e agentes químicos.

Conforme Helene (1992), um bom cobrimento das armaduras, com um concreto de alta compacidade, sem ‘ninhos’, com teor de argamassa adequado e homogêneo, garante, por impermeabilidade, a proteção do aço ao ataque de agentes agressivos externos.

5.2.7.5 Dobramento e ancoragem

O dobramento das barras sem atendimento aos dispositivos regulamentares faz com que o aço venha a "morder" o concreto, provocando seu fendilhamento por excesso de tensões de tração no plano ortogonal ao de dobramento.

Deficiências nos sistemas de ancoragem, com a utilização indevida de ganchos (na compressão, por exemplo) que, muitas vezes, somente introduzem estados de sobre tensão (como se referiu, para o caso do dobramento). Outra situação falha é a registrada com a não observância do correto comprimento de ancoragem. Em ambos os

casos, o resultado será o surgimento de fissuras que, algumas vezes, poderá trazer consequências bastante graves.

Geralmente a dobragem das barras se executa antes da conclusão das fôrmas (na obra ou fora da obra), impossibilitando tirar medidas exatas no local. Daí a importância de que esse processo deve ser previsto em projeto, estar muito bem detalhado e com a interpretação que possa ser feita de maneira fácil evitando problemas para quem executará na obra.

Nestes casos, o comprimento das barras cortadas e dobradas pode não ter o comprimento necessário para a ancoragem correta, independentemente do fato de ficar numa viga ou coluna. É rigorosamente necessário prever a armadura suplementar de ancoragem. Estas barras, da mesma bitola das barras a serem ligadas aos apoios, devem ter uma sobreposição não menor do que 50 vezes o diâmetro, deve avançar no apoio conforme descrito, dobrando com aproximadamente 40 cm a 90 cm dentro da coluna ou viga de apoio.

Insiste-se em recomendar que neste ponto as decisões devam ser submetidas ao projetista ou, pelo menos, a um engenheiro familiarizado com as normas.

Se o comprimento das armaduras superiores sobre apoios for insuficiente, podem produzir-se fissuras; por isso, caso haja vãos curtos, é recomendável prolongar a ferragem em forma de barra contínua em todo o vão.

Por último, é conveniente que os ganchos estejam rodeados de uma massa grande de concreto e, por isso, é recomendável incliná-los para a parte interna das peças.

5.2.7.6 Emendas

As deficiências nos sistemas de emenda, que, para além daquelas referidas para as ancoragens, podem surgir também como resultado da excessiva concentração de barras emendadas em uma mesma seção, e pela utilização incorreta de métodos de emenda. Também podem ocorrer por falhas no projeto, seja por falta de detalhes ou desenhos muito carregados de difícil compreensão.

As emendas de barras, que podem ser realizadas por transpasse ou por solda, devem ser projetadas respeitando-se todas as dimensões de comprimento de transpasse e de cobrimento, sem incluir além das que figuram em planta, e as que sejam

indicadas pelo engenheiro responsável. É recomendável que fiquem afastadas das zonas nas quais a armadura trabalha com a sua carga máxima, e que sejam sempre fixadas por estribos que assegurem sua posição e aderência.

Se a espessura do concreto em torno da emenda não for suficiente, podem ocorrer efeitos patológicos, ao não se transmitir o esforço de uma barra para outra por falta de concreto, sendo recomendado que o valor mínimo desse recobrimento não seja inferior a duas vezes o diâmetro das barras. Da mesma forma é preciso ter certeza de que a concretagem é realizada adequadamente nas zonas em que foram realizadas as emendas.

Quando as barras tiverem diâmetros superiores a 32 mm é aconselhável recorrer ao emprego de emendas por meio de luvas metálicas. As emendas com luvas são excelentes, mas bastante dispendiosas.

5.2.8 Erros na concretagem

O concreto é um material que responde bem quando é tratado adequadamente, entretanto, é um material que pode sofrer diversos erros desde seu início na fabricação até seu uso na obra. A falta de uniformidade no concreto, consequência da falta de análises frequentes do cimento, agregados e umidade dos mesmos, pode ser prevista ao dosar o concreto, entretanto existe uma série de erros de execução que diminuem as resistências e ocasionam a falta de uniformidade na mistura, com o aparecimento de trincas, fissuras, vazios, bolhas e desprendimentos. A maior parte dos erros e descuidos no concreto corresponde às fases de aplicação e de cura do mesmo.

a) Lançamento do concreto

Quando se encomenda um concreto, especifica-se a resistência característica, a consistência e o tamanho máximo de agregado, não se deve "melhorá-lo" em obra devido aos grandes inconvenientes que tem qualquer modificação que se pretenda realizar em campo.

É preciso ajudar a massa de concreto a penetrar em todos os pontos da fôrma, e que seja compactado adequadamente, e isso é especialmente difícil quando as

fôrmas apresentam geometrias complexas e o concreto é de consistência seca. Não se deve lançar um volume maior de concreto que aquele que possa ser compactado de forma eficaz.

Quando se concretiza peças altas é muito frequente que a parte superior das mesmas esteja formada por um concreto mais fluido pelo efeito da água e da pasta que se eleva ao compactá-lo. Devido a esse fenômeno a parte superior da peça apresenta menor resistência que o resto da mesma. Esse efeito pode ser remediado, empregando-se nas últimas camadas um concreto de consistência mais seca do que o resto da peça.

Nos casos onde a altura de queda livre é maior do que as mencionadas pelas normas, Ripper (1984) recomenda a aplicação de uma camada de argamassa de cimento e areia 1:1, com aproximadamente 2 cm de espessura por uma janela na base da forma, a fim de evitar o ricochete de agregados na queda da massa sobre o fundo da peça, que pode resultar em desagregação do concreto. Essa camada servirá como amortecedor da queda. O lançamento se faz em camadas horizontais de 10 cm a 30 cm de espessura, dependendo se for lajes, vigas ou muros.

Durante o lançamento inicial do concreto nos pilares e paredes, um carpinteiro deve observar a base da fôrma, se a junta entre a fôrma e o concreto existente não penetra nata de cimento. Tal fato pode prejudicar a qualidade do concreto na base destes elementos da estrutura. Em caso de acontecer este vazamento de nata de cimento, deve-se aplicar papel molhado (sacos de cimento) para impedir a continuação do vazamento.

b) Adensamento

A finalidade do adensamento do concreto é alcançar a maior compacidade possível do concreto. O meio usual de adensamento é a vibração.

Quando o concreto é recém colocado na fôrma, pode haver um volume de bolhas. Os volumes maiores em concretos de alta trabalhabilidade e os menores nos concretos mais secos, com menor abatimento. A vibração tem o efeito de fluidificar o componente argamassa da mistura diminuindo o atrito interno e acomodando o agregado graúdo tentando diminuir o chamado efeito parede (figura 24). A vibração expelle o ar aprisionado, mas, normalmente sem a sua expulsão total. Segundo Helene (1992), por efeito parede entende-se a movimentação de argamassa para junto de

superfícies contínuas limites que restringem o concreto, tais como as fôrmas e as armaduras. Essa movimentação só pode ser conseguida à custa do empobrecimento da massa do interior do concreto.

A vibração deve ser aplicada uniformemente em toda a massa do concreto, pois de outra forma, partes estariam pouco adensadas e outras poderiam estar segregadas devido ao excesso de vibração.

