

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DIAGNÓSTICO DE PERDAS E APLICAÇÃO
DE FERRAMENTAS PARA O CONTROLE DA QUALIDADE E
MELHORIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA ETAPA
CONSTRUTIVA DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**

Antônio Sérgio Galindo Falcão

Porto Alegre, 2001

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DIAGNÓSTICO DE PERDAS E APLICAÇÃO
DE FERRAMENTAS PARA O CONTROLE DA QUALIDADE E
MELHORIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA ETAPA
CONSTRUTIVA DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**

Antônio Sérgio Galindo Falcão

Orientador: Professor Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.*

Banca Examinadora:

Carla Schwengber ten Caten, Dr.^a
Prof.^a. PPGEP / UFRGS

Paulo Ghinato, *Ph.D.*
Prof. Departamento de Engenharia de Produção / UFPE

Ruy Alberto Cremonini, Dr.
Prof. NORIE / UFRGS

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Área de concentração: Gerência da Produção e Ergonomia

Porto Alegre, 2001

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.*
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna, *Ph.D.*
Coordenador PPGEF / UFRGS

BANCA EXAMINADORA:

Carla Schwengber ten Caten, Dr^a.
Prof^a. PPGEF / UFRGS

Paulo Ghinato, *Ph.D.*
Prof. Departamento de Engenharia de Produção / UFPE

Ruy Alberto Cremonini, Dr.
Prof. NORIE / UFRGS

“A humildade é dentre as virtudes morais a mais difícil de ser alcançada e a mais fácil de ser deturpada. Rara entre os que a buscam e natural entre os poucos que a encontram, ela estabelece a verdadeira diferença entre o especialista e o ‘curioso’, entre o sábio e o presunçoso, entre o cristão e o meramente religioso.”

Autor desconhecido

Aos meus pais,
Antônio Falcão e Tânia Doriane Dorta Galindo Falcão.
Pelo apoio irrestrito e confiança incondicional.
Pelo exemplo de pessoas de bem e correção ilibada.
Dedico este trabalho como uma pequena parcela
da minha gratidão e reconhecimento.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de registrar os mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. De forma especial, agradeço:

Ao professor Flávio Sanson Fogliatto, pela amizade, atenção e orientação desta dissertação.

Ao professor Luís Henrique Rodrigues, por ter iniciado meu processo de formação e pelo apoio dado a minha evolução profissional.

Ao professor José Antonio Valle Antunes Júnior, pelo apoio e oportunidade de participar de seu grupo de pesquisa voltado para construção civil, passo inicial para o desenvolvimento deste trabalho, sem o qual não seria possível realizá-lo.

Ao professor Ruy Alberto Cremonini, pela orientação nos tópicos relativos ao controle da qualidade do concreto, por seu incentivo, atenção e, principalmente, por sua amizade.

À minha família, por acreditar e ajudar a percorrer meu caminho e a superar os obstáculos encontrados.

À Juliane Lorenzi, por seu carinho, apoio e compreensão durante a realização deste trabalho, especialmente nas fases difíceis.

À empresa construtora Goldsztein S.A., que abriu suas portas, colocando-se à disposição para a realização da pesquisa.

Ao Eng. Rodrigo da Silveira Souto, por sua amizade e pelas valiosas discussões que auxiliaram no desenvolvimento do trabalho.

Ao Eng. Ricardo dos Santos, pela colaboração fundamental para a consecução da pesquisa.

Ao Eng. Luiz Alberto Rodrigues, por sua atenção e auxílio.

A Deus, por ter me guiado ao longo deste caminho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Justificativa para Escolha do Tema.....	3
1.3 Objetivos do Estudo	7
1.4 Método de Pesquisa.....	8
1.5 Delimitações do Estudo	9
1.6 Estrutura da Dissertação	10
2 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	12
2.1 Considerações Iniciais.....	12
2.2 Características Estruturais do Setor.....	12
2.3 Construção civil e a Economia	15
2.4 Etapas Construtivas de uma Edificação Habitacional	16
2.5 Considerações sobre o Controle da Qualidade em Edificações	24
3 INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO.....	34
3.1 Considerações Iniciais.....	34
3.2 Princípios do Controle Estatístico do Processo	34
3.3 Cartas de Controle	38
3.3.1 Cálculo dos Limites de Controle	44
3.3.2 Interpretação das Cartas de Controle.....	49
3.3.2.1 Estabilidade do Processo.....	49
3.3.2.2 Capacidade do Processo.....	52
3.4 O CEP como Ferramenta de Melhoria de Processos	55
3.5 Função de Perda Quadrática de Taguchi	57
4 INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA QUALIDADE ZERO DEFEITOS – CQZD	61
4.1 Considerações Iniciais.....	61
4.2 Introdução ao Sistema Toyota de Produção.....	61

4.2.1	Princípios Básicos de Construção do STP.....	65
4.2.1.1	O Mecanismo da Função Produção - MFP	66
4.2.1.2	O Princípio do Não-Custo.....	70
4.2.1.3	Perdas nos Sistemas Produtivos.....	72
4.2.2	Subsistema de Qualidade de Gestão.....	74
4.2.2.1	Controle Total da Qualidade.....	74
4.2.2.2	Atividades de Pequenos Grupos	75
4.2.3	Subsistema de Pré-Requisitos Básicos de Engenharia de Produção.....	77
4.2.3.1	Troca Rápida de Ferramentas - TRF.....	77
4.2.3.2	Operação-padrão	79
4.2.3.3	<i>Layout</i> do Posto de Trabalho (<i>layout</i> de máquinas).....	80
4.2.4	Subsistema de Defeito-Zero dos Produtos.....	84
4.2.4.1	Automação	84
4.2.4.2	O Controle da Qualidade Zero Defeitos e seus Elementos.....	87
5	APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA ETAPA DE ELEVÇÃO DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS.....	106
5.1	Considerações Iniciais.....	106
5.2	Desenvolvimento da Pesquisa.....	107
5.2.1	Processo Produtivo	112
5.2.2	Identificação e Análise das Perdas no Processo Produtivo	114
5.3	Aplicação Efetiva das Ferramentas de Controle da Qualidade	125
5.3.1	Aplicação dos Dispositivos <i>Poka-Yoke</i>	125
5.3.2	Aplicação do Controle Estatístico do Processo.....	134
5.3.2.1	Determinação da Variável de Controle.....	134
5.3.2.2	Coleta de Dados	134
5.3.2.3	Utilização de Cartas de Controle para Valores Individuais para o Monitoramento do Fornecimento de Concreto	135
5.3.2.4	Interpretação das Cartas de Controle	135
5.3.2.5	Função de Perda Quadrática de Taguchi	151
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	153
6.1	Considerações Iniciais.....	153
6.2	Conclusões.....	153
6.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	155
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Diagrama esquemático do controle da qualidade de estruturas de concreto.....	7
FIGURA 2 - Macrocomplexo da construção civil.....	16
FIGURA 3 - Esquema simplificado de uma estrutura de concreto armado.....	20
FIGURA 4 - Ciclo de produção de uma edificação.....	25
FIGURA 5 - Esquema simplificado das etapas construtivas e seus clientes internos na execução de uma edificação.....	27
FIGURA 6 - Curva Normal de distribuição da resistência à compressão do concreto.....	31
FIGURA 7 - Carta de controle para processo sem causas especiais (sob controle).....	37
FIGURA 8 - Carta de controle para processo com causas especiais (fora de controle).....	38
FIGURA 9 - Fluxograma para escolha de cartas de controle para variáveis.....	42
FIGURA 10 - Fluxograma para escolha de cartas de controle para atributos.....	42
FIGURA 11 - Curva Normal.....	45
FIGURA 12 - Relação entre a distribuição de valores individuais e as médias amostrais.....	48
FIGURA 13 - Processo instável não apresenta comportamento previsível.....	50
FIGURA 14 - Processo estável apresenta comportamento previsível ao longo do tempo.....	51
FIGURA 15 - Capacidade <i>versus</i> estabilidade de um processo.....	53
FIGURA 16 - Processo iterativo de melhoria do CEP.....	56
FIGURA 17 - Relação entre perda de qualidade e desvio do valor nominal.....	59
FIGURA 18 - Estrutura do STP.....	65
FIGURA 19 - Mecanismo da Função Produção: rede de Processos e Operações.....	66
FIGURA 20 - A estrutura das operações.....	69
FIGURA 21 - Relação de compensação entre a função planejamento e a função controle.....	92
FIGURA 22 - Desdobramento da execução da função controle.....	93
FIGURA 23 - Ciclo PDCA.....	94
FIGURA 24 - Ciclo de gerenciamento proposto por Shingo.....	94
FIGURA 25 - Classificação dos sistemas <i>Poka-Yoke</i>	104
FIGURA 26 - Simbologia de identificação dos elementos do processo.....	114
FIGURA 27 - Histograma dos dados analisados.....	136
FIGURA 28 - Carta de controle da resistência aos 28 dias, período de 22/09/99 a 17/11/99.....	137
FIGURA 29 - Carta de controle da resistência aos 28 dias, período de 22/11/99 a 14/01/00.....	137
FIGURA 30 - Carta de controle da resistência aos 28 dias, período de 14/01/00 a 15/03/00.....	137
FIGURA 31 - Carta de controle da resistência aos 28 dias, período de 22/03/00 a 27/04/00.....	138
FIGURA 32 - Obtenção da resistência potencial a partir das operações de ensaio e controle do concreto.....	139

FIGURA 33 - Avaliação da capacidade técnica sem a presença de causas especiais.....	142
FIGURA 34 - Avaliação da capacidade técnica com a presença de causas especiais.....	142
FIGURA 35 - Produção de concreto com alvo centrado na especificação de projeto.	144
FIGURA 36 - Produção de concreto com alvo centrado na resistência de dosagem.	145
FIGURA 37 - Avaliação da capacidade dos limites de produção sem causas especiais.....	148

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Evolução da participação da construção civil e de outras atividades produtivas na formação do PIB nacional (%).	15
QUADRO 2 - Atividades de instalação do canteiro de obras e intervenientes do processo.	18
QUADRO 3 - Atividades de fundações e intervenientes do processo.	19
QUADRO 4 - Atividades de elevação de estruturas de concreto armado e intervenientes do processo.	20
QUADRO 5 - Atividades de execução das vedações e intervenientes do processo.	21
QUADRO 6 - Atividades de instalações elétricas e intervenientes do processo.	21
QUADRO 7 - Atividades de instalações hidráulicas e intervenientes do processo.	21
QUADRO 8 - Atividades de colocação de esquadrias e intervenientes do processo.	22
QUADRO 9 - Atividades de revestimento de uma edificação e intervenientes do processo.	22
QUADRO 10 - Atividades de colocação de pisos e intervenientes do processo.	23
QUADRO 11 - Atividades de pintura e intervenientes do processo.	23
QUADRO 12 - Objetivos do controle da qualidade nas etapas de produção.	26
QUADRO 13 - Características dos mecanismos de controle da qualidade.	28
QUADRO 14 - Significado de termos utilizados no controle do concreto.	32
QUADRO 15 - Relação entre a função planejamento e a função controle.	91
QUADRO 16 - Características da obra estudada.	112
QUADRO 17 - Testes de normalidade dos dados analisados.	136
QUADRO 18 - Estatísticas dos dados analisados.	147

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Resumo das causas comuns e especiais de variação.	36
TABELA 2 - Valores das constantes d_2 , A_2 e E_2 , utilizadas no cálculo dos limites de controle.	49
TABELA 3 - Objetivos da inspeção e as estratégias utilizadas para alcançá-los.	97

RESUMO

O objeto de estudo desta dissertação é a aplicação de ferramentas para o controle da qualidade e melhoria do processo de produção de uma etapa construtiva de edificações residenciais. As ferramentas aplicadas são: *i*) controle estatístico do processo – CEP, e; *ii*) dispositivos *Poka-Yoke*. A etapa construtiva mencionada é a elevação da estrutura de concreto armado.

O estudo foi motivado pela necessidade de melhorar o sistema de manufatura de uma empresa construtora de Porto Alegre – RS, com vistas a reduzir o tempo de construção de suas edificações (*lead-time* de produção). Para tanto, a partir de conceitos teóricos do Sistema Toyota de Produção – STP, analisou-se o processo produtivo atual para a referida etapa construtiva, identificaram-se perdas existentes no processo e foram propostas melhorias. As ferramentas de qualidade CEP e *Poka-Yoke* enquadram-se dentro dessa perspectiva de melhoria. Através da sua aplicação, pretende-se eliminar algumas das perdas existentes no processo de construção melhorando sua produtividade e a qualidade do produto final.

A aplicação do CEP tem como objetivo avaliar a capacidade do fornecedor de concreto de atender às exigências dos consumidores, de acordo com o que é estipulado pelas normas brasileiras de fabricação e aceitação de concreto, sem impor-lhes ônus desnecessário. A avaliação é efetuada através do monitoramento da variabilidade da propriedade que melhor caracteriza a qualidade do concreto, qual seja, a sua resistência à compressão axial. Os dispositivos *Poka-Yoke*, por sua vez, são aplicados com funções de controle da qualidade e prevenção de defeitos e, como ferramentas auxiliares na melhoria de atividades produtivas.

ABSTRACT

The object of this dissertation is the application of quality control tools for monitoring and improving the production process of residential buildings. The tools mentioned above are: *i*) statistical process control – SPC, and; *ii*) Poka-Yoke mechanisms. These tools have been applied in a specific stage of the residential building process, which is the concrete structure.

This study was motivated by the need for improvement in the manufacturing system of a building enterprise, located in Porto Alegre – RS. The objective was to shorten the construction lead-time through improvement of the production process of the building stage previously referred. To accomplish this objective, the current production process for the specific building stage was analyzed according to theoretical concepts of the Toyota Production System – TPS. In that analysis, wastes were identified within the process and improvement actions were proposed. The application of the quality tools, SPC and Poka-Yoke, aims to eliminate the existence of some of the identified wastes and enhance the quality of the final product and the productivity of the building process.

The application of the SPC manages to evaluate the capability of the concrete supplier to satisfy his customers, according to what is established by the Brazilian Standards of production and acceptance of concrete, without inflicting on unnecessary financial burden on consumers. The evaluation is performed through the variability control of the concrete's property that better describes its quality: the compression resistance. The Poka-Yoke mechanisms, on their turn, are used with the functions of quality control and defects prevention and also as auxiliary tools for the improvement of the productive activities.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Frente às aceleradas mudanças sociais, políticas e econômicas que vêm ocorrendo nos últimos anos, verifica-se a necessidade, dos diversos setores produtivos, de readaptação de atividades e comportamentos às novas situações. A internacionalização dos mercados, o surgimento de um número cada vez maior de empresas, o aumento da oferta de produtos e a elevação do nível de exigências impostas pelos consumidores, são fatores que contribuem para o acirramento da competição entre empresas na disputa por clientes.

Nesse atual ambiente competitivo, a eficiência produtiva e a qualidade apresentam-se como fatores de sobrevivência no meio empresarial. Atender às expectativas dos consumidores e manter sua confiança, são fatores motivadores da busca de melhorias e, com o atual direcionamento em relação à competição entre empresas, evidenciam-se como de fundamental importância. Com efeito, a perda de um consumidor insatisfeito para empresas competidoras pode implicar em impacto financeiro significativo para uma empresa (Dugan *et alli*, 1996).

Diante desse quadro, tanto empresas como consumidores estão cada vez mais preocupados com a qualidade dos produtos fabricados ou serviços prestados. Nesse aspecto, nota-se, nas últimas décadas, o surgimento de várias ferramentas para o controle de qualidade, com o objetivo de assegurar a fabricação de produtos e/ou prestação de serviços livres de defeitos. Dentre essas ferramentas podem-se destacar o Controle Estatístico do Processo (CEP) e os dispositivos à prova de falhas – *Poka-Yoke*, os quais são objetos de estudo da presente dissertação.

O CEP pode ser definido como um sistema de inspeção por amostragem que tem como objetivo verificar a presença de causas especiais (causas que podem prejudicar a qualidade dos produtos fabricados; Ribeiro & Caten, 2000). Uma vez que as causas dos defeitos são identificadas com o uso de cartas de controle, pode-se então, atuar sobre elas melhorando continuamente a qualidade dos processos e produtos.

Um dispositivo *Poka-Yoke*, por sua vez, é um mecanismo de detecção de anormalidades que, acoplado a uma operação, impede a execução irregular de atividades. É uma maneira de bloquear as principais interferências, geralmente erros humanos, na execução de operações (Ghinato, 1996). Uma vez identificadas as causas das anomalias (erros), impede-se que defeitos (efeitos) sejam gerados.

O presente estudo propõe a utilização dessas duas ferramentas de controle da qualidade na etapa de elevação da superestrutura de concreto armado de edifícios residenciais (etapa estrutura) e verifica a aplicabilidade e a utilidade das mesmas, como meio de assegurar a qualidade final do produto edificação e melhorar as atividades produtivas em canteiro de obras. A proposta de implementação dessas duas ferramentas deu-se através de estudo prático em uma empresa construtora de edifícios residenciais, localizada em Porto Alegre – RS. Nessa empresa foram coletados dados que foram utilizados como subsídio para o desenvolvimento do estudo.

A necessidade de aplicação das referidas ferramentas foi vislumbrada a partir da análise dos fluxos de produção da etapa estrutura em que foram identificadas perdas no sistema da manufatura. No sentido de dirimir a ocorrência dessas perdas, foram propostas melhorias para o sistema produtivo atual. As ferramentas de qualidade CEP e *Poka-Yoke* enquadram-se nessa perspectiva de melhoria.

Através do uso de cartas de controle, principal elemento do CEP (que consiste de um gráfico com uma linha central e um par de limites de controle, sendo um acima da linha média e outro abaixo, onde são plotados valores característicos que representam o estado atual de um processo) monitora-se o principal parâmetro de qualidade do concreto, qual seja, a sua resistência à compressão. O objetivo é avaliar a capacidade do fornecedor dessa matéria-prima de atender às exigências do consumidor (empresa analisada), bem como ao que preceituam as Normas técnicas de fornecimento e controle de concreto vigentes no país.

Com a aplicação do CEP pretende-se também demonstrar que os consumidores de concreto podem estar sujeitos a perdas ao adquirirem o produto. Essas perdas estão vinculadas ao parâmetro atualmente utilizado para aferição da qualidade de uma estrutura de concreto armado, o f_{ck} (resistência à compressão característica do concreto). De acordo com considerações de Norma (ABNT, 1978), pode-se aceitar uma estrutura de concreto armado (desde que mantidas suas características geométricas), baseando-se no atendimento do valor mínimo de resistência especificada em projeto (f_{ck}). Contudo, essa é uma visão técnica, que favorece o produtor e pode prejudicar o consumidor, pois não considera parâmetros máximos

para a aceitação do produto. Pelo parâmetro atual, são considerados próprios para uso concretos que apresentem resistência maior ou igual à especificação de projeto. Ou seja, não existem restrições quanto à produção de concreto com elevados valores de resistência. Todavia, conforme se apresenta nesse estudo, existem perdas associadas à não consideração de um limite superior para a aceitação do concreto. Elevados valores de resistência à compressão significam elevado consumo de materiais, especificamente o cimento. Levando-se em consideração que para o consumidor o que interessa é o valor de resistência à compressão especificado em projeto, valores acima do mínimo representam custos adicionais, à medida que pressupõe maior consumo de materiais. Ressalta-se, também, que a produção de concreto com elevados valores de resistência podem interferir na qualidade final da estrutura.

Este estudo coloca que se deve considerar além do limite inferior atualmente utilizado (f_{ck}), a existência de um limite superior de especificação para a aceitação do concreto, para evitar, ou pelo menos reduzir, as perdas impostas aos consumidores. Nesse sentido, a dissertação apresenta o CEP como uma ferramenta de melhoria eficaz e de simples aplicação para o controle do recebimento de concreto em obra, podendo ser amplamente utilizada por empresas do setor.

Os dispositivos *Poka-Yoke*, por sua vez, são utilizados como ferramentas para o controle da qualidade e prevenção de defeitos. Também são utilizadas como ferramentas para melhoria de atividades produtivas. Para tanto, faz-se necessário o conhecimento aprofundado do processo de produção para identificar atividades que não agregam valor ao produto (perdas) e que, portanto, devem ser eliminadas ou a necessidade de sua realização deve ser reduzida. O desenvolvimento e aplicação dos dispositivos *Poka-Yoke* é simples e pode trazer benefícios significativos para a produção.

1.2 Justificativa para Escolha do Tema

O déficit habitacional urbano brasileiro tem sido estimado em aproximadamente 4 milhões de moradias. Sabendo-se ser a casa própria, para a família, uma legítima necessidade e uma justa aspiração, verifica-se o importante papel a ser desempenhado pela construção civil no Brasil. Este aspecto, de forma isolada, já justifica a preocupação em relação ao desenvolvimento da indústria da construção civil e serve como um incentivo para a elaboração de estudos que possam oferecer ferramentas capazes de promover tal desenvolvimento.

Por outro lado, apesar de ser uma das mais importantes indústrias nacionais, a construção civil, de forma geral, é um setor produtivo que se caracteriza, historicamente, por

apresentar vários problemas que implicam em um significativo atraso no que tange a aspectos organizacionais, gerenciais e tecnológicos, se comparado a outros setores industriais (Souza, 1997). Esse setor é freqüentemente criticado pela baixa produtividade e pela imprevisibilidade quanto a custos, prazos e, principalmente, qualidade (Helene & Terzian, 1992). Tal situação impõe insegurança e insatisfação aos consumidores.

Devido à defasagem tecnológica, a produção habitacional não acompanha os índices de qualidade e produtividade das economias desenvolvidas e do setor industrial como um todo, o que reflete o desenvolvimento precário da estrutura produtiva da construção civil (Souza, 1997). Observa-se, nesse setor produtivo, um alto índice de perdas, elevados custos de produção, excesso de mão-de-obra, planejamento precário, falta de organização dos canteiros de obras, dentre outros fatores que exigem mudanças. Cabe ressaltar, que esse panorama não é característico de empresas brasileiras; tal situação não se modifica ao ampliar-se o horizonte de análise e incluir outros países dentro dessa perspectiva (Schmitt, 1998).

Do ponto de vista da qualidade do produto final, a construção civil apresenta-se abaixo do que se espera de uma indústria de sua importância e daquilo que aspiram seus usuários (Meseguer, 1991). A execução de obras sem planejamento prévio, baseada em procedimentos tradicionais experimentados e transmitidos na prática nos canteiros de obras, contribui para a má qualidade final do produto edificação e para os altos custos de produção (Thomaz, 1988). Observa-se, com freqüência, a deterioração precoce das moradias e áreas comuns de conjuntos habitacionais, gerando ônus aos usuários, construtores e poder público (Helene & Terzian, 1992). Esses problemas, que às vezes ocorrem em edificações que nem chegaram a ser ocupadas, desobedecem aos manuais de construção, denigrem a imagem dos profissionais do setor e, o que é mais grave, atentam contra a economia nacional (Thomaz, 1988). Deve-se admitir, por conseguinte, que o controle da qualidade que atualmente é realizado na construção civil é insatisfatório.

Apesar da existência e aceitação de uma sistemática complexa de programação, avaliação, análise e previsão de andamento físico de obra, através da utilização de gráficos de Gantt e teorias de caminho crítico (PERT/CPM), registra-se uma resistência do setor em adotar uma sistemática de controle de qualidade (Helene & Terzian, 1992). Tal fato, aliado a uma normalização e legislação deficientes, à acomodação do setor produtivo e das instituições e à falta de organização dos usuários, que nem sempre conseguem reivindicar produtos de

melhor desempenho, retardam a incorporação e implantação de programas de garantia e controle da qualidade na maioria das obras civis do país (Helene & Terzian, 1992).

Contudo, as atuais alterações no cenário produtivo e econômico no país, demandam mudanças no setor. A abertura do mercado nacional, o estabelecimento do Mercosul, o processo de privatização de empresas estatais, a concessão de serviços públicos a empresas privadas, delineiam uma nova realidade que traz desafios importantes para as empresas de construção civil, dentre eles, o de sobrevivência e crescimento em um mercado mais exigente e competitivo (Souza *et alli*, 1995).

Respaldados pelo atual Código de Defesa do Consumidor, os consumidores passam a exercer seus direitos e aumentam progressivamente as exigências em relação à qualidade das edificações. O código impõe sanções pesadas aos projetistas, fabricantes e construtores no caso de ocorrência de falhas no produto em uso, bem como veda a colocação no mercado de produtos e serviços que estejam em desacordo com as normas técnicas brasileiras elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (Souza *et alli*, 1995). Nesse sentido, a questão da qualidade na construção de edifícios vem recebendo atenção crescente, sendo objeto de iniciativas de programas de melhorias em algumas empresas (Picchi, 1997).

Sob tais aspectos e diante do quadro de desperdício e falta de qualidade apresentado atualmente pelo setor da construção civil, constata-se a necessidade de seu aprimoramento tecnológico, de forma a atender a exigência de aumento da competitividade pelas empresas, como resposta ágil e eficaz às condições impostas pelo mercado. Para tanto, faz-se necessário a difusão de novas tecnologias nas organizações, que promovam seu desenvolvimento sobre bases sólidas e consagradas. Nesse contexto, propõe-se, para o setor produtivo em questão, a utilização de ferramentas para o controle de qualidade e melhoria de processos de produção, através da sua aplicação em uma empresa do subsetor edificações de Porto Alegre – RS.

O uso dessas ferramentas insere-se na atual visão do controle da qualidade, baseado em medidas preventivas dentro de um enfoque sistêmico. Esse enfoque estabelece que o controle da qualidade deve ser estendido a toda empresa, do fornecimento de materiais a entrega do produto final, de acordo com os princípios e conceitos que sustentam a administração da qualidade total. Esses conceitos focam não apenas o produto, mas também os processos produtivos, o que permite análise de valor das atividades que são importantes e aquelas que não são, sob o ponto de vista de agregarem valor aos produtos finais.

A justificativa pela escolha do concreto como matéria-prima a ser analisada nesta dissertação advém da sua importância com relação à segurança e à qualidade de uma

edificação, bem como da generalização de seu uso como material de construção no país. Devido a fatores de ordem natural (disponibilidade abundante de matéria-prima, número de jazidas, etc.) e de ordem cultural (com os métodos construtivos amplamente difundidos), a maioria absoluta das obras construídas no Brasil, são de concreto armado. Isso significa que pesquisas direcionadas ao estudo desse material têm relevante importância quando se almeja obter a redução de custos associada a um aumento de qualidade final do produto edificação (Vasconcelos, 1997).

A escolha da etapa estrutura como etapa para aplicação das ferramentas da qualidade, deve-se a sua relevância dentro de uma construção habitacional. A estrutura tem peso significativo na determinação do padrão de qualidade, nos custos e no prazo de entrega de uma obra. No que se refere à qualidade, especificamente, a má execução da estrutura de um edifício traz reflexos na qualidade de praticamente todas as atividades e etapas que a sucedem, prejudicando, inclusive, o uso da edificação por seus moradores (Helene & Terzian, 1992).

Constata-se, que em função das variações aleatórias a que está sujeita a construção de uma edificação habitacional, não é possível prever qual será o resultado final a ser obtido após a sua produção (Helene & Terzian, 1992). Em função dessa variabilidade, uma estrutura de concreto armado, depois de acabada, apresenta uma série de características próprias que a diferencia daquela que foi especificada no projeto estrutural. Exemplos dessas características incluem: (i) o aço e o concreto não possuem exatamente a resistência característica especificada; (ii) as armaduras não estão perfeitamente nas posições desenhadas; (iii) as fôrmas não têm as dimensões com as quais foi efetuado o dimensionamento do elemento estrutural; e (iv) os pilares não apresentam prumo absoluto (Helene, 1986).

O grau de conformidade entre essas características finais e as especificações de projeto determina o nível de qualidade de uma estrutura de concreto, bem como de uma edificação. A qualidade do produto final será tanto mais alta quanto maior a concordância entre o executado e o projetado (Helene & Terzian, 1992). Assim, o controle da qualidade de uma estrutura deve assegurar o nível de qualidade preestabelecido em projeto.

O controle da resistência à compressão do concreto situa-se dentro dessa necessidade de comprovação daquilo que está sendo executado frente ao que foi adotado no projeto estrutural. Todavia, apesar de ser considerado um dos mais importantes acompanhamentos a serem feitos durante a execução da estrutura, não deve ser confundido com o controle tecnológico da qualidade das estruturas de concreto. Constata-se, pela análise da Figura 1, que

o controle da qualidade de estruturas de concreto é função do controle de qualidade de ambos os materiais e serviços.