Quando utilizados, os vibradores de imersão devem ser introduzidos na massa de concreto em posição vertical ou pouco inclinada, para não prejudicar o seu funcionamento e não com inclinação maior do que 45° em relação à vertical. A duração de vibração depende da plasticidade do concreto, garantindo uma boa mistura de agregados, mas deve-se evitar uma duração longa, que pode provocar uma desagregação do concreto.

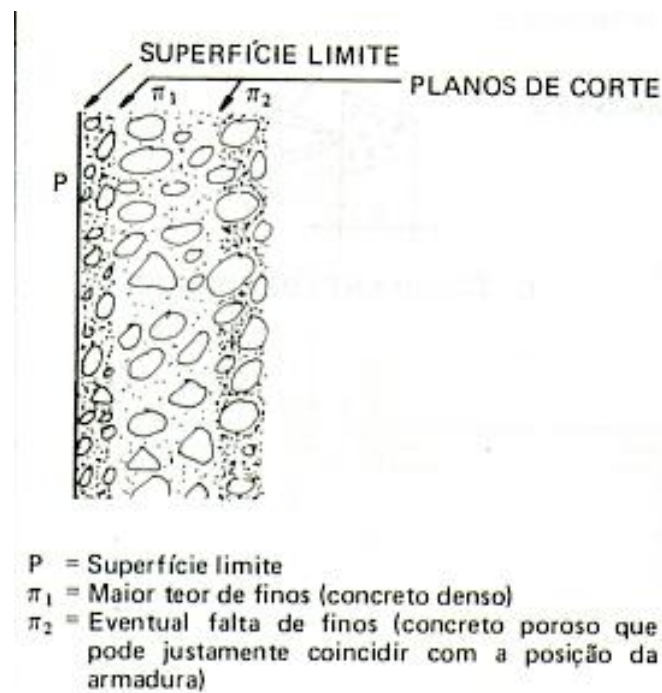


Figura 24 - Efeito parede

Fonte: HELENE, 1992

Uma vibração feita de maneira inadequada pode ocasionar problemas no concreto os quais aparecerão com sintomas patológicos diferentes, embora os mais frequentes sejam os ninhos de pedras e de bolhas.

Um efeito indesejável que também pode acontecer durante a vibração mal efetuada é a perda de aderência do concreto com as armaduras; outro erro, também

freqüente, é colocar água no concreto, pensando que, embora o concreto piore com a água, pode melhorar com a vibração. Os que assim atuam, conseguem concretos muito estratificados, com excesso de pasta na superfície e camadas inferiores de muito má qualidade.

A baixa qualidade no processo de adensamento do concreto traz como consequência a diminuição da resistência mecânica, o aumento da permeabilidade e da porosidade e a falta de homogeneidade da estrutura.

c) Interrupção e continuação da concretagem dos elementos

O ideal, em toda construção de concreto, é que a concretagem seja contínua. Na prática isso é impossível de conseguir, salvo exceção, e nas obras a quantidade de juntas construtivas que são necessárias deixar é grande, por ter que continuar no dia seguinte, em virtude do término da jornada de trabalho, ou por tempo ruim na época de fortes chuvas, falta de materiais, pouca definição da obra e suspensão da mesma. Mas, além dessas interrupções, acontece que uma parte dessas juntas pode ser necessária para evitar que se produzam fissuras de retração. O concreto novo possui pouca aderência já endurecido. Para que haja uma perfeita aderência entre a superfície executada (concreto endurecido) e aquela a ser concretada, cuja ligação é chamada junta de concretagem, alguns problemas devem ser resolvidos.

São dois os problemas que podem apresentar as juntas de concretagem e que podem causar patologias: a escolha da zona onde vai ser feita a junta, e o tratamento a ser dado.

Não é costume dar muita atenção à localização da junta, principalmente porque essa é uma solução improvisada em obra e está geralmente, nas mãos de encarregados ou operários que pouco conhecem da distribuição de esforços nas estruturas. As juntas de concretagem são tão importantes que é obrigatório que estejam previstas. Quando não contém no projeto e devem ser realizadas, as juntas são feitas nos lugares aprovados pelo engenheiro responsável pela obra.

As juntas criadas por interrupção da concretagem em suportes inclinados devem ser transversais ao eixo do elemento, e dispor de armaduras de costura adequadas para que absorvam os esforços cortantes em sua superfície.

O tratamento a ser dado a junta também é importante. Antes de realizar a união dos concretos na junta, é preciso prevenir os efeitos de retração e, para isso, esperar o tempo suficiente para que a peça concretada tenha se deformado livremente.

A superfície da junta deve ser tratada, adequadamente, para que a descontinuidade construtiva que a junta cria, não se traduza em descontinuidade estrutural. A primeira medida a ser adotada é empregar, de ambos os lados da junta, concretos idênticos.

Antes de reiniciar-se o lançamento, devem-se remover da superfície do concreto endurecido a nata de cimento e fragmentos soltos e limpá-la bem. Não pintar a área de contato com nata de cimento, um costume errado e prejudicial para uma boa ligação das duas partes, porque forma uma película alisante e isolante. Quando a interrupção entre as duas concretagens é bastante prolongada, recomenda-se aplicar uma fina camada de argamassa de cimento-areia 1:1 imediatamente antes da retomada da concretagem.

Quando se trata de peças grandes ou essenciais numa estrutura, ou quando se trata de uma ligação entre o concreto existente de uma construção velha e concreto novo, a junta deve ser tratada com um adesivo específico à base de epóxi.

d) Cura do concreto

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

Para Dias (1990) a cura tem como objetivo manter a água de mistura do concreto no seu interior, até a completa hidratação do cimento. Mais especificamente, o objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível de saturado, até que os espaços da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchidos com água, tenham sido por produtos da hidratação do cimento até uma condição desejável. No caso do concreto das obras, quase sempre a cura é interrompida antes da máxima hidratação possível.

Para conseguir um bom concreto, é necessário não só que este seja bem dosado, bem colocado e bem compactado, como também que, durante o tempo de pega e endurecimento, o ambiente em que se encontre possua condições adequadas de

temperatura e de umidade para que as reações de hidratação se realizem com toda a normalidade e sem criar tensões internas que possam ocasionar efeitos patológicos que se apresentarão, normalmente, em forma de fissuras superficiais ou profundas, ou em diminuições notáveis das resistências mecânicas.

Como a umidade e a temperatura agem como catalisadores das reações de hidratação, a cura terá como finalidade principal evitar que falte água ao concreto e que a temperatura seja a adequada durante os primeiros dias que compreendem a pega e o primeiro endurecimento.

Os motivos que levam à fissuração do concreto ou a que ele não atinja suas resistências ou as atinja tardiamente, são as seguintes:

- Temperatura do ar superior à massa do concreto;
- Baixa umidade relativa do ar;
- Superfícies de concreto expostas ao vento seco e quente.

De qualquer forma, é conveniente insistir que os métodos de cura por meio de molhagem, frequentes no verão, em lugares ensolarados, não são suficientes, a não ser que se cubram os elementos estruturais com sacos ou mantas que fiquem constantemente molhados. A cura com água deve ser contínua e durar pelo menos sete dias, embora seja preferível chegar aos vinte e oito dias.

Se a cura com água é feita adequadamente, podem ser evitados problemas que afetarão a estabilidade volumétrica e as resistências mecânicas do concreto.

O não atendimento da cura acarreta a diminuição da resistência final do concreto e a possibilidade de aparecimento de fissuras na estrutura.