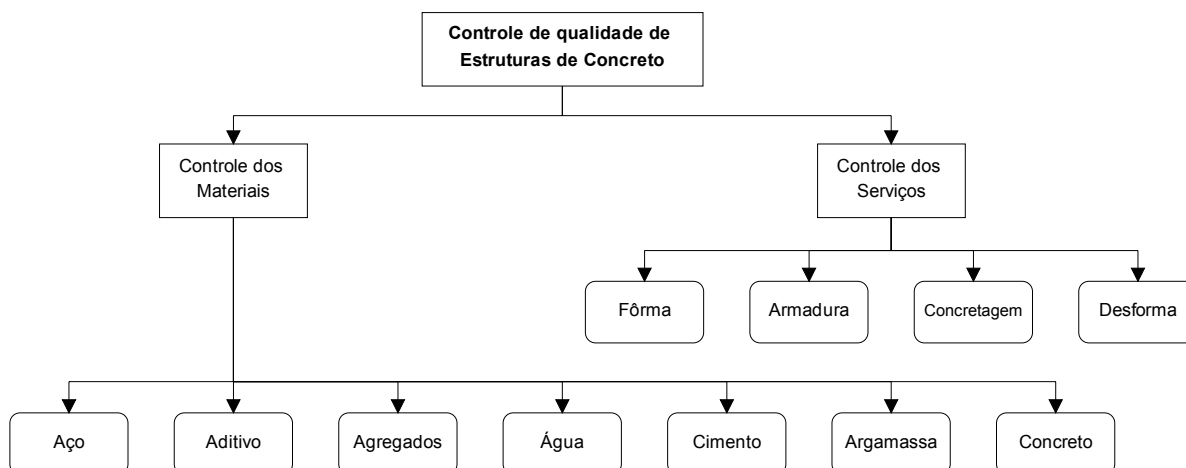


FIGURA 1 - Diagrama esquemático do controle da qualidade de estruturas de concreto.

Fonte: Helene, 1986, p.21.

Portanto, deve-se assegurar que durante a execução da estrutura sejam empregados os materiais, as disposições e os métodos construtivos conforme estabelecido em projeto. Nesse sentido e de acordo com as considerações anteriores, justifica-se a aplicação das ferramentas propostas. Utiliza-se o controle estatístico da qualidade como uma ferramenta de monitoramento da qualidade de um dos materiais fornecidos à obra, especificamente o concreto, ao passo que se aborda os serviços de construção, através da implementação de dispositivos *Poka-Yoke*.

Vale destacar, por último, que muito se tem discutido a respeito dos altos índices de desperdícios gerados pela construção civil, elevados custos de produção, não cumprimento de prazos de entrega e da falta de qualidade “inerente” ao setor. Porém, poucos foram os estudos desenvolvidos para contribuir com melhorias consistentes na indústria da construção civil, através do repasse e aplicação de ferramentas que contribuam efetivamente com essas melhorias.

1.3 Objetivos do Estudo

Esta dissertação tem como objetivos principais identificar a ocorrência de perdas durante a construção da estrutura de concreto armado de edificações residenciais e implementar ferramentas para o controle da qualidade e melhoria do processo de produção, visando combater algumas das perdas identificadas. A aplicação dessas ferramentas ocorre em

uma empresa de construção civil; desta forma, a sua utilização deve ser particularmente adequada a esse ambiente.

Como objetivos específicos do estudo, têm-se:

- a) Analisar o processo de construção de estruturas de concreto armado através do Mecanismo da Função Produção;
- b) Apresentar os dispositivos *Poka-Yoke* como ferramentas de melhoria que podem ser amplamente utilizadas na construção civil;
- c) Apresentar o CEP como uma ferramenta corrente para o monitoramento do fornecimento de concreto por empresas construtoras;
- d) Discutir sobre os parâmetros atualmente utilizados para aceitação do concreto endurecido;
- e) Mostrar que a preocupação com a resistência mínima do concreto como parâmetro de aceitação do concreto pode mascarar perdas que são impostas aos consumidores;
- f) Contribuir para o desenvolvimento do setor da construção civil pela aplicação de conceitos e ferramentas em um ambiente distinto daquele no qual foram originados.

1.4 Método de Pesquisa

Uma vez definidos os objetivos do trabalho, faz-se necessário estabelecer o método de pesquisa adotado para alcançá-los. Para a condução do caso prático aqui apresentado, foi necessária uma intensa interação com a empresa construtora, em canteiros de obras, com vistas à obtenção de informações sobre o sistema de manufatura atual da empresa; especificamente, sobre a produção das estruturas de concreto armado em seus empreendimentos. Desta forma, o repasse e acompanhamento das informações obtidas junto à empresa demandaram uma constante interação entre o pesquisador e o objeto de pesquisa. Sabendo-se que a metodologia de pesquisa baseada em estudo de caso é aplicada em circunstâncias onde há um conjunto de eventos sobre os quais o investigador possui pouco ou nenhum controle sobre o processo e, levando-se em consideração que o desenvolvimento deste estudo pressupõe uma interação com o objeto de pesquisa tentando transformá-lo, o método de pesquisa adotado nesta dissertação enquadra-se nos pressupostos da pesquisa-ação.

A pesquisa-ação é um tipo de pesquisa com base empírica, concebida com o intuito de resolver problemas coletivos, no qual pesquisadores e participantes/entrevistados estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (Thiollent, 1998). Nela, o pesquisador desempenha um papel ativo na identificação e análise dos problemas encontrados, no

acompanhamento e na avaliação das ações encadeadas para resolução de problemas (Thiollent, 1997). A condução de uma pesquisa-ação demanda a realização das seguintes etapas: (i) Etapa Exploratória, que consiste na coleta de dados preliminares, (ii) Etapa Principal, de interação entre o pesquisador e o objeto de análise, (iii) Etapa de Ação, de implementação das modificações necessárias apontadas na etapa anterior, e (iv) Etapa de Avaliação, de análise do resultado obtido como base para outros trabalhos similares.

1.5 Delimitações do Estudo

O desenvolvimento desta dissertação parte da hipótese de que as ferramentas aplicadas têm caráter amplo e genérico, podendo ser utilizadas em qualquer empresa, de qualquer ramo produtivo, seja este de fabricação de bens de consumo ou prestação de serviços. Contudo algumas limitações, ao presente estudo, devem ser observadas:

- a) O estudo é desenvolvido em uma empresa construtora do subsetor edificações, não sendo imediatamente generalizável aos demais subsetores da construção civil;
- b) O estudo está restrito a etapa construtiva de elevação da estrutura. Portanto, considerações sobre a generalização dos resultados a outras etapas construtivas, dependem de estudos específicos;
- c) O estudo está restrito à realidade do sistema produtivo de uma empresa de construção convencional de edificações, que utiliza concreto moldado *in loco*, com o uso de fôrmas e sistema de escoramento, como tecnologia construtiva para a elevação da estrutura de concreto armado de suas edificações;
- d) Apesar do estudo ter sido realizado com intensa interação entre pesquisador e empresa e o método de pesquisa adotado considerar tão importante quanto os resultados obtidos a descrição de *como* as mudanças foram construídas, não são reportados neste estudo aspectos específicos sobre: *i*) reações dos funcionários ao trabalho; *ii*) dificuldades encontradas ao longo da pesquisa; *iii*) aspectos motivacionais; *iv*) influência do ambiente na determinação das alternativas de ação; *v*) mudanças organizacionais; *vi*) gestão de recursos humanos, etc. Na dissertação, foi dada ênfase à apresentação da aplicação das ferramentas e seus resultados;
- e) Apesar da aplicação das ferramentas ter influência macroeconômica, pois uma das ferramentas aplicadas (CEP) tem relação direta com o fornecedor de matéria-prima, o estudo desenvolve-se em âmbito restrito à empresa, especificamente em seu sistema de manufatura, não envolvendo questões econômicas e estratégicas;

- f) O estudo desenvolve-se em uma empresa construtora específica, sendo as análises efetuadas e a aplicação das ferramentas validadas para o caso em questão. Portanto, a generalização/validação das observações e ferramentas propostas ao setor produtivo como um todo, exigirá estudos posteriores.

1.6 Estrutura da Dissertação

A dissertação apresenta seis capítulos estruturados da seguinte maneira:

O Capítulo introdutório contém informações relevantes para a compreensão inicial do trabalho e sua contextualização. São apresentados, a justificativa, os objetivos, as delimitações, o método de pesquisa empregado e a estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 traz um referencial teórico contendo informações gerais sobre a construção civil no Brasil. Apresentam-se as características estruturais do setor e sua importância na economia nacional. Também se apresentam as principais etapas construtivas de uma edificação convencional de concreto armado, sendo feitas considerações sobre controle da qualidade na construção civil, em particular acerca do controle de qualidade do concreto.

O Capítulo 3 traz uma revisão bibliográfica sobre o Controle Estatístico do Processo – CEP. São abordados os fundamentos do CEP e seus principais elementos, e apresenta-se o CEP como uma ferramenta de melhoria contínua da produção. Finalmente, discute-se sobre perdas impostas à sociedade associadas à má qualidade dos produtos fabricados e apresenta-se a função de perda quadrática de Taguchi, capaz de quantificar essas perdas em termos monetários.

O Capítulo 4 traz uma revisão bibliográfica sobre o Controle da Qualidade Zero-Defeitos inserido no contexto do Sistema Toyota de Produção – STP. São discutidas as origens do STP e apresentados os seus componentes, sendo descritos os principais conceitos a serem aplicados no desenvolvimento da pesquisa. Neste capítulo, apresentam-se os dispositivos *Poka-Yoke*.

No Capítulo 5, é apresentado o desenvolvimento e estruturação da pesquisa na empresa analisada. São descritas as etapas de trabalho, com a análise do processo produtivo e identificação de perdas nele existentes. Apresentam-se, também, as ferramentas de qualidade aplicadas na busca de melhorias para o processo atual e para a qualidade final do produto edificação.

O Capítulo 6 traz conclusões e considerações finais da dissertação, com sugestões para trabalhos futuros.

Finalmente, destaca-se que esta dissertação acompanha um CD-ROM onde se encontram os anexos citados ao longo do texto.

CAPÍTULO 2

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

2.1 Considerações Iniciais

Embora não se pretenda, no âmbito desta dissertação, desenvolver análises específicas sobre o atual estágio da construção civil nacional, considerou-se relevante para a discussão sobre a aplicação das ferramentas de qualidade no setor, apresentar, de forma sintética, considerações gerais sobre a construção civil no país. O objetivo é fornecer algumas informações básicas para a compreensão do ambiente em que se insere o presente trabalho.

Tendo essa ressalva metodológica como referência, na seqüência são apresentadas as características estruturais do setor, onde se faz uma breve descrição das atividades desenvolvidas por empresas de construção civil de acordo com os subsetores em que atuam; posteriormente discute-se sobre a importância desse setor produtivo na economia nacional; ainda na seqüência, apresenta-se, sucintamente, as principais etapas construtivas de uma edificação e, finalmente, faz-se considerações acerca das práticas de controle da qualidade no setor. Ressalta-se, que no item que trata do controle da qualidade, maior ênfase é dada as considerações sobre o controle tecnológico do concreto, visto que a aplicação de uma das ferramentas de controle da qualidade nessa dissertação refere-se ao controle do fornecimento desse material.

2.2 Características Estruturais do Setor

A construção civil é um setor produtivo que se relaciona com a concepção, materialização e modificação dos ambientes físicos e estruturas fixas necessários ao abrigo, proteção e suporte de atividades econômicas, sociais e político-administrativas (Enk, 1984). Do ponto de vista econômico e tecnológico, a construção civil é classificada como um setor industrial tradicional, em que predomina a base manufatureira de produção (Silva, 1990).

De acordo com o IBGE (1998), o setor engloba as seguintes atividades:

- Preparação do terreno: *i*) demolição e preparação do terreno; *ii*) perfurações e execução de fundações destinadas à construção civil; *iii*) grandes movimentações de terra;

- Construção de edifícios e obras de engenharia civil: *i*) edificações – residenciais, industriais, comerciais e de serviços; *ii*) obras viárias – rodovias, vias férreas, pistas de aeroportos, sinalização com pintura de rodovias, etc.; *iii*) grandes estruturas de obras de arte – pontes, viadutos, elevados, passarelas, túneis; *iv*) obras de urbanização e paisagismo – vias urbanas, praças, calçadas, parques, instalações desportivas, etc.; *v*) montagem de estruturas – estruturas metálicas, andaimes, plataformas, fôrmas para concreto e escoramento, serviços de soldagem, etc.; *vi*) obras de outros tipos – obras marítimas e fluviais (portos, terminais marítimos e fluviais, marinas, eclusas e canais de navegação, obras de drenagem, aterro hidráulico, barragens, represas e diques – exclusive para energia elétrica), emissários submarinos, instalação de cabos submarinos, obras de irrigação, redes de esgoto, galerias pluviais, perfuração e construção de poços de água, obras de atirantamentos e cortinas de proteção de encostas, etc.
- Obras de infraestrutura para engenharia elétrica e de telecomunicações: *i*) construção de barragens e represas para a geração de energia elétrica; *ii*) construção de estações e redes de distribuição de energia elétrica; *iii*) construção de estações e redes de telefonia e comunicação; *iv*) construção de obras de saneamento e recuperação do meio ambiente.
- Obras de instalação: *i*) instalações elétricas – sistemas de eletricidade, colocação de cabos para instalações telefônicas, de informática e de comunicações, sistemas de alarme, pára-raios, montagem, instalação, reparação e manutenção de elevadores, escadas e esteiras rolantes; *ii*) instalações de sistemas de ar-condicionado, de ventilação e refrigeração; *iii*) instalações hidráulicas, sanitárias, de gás e de sistemas de prevenção contra incêndio; *iv*) outras obras de instalações – montagem e instalação de sistemas de iluminação e sinalização de vias públicas, portos e aeroportos, tratamentos acústicos e térmicos, instalação de equipamentos para orientação marítima, fluvial e lacustre, etc.
- Obras de acabamentos, restaurações de imóveis, manutenção e serviços auxiliares da construção, compreendendo tanto construções novas como grandes reformas: *i*) alvenaria e reboco; *ii*) impermeabilização e serviços de pintura em geral; *iii*) outras obras auxiliares – instalação de esquadrias de metal, madeira ou outro material (quando não realizada pelo construtor), colocação de revestimentos de cerâmica, azulejo, mármore, granito, pedras e outros materiais em paredes e pisos, tanto no

interior quanto no exterior de edificações, instalação de piscinas pré-fabricadas (quando não realizada pelo construtor), retirada de entulhos após o término das obras, outras obras de acabamento.

- Aluguel de equipamentos de construção e demolição com operários.

Devido a heterogeneidade e ao grande número de atividades desenvolvidas, o setor é segmentado em três subsetores distintos (Farah, 1992): *i*) edificações; *ii*) construção pesada, e; *iii*) montagem industrial. Tal sistema de classificação adota como critério básico o tipo de produto resultante da atividade da construção, conforme segue.

O subsetor edificações, escopo da presente dissertação, engloba as obras habitacionais, comerciais, institucionais e industriais, obras do tipo social (escolas, creches e hospitais), obras destinadas a atividades culturais, esportivas e de lazer, realização de partes de obras por especialização (fundações, estruturas e instalações) e ainda a execução de serviços complementares, tais como restaurações.

O subsetor construção pesada engloba vias de transporte (urbanas e industriais), obras hidráulicas de saneamento, de irrigação/drenagem, obras de arte (pontes, viadutos, túneis, etc.), obras de barragens hidrelétricas, perfuração de poços de petróleo e obras de infra-estrutura de forma geral.

Finalmente o subsetor montagem industrial responde pela montagem de instalações industriais, obras de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, obras de sistemas de telecomunicações e montagem de sistemas de exploração de recursos naturais, dentre outros.

O subsetor edificações também se diferencia internamente segundo o tipo de atividade desenvolvida pelas empresas e segundo o tipo de edificação produzida. Conforme o tipo de atividade desenvolvida, as empresas podem ser, dentre outras (Farah, 1996): *i*) responsáveis pela atividade de incorporação; *ii*) responsáveis pela construção de edificações; *iii*) especializadas na execução de determinadas etapas da obra; *iv*) responsáveis por atividades complementares. Quanto ao tipo de edifícios, pode-se destacar as seguintes categorias de obras, conforme mencionado anteriormente (Farah, 1996): obras habitacionais, obras comerciais, obras administrativas, industriais e esportivas.

O subsetor de edificações tende a concentrar empresas de pequeno e médio porte. De acordo com dados da Relação Anual de Informações (RAIS) de 1991 *apud* Barros Neto (1999), 57,92% das empresas atuantes no subsetor edificações são consideradas

microempresas, 32,96% são pequenas, 7,46% são empresas de médio porte e 1,13%, apenas, podem ser consideradas grandes.

2.3 Construção civil e a Economia

A construção civil, assim como outros setores produtivos, desempenha um papel no mecanismo de funcionamento do sistema econômico; é influenciada pelas variáveis existentes nesse sistema e seu desempenho repercute no nível de vida da população (Silva, 1986). Uma breve análise da inserção do setor na economia nacional é capaz de revelar sua importância como uma atividade econômica específica, pelo tipo de produto que gera e através de seu efeito na geração de emprego e renda no país.

A construção civil exerce um importante papel na economia nacional. O setor oferece suporte a outras atividades econômicas, tendo sido responsável, por exemplo, pelo provimento da infra-estrutura necessária aos sucessivos modelos desenvolvimentistas nacionais, através da construção de ferrovias, rodovias, aeroportos, usinas hidrelétricas, etc. O setor responde, também, pela construção de equipamentos e edificações demandados por atividades ligadas à produção e à circulação (indústrias, *shopping centers*, edifícios de escritórios, dentre outros; Farah, 1992).

Juntamente com a importância de seus produtos para a economia, deve-se destacar a importante fonte de atividade econômica que a construção civil, em si própria (atividades de produção dos três subsetores mencionados) constitui, conforme pode ser verificado pela contribuição que o setor vem dando à geração do Produto Interno Bruto Brasileiro (PIB) nos últimos anos (Quadro 1).

QUADRO 1 - Evolução da participação da construção civil e de outras atividades produtivas na formação do PIB nacional (%).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Construção civil	7,76	7,12	7,63	8,26	9,15	9,22	9,29	9,73
Extrativa mineral	0,59	0,72	0,74	0,54	0,49	0,44	0,36	0,37
Siderurgia	0,97	1,05	1,29	1,23	1,08	0,97	0,82	0,78
Automóveis, caminhões e ônibus	0,60	0,66	0,63	0,76	0,84	0,96	0,93	0,96
Outros veículos, peças e acessórios	1,15	0,97	1,08	1,20	1,23	1,14	0,99	0,94
Papel e gráfica	1,20	1,47	1,16	0,91	0,91	1,11	1,00	0,91
Petróleo e petroquímica	2,86	2,26	3,50	5,01	3,80	2,75	2,27	2,48
Farmacêuticos e perfumaria	0,73	0,55	0,80	0,97	0,85	0,77	0,75	0,82
Têxtil	1,56	1,21	1,08	1,09	0,93	0,85	0,69	0,55
Serviços industriais e utilidade pública	2,67	2,56	3,03	3,11	3,03	2,67	2,75	2,87

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de Contas Nacionais.
Fonte: Trevisan Consultores, 1999.

Ao considerar-se o macrocomplexo da construção civil (Figura 2) que engloba, além das atividades de construção, os produtores de materiais e componentes de construção (produção e comercialização), bens de capital para a construção e os diversos serviços ligados ao setor (atividades imobiliárias, serviços técnicos da construção e atividades de manutenção de imóveis), a participação do setor no PIB eleva-se substancialmente, tendo chegado em 1997 a 14,8% (Mawakdiye, 1999). Conforme pode ser observado na Figura 2, a maior parcela de participação da construção civil no PIB brasileiro provém das atividades desenvolvidas em canteiro de obras (9,8% de participação). Os bens de capital respondem por 1%, os materiais de construção por 2% e os serviços diversos pelos outros 2%.

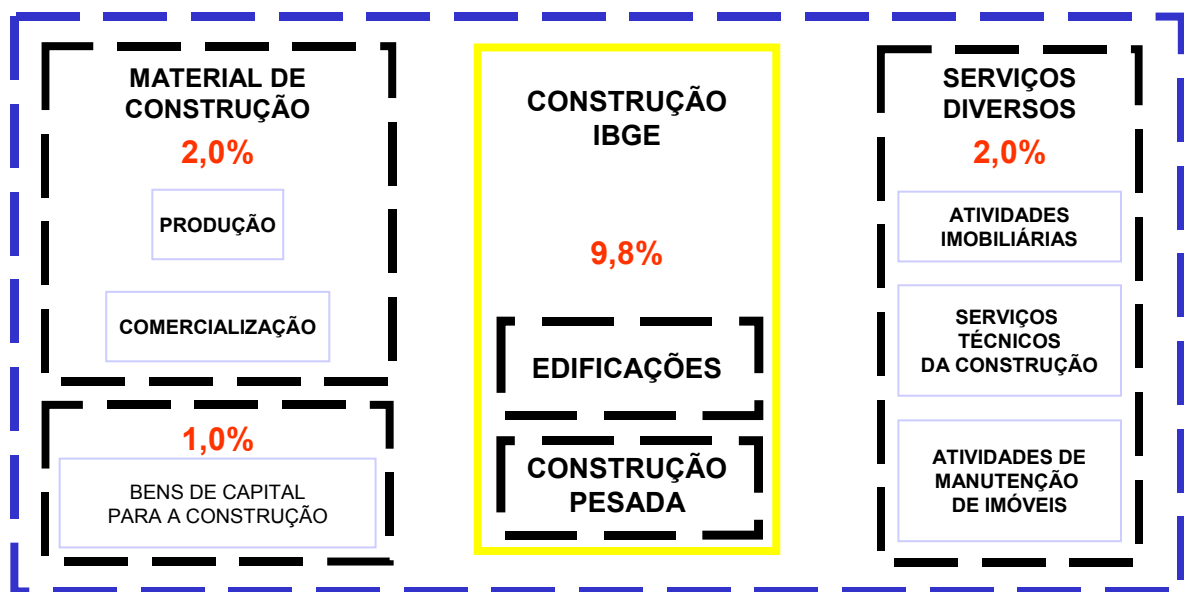


FIGURA 2 – Macrocomplexo da construção civil.

Fonte: Trevisan Consultores, 1999.

O setor ainda investe, por ano, cerca de 115 bilhões de reais, o que corresponde a sessenta por cento do investimento produtivo nacional (Mawakdiye, 1999). Durante o período 1980-1996, a construção foi responsável, em média, por 65% da formação do investimento bruto nacional (Trevisan Consultores, 1999).

O setor também é um grande absorvedor de mão-de-obra. A construção civil emprega, de maneira direta, três milhões e quinhentos mil trabalhadores (Mawakdiye, 1999). Ao considerar-se o macrocomplexo sustentado pela construção civil, o número eleva-se para treze milhões e quinhentos mil operários (Trevisan Consultores, 1999).

2.4 Etapas Construtivas de uma Edificação Habitacional

A construção civil pode ser categorizada como uma indústria com estrutura fixa de produção (*Project Shop*) ou orientada para o projeto (Ballard, 2000). Nesse tipo de estrutura

de produção, o produto permanece numa posição, ou lugar fixo, durante sua fabricação enquanto os materiais, máquinas e pessoas são levados para o lugar onde o produto está sendo fabricado (Black, 1998). Desta forma, as estações de trabalho (grupos de trabalho) devem mover-se ao longo do produto, adicionando componentes e subpartes até que o produto final (edifício, ponte, túnel, casa, auto-estrada, etc) esteja completo.

Contudo, ao contrário de outras indústrias com estrutura fixa de produção (por exemplo, a indústria aeronáutica e a naval), as instalações produtivas na fabricação de uma obra civil são desmobilizadas ao término de sua produção. Nas demais indústrias orientadas para projeto, o produto final é retirado do local de trabalho após o término de sua fabricação, possibilitando que as instalações de produção sejam fixas. Em contrapartida, na construção civil, o produto permanece no local onde foi fabricado, ao passo que as instalações de produção e o coletivo operário são desmobilizados. Essa é uma característica única da construção civil (Barros Neto, 1999).

O projeto e a produção de uma edificação habitacional representa uma enorme tarefa de integração. Cada edificação é uma unidade estruturalmente complexa em que o processo global de trabalho para sua produção caracteriza-se por uma série de etapas, que ocorrem de modo seqüencial. Inicia-se pela instalação do canteiro de obras e pela execução das fundações. Segue-se a execução da estrutura, das vedações, da cobertura, das instalações elétricas e hidráulicas, da pintura, do revestimento e das montagens finais (Farah, 1992; Souza, 1997).

A execução dessas etapas construtivas demanda a realização de atividades consideravelmente diversificadas entre si e envolve, também, a utilização de diversos materiais e componentes. Assim, existem vários processos ocorrendo ao longo da construção de uma edificação, dos quais participam trabalhadores com qualificações e atribuições distintas (Farah, 1992). Como exemplo, pode-se citar a etapa de elevação da estrutura de concreto armado, que é composta pelas atividades de montagem de fôrmas, montagem das armaduras, colocação das instalações elétricas e concretagem, executadas, respectivamente e em seqüência, por carpinteiros, armadores, eletricitistas e pedreiros (Souza, 1997). Desta forma, a construção de uma edificação exige a cooperação coletiva dos diversos agentes intervenientes do processo.

A seguir, são descritas de forma sucinta, quer no detalhamento das atividades que as compõem, quer na apresentação dos trabalhadores que nelas intervêm, as principais etapas envolvidas na construção de uma edificação. O texto aborda apenas atividades relacionadas à

execução da construção; as etapas de planejamento, de elaboração de projetos e de definição e uso de materiais de construção não são abordadas.

1. Instalação do canteiro de obras

Antes do início da produção, deve-se organizar e preparar o local onde serão desenvolvidas as atividades de construção – o canteiro de obras.

O canteiro de obras é uma instalação de produção provisória destinada a acolher atividades de natureza igualmente provisórias. Nele, os trabalhadores movimentam-se no produto que está sendo fabricado, sem fixarem-se, enquanto trabalham sobre o resultado do trabalho de equipes anteriores, nas diversas etapas construtivas (Souza, 1997). Desta maneira, as diversas partes de uma obra civil são ao mesmo tempo, produto final, objeto do trabalho subsequente e local de produção para novas equipes de trabalho.

O canteiro de obras é, também, um ambiente de trabalho exposto às condições climáticas. Essa exposição o deixa sujeito à influência de intempéries (chuva, vento, sol, etc.), causando interferências no ritmo de trabalho, alterando a produtividade, interrompendo o andamento dos serviços, dificultando a programação da produção e as condições de trabalho (Souza, 1997). Desta forma, os custos e o tempo de produção estão sujeitos a perturbações externas à produção.

A instalação do canteiro de obras envolve as atividades e trabalhadores apresentados no Quadro 2 (atividades podem variar de obra para obra).

QUADRO 2 - Atividades de instalação do canteiro de obras e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Limpeza do terreno	Serventes
Demolições	Pedreiros, serventes, operadores de tratores e de máquinas de terraplenagem
Escavações (para nivelamento do terreno)	
Terraplenagem	
Drenagem do terreno	
Montagem das instalações provisórias (tapumes de fechamento do terreno, alojamentos para os operários, depósitos de materiais, telheiros para os trabalhos de carpintaria e ferragem, escritório onde se desenvolvem as atividades administrativas da obra)	Pedreiros, carpinteiros e ajudantes
Montagem das instalações provisórias de água, luz e esgoto, utilizadas apenas no período da construção	Encanadores, eletricitas, pedreiros, carpinteiros e serventes

2. Fundações

A fundação de uma edificação é um elemento de transição entre a estrutura e o solo. Sua função é transmitir ao solo os esforços a que está submetida a estrutura (Schnaid & Consoli, 1999a).

As fundações são convencionalmente separadas em dois grupos, segundo a forma de transmissão de cargas ao solo (Schnaid & Consoli, 1999b): *a*) fundações superficiais ou diretas – cargas transmitidas ao solo por pressões na base das fundações. Podem ser do tipo: bloco, sapata, sapata corrida, viga de fundação, grelha e radier; *b*) fundações profundas – cargas transmitidas ao solo por pressões sob a base das fundações e por atrito ou adesão na superfície lateral. São separadas em três grupos: estaca, tubulão e caixão.

Na etapa de fundações, são realizadas as atividades apresentadas no Quadro 3, com seus respectivos intervenientes.

QUADRO 3 - Atividades de fundações e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Sondagem do terreno (permite definir o tipo de fundação a ser adotado)	Técnicos em sondagem (geralmente realizada por empresa especializada)
Locação topográfica	Topógrafo
Escavações (podem ser manual ou mecânica, dependendo do tipo de fundação)	Serventes, operadores de equipamentos mecânicos de escavação
Fôrmas para as fundações	Carpinteiros e ajudantes
Ferragem	Ferreiros e ajudantes
Concretagem	Pedreiros e serventes
Nivelamento dos elementos de fundação	Mestre-de-obras e pedreiros

3. Estrutura de concreto armado

Os principais elementos de uma estrutura de concreto armado são: *i*) lajes; *ii*) vigas; *iii*) pilares. Esses elementos são utilizados para transmitir os esforços devido às cargas atuantes na estrutura às fundações e, finalmente, ao solo. As lajes transmitem os esforços a que estão submetidas às vigas que, por sua vez, os transmitem aos pilares. Estes descarregam o carregamento para as fundações que, por sua vez, o transmitem no solo. A Figura 3 apresenta um esquema simplificado de uma estrutura de concreto armado.