O rigor na realização do processo de cura está diretamente ligado ao clima regional, devendo ser bastante cuidadoso em climas quente, seco e com vento.

e) Retirada das fôrmas e do cimbramento

Para realizar a desfôrma e o descimbramento dos elementos estruturais é preciso esperar que o concreto tenha uma resistência adequada para suportar, por si próprio, a ação do seu peso e mais as das sobrecargas que existam sobre ele.

Os fundos de vigas, cimbres e apoios devem ser retirados sem vibração ou golpes na estrutura, recomendando-se que, quando os elementos sejam de certa importância, sejam empregadas cunhas, caixas de areia etc., para conseguir uma descida uniforme dos apoios.

São muito frequentes as falhas produzidas como conseqüência de descimbramento com cargas superiores às estimadas ou quando o concreto ainda não atingiu o endurecimento e as resistências adequadas nas datas previstas, devido à influência de baixas temperaturas ou emprego de cimentos inadequados.

Quando estão sendo descimbradas as estruturas que tem balanços, é preciso planejar muito bem e tomar precauções nos vãos próximos aos mesmos, assim, é fundamental proceder à eliminação dos pontaletes nos vãos internos e posteriormente ir tirando os pontaletes de fora para dentro, evitando fortes rotações no balanço e possíveis fissuras junto à seção de engastamento do mesmo.

É importante não eliminar prematuramente os pontaletes nas fôrmas de escadas, especialmente quando são circulares e estão fixados unicamente no início e no fim.

É comum encontrar obras que tem um ritmo de construção muito rápido e os meios de escoramentos não são suficientemente abundantes para acompanhar este ritmo construtivo.

Essa falta de meios auxiliares pode ser objeto de falhas importantes porque, para seguir concretando, é preciso começar a eliminar elementos dos andares inferiores e é possível que o concreto não esteja em condições de suportar sozinho.

6 ESTUDO DE CASO

Este tópico do trabalho envolve um estudo de caso elaborado através de visitas a um canteiro de obras. O intuito é analisar as etapas da construção de pavimentos, sobre como é feito na prática e compará-las com bibliografias (livros, artigos, manuais técnicos de empresas) e as normas vigentes recomendam para a boa prática de serviço e segurança. Serão apresentados os seguintes itens: fôrmas e escoramentos, posicionamento de armaduras, concretagem, cura e desfôrma e retirada de escoramentos.

6.1 Caracterização do empreendimento e das visitas em obra

O objeto selecionado para estudo de caso é um edifício residencial de 18 andares, composto de duas torres localizado em uma cidade do interior de São Paulo, construído por uma construtora que possui obras em várias cidades do Brasil, inclusive em algumas capitais.

O pavimento tipo de cada torre possui quatro apartamentos por andar, tendo área útil de aproximadamente 65 metros quadrados.

O edifício é de concreto armado e lajes nervuradas (onde as nervuras ficavam perdidas no pavimento) que foram moldados no local, sem estruturas pré-moldadas nos pavimentos. As armaduras eram compradas de uma empresa e sua montagem se dava no local (havia um local preparado pela construtora para armazenamento, corte e dobragem das barras).

A construtora contratava uma empresa terceirizada para a análise do controle de qualidade do concreto por meio do especificado em projeto. Tal empresa fazia a coleta e a montagem dos corpos de prova do concreto e os mandava para laboratórios próprios, onde faziam o rompimento do material para análise.

Durante a execução do empreendimento, a construtora disponibilizava no canteiro de obras um vestiário, um local para o aquecimento das refeições dos funcionários (não havia fogões, eram pequenos locais para o aquecimento) e um escritório para o engenheiro residente da obra (havia um engenheiro fixo que ficava na obra o dia todo, e era ele quem decidia todas as tarefas e pendências).

O acompanhamento da obra ocorreu em dois meses, onde foi possível acompanhar o levantamento de três pavimentos. As visitas ocorriam durante a semana

(de segunda a sexta feira). Durante esse processo, não foi possível ter acesso aos projetos, assim como o planejamento da obra e o seu desenvolvimento.

A etapa visitada é a execução da superestrutura. As outras fases da obra, como por exemplo, fundação, montagem de caixa d'água e finalização da obra (revestimentos e acessórios, piscina, quadras e outros) não foram acompanhadas e não são objetos de estudo desse trabalho.

O próximo item refere-se ao estudo de caso em questão. Serão apresentadas todas as etapas acompanhadas durante o processo de execução. Lembrando sempre que a análise nos canteiros, assim como a observação dos fatos foi feita à luz do que já foi discutido baseado em manuais técnicos, bibliografias e normas vigentes para que a discussão do que foi observado pudesse ser comparado ao que se recomenda para a boa prática de execução.

6.2 Fôrmas e escoramentos – montagem e desmontagem

a) Montagem da escada

A escada, definida por dois lances e um patamar intermediário moldadas in loco, se inicia montando com o posicionamento de três barras de madeira que atuam como suporte para as pranchas (figura 25).



Figura 25 - Posicionamento da primeira etapa da escada

Essas peças são posicionadas para facilitar a fixação e dar suporte à base da escada. Um detalhe relevante: por causa do calor e/ou possível defeito de fabricação e de manuseio é possível perceber que a peça usada está empenada e danificada nas bordas, diminuindo o número de aproveitamento futuro (figura 26). A etapa seguinte é a colocação de degraus de madeira que auxiliam a passagem de pessoas e materiais para o próximo pavimento. A montagem do madeiramento lateral serve como base para a modelagem da escada, finalizando a montagem da fôrma. Todas as peças de madeira são fixadas entre si por meio de pregos.



Figura 26 - Fôrma danificada pelo uso inadequado

O grande problema encontrado nessa fase é a condição do material que serve de fôrma. Pela grande quantidade de uso e também por culpa do manuseio e de estocagem, a peça sofre avarias comprometendo a qualidade da estrutura. E segundo o item 7.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 o formato, a função, a aparência e a durabilidade de uma estrutura de concreto permanente não devem ser prejudicados devido a qualquer problema com as fôrmas, o escoramento ou sua remoção.

b) Montagem dos pilares

Cada peça é montada da seguinte maneira: duas fôrmas laterais menores e duas outras peças frontais e traseira (figura 27).



Figura 27 - Fôrmas do pilar

A partir do especificado em projeto é montado o gabarito para a localização dos pilares. A marcação é feita por meio de linhas e pregos fixados no chão. Determinada a posição dos pilares, começa a montagem das peças.

A primeira etapa é a montagem dos gastalhos que compõem a base do pilar. As madeiras são posicionadas e alguns pregos utilizados para que o gastalho fique

empregado no local determinado (figura 28). A próxima fase é o posicionamento de barras de madeira que servirão de base para as placas de madeira (as barras e as placas são colocadas no prumo através de uma régua de madeira).



Figura 28 - Base do pilar (gastalho)

Posicionadas, as fôrmas dos pilares são travadas (para evitar que se abram durante a concretagem) com pedaços de aço e escoras de madeira (figura 29)



Figura 29 - Travamento do pilar usando escora de madeira e 'anel' de aço

As partes da frente e de trás do pilar são posicionadas, sendo que são divididas em três partes, sendo duas do mesmo tamanho e outra menor (figura 30), todas elas numeradas para cada pilar (figura 31). Feito isso, a armadura e os espaçadores são posicionados e a fôrma é fechada.