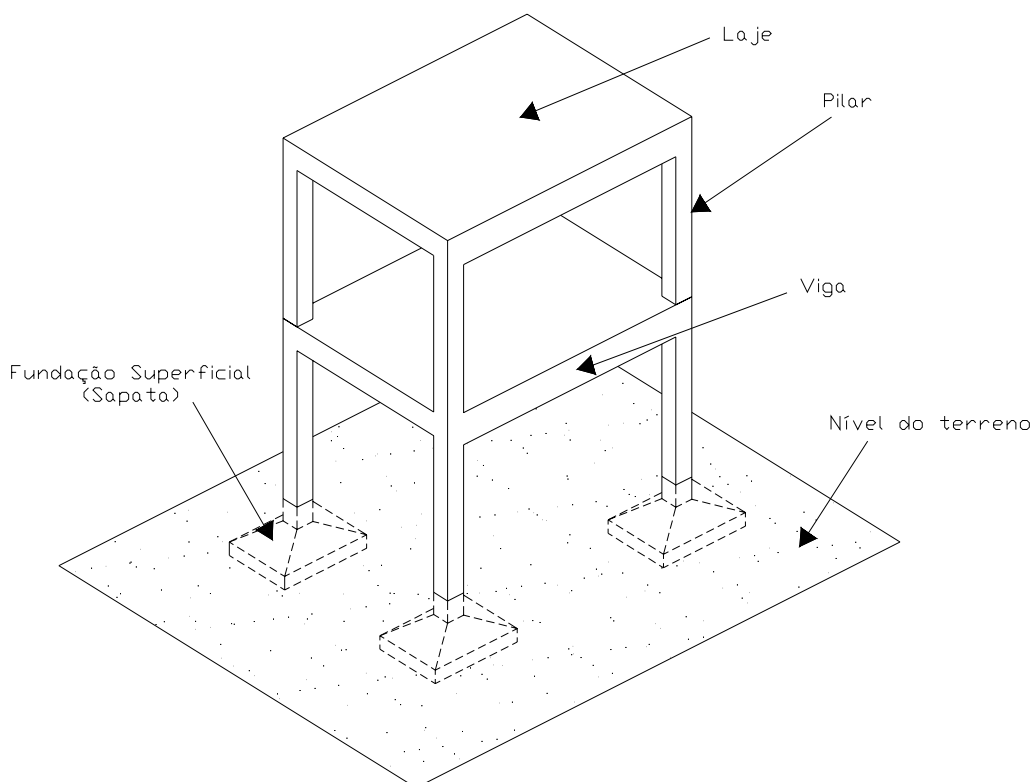


FIGURA 3 - Esquema simplificado de uma estrutura de concreto armado.

As principais atividades desenvolvidas durante a execução da estrutura são relacionadas no Quadro 4, a seguir.

QUADRO 4 - Atividades de elevação de estruturas de concreto armado e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Locação dos pilares	Carpinteiros e auxiliares
Montagem das fôrmas e escoramento	
Montagem das armaduras	Ferreiros e auxiliares
Concretagem	Pedreiros e serventes
Desforma	Carpinteiros e auxiliares

4. Vedações

As vedações têm como função separar o ambiente interno das edificações do meio externo. Têm função, também, de separar os diversos ambientes internos das edificações (Farah, 1992). Nas construções tradicionais, consiste da execução da alvenaria, onde são levantadas as paredes de blocos cerâmicos ou tijolos.

As atividades desenvolvidas nessa etapa podem ser observadas no Quadro 5.

QUADRO 5 - Atividades de execução das vedações e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Preparo da argamassa de assentamento	Pedreiros e serventes
Marcação da alvenaria	
Assentamento dos tijolos ou blocos	
Encunhamento (assentamento da última fiada de tijolos ou blocos)	
Quebra de tijolos (caso seja necessário) para assentamento em cantos ou onde serão colocadas portas e janelas	

5. Instalações elétricas e hidráulicas

As instalações elétricas e hidráulicas possibilitam aos usuários o acesso aos serviços de eletricidade (e telefonia) e de água e esgoto (também de combate a incêndio). Compreende, ainda, as instalações de ar condicionado e elevadores (Farah, 1992).

As atividades referentes às instalações elétricas podem ser observadas no Quadro 6. As atividades desenvolvidas durante às instalações hidráulicas estão apresentadas no Quadro 7. Ressalta-se que as atividades de instalação da rede telefônica, geralmente, são executadas pelos responsáveis das instalações elétricas. As atividades de instalação da rede de incêndio são executadas pelos responsáveis das instalações hidráulicas.

QUADRO 6 - Atividades de instalações elétricas e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Colocação dos eletrodutos	Eletricistas e auxiliares
Instalação dos fios e cabos elétricos	
Instalação de elementos de segurança (fusíveis, disjuntores)	
Colocação de interruptores, tomadas e luminárias	

QUADRO 7 - Atividades de instalações hidráulicas e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Instalação da rede de água fria	Encanadores e auxiliares
Instalação da rede de água quente	
Instalação da rede de esgoto	
Instalação da rede de águas pluviais	
Colocação de aparelhos e metais sanitários	

6. Esquadrias

As esquadrias referem-se aos elementos que estabelecem alguma comunicação entre ambientes de uma edificação e entre a edificação e o exterior. Esses elementos têm as funções de vedação, segurança e acesso. Pode-se citar como exemplo os seguintes elementos: janelas, portas, portões e grades.

As atividades desenvolvidas nessa etapa variam conforme os elementos a serem utilizados e o tipo de material de que é feita a esquadria (madeira, ferro, PVC). Todavia, podem-se elencar as atividades apresentadas no Quadro 8.

QUADRO 8 - Atividades de colocação de esquadrias e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Colocação da esquadria ou caixilhos	Carpinteiros e auxiliares (esquadrias de madeira);
Vedação	Pedreiros e serventes (caixilhos metálicos e de PVC);
Colocação de vidros	Vidraceiros (colocação de vidros)

7. Revestimentos

Os revestimentos referem-se aos materiais e componentes que, aplicados sobre paredes e forros, têm a finalidade de uniformizar a superfície ou dar um acabamento (com fim estético). Os revestimentos auxiliam, também, a função de vedação (Farah, 1992).

As atividades desenvolvidas nessa etapa podem ser observadas no Quadro 9. Observe-se, que cada tipo de revestimento envolve uma seqüência específica de atividades, não detalhadas neste texto.

QUADRO 9 - Atividades de revestimento de uma edificação e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Execução do chapisco	Pedreiros e serventes
Execução do emboço	
Execução do reboco	
Assentamento dos azulejos	
Colocação de pastilhas	
Colocação de outros revestimentos	

8. Pisos

Os pisos referem-se aos materiais e componentes utilizados como revestimentos das lajes de piso ou fundações. A sua colocação tem a função de regularização de superfície, função estética e contribui para a função de vedação.

As principais atividades dessa etapa construtiva são apresentadas no Quadro 10.

QUADRO 10 - Atividades de colocação de pisos e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Execução do lastro de contrapiso	Pedreiros e serventes (pisos cimentados, cerâmicos e lajotas);
Regularização da base ou lastro	
Revestimento do piso	Carpinteiros e auxiliares (pisos de madeira).
Execução de degraus, soleiras e rodapés	

9. Pintura

A pintura pode ser considerada como um tipo particular de revestimento que é aplicado em paredes, forros, portas e janelas. Também se pintam os complementos de piso (rodapés, soleiras, etc.; Farah, 1992).

As principais atividades dessa etapa construtiva são apresentadas no Quadro 11.

QUADRO 11 - Atividades de pintura e intervenientes do processo.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Quem as realiza</i>
Limpeza da superfície	Pintores e auxiliares
Umedecimento da base	
Vedação de falhas do revestimento com massa	
Pintura	

10. Acabamentos

Os acabamentos referem-se às atividades que são realizadas após terminadas as etapas principais da construção. Essas atividades podem ser de execução de pavimentação externa, colocação de fechaduras, ajardinamento, colocação de bancos, instalação de *play-ground*, identificação dos apartamentos, identificação do prédio (número e nome), colocação do mobiliário do *hall* de entrada, etc. Essas atividades são desenvolvidas pelos diferentes profissionais mencionados nos itens anteriores.

11. Limpeza

A obra é finalizada com a limpeza do canteiro de obras e entrega da obra a seus usuários. Nessa etapa são desativadas as instalações provisórias de água, esgoto e eletricidade, são desmontados os alojamentos e escritório. Nesta fase, completa-se a desmobilização das equipes de trabalho, o que ocorreu ao longo de todo o processo produtivo, à medida que se finalizavam as etapas construtivas.

2.5 Considerações sobre o Controle da Qualidade em Edificações

Tradicionalmente, o controle da qualidade na construção civil é identificado como a fiscalização de obra e a realização de ensaios de controle tecnológico de alguns materiais (geralmente concreto e aço; Souza *et alli*, 1995). O controle da qualidade limita-se a um controle de resultados baseado na experiência de quem efetua o controle, sem maiores aferições técnicas. Antes de uma atividade ou etapa construtiva ser terminada e aceita, seus produtos (por exemplo, alvenaria, revestimento, piso) passam por uma verificação por parte do encarregado, do mestre e do engenheiro da obra. Essa verificação, nas construções convencionais, resume-se, com as devidas exceções, como no caso do controle da resistência do concreto, a uma inspeção meramente visual ou baseada em algum método empírico. Essa prática estende-se ao recebimento de materiais e componentes a serem utilizados na construção (Farah, 1992).

A abordagem empírica de controle da qualidade que abrange somente pontos específicos da produção delineada acima, contrasta com a atual visão da qualidade total, que estabelece o controle da qualidade em todos os níveis de uma empresa. A partir dessa visão, deve-se controlar e garantir a qualidade de um produto ou serviço desde sua concepção até sua comercialização. Notadamente, o controle da qualidade deve ser efetuado a partir de parâmetros previamente estabelecidos e com procedimentos padrão de acompanhamento da qualidade normalizados dentro da empresa.

Desta forma, o controle da qualidade em uma edificação deve abranger todas as fases que afetam a qualidade do produto, que podem ser representadas em um ciclo de produção. Na Figura 4, apresenta-se a representação gráfica do ciclo de produção para o caso de uma empresa construtora e incorporadora (o estudo de caso apresentado no Capítulo 5 desta dissertação aborda uma destas empresas, o que justifica, aqui, o enfoque sobre esse tipo de empresa). Naquela figura, pode-se observar todas as fases de produção e uso de uma edificação, bem como os diversos agentes externos à produção que interagem no ciclo produtivo.

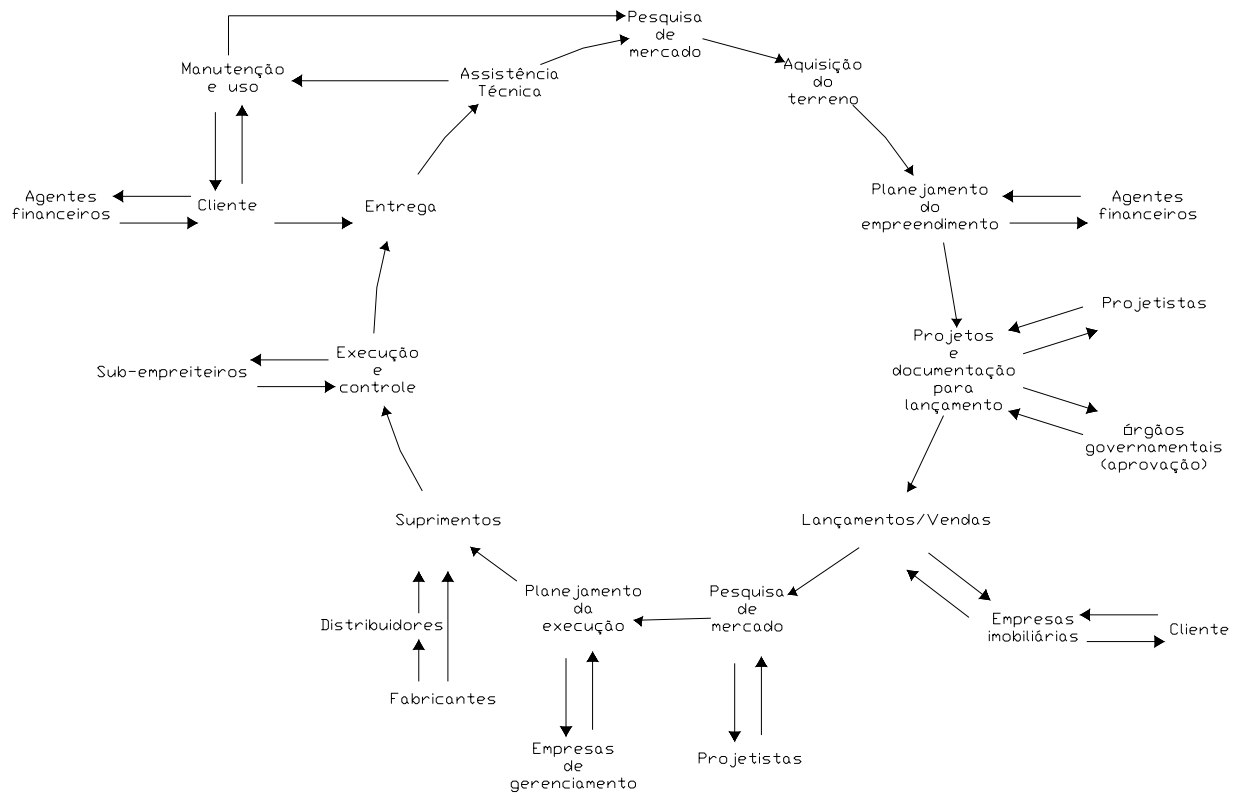


FIGURA 4 - Ciclo de produção de uma edificação.

Fonte: Pichi, 1997, p.17.

Observa-se que há uma interação entre as diversas fases do ciclo de produção de uma edificação e seus agentes. O objetivo comum é satisfazer o usuário final da edificação. De acordo com a Figura 4, o atendimento às necessidades e expectativas do cliente externo inicia-se com a sua identificação, através de uma pesquisa de mercado, e passa pelas diversas etapas subsequentes do ciclo, nas quais são agregados produtos e serviços com níveis de qualidade distintos (Souza *et alli*, 1995). O resultado deve ser um produto final que atenda às necessidades e expectativas do usuário (cliente externo) previamente identificadas.

Desta forma, o controle de qualidade em uma edificação deve percorrer todo o ciclo de produção, incluindo-se os agentes externos e controlar as atividades desenvolvidas em todas as fases desse ciclo (Souza *et alli*, 1995). Em cada uma dessas fases, o controle de qualidade deve ter um objetivo específico, de forma a obter-se um resultado final que atenda às especificações técnicas e aos usuários (Helene & Terzian, 1992). O Quadro 12 indica os possíveis objetivos a serem alcançados para o controle e garantia da qualidade na construção de uma edificação, em algumas de suas fases produtivas.

QUADRO 12 - Objetivos do controle da qualidade nas etapas de produção.

Fases	Objetivos do Controle de Qualidade
Planejamento	Atender às normas gerais de desempenho, código de obras, regulamentos e ser um instrumento facilitador da execução da obra.
Projeto	Ser suficientemente detalhado e especificado para que a execução da obra se processe adequadamente; Atender às normas específicas de desempenho e documentos prescritos.
Materiais	Serem entregues no prazo exigido pelo cronograma da obra; Apresentarem características que satisfaçam às especificações de projeto; Permitir o armazenamento, manuseio e a aplicação de modo adequado, para que apresentem desempenho que atenda às necessidades do usuário.
Execução	Atender às especificações de projeto.
Uso	Assegurar a adequada utilização e manutenção do produto.

Fonte: Helene & Terzian, 1992, p.34.

Na seqüência, são abordados dois tópicos relacionados ao controle de qualidade em edificações de particular interesse nesta dissertação; são eles: (i) a lógica do cliente-fornecedor interno como sistemática para garantia da qualidade e (ii) aspectos relacionados ao controle tecnológico da qualidade de estruturas de concreto. O tópico em (i) remete à discussão sobre controle autônomo de qualidade, um dos temas principais desta dissertação; o tópico em (ii) serve como material de apoio à compreensão da aplicação das cartas de controle de processo, uma ferramenta de controle da qualidade detalhada no Capítulo 3, utilizada no estudo de caso.

(i) Relação Cliente-Fornecedor Interno

O conceito de qualidade na construção de uma edificação deve ser ampliado para considerar a satisfação dos clientes internos, nas várias relações existentes ao longo do ciclo de produção de uma construção. Assim, considerando-se os elementos da Figura 4, as obras de uma empresa, por exemplo, são clientes internos dos projetistas, do departamento de suprimentos e dos fabricantes e distribuidores de materiais e componentes. Os projetos e materiais entregues, por sua vez, devem satisfazer às necessidades da obra. Os projetos devem ser suficientemente detalhados e especificados, de forma que a execução das obras se processe adequadamente. Do mesmo modo, os materiais devem ser entregues no prazo exigido pelo cronograma de obras e apresentar características que atendam às especificações

de projeto e que possibilitem o armazenamento, o manuseio e a aplicação de forma satisfatória.

O conceito de qualidade focado na satisfação do cliente interno, também pode ser aplicado internamente a uma obra, nas diversas etapas construtivas (Figura 5), durante sua fase de execução. Deste modo, as várias equipes de trabalho que participam do processo de construção têm como cliente a equipe que vem a jusante no processo. A equipe responsável pela execução da estrutura tem como cliente a equipe responsável pela execução da alvenaria e assim por diante. Da mesma forma, em uma etapa específica como, por exemplo, a execução da estrutura, a equipe responsável pelo dimensionamento e execução das fôrmas tem como cliente interno as equipes de colocação de armaduras e de concretagem. A Figura 5 exemplifica a sistemática de controle discutida acima. Fica claro que a partir desta sistemática a qualidade do que está sendo produzido será adequada quando todos os clientes internos estiverem satisfeitos e oferecerem um produto que satisfaça ao cliente externo

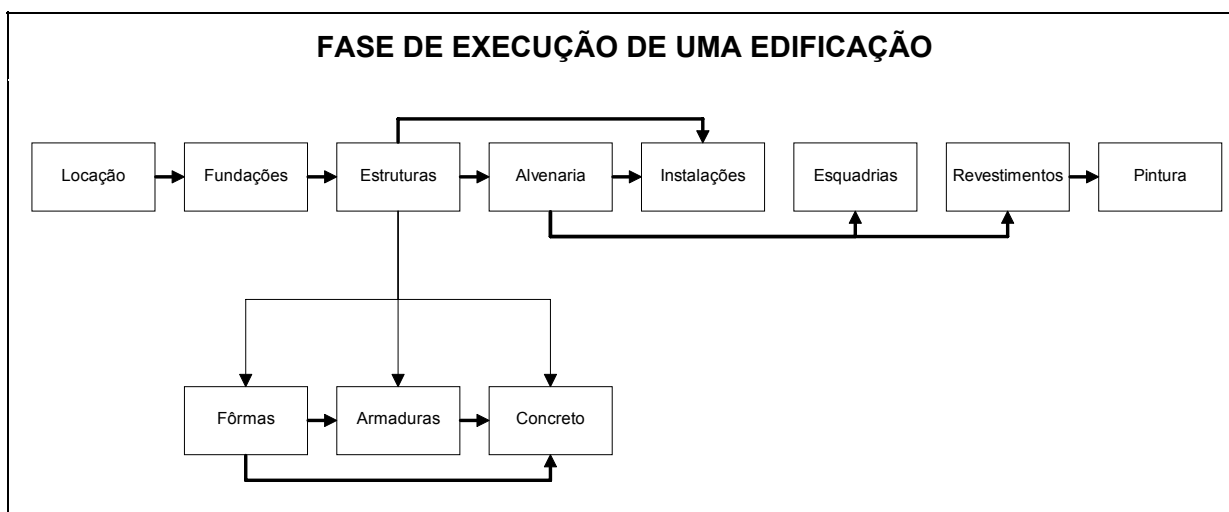


FIGURA 5 – Esquema simplificado das etapas construtivas e seus clientes internos na execução de uma edificação.

O controle de qualidade organizado a partir de uma lógica cliente/fornecedor pode incluir dois tipos de controle de qualidade (Meseguer, 1991): *i*) controle de recebimento (controle de produtos), e; *ii*) controle de produção (controle de processos). O controle de recebimento tem a função de comprovar a conformidade do produto entregue com normas técnicas ou especificações. É exercido por quem recebe o produto. O controle de produção, por sua vez, refere-se ao controle dos fatores do processo que afetam a qualidade final do produto sendo exercido pelo produtor. O Quadro 13 apresenta as características dessa sistemática de controle. Tal sistemática faz com que os intervenientes do processo de produção ora exerçam o controle de produção, ora exerçam o controle de recebimento visto

que todos são ao mesmo tempo consumidores e produtores, fornecedores e clientes (Souza *et alli*, 1995). Assim, cada etapa de produção deve atender às exigências da etapa subsequente através do controle de produção, ao passo que deve comprovar se suas exigências foram atendidas pela etapa anterior, através do controle de recebimento.

QUADRO 13 – Características dos mecanismos de controle da qualidade.

	Controle de Produção	Controle de Recebimento
O que é?	Controle sobre os fatores que intervêm na qualidade	Comprovação da conformidade
Por que é feito?	Assegurar que se atinja a qualidade especificada ao menor custo possível	Averiguar que se alcançou, como mínimo, a qualidade estipulada
Quem o faz?	Quem produz	Quem recebe
Como é feito?	Controle contínuo	Controle intermitente
Quais as variáveis de controle?	As que intervêm no processo produtivo	As representativas da qualidade especificada
Onde atua?	Sobre o processo	Sobre o produto

Fonte: Helene & Terzian, 1992, p.36

No mesmo sentido, essa lógica de controle de recebimento e de produção pode ser implementada dentro de cada etapa do ciclo de produção de uma edificação. Na fase de execução (construção), por exemplo, cada equipe de trabalho deve atender as exigências das equipes seguintes, ao passo que as suas necessidades devem ser atendidas pelas equipes predecessoras. Assim, cada equipe deve lançar mão de um mecanismo duplo de controle da qualidade: controle de produção para as equipes seguintes e controle de recebimento das equipes anteriores.

(ii) Considerações sobre o Controle da Qualidade do Concreto

- **Importância da Resistência à Compressão e Definição da Qualidade a ser Atendida**

Ao projetar e executar uma estrutura de concreto pretende-se que a mesma apresente um nível de segurança compatível com a sua importância dentro do produto edificação. Essa importância pode ser definida em função das conseqüências decorrentes de sua ruína (Correa, 1980).

Para monitorar o atendimento às exigências impostas a uma estrutura de concreto, entre elas a segurança, parâmetros de qualidade são estabelecidos em especificações e projetos. Esses parâmetros devem ser controlados durante e após a construção de uma edificação. Dentre os parâmetros existentes, o mais importante e facilmente quantificável, é a

resistência à compressão do concreto (Correa, 1980). Essa é a propriedade do concreto que melhor o qualifica, sendo capaz de indicar com precisão qualquer variação de qualidade (Helene, 1986).

A resistência à compressão é utilizada como parâmetro principal de dosagem do concreto, sendo adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura. Portanto, está diretamente relacionada a segurança estrutural. Logo, uma obra deve ser construída com um concreto de resistência igual ou superior àquele valor adotado no projeto (Helene & Terzian, 1992). Essa importância da resistência à compressão também é reconhecida no texto da NBR 6118 (ABNT, 1978), quando prevê a aceitação automática da estrutura, desde que tenham sido mantidas as características geométricas dos elementos estruturais (por exemplo, prumo dos pilares, nivelamento de vigas e lajes, seções transversais, etc.), com base no atendimento ou não dessa propriedade do concreto conforme especificado em projeto.

Deste modo, o controle da resistência à compressão do concreto das estruturas de edificações e obras em geral, deve ser parte integrante da produção de uma edificação, sendo indispensável a sua permanente comprovação (Helene & Terzian, 1992). Avaliar se o que está sendo produzido corresponde ao que foi adotado previamente por ocasião do dimensionamento da estrutura, deve fazer parte da própria concepção do processo produtivo como um todo.

Apesar de utilizado como parâmetro para julgar a qualidade do concreto, nem sempre a resistência à compressão deve ser o parâmetro principal para esse fim. Quando a preocupação com a durabilidade de uma estrutura for maior que com sua resistência (por exemplo, obras de reservatórios e obras de saneamento), o parâmetro de qualidade a ser utilizado pode ser outro, como por exemplo, a relação água/cimento. Essa relação é responsável direta pela permeabilidade e, conseqüente, risco de ataque ao concreto por agentes agressivos externos. Nessas situações, o controle da umidade dos agregados e do adensamento da massa de concreto na estrutura, deve prevalecer sobre problemas estruturais resultantes da resistência à compressão do concreto (Helene, 1980).

Outra propriedade importante para o controle da qualidade do concreto, sendo utilizada como parâmetro para aceitação do concreto em seu estado fresco é denominada trabalhabilidade. É definida como a propriedade do concreto recém-misturado que determina a facilidade e a homogeneidade com a qual o concreto pode ser misturado, lançado, adensado e acabado (ACI 116R-90 *apud* Neville, 1997). Essa propriedade é verificada através de um

ensaio específico, denominado abatimento do tronco de cone, de acordo com a NBR 7223 (ABNT, 1992).

Todavia, para os fins do presente estudo, adota-se o parâmetro de controle de qualidade recomendado por Norma (ABNT, 1978) para edificações convencionais de concreto armado, que se refere ao controle da resistência à compressão do concreto.

- **Definição de Resistência Característica do Concreto**

A resistência de um certo volume de concreto não possui um único valor; ela pode ser descrita por uma população com um número infinito de valores (ABCP, 1984). Experimentalmente, sabe-se que a distribuição Normal é um modelo matemático que pode representar de maneira satisfatória a distribuição dessa população, que pode ser descrita completamente por seus parâmetros de média e desvio-padrão (Neville, 1997).

Para simplificar a descrição da distribuição de resistência e eliminar o inconveniente de trabalhar com dois valores distintos, reduz-se os dois parâmetros da distribuição Normal a um único valor característico de resistência (Neville, 1997; Helene, 1980). Esse valor característico é denominado resistência à compressão característica do concreto, designado por f_{ck} . O f_{ck} corresponde ao 5º percentil da distribuição do valor de resistência à compressão; ver Figura 6. O f_{ck} é utilizado tanto como especificação na elaboração do projeto estrutural, como parâmetro de dosagem na produção do concreto. As variáveis apresentadas na Figura 6 são obtidas através das expressões abaixo:

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cm} - f_{ci})^2}{n-1}} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

$$V_c = \frac{S_c}{f_{cm}} \times 100 \text{ (\%)} \quad (3)$$

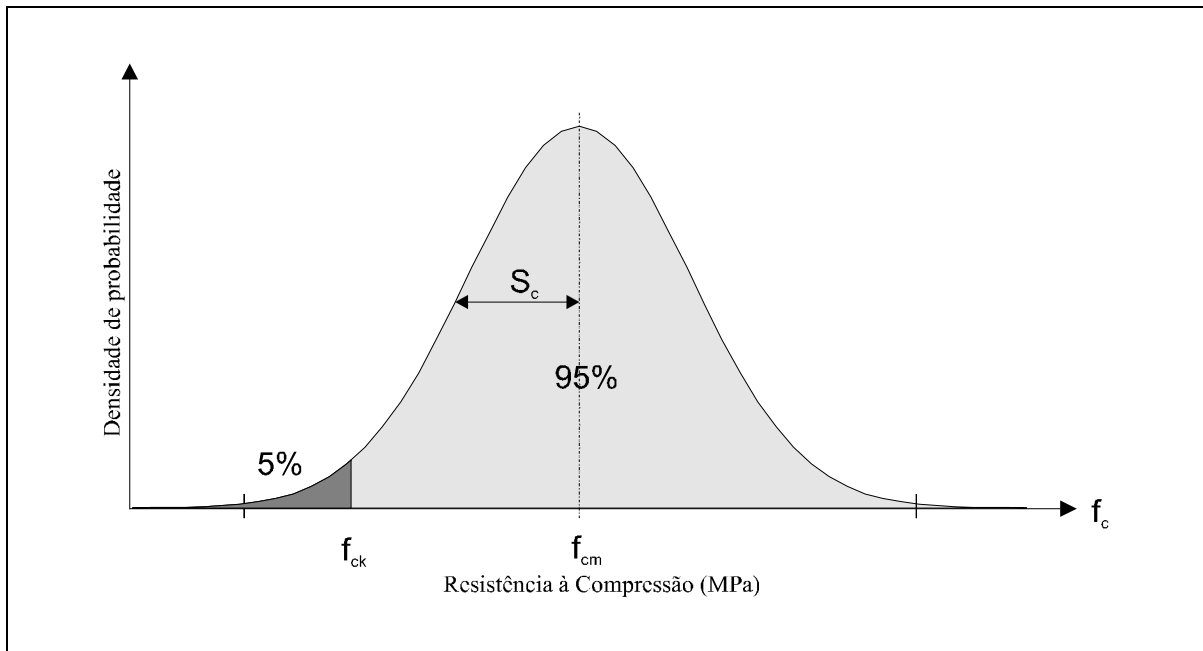


FIGURA 6 - Curva Normal de distribuição da resistência à compressão do concreto.