Figura 30 - Fôrma de pilar numerada e devidamente aprumada



Figura 31 - Pilar numerado e travado pronto para a concretagem

Nos pilares é possível perceber furos nas fôrmas. Esses furos são feitos para que uma peça seja incorporada à fôrma: um tubo cilíndrico que tem a finalidade de oferecer um melhor travamento e fechamento das placas. Esse tubo é colocado e posteriormente apertado com uma barra com rosca para travar melhor a peça e evitar que ela se abra durante a concretagem (figura 32). Após a concretagem esse tubo é perdido e fica um furo nos pilares que são preenchidos com um concreto com uma resistência maior do que o concreto utilizado na confecção do pilar (figura 33).



Figura 32 - Tubo cilíndrico usado para melhor travamento e espaçador



Figura 33 - Tubo cilíndrico concretado no pilar

c) Montagem das vigas

Após a montagem dos pilares segue a montagem das vigas. As escoras (nessa obra são utilizadas de aço) e o madeiramento começam a ser posicionados (figura 34).

Uma observação a ser feita é que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 recomenda atenção especial aos escoramentos, que precisam ser posicionados de maneira a não sofrer recalque prejudicial que influenciarão diretamente na transmissão das cargas ao elemento resistente.

Na obra em questão os escoramentos foram distribuídos pelo pavimento e houve a preocupação para não acontecesse movimentos indesejados durante a concretagem, mas principalmente porque servia de suporte e travamento para a montagem das fôrmas da laje.



Figura 34 - Escoras e madeiramento das vigas

As vigas maiores não têm peças que cobrem toda sua extensão, então ela é dividida em três partes: duas maiores e uma que faz a ligação entre elas (são fixadas com pregos). Quando há um encontro de vigas, a escora metálica serve de apoio entre elas e também serve para carregar uma placa de madeira para servir de suporte, evitando que o concreto escorra (figura 35).



Figura 35 - Madeira de suporte para evitar o escoamento excessivo do concreto

Um grande problema encontrado é a fôrma ser dividida em partes menores para poder preencher o vão todo. Além disso, o fato do material não ser estocado ou manuseado de maneira cuidadosa acaba afetando a durabilidade. O que deveria durar muitos usos, acaba diminuindo a vida útil, o que vai ser refletido principalmente nos últimos pavimentos.

Principalmente na borda das fôrmas é possível ver grandes defeitos (figura 36), principalmente causados pela utilização do pé-de-cabra do martelo para a remoção. Também é possível atribuir esses defeitos ao fato de bater a quina do material, lascando a sua borda. O que era feito em alguns casos é a fixação de uma placa de madeira menor para ajudar a fixação da placa maior da fôrma. Isso vai gerar a adição de mais pregos, que por consequência irá acarretar maiores danos na posterior remoção.

Isso gera diversos problemas como danos nas fôrmas (quebra nas bordas e nas pontas, aparição de buracos), o que provavelmente irá promover problemas na concretagem, principalmente no lançamento do concreto, fazendo com que haja fuga da pasta de cimento.



Figura 36 - Fôrma de pilar danificada por manuseio incorreto e estocagem inadequada

A placa que fecha as laterais da viga carrega consigo outra peça menor que servirá como base da peça a ser concretada; a peça inteira tem um formato de “L” (figura 37).



Figura 37 - Placa em 'L' para conter o concreto

É feito o posicionamento da armadura (que é colocada apenas após a montagem da laje), terminando o processo.

A região servirá de base para a concretagem uma abertura considerável em algumas partes (buraco na base da fôrma), o que também pode gerar fuga da pasta do concreto.

d) Montagem da laje

Pilares devidamente posicionados e travados, vigas pré-estabelecidas, a próxima etapa é a laje. Escoras e barras de suporte são espalhadas pelo pavimento (figura 38). São niveladas e aprumadas por meio de um aparelho a laser.



Figura 38 - Escoramento distribuído pelo pavimento para montagem das fôrmas da laje

Repetindo um dos grandes problemas encontrados nas fôrmas está a avaria nas peças, principalmente nas bordas e pontas. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 frisa no item 7.2.2.3 que a fôrma deve ser suficientemente estanque, de modo a impedir a perda da pasta de cimento, admitindo-se como limite a surgência do agregado miúdo da superfície do concreto. E esse item é comprometido pelos danos nas peças conforme figura 39, o que provocará um

escorrimento da pasta de cimento. O que se nota para tal ocorrência é o problema na retirada das fôrmas que não é feita de maneira cuidadosa, afetando o material e consequentemente sua durabilidade ao longo do uso.

Outro ponto que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 atenta é a preocupação em relação ao posicionamento do escoramento. Conforme o item 7.2.2.2, algumas medidas devem ser tomadas como a precaução para evitar o recalque prejudicial provocado, prevendo alguns dispositivos para que as irregularidades possam ser corrigidas e as cargas melhor distribuídas e que possam ser utilizadas cunhas para o ajuste de níveis. No caso dessa obra em especial, o ajuste do nível da laje era feito no próprio escoramento metálico que proporcionava uma correção nessas situações.



Figura 39 - Fôrmas danificadas que prejudicam a qualidade do serviço a ser executado

As fôrmas que servem de suporte para as peças plásticas, as nervuras, começam a ser posicionadas (figura 40).



Figura 40 - Escoras, barras de suporte e fôrmas das lajes

Feito isso, as peças plásticas começam a ser posicionadas no pavimento, finalizando assim a montagem das fôrmas (figura 41). Independente do tipo do material que será utilizado, ou se ele será dado como componente embutido nas fôrmas (figura 42), o item 7.2.4 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 aponta que os itens devem ser fixados para assegurar o posicionamento durante a concretagem (no caso das peças plásticas, elas eram fixadas com pregos para manter o posicionamento), permitir que as operações de lançamento e de adensamento do concreto possam ser feitas de maneira adequada e o principal de todas, o material não deve reagir de maneira prejudicial com os componentes do concreto.



Figura 41 - Revestimento que servirá de nervura para a laje



Figura 42 - Preparo para elementos que ficarão embutidos na laje

6.3 Armaduras - posicionamento

Após a montagem das fôrmas, a armadura é posicionada devidamente com os espaçadores (peças de plástico, argamassa ou metálicas usadas para garantir o cobrimento mínimo no concreto). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 prevê no item 8.1.5.5 que o cobrimento especificado para a armadura no projeto deve ser mantido por dispositivos adequados ou espaçadores e sempre referente à armadura mais exposta, que foi presenciado nessa obra.

Não houve maiores problemas no posicionamento em pilares e em vigas, mas no posicionamento dos espaçadores na armadura da laje, pelo tráfego de pessoas e de materiais, se viu muitos dispositivos fora da posição, comprometendo o cobrimento necessário exigido em projeto. Isso acaba provocando o posicionamento inadequado relacionado à fôrma, que gera um cobrimento ineficiente na armadura posterior à concretagem. O que além de não estar previsto em projeto, pode significar exposição da armadura a agentes externos, caso haja um lascamento do concreto, por exemplo.

Há regiões que possuem armadura em grande concentração, que dificulta a colocação dessas peças e também a concretagem. O maior problema dessas situações é o lançamento do concreto e principalmente o adensamento, que pode ser comprometido caso não haja um cuidado especial.

Isso pode ocorrer devido à concentração de aço; o vibrador pode não alcançar todos os cantos e arestas que deveria para evitar a formação de bolhas de ar, o que ocasionaria bicheiras, podendo deixar a armadura exposta à ação externa pela falta de cobrimento, o que implicaria na necessidade de reparação da peça, por exemplo.

Um problema que se nota é a condição de algumas fôrmas e armaduras (figura 43).

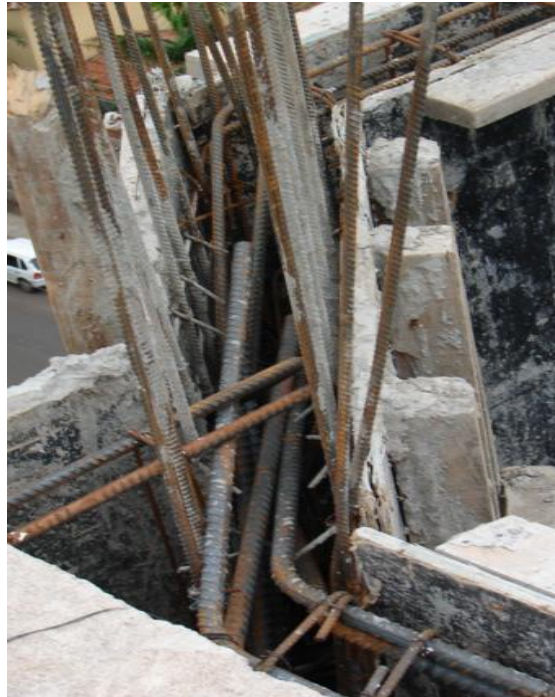


Figura 43 - Concentração de barras de aço e fôrmas desgastadas por manuseio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 por meio do item 8.1.4 prega que a superfície da armadura deve estar livre de ferrugem e de substâncias deletérias que possam afetar de maneira adversa o aço, o concreto ou a aderência entre esses materiais. Armaduras que apresentem produtos destacáveis em função do processo de corrosão podem ser empregadas sem maiores problemas dependendo do ambiente de agressividade e se não há redução de seção. O destaque nessa situação é a não limpeza da barra e nem a conferência do material para saber se há ou não problemas no emprego nessa situação.

O posicionamento das peças foi dividido em três etapas na obra: armaduras positivas, negativas e escadas.

A armadura positiva é disposta de barras que são posicionadas conforme especificado no projeto e que na sua maior parte foi mantida durante a etapa de

concretagem, não tendo grandes problemas de deslocamento pela passagem de operários e o transporte de equipamentos e materiais. Quando há a necessidade de emenda, é feita por transpasse. Já a armadura negativa é disposta em telas quadriculares que são posicionadas por cima das peças cerâmicas que servem de nervuras para as lajes. Também se faz uso de caranguejos (espaçadores feitos de pedaços de barras de aço, próprios para a colocação dos ferros negativos das lajes) para alcançar a altura determinada em projeto para as barras próximas aos pilares (figura 44). Nessas regiões a concentração de armadura é densa, o que obriga uma atenção especial na hora do lançamento e do adensamento do concreto para evitar problemas no cobrimento (ser inferior ao especificado em projeto) e a formação de bicheiras.



Figura 44 - Uso de caranguejos para posicionar armadura

A escada é iniciada com a marcação feita com giz, a fim de garantir o espaçamento entre as barras (figura 45). Feito isso, as barras perpendiculares são posicionadas (formando uma malha) e presas com ferros menores (arames), o que é permitido por norma, conforme o item 8.1.5.5 (é permitido também o uso de pontos de solda). As barras utilizadas são maiores que o necessário, fazendo assim que o excedente seja dobrado e usado como ancoragem na região do patamar. A próxima etapa é posicionar espaçadores para que o cobrimento mínimo para as barras na fôrma seja atingido, terminando assim a sequência da montagem (figura 46).



Figura 45 - Medição para o posicionamento adequado das barras da escada



Figura 46 - Patamar da escada pronto para concretagem

Uma das maiores preocupações da NBR 14931:2003 é relacionado ao posicionamento e ao cobrimento das barras. Na obra também havia a preocupação relacionada a isso na hora da montagem. Após a montagem, quando chegava outro grupo de trabalho, muitas vezes o espaçamento era comprometido por descuidos na passagem e também no transporte de materiais, que pode gerar o cobrimento não adequado expondo o aço à ação externa, por exemplo.

Em algumas partes é possível ver os ganchos e os dobramentos montados. O item 8.1.5.3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 prevê que o dobramento das barras, inclusive os ganchos, deve ser feito respeitando alguns critérios citados na própria norma. Pela grande variação de comprimentos dos ganchos e das dobras, é possível chegar à conclusão que não eram feitos conforme o projeto. O grande problema é saber sobre essa variação. Se for maior que o necessário, gera uso maior de aço e de peso na estrutura. Se for menor que o

previsto, influencia na transmissão dos esforços para alguma outra região que não foi calculada e pode estar suportando carga a mais do que realmente agüenta.

Devido ao manuseio inadequado das fôrmas, foi dito que há problemas na qualidade da peça. A armadura sofreu esse mesmo problema. Vários fatores influenciam: o manuseio inadequado (entenda-se posicionamento dentro das fôrmas), as armaduras completamente comprometidas (condições de uso, durabilidade, integridade da peça) e o espaçamento inadequado (em relação à parede da fôrma, afetando o cobrimento). Isso em conjunto acabou gerando problemas durante a montagem, o posicionamento (de fôrmas à armaduras) e a pós concretagem conforme a figura 47 mostra.

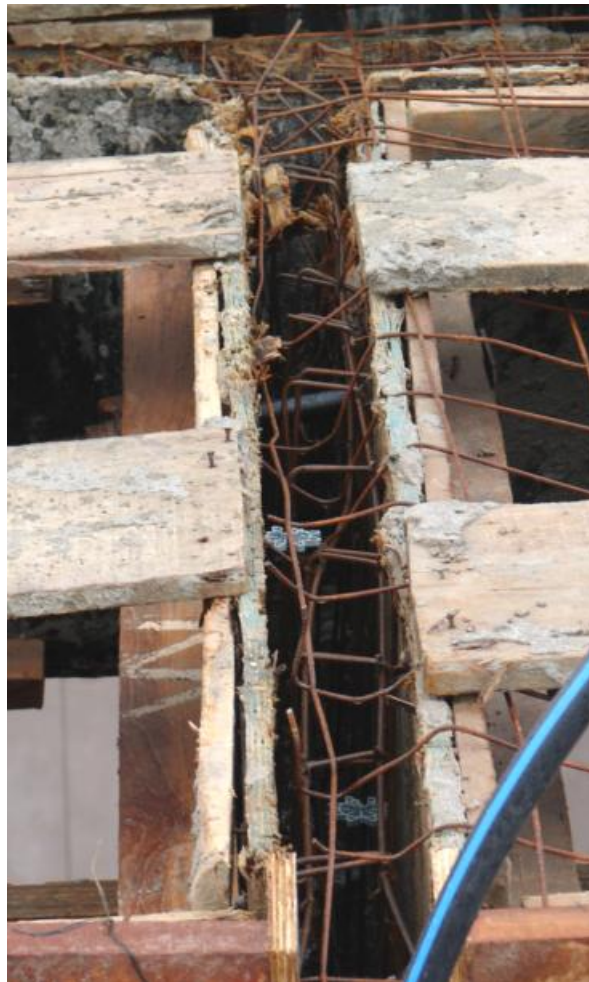


Figura 47 - Armaduras e fôrmas completamente comprometidas

Concluída as etapas de concretagem e de adensamento é possível ver que a armadura ficou exposta, constatando o problema que foi arrastado desde o início da montagem das fôrmas e do posicionamento da armadura (figura 48).

Essa peça além de não estar de acordo com o que foi projetado e nem previsto nessa situação, sofreu a ação do meio ambiente que pode ter gerado problemas de oxidação, por exemplo.