Fonte: Helene, 1986, p. 22

As definições apresentadas a seguir são úteis à compreensão do significado de resistência característica do concreto (Helene, 1980):

- f_{ck} – resistência característica do concreto à compressão – é o valor de referência que o projetista adota como base de cálculo para o dimensionamento dos elementos estruturais. Esse é um valor que deve ser superado em pelo menos 95% durante a produção do concreto. Ou seja, é um valor que deve possuir, no máximo, 5% de probabilidade de não ser alcançado durante a produção do concreto. Chama-se também resistência característica especificada ou de projeto.
- $f_{c,real}$ – resistência real do concreto à compressão – é um valor impossível de ser conhecido, pois, para tanto, faz-se necessário ensaiar todo o concreto da região considerada (pilares, lajes ou vigas). Dessa forma, para estimar a resistência do concreto utiliza-se a resistência característica estimada do concreto, definida a seguir.
- $f_{ck,est}$ – resistência característica estimada do concreto à compressão – é o valor obtido ao ensaiar corpos-de-prova cilíndricos de um concreto que se supõe homogêneo dentro da estrutura. A esse valor aplica-se uma fórmula matemática, denominada estimador. O resultado obtido representa uma estimativa do $f_{c,real}$, feita a partir de uma amostragem do concreto da estrutura.

No Quadro 14 apresentam-se outros termos e notações utilizados no controle do concreto.

QUADRO 14 - Significado de termos utilizados no controle do concreto.

Termo ou Notação	Significado
f_{cm}	Resistência média do concreto obtida a j dias de idade, em MPa.
S_c	Desvio-padrão do processo de produção e ensaio do concreto obtido de uma ou mais amostras, a j dias de idade, em MPa.
V_c	Coefficiente de variação do processo de produção e ensaio do concreto obtido de uma ou mais amostras, a j dias de idade, em %.
f_{ci}	Resistência à compressão individual de cada um dos n exemplares de uma amostra, a j dias de idade, em MPa.
Lote	Quantidade de concreto que tendo sido produzida em condições sensivelmente iguais (mesma população) é submetido a julgamento de uma só vez, podendo ser aceito ou rejeitado.
Unidade de produto	Corresponde a cada produção, qualquer que seja o volume da betoneira.
Amostra	Conjunto de exemplares que se admite como representativos de um lote.
Tamanho da amostra	Corresponde ao número de exemplares que constituem uma amostra.
Exemplar	Parte individualizada de um lote que se toma para compor uma amostra representativa do mesmo. Deve corresponder a uma unidade uniforme de concreto (uma betonada, um caminhão-betoneira, etc). Em geral é composto de dois corpos-de-prova para ruptura em uma mesma idade.
Resistência potencial	É teoricamente, a máxima resistência possível de ser alcançada pelo concreto, a partir da adoção de procedimentos normalizados de moldagem e ruptura dos corpos-de-prova.

Fonte: Helene, 1986, p. 23.

- **Obtenção da Resistência à Compressão**

A resistência à compressão do concreto no Brasil é obtida através da tensão de ruptura à compressão axial de um corpo-de-prova (CP) cilíndrico, sendo que, para edificações, as dimensões desse CP podem ser 100×200 mm ou 150×300 mm de diâmetro e altura, respectivamente.

Para obter-se o valor da resistência à compressão, o CP deve ser mantido em cura úmida até a idade de ensaio, devendo ser rompido saturado. O resultado representa a resistência à compressão potencial do concreto que está sendo produzido ou entregue em obra e normalmente é expresso em megapascais (MPa).

Essas recomendações e procedimentos procuram oferecer as melhores condições para que o concreto dos CP desenvolva sua máxima resistência potencial (Helene, 1980). O valor da resistência potencial do concreto obtido na operação de ensaio corresponde ao valor de referência para o dimensionamento da estrutura e, conseqüentemente, para a fixação de sua segurança. Esse valor deve ser único e perfeitamente definido a fim de possibilitar a correta comunicação entre etapas de projeto e execução de uma obra (Neville, 1997).

Desde que seja admitido que os corpos-de-prova referentes a um mesmo exemplar são curados juntos, nas mesmas condições, não há possibilidade de se obter um resultado mais elevado do que o fornecido por um ensaio correto (Helene, 1980). Portanto, ao se analisar os resultados de dois CP de uma mesma produção que deve possuir uma só resistência, deve-se desprezar aquele CP que apresentar menor resistência à compressão, pois certamente uma das operações de ensaio foi a causadora dessa diminuição.

O valor mais alto é menos afetado negativamente pelas operações de ensaio e representa mais apropriadamente a resistência potencial do concreto, que é o que se procura obter. Ou seja, esse valor é mais elevado não porque as operações de ensaio tenham elevado o seu valor real, mas sim porque essa é a maior resistência à compressão que o concreto ensaiado pode apresentar à idade de ensaio. Essas condições são consideradas por Norma (ABNT, 1996) que estabelece que cada exemplar é constituído por dois CP da mesma produção e moldado no mesmo ato e deve-se tomar, como resistência desse exemplar, o maior dos dois valores obtidos no ensaio.

CAPÍTULO 3

3 INTRODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

3.1 Considerações Iniciais

O controle estatístico da qualidade refere-se a utilização de ferramentas estatísticas para a melhoria da qualidade de processos, produtos ou serviços produzidos ou prestados por empresas. Uma das técnicas utilizadas para esse fim, é o controle estatístico do processo – CEP. O CEP consiste em uma técnica estatística de monitoração de processos de produção, que tem como objetivo principal a redução sistemática da variabilidade de características de qualidade (CQ) de interesse. Tais características determinam a adequação ao uso de um produto por seus consumidores, devendo, portanto, ter sua variabilidade minimizada (Ribeiro & Caten, 2000). Ao reduzir a variabilidade existente em processos de produção, o CEP contribui para a melhoria da qualidade intrínseca dos produtos, da produtividade e da confiabilidade do sistema de produção, possibilitando a redução do custo de fabricação. Logo, os consumidores recebem produtos, ou serviços, de melhor qualidade com menores preços (Brewer, 1996).

Neste capítulo são apresentados os fundamentos do controle estatístico do processo e seus componentes. O restante do capítulo está assim subdividido. O item 3.2 apresenta os fundamentos do CEP, trazendo uma visão geral sobre a utilização do CEP e seus elementos. O item 3.5 traz uma discussão sobre a função de perda quadrática de Taguchi.

3.2 Princípios do Controle Estatístico do Processo

Um processo produtivo é composto por todos aqueles elementos que trabalham em conjunto para um propósito comum: produção de bens e/ou serviços (Brewer, 1996). Se um produto deve atender as necessidades de seus consumidores, esse produto deve ser produzido por um processo estável, que apresente resultados constantes ao longo do tempo se operado sob condições pré-definidas (Montgomery, 1997). O processo responsável pela fabricação de um produto deve ser capaz de operar com pouca variabilidade. O controle estatístico do processo é uma ferramenta eficaz para alcançar a estabilidade e aumentar a capacidade de processos produtivos, através da redução sistemática da variabilidade presente nesses processos (Montgomery, 1997).

A implementação do CEP deve levar em consideração alguns princípios básicos, quais sejam (Brewer, 1996; Ishikawa, 1990):

- Os processos, produtos ou serviços devem ser avaliados quanto a capacidade de atender às necessidades e exigências dos consumidores;
- As informações sobre as CQ devem ser obtidas tão próximas da fonte quanto possível;
- Os resultados de qualquer tarefa a ser realizada apresentam variação e essa variação segue um determinado padrão;
- A monitoração e possíveis ajustes devem ser realizados por pessoas que conheçam detalhadamente os aspectos produtivos, geralmente o operador ou o responsável pelo ajuste das máquinas;
- As informações colhidas devem ser analisadas através do uso de ferramentas estatísticas, tais como cartas de controle, diagramas de Pareto, diagramas de causa-e-efeito e histogramas;
- Ações devem ser tomadas antes que produtos de má qualidade sejam produzidos.

A utilização do CEP parte do princípio que a variabilidade está sempre presente em processos de produção (Grant & Leavenworth, 1996; Ishikawa, 1990). O número de fatores que causam dispersão nos resultados em qualquer processo industrial é teoricamente infinito. Como somente é possível controlar alguns desses fatores, inevitavelmente haverá variação nas características dos produtos em processos de fabricação (Ishikawa, 1990). Desta forma, ao comparar unidades fabricadas pelo mesmo processo, elas não serão exatamente idênticas. Se, a diferença entre unidades produzidas for grande, corre-se o risco de produzir itens defeituosos (Ribeiro & Caten, 2000).

A melhoria em processos produtivos advém da identificação das causas que contribuem para sua variabilidade e encontrar meios para eliminá-las (Brewer, 1996). Para tanto, é importante investigar as fontes causadoras da variabilidade. O primeiro passo consiste em distinguir os tipos de causas que originam a variabilidade em processos de fabricação (Ribeiro & Caten, 2000).

Existem dois tipos de causas que resultam em variabilidade nos processos e em seus resultados (Ishikawa, 1990). O primeiro tipo de causa, designado por causas comuns, congrega fontes de variação que atuam aleatoriamente sobre os processos produtivos, gerando uma variabilidade inerente aos mesmos. Essas causas estão presentes em processos de

produção, independentemente de quão bem eles sejam projetados e operados (Montgomery, 1997).

A variabilidade devida à presença de causas comuns configura o padrão natural de processos e, geralmente, apresentará uma distribuição fixa de probabilidade, comumente a distribuição Normal (Ishikawa, 1990). Processos que atuam sob a ação de causas comuns são ditos sob controle estatístico, pois apresentam sempre a mesma variabilidade ao longo do tempo.

A eliminação de causas comuns somente pode ser executada por uma ação global sobre o sistema, através de investimentos em equipamentos, troca de matérias-primas ou treinamento de operadores. Tais ações não se justificam economicamente na maioria dos processos (Ribeiro & Caten, 2000).

O segundo tipo de causa, as causas especiais, produz anormalidades no processo, resultando em grandes variações. A variação devido a causas especiais, não segue um padrão aleatório, o que resulta em uma dispersão acentuada nas características de interesse. Processos sob a ação de causas especiais não apresentam uma distribuição de probabilidade conhecida *a priori* e são ditos fora de controle, pois não se pode prever o comportamento dos mesmos ao longo do tempo.

A presença de causas especiais reduz significativamente o desempenho de processos produtivos. Por essa razão, devem ser identificadas e eliminadas, o que pode ser feito por ações locais no sistema, tomadas pelos próprios operadores (Ribeiro & Caten, 2000). Quando um processo apresenta causas especiais, é indicativo que materiais fora de padrão estão sendo utilizados na produção, ferramentas ou máquinas estão gastas, instrumentos de medição estão descalibrados, etc. (Ishikawa, 1990).

A Tabela 1 apresenta um resumo do que foi exposto sobre as causas que atuam em processos produtivos.

TABELA 1 - Resumo das causas comuns e especiais de variação.

<i>Tipo de causa</i>	<i>Tipo de variação</i>	<i>Processo</i>	<i>Ação requerida</i>
Comum	Inerente, natural, previsível	Em controle estatístico (estável)	Ação sobre o sistema
Especial	Errática, alteração brusca, fuga gradual.	Fora de controle (instável)	Ação localizada

Fonte: Ribeiro & Caten, 2000, p. 11.

Para distinguir-se entre causas comuns e especiais atuantes sobre um processo produtivo, utilizam-se os chamados limites de controle do processo (LCS – limite de controle superior e LCI – limite de controle inferior), através de cartas de controle (Ishikawa, 1990). Os limites de controle, discutidos em detalhes na próxima seção, estabelecem os limites naturais de variabilidade do processo. Pode-se exemplificar o uso desses limites para distinguir fontes de variabilidade atuando sobre um processo através das cartas de controle, nas Figuras 7 e 8.

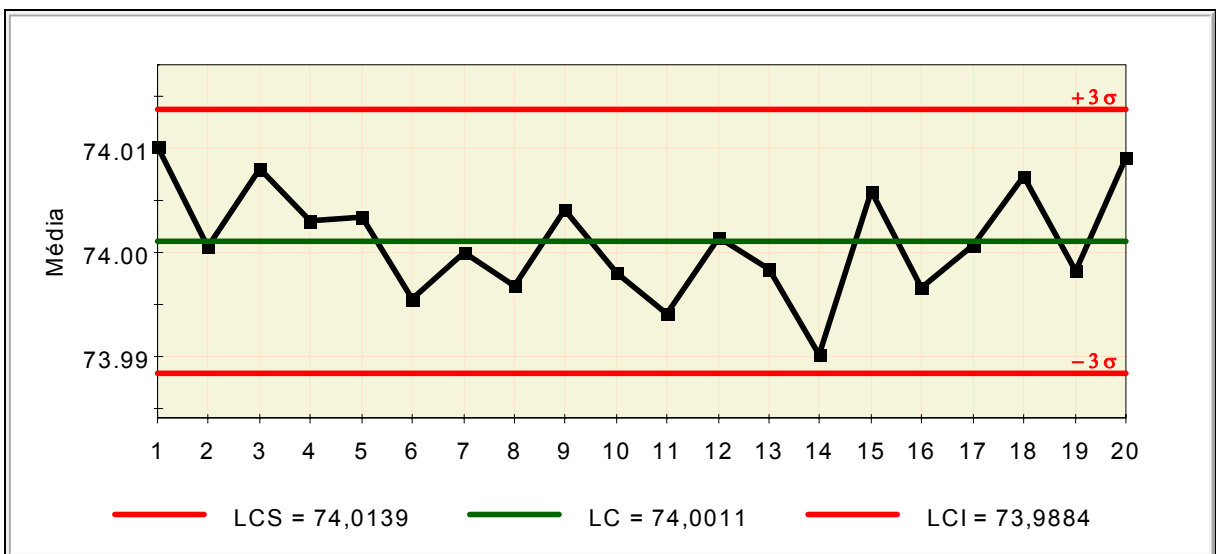


FIGURA 7 - Carta de controle para processo sem causas especiais (sob controle).

A linha preta nas Figuras 7 e 8 é obtida ligando-se pontos que representam medições de uma CQ, obtidas de um processo; a linha verde define a média histórica da CQ e as linhas vermelhas estabelecem os limites esperados de variação nas medições da CQ. A Figura 7 representa um processo sobre o qual somente incidem causas comuns de variação. Observe que nenhum dos pontos plotados posiciona-se além dos limites de controle. Os pontos na carta apresentam-se aleatoriamente distribuídos entre os limites de controle, o que também evidencia a ausência de causas especiais de variação atuando sobre o processo. A Figura 8 representa um processo sobre o qual incidem causas especiais de variação. Tal cenário é evidenciado pela presença de pontos plotados além dos limites de controle e pelo padrão não-aleatório de distribuição dos pontos na carta (esses pontos estão marcados em vermelho).