Figura 48 - Armadura exposta após a concretagem

6.4 Concretagem e procedimentos

No dia da concretagem, a primeira providência tomada pelos funcionários é a verificação do nível da superfície. Um funcionário vai levando uma régua com uma marcação que serve como referência, enquanto outro funcionário vai checando pelo nível a laser se a peça está ou não em ordem (figura 49). O item 9.2.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 aponta esse cuidado, que antes do lançamento do concreto as dimensões e a posição (nivelamento e prumo) das fôrmas devem ser devidamente conferidas a fim de assegurar que a geometria dos elementos esteja conforme estabelecido em projeto.



Figura 49 - Aparelho usado para conferência de nível da laje

O item 9.2.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 destaca que além das fôrmas passarem por um processo de conferência de nível e de prumo, também deve acontecer uma conferência e limpeza da superfície interna. Um problema encontrado nessa etapa é justamente esse. As fôrmas das vigas continham sujeira e espaçadores que acabaram caindo durante algum processo anterior, o que compromete a qualidade da peça. E no caso de restos de material (figura 50) comprometerá o preenchimento do concreto na região, além de prejudicar o cobrimento da armadura. Como o concreto não preencherá aquele trecho, a armadura pode ficar exposta.

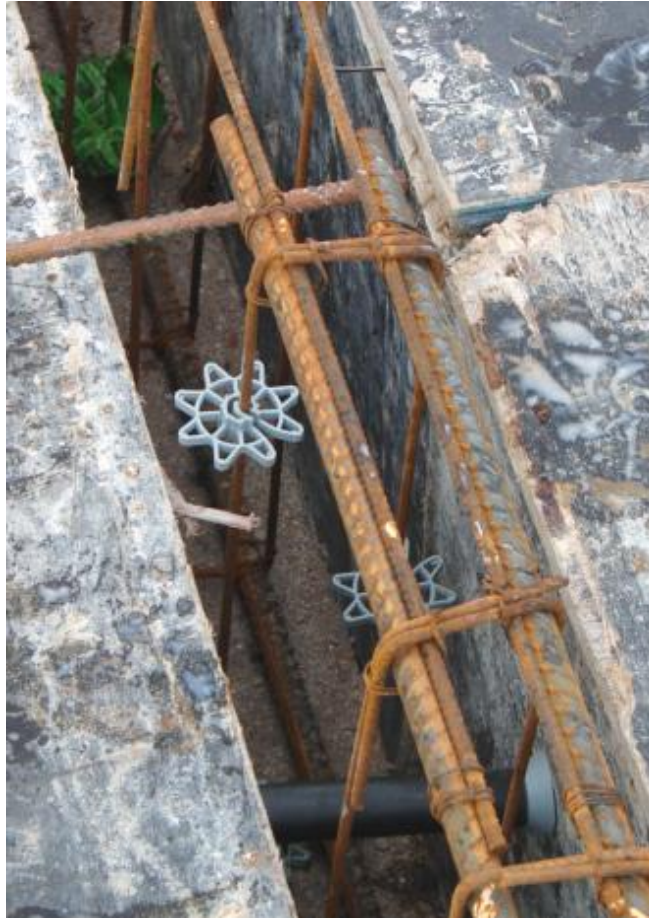


Figura 50 - Detritos e sujeira deixados na fôrma 'preenchendo' local onde deveria ir concreto

Todos os cantos do pavimento e a região da caixa de elevadores são checados. Caso algum canto não esteja em ordem, acima ou abaixo do nível especificado, outro funcionário vai até o pavimento inferior para fazer o ajuste de altura na escora para assim aumentar ou diminuir a altura da fôrma da laje, corrigindo o desnível, conforme aponta o item 9.2.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003. Enquanto essas medidas são tomadas, outros funcionários providenciam a colocação de telas nos cantos dos pavimentos para evitar que o concreto, ao ser lançado nos cantos, seja desperdiçado demais (figura 51).



Figura 51 - Colocação de uma tela lateral para evitar que o excesso de concreto seja arremessado do pavimento

A próxima etapa é a montagem da mangueira que levará o concreto até os pavimentos a serem concretados. Um grande problema aqui encontrado é a passagem dessa mangueira. Barras de aço, que servem de armadura do pilar são dobradas (essas barras são dobradas de volta após a concretagem) para que a mangueira possa ser posicionada (figura 52). Isso acabou acontecendo provavelmente pela falta de planejamento e de um plano de concretagem, acesso dificultado e outros motivos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 aponta esse fato em dois itens que devem ser levados em conta durante todo o processo de planejamento. O item 9.2.5 descreve essa situação como condição operacional na obra, devendo ser verificadas as condições e a quantidade disponível de equipamentos necessários ao lançamento e ao adensamento, principalmente as condições operacionais dos equipamentos disponíveis no local de trabalho e sua adequabilidade. O item 9.3 indica um plano de concretagem que deve ser seguido para garantir principalmente a agilidade do transporte e a qualidade do concreto e que a concretagem de cada elemento estrutural deve ser realizada de acordo com um plano previamente estabelecido.



Figura 52 - Aço dobrado para permitir passagem da mangueira para concretagem

O caminho para a entrada do caminhão betoneira, assim como o sistema de bomba a ser utilizado para o lançamento do concreto estava próximo à rua, facilitando o acesso dos caminhões e proporcionando maior agilidade no processo (figura 53). O item 9.4 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 aponta justamente para isso, que o concreto deve ser transportado da boca de descarga do caminhão betoneira até o local da concretagem num tempo compatível com as condições de lançamento. Já o item 9.2.5 recomenda que o trajeto a ser percorrido pelo caminhão betoneira no canteiro de obras até o ponto de descarga do concreto deve estar desimpedido e em terreno firme, para evitar dificuldades na concretagem e atrasos no cronograma, o que foi possível constatar nessa obra.



Figura 53 - Caminhão betoneira com acesso fácil para a concretagem

Com a chegada do caminhão betoneira, começa a retirada de corpos de prova para análise em laboratório. Um funcionário de uma empresa terceirizada monta sete corpos de prova por caminhão (quatro ficam na obra e três são levados para laboratório por um técnico responsável). O procedimento utilizado para ensaio é o ‘Slump Test’. Na situação em questão, o ideal era dado por 12 cm com erro aceitável em ± 2 cm (figuras 54 e 55).

Os resultados dos dados obtidos pela análise do concreto não foram divulgados, e, portanto, não serão discutidos nesse trabalho.



Figura 54 - Slump Test



Figura 55 - Conferência do abatimento aceitável para o recebimento do concreto

Aceito o material começa a concretagem das peças. As peças são feitas em dias diferentes, vigas, pilares e escadas em um dia e lajes em outro dia, uma semana depois. Enquanto um funcionário lança o concreto através da mangueira, outro funcionário trata de vibrar o concreto a fim de tirar os vazios (figuras 56 e 57).

A concretagem dos pilares foi executada da seguinte maneira: o concreto sendo lançado na fôrma e outro funcionário adensando. O grande ponto a ser destacado é o adensamento. Com o concreto sendo lançado rapidamente, o vibrador de imersão era manuseado com uma velocidade maior também, o que acaba não garantindo que os vazios, assim como as possíveis bolhas de ar fossem eliminados. O item 9.5.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 aponta que o concreto deve ser lançado com a técnica que elimine ou reduza significativamente a segregação entre os seus componentes, observando-se maiores cuidados quanto maiores forem a altura de lançamento e a densidade de armadura. Uma das preocupações é evitar a falta de argamassa nos pés de pilares, por exemplo (figura 60). No caso da obra, quando acontece esse tipo de situação, a peça concretada é deixada dessa maneira, e ‘corrigida’ na etapa dos acabamentos, onde a argamassa encobre o defeito.



Figura 56 - Lançamento do concreto através da mangueira



Figura 57 - Lançamento e adensamento do concreto na escada



Figura 58 - Adensamento inadequado gerando problemas de bicheira nos pés dos pilares

Na etapa da escada, o concreto é lançado, o adensamento é feito e o nivelamento da superfície é feito através de uma régua de madeira (figura 59).



Figura 59 - Nivelamento da escada

A concretagem da laje é feita sem um caminho pré-definido em projeto. A região a ser concretada é a mais longe e posteriormente a mais próxima à mangueira. Baseado nisso, devido à falta de um plano de concretagem, assim como um caminho

pré-determinado para que seja feita a passagem de pessoas e de materiais. E isso gera tráfego sobre a própria armadura, o que compromete o posicionamento da mesma (figura 60).



Figura 60 - Passagem de pessoas e equipamento na armadura sem um caminho pré definido

O grande problema encontrado é, com certeza, o tráfego de pessoas e materiais sobre as armaduras. O item 9.5.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 recomenda que deva haver um cuidado especial em evitar o deslocamento de armaduras, bem como para não haver danos na superfície das fôrmas, principalmente quando o lançamento for realizado em peças altas, por queda livre. E essa passagem acaba gerando inúmeros problemas, dentre eles o mais grave é o deslocamento da armadura. Esse novo deslocamento gera uma nova posição que não foi prevista em projeto. Algumas vezes foi observado, também, que um funcionário enroscava o pé em uma parte da armadura e quando conseguia se desvencilhar acabava ‘entortando’ uma barra de aço, que poderá ficar sem o cobrimento e ainda ficar exposta à ação do meio ambiente.

Com o lançamento do concreto, um funcionário começa o adensamento. Outros espalham o concreto por meio de enxadas enquanto alguns adensam as regiões.

O adensamento deve ser feito de maneira cuidadosa para que futuros transtornos possam ser evitados. O item 9.6.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 prevê que o adensamento deve ser feito de maneira cuidadosa e que o concreto preencha todos os recantos da fôrma, e que durante esse

processo deve ser tomado algum cuidado para que não haja a formação de ninhos ou a segregação dos materiais. Uma recomendação importante descrita no item 9.6.2 é que o vibrador não entre em contato com a parede da fôrma para evitar a formação de bolhas de ar na superfície da peça, e que os cantos e as arestas devem ser bem observados de maneira a não formar vazios.

Após uma região razoável concretada e adensada, outro funcionário começa o nivelamento da laje utilizando-se uma régua de madeira (figura 61).



Figura 61 - Nivelamento do concreto na laje

O adensamento inadequado provoca a formação de ‘bicheiras’ que além de não ser esteticamente recomendado, interfere na durabilidade e na qualidade da peça, conforme foi possível constatar posteriormente quando a etapa de desfôrma estava acontecendo (figuras 62 e 63). Esse tipo de problema acaba sendo camuflado na etapa de revestimentos, onde a argamassa encobre esses vazios deixados.



Figura 62 - Adensamento não feito de maneira correta ocasionando 'bicheiras'



Figura 63 - Vibração do concreto inadequada que ocasionou 'bicheiras'

Terminado o lançamento, o adensamento e o nivelamento das superfícies, a próxima etapa é dar ao concreto uma melhoria no aspecto visual promovendo uma espécie de 'alisamento'. Utiliza-se uma espécie de 'enceradeira' para proporcionar esse aspecto (figura 64).



Figura 64 - Alisamento da superfície da laje

Feito isso, a etapa de cura do concreto é realizada e as regiões concretadas recebem mantas molhadas para que o concreto sofra com a perda excessiva de água por evaporação (figuras 65 e 66). Após a colocação das mantas, a superfície ainda recebe mais água, jogada através de mangueira (processo feito basicamente nos dois primeiros dias, depois as mantas ficavam lá até a montagem da base do pavimento seguinte, dois dias depois).



Figura 65 - Molhagem do concreto para a etapa de cura



Figura 66 - Mantas para evitar a evaporação excessiva e brusca da água do concreto

O item 10.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 retrata o fato de enquanto não atingir aspecto satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais, evitando a perda de água pela superfície exposta, assegurando uma superfície com resistência adequada e assegurando a formação de uma capa superficial durável.

Nessa etapa algumas regiões estavam expostas à ação do meio ambiente. Parte das mantas utilizadas para ajudar a conservar a superfície saturada estava em condições ruins, apresentando buracos. Outra falha é relacionada à disposição desse material no pavimento que não estava coberto por completo, proporcionando a perda de água pela superfície de maneira mais rápida que outras regiões, comprometendo a qualidade da estrutura (figura 67).



Figura 67 - Pavimento não coberto por completo, comprometendo a cura adequada

6.5 Retirada de fôrmas e escoramento

A etapa final para a confecção do próximo pavimento é a retirada das fôrmas e dos escoramentos. Após três semanas, as primeiras regiões começam a sofrer esse processo. E ele é feito com uma barra com uma espécie de ‘pé de cabra’ na ponta (fôrma da laje) que o funcionário usa para alavancar e soltar a peça (figura 68).

O item 10.2.1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 14931:2003 estabelece que as fôrmas e os escoramentos devem ser removidos conforme um plano de desfôrma previamente estabelecido para não comprometer a segurança e o desempenho em serviço da estrutura. Isso era algo que não foi observado. Em um determinado dia, um funcionário começava a retirada das fôrmas de maneira aleatória.

O item 6.5 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) – NBR 15696:2009 estabelece que a retirada das fôrmas e dos escoramentos deve ser efetuada sem choques e obedecer a um programa elaborado de acordo com o tipo de estrutura. Na obra acontecia com o uso de uma barra que forçava as bordas e as pontas da fôrma para desgrudar da região concretada. Isso acabou gerando problemas: quebra nas pontas e nas bordas das fôrmas e impacto brusco gerado pela queda livre da peça podendo levar a trincas. Com o decorrer da obra, e a construção de mais pavimentos, essas

fôrmas têm um desgaste muito grande, uma quantidade de quebra elevada, o que afeta diretamente a qualidade dos próximos pavimentos construídos. É possível afirmar que a previsão de uso desse jogo de fôrmas em estado adequado para o serviço é reduzida pela vida útil das peças devido à má utilização.



Figura 68 - Uso de barras para remoção de fôrmas

A outra etapa é a retirada das fôrmas de vigas e de pilares que o funcionário bate com um martelo para descolar a peça, e que, com uma corda amarrada ergue e retira a peça (figura 69). O grande problema dessa etapa, além da fôrma em si, é a segurança do trabalhador. Por descuido do próprio, cintos de segurança e cabos que deveriam dar condições adequadas de trabalho e de segurança são ignorados colocando em risco a vida do operário, indo contra a qualquer norma referente à segurança do trabalho.



Figura 69 - Uso de martelo para remoção de fôrmas dos pilares

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de melhorias nos processos de execução de estruturas, a obrigação de reduzir custos, o cumprimento de prazos pré-estabelecidos, garantir a qualidade e a durabilidade da edificação e acima de tudo a satisfação do usuário final é a meta que as empresas buscam em todas as suas áreas de atuação.