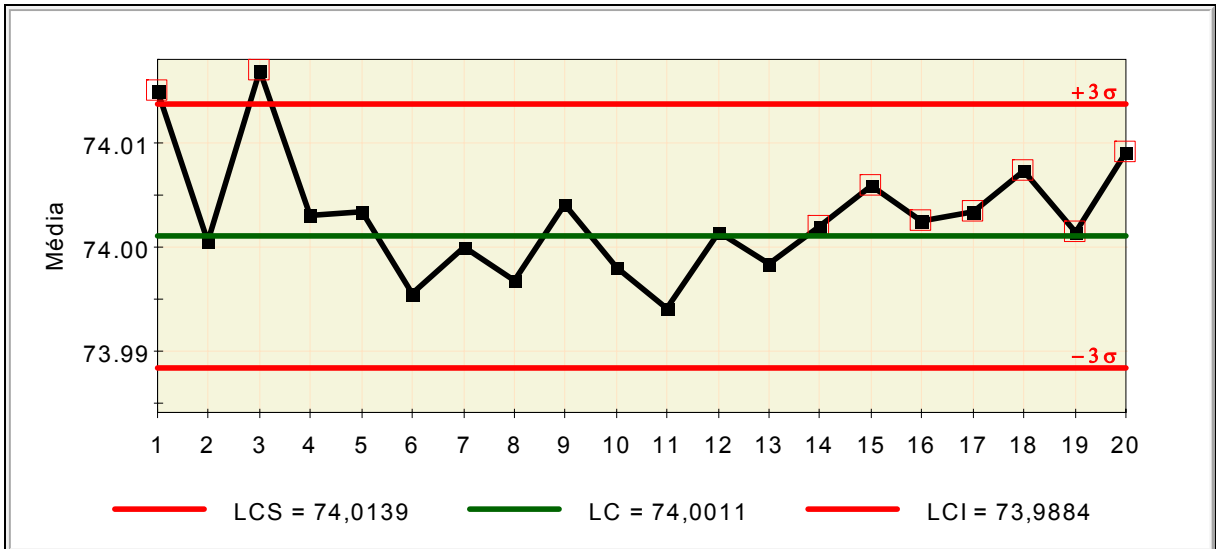


FIGURA 8 - Carta de controle para processo com causas especiais (fora de controle).

Na sequência são apresentadas, com maior detalhamento, as cartas de controle.

3.3 Cartas de Controle

A principal ferramenta utilizada pelo CEP é a carta de controle (Montgomery, 1997). O sucesso na implementação do CEP em uma empresa dependerá da correta utilização e entendimento das cartas de controle (Hradesky, 1988). Uma carta de controle pode ser definida como uma ferramenta estatística utilizada para fins de controle, que consiste em gráficos com limites de controles estatisticamente calculados, que fornece uma descrição detalhada do comportamento de um processo, identificando sua variabilidade e possibilitando seu controle ao longo do tempo (Ishikawa, 1990). O objetivo é distinguir a presença de causas comuns e causas especiais que atuam em processos produtivos. As Figuras 7 e 8 trazem exemplos de cartas de controle.

Para construir uma carta de controle deve-se, inicialmente, coletar amostras do(s) objeto(s) de monitoração no processo analisado. As amostras podem ser unitárias (de tamanho 1) ou de tamanho maior que 1. Essas amostras devem ser coletadas periodicamente durante o processo de produção, sendo que a frequência de coleta de dados é determinada a partir de considerações técnicas e econômicas, estabelecidas durante a fase de planejamento da produção.

A partir dessas amostras, obtêm-se os dados referentes à(s) característica(s) de qualidade de interesse. Os dados coletados são, então, divididos em subgrupos (amostras de tamanho unitário já são um subgrupo) de tal forma que os lotes de matérias-primas, as máquinas, os operadores e demais elementos da produção estejam sob as mesmas condições

de operação. Assim, a variabilidade existente dentro de um subgrupo pode ser considerada, aproximadamente, igual à variação devida a causas aleatórias (Kume, 1993). Ou seja, os dados coletados não estão sujeitos a fontes específicas de variação, mas sim àquelas que são naturais ao processo.

Cartas de controle são classificadas de acordo com o tipo de CQ por elas monitoradas, em (Ishikawa, 1990): *i*) cartas de controle para variáveis; *ii*) cartas de controle para atributos.

As cartas de controle para variáveis são utilizadas quando as CQ a serem monitoradas em um processo são mensuráveis e podem ser expressas em uma escala contínua de valores. Exemplos incluem comprimento, peso, resistência, densidade, pureza, tempo ou volume de produção. Cartas de controle para atributos, por sua vez, são utilizadas quando as características a serem controladas são comparadas com um certo padrão e, por isso, podem assumir valores discretos. Exemplos incluem classificação de itens como conforme ou não conforme ou a contagem do número de defeitos em uma unidade de produto (Ishikawa, 1990; Ribeiro & Caten, 2000).

As principais cartas de controle para variáveis são as cartas para a média (\bar{x}), para a amplitude (R), para a mediana (\tilde{x}) e para valores individuais (x).

A carta \bar{x} é utilizada principalmente para observar as mudanças na média de uma CQ. A carta \tilde{x} monitora mudanças na mediana de uma CQ. A carta R é utilizada para observar mudanças na amplitude ou dispersão de uma CQ. A carta x monitora valores individuais.

As cartas \bar{x} e R , ou as cartas \tilde{x} e R , são geralmente utilizadas em conjunto. A utilização conjunta das cartas \bar{x} - R , permite, respectivamente, monitorar a localização (através da média amostral) e a variabilidade (através da amplitude) do processo em estudo. De todos os tipos de cartas de controle, essas duas fornecem as mais importantes informações técnicas, o que as fazem ser extremamente úteis em análises técnicas e estudos de capacidade de processos (Ishikawa, 1990).

Uma carta de controle em que medidas individuais (x) são utilizadas, são denominadas cartas de controle para valores individuais, ou cartas de controle x . Esse tipo de carta de controle geralmente é utilizado em conjunto com cartas para amplitudes móveis. Cartas de controle para valores individuais são as cartas de interesse na presente dissertação.

Existem diversas situações onde o tamanho das amostras utilizadas para monitorar o processo é $n = 1$ (onde n designa tamanho das amostras); por exemplo (Montgomery, 1997; Ribeiro & Caten, 2000): *i*) processos onde a inspeção e análise de dados são automatizadas e todas as unidades coletadas são analisadas; *ii*) processos onde a taxa de produção é muito baixa, o que dificulta a formação de tamanho de amostras $n > 1$ para análise; *iii*) em processos onde medições de uma mesma característica de qualidade, utilizando amostras distintas, são diferentes devido, somente, a erros laboratoriais ou a análise dos dados, como em vários processos químicos; *iv*) controle de resultados de testes que sejam caros para realizar, como por exemplo, testes destrutivos ou que exijam a parada da produção.

A utilização de cartas de controle para valores individuais apresenta algumas vantagens, tais como (Ishikawa, 1990):

- a) Apresenta-se graficamente como o processo varia com o tempo, o que tem um bom efeito emocional para os operadores do processo, pois permite averiguar o resultado de seu trabalho, à medida que ele ocorre;
- b) Cada ponto é marcado assim que é coletado, o que permite que o estado do processo seja avaliado rapidamente e ações possam ser tomadas em menor tempo;
- c) Quando existe uma grande flutuação ou periodicidade em um processo ou quando a média do processo sofre uma mudança abrupta, esse tipo de carta mostra, claramente, como a mudança ocorre.

Cartas de controle para atributos, por sua vez, podem ser classificadas em dois tipos principais, descritos abaixo (Ishikawa, 1990; Ribeiro & Caten, 2000):

1. Cartas para fração de não-conformes (p) e cartas para número de não-conformes (np)

Cartas p são utilizadas quando a característica a ser controlada em um processo é medida em termos de uma fração de produtos defeituosos em um grupo, como o número de itens defeituosos em uma amostra de um certo tamanho (por exemplo, três chapas de metal defeituosas em um grupo de 100).

Cartas np seguem o mesmo raciocínio das cartas p ; contudo, ao invés da fração de não-conformes, as cartas np monitoram o número de não-conformes. Cartas np geralmente são utilizadas para tamanhos de amostra constantes.

2. Cartas para número de não-conformidades (c) e cartas para número de não-conformidades por unidade (u)

Essas cartas para atributos são utilizadas quando existe a preocupação com a variação no número de defeitos em um único item de produto. Cita-se como exemplos o número de arranhões, rachaduras ou partes quebradas na superfície de um único prato de cerâmica, o número de pontos manchados em 10 cm² de papel, o número de furos em uma superfície plana, o número de defeitos em um carro, etc.

A carta *c* é utilizada quando o tamanho da amostra é fixa; por exemplo, 5 m de tecido, 1 televisão, etc. Também se utiliza a carta *c* para plotar números relativos a pessoas individuais; por exemplo, número de erros de cálculo, número de erros de cópia ou, até mesmo, número de canetas ou folhas de papel utilizadas. Além da qualidade do produto, cartas *c* também podem ser utilizadas para investigar dados discretos como o número de pessoas acidentadas em uma fábrica, o número de acidentes, o número de erros de cálculo, etc.

A carta *u* é utilizada para apresentar a variação no número de defeitos por unidade quando o tamanho da amostra não é fixo; por exemplo, quando a área de uma chapa de metal ou de uma folha de papel, tomados como uma amostra, variam no tempo. Também pode ser utilizada, por exemplo, para monitorar o consumo de material de escritório em diferentes seções de uma empresa, quando o tamanho das seções varia.

A decisão sobre qual tipo de carta utilizar na implementação do CEP em uma empresa deve levar em consideração os pontos destacados acima. As Figuras 9 e 10 apresentam fluxogramas que auxiliam na escolha do tipo de carta de controle a ser utilizada.

Destaca-se, que independentemente do tipo de carta que venha a ser utilizada, todas têm os mesmos princípios básicos de construção e operação (Montgomery, 1997). Cartas de controle possuem uma linha central, ou linha média, limites de controle superior (LCS, acima da linha média) e inferior (LCI, abaixo da linha média) e valores característicos marcados no gráfico, que representam o estado de um processo (Montgomery, 1996; Kume, 1993), ver Figuras 7 e 8.

A linha central em uma carta de controle representa o valor médio das CQ. Os limites de controle são limites de confiança calculados utilizando leis de probabilidade (Juran & Gryna, 1993). Esses limites são calculados de tal forma que, se o processo está sob controle, a maior parte dos pontos marcados na carta de controle encontra-se entre eles (no caso de uma distribuição Normal, 99,73% dos pontos estarão dentro dos limites de controle; ver item 3.3.2.1).

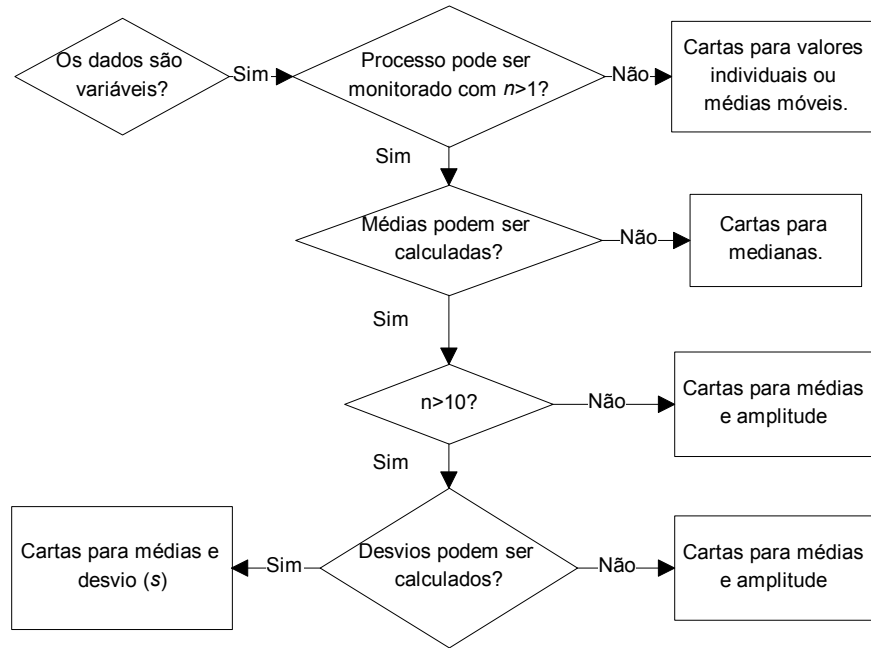


FIGURA 9 - Fluxograma para escolha de cartas de controle para variáveis.

Fonte: Ribeiro & Caten, 2000, p. 57.

Cartas de controle utilizam como dados de entrada, medições realizadas de características de qualidade, ou parâmetros de processo, que influenciem na qualidade dos produtos manufaturados. As medições são realizadas em pontos espaçados de tempo e registradas graficamente nas cartas, sendo então comparadas contra os limites de controle.

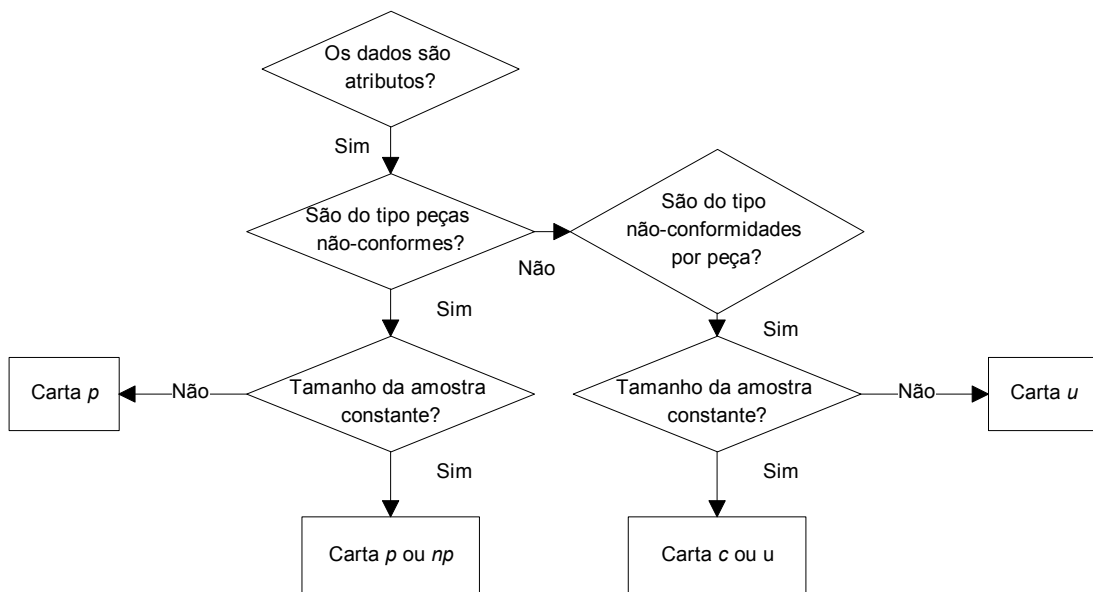


FIGURA 10 - Fluxograma para escolha de cartas de controle para atributos.

Fonte: Ribeiro & Caten, 2000, p. 72.

Conforme comentado no item anterior, se os pontos marcados no gráfico estiverem dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência particular, o processo é considerado sob controle estatístico. Contudo, se pontos incidirem fora dos limites de controle, ou apresentam uma configuração atípica