Não apenas as empresas estão preocupadas com essa necessidade de melhorias. No trabalho apresentado, referências bibliográficas foram apresentadas, trazendo autores que propõem melhorias e maneiras de se evitar futuros contratempos. Também foi apresentado um conjunto de citações para a etapa referida baseado em normas, visando à segurança, durabilidade e qualidade da edificação. E por último, um estudo de caso com visitação em canteiro de obra foi descrito para conciliar o que foi estudado em bibliografias e manuais técnicos com a prática da obra.

A obra em questão teve o cuidado das pessoas que a idealizaram ao propor algumas soluções diferentes para melhorar alguma etapa (o caso do fechamento dos pilares através de tubos cilíndricos perdidos na concretagem), como também não teve cuidado em algumas outras situações apresentadas (o problema de armaduras que ficaram expostas depois da concretagem).

Percebeu-se que em obra, por mais que o projeto possa ser adequado e com detalhes claros, é que se a mão-de-obra não for o mínimo qualificado não é possível esperar muito além. Na obra em questão, os projetos de fôrmas estavam no local. O funcionário quando tinha dúvidas sobre o que fazer, ou sobre algum detalhe, ao invés de consultar ou perguntar ao responsável na obra, fazia da maneira mais adequada a ele, comprometendo o projeto. Além disso, o cuidado com os equipamentos e as peças auxiliares (fôrmas, por exemplo) era quase nulo. Isso influencia muito em todo o processo.

De nada adianta ter um projeto adequado e equipamentos de última geração se a mão-de-obra envolvida não tem o treinamento e a fiscalização mais rígida. É difícil fiscalizar uma obra como um todo, mas se há o mínimo de capacidade dos trabalhadores, o nível de problemas é reduzido gerando melhorias na obra.

Também foi possível perceber que, nessa obra, foi difícil conseguir uma fiscalização rigorosa com diversas frentes de trabalho ao mesmo tempo. O engenheiro responsável da obra, por exemplo, fiscalizava um serviço e muitas vezes outras

situações apareciam e se deslocava para outro local no canteiro para resolver. Nessa movimentação os problemas e as situações de dúvidas apareciam e os funcionários resolviam por conta própria, fazendo o que era mais conveniente. É lógico que feita cada ‘adaptação’ nada era comunicado ao engenheiro, que acreditava que o serviço estava feito de maneira adequada.

Sobre os processos de execução em si, é possível constatar que há a preocupação em melhorar as etapas envolvidas. Mas também fica a constatação de que ainda há muita coisa a ser feita. Muitos processos consideravelmente simples de serem executados sofrem erros básicos que comprometem a durabilidade e a qualidade do produto final, além de gerar mais custos e atrasos. Outros ficam aquém do que as normas e a literatura apontam como recomendados para a boa prática.

O que pode se concluir é que as idéias estão surgindo para tentar melhorar a qualidade da obra, e que estão sendo colocadas em prática. Que as construtoras estão reciclando alguns dos seus processos para minimizar seus custos e futuros problemas. Entretanto isso tudo fica comprometido quando não se tem uma mão-de-obra treinada e qualificada, e que é difícil de encontrar em disponibilidade.

O trabalho apresentado aponta algumas situações no canteiro de obras baseadas em um estudo de caso (um edifício residencial). Uma possível continuação para um trabalho posterior seria uma análise das mesmas etapas, mas baseando-se em um número maior de edificações visitadas, por exemplo. Outra maneira de continuação seria um estudo global da obra, identificando outras etapas: fundações, caixa d’águas, muros de arrimo e outras partes da construção.

REFERÊNCIAS

AFONSO, L. **Contribuição ao estudo das propriedades de concretos estruturais com cimentos Portland submetidos à cura térmica (vapor) sob pressão atmosférica.** 1995. 225f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995.

ALVES, L.S. *et al.* **Manifestações patológicas em edifícios:** causas e providências. São Carlos: Anallys's Consultoria e Planejamento; Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC/USP, 2006. 20 p. Relatório Técnico.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **Manual do concreto dosado em central.** São Paulo, 2007. 36 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** São Paulo, 2002. 28 p. Boletim técnico.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732:1991:** Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2003:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7212:1984:** Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 1984. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480:1996:** Barras e fios destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, 1996. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 8522:2008:** Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12317:1992:** Verificação de desempenho de aditivos para concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654:1992:** Controle tecnológico de materiais componentes do concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:2006:** Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931:2003:** Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 53 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696:2009**: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto - Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009. 27 p.

BARROS, M.M.S.B; MELHADO, S.B. **Recomendações para a Produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

BOCCHILE, C. A medida do concreto. **Revista Techné**. São Paulo, vol. 81, p.52 a 56, 2003.

CÁNOVAS, M.F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.

DIAS, E.M. Metodologia para controle do concreto produzido em canteiro de obra. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE GARANTIA DA QUALIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1990.

EUROCODE 2: Design of concrete structures - Part 1: general rules and rules for buildings. DD ENV 1992-1-1:1992. English version, 1999. 194 p.

FABRICAÇÃO de cimento. Disponível em:
<<http://www.cienciaquimica.hpg.ig.com.br/interessante/cimento/cimento.htm>>. Acesso em: set. 2009.

FABRICIO, M.M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. 350f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

FARIA, R. Garantia de boa estrutura. **Revista Técnica**. São Paulo, vol. 115, p. 40 a 44, 2006.

FREIRE, T.M. **Produção de Estruturas de Concreto Armado, Moldadas in Loco, para Edificações**: Caracterização das Principais Tecnologias e Formas de Gestão Adotadas em São Paulo. 2001. 325f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo 2001.

FAGURY, S.C. **Concretos e pastas de elevado desempenho**: contribuição aos estudos de reparos estruturais e ligações entre concretos novo e velho, com tratamento da zona de interface. 2002. 168f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2002.

FUSCO, P.B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1995.

GIANNOTTI, F.S. **Estudos de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos**. 2006. 236f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

GRANDE, F.M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 180f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

HELENE, P.R.L. **Manual de reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992. 215 p.

LIBORIO, J.B.L. **Concreto de alto desempenho: uma tecnologia simples para produção de estruturas duráveis**. 2003. Documento fornecido pelo autor.

LICHTENSTEIN, N.B. **Patologia das construções: procedimento para a formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. 1958. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

LOTURCO, B. Sistemas metálicos: cimbramentos de aço apresentam benefícios em relação ao uso de madeira. **Revista Techné**, São Paulo, vol. 95, p 40-43, 2005.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Pini, 1994. 576p.

MONTOYA, P. J.; MESEGUER, A. G.; CABRÉ, F. M. **Hormigón armado**. 13. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1991.

NAKAMURA, J. Moldura leve. **Revista Técnica**. São Paulo, vol. 118, p. 44 a 47, 2007.

NAKAMURA, J. Preparo de armaduras para a concretagem. **Revista Equipe de Obra**, edição 19, 2008. Disponível em: < <http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/19/passo-a-passo-preparo-de-armaduras-para-concretagem-103312-1.asp>>. Acesso em: 25 ago. 2009

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 828 p.

PAULA, A.T. **Avaliação do impacto potencial da versão 2000 das normas ISO 9000 na gestão e certificação da qualidade: o caso das empresas construtoras**. 2004. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

PITTA, M.R. Pavimentos de concreto (parte II). **Revista Técnica**. São Paulo, vol. 46, p. 74 a 79, 2000.

RIPPER, E. **Como evitar erros na construção**. 2. ed. São Paulo, Pini, 1984. 122 p.

SALVADOR FILHO, J.A.A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. 246f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo, Pini, 1998. 255 p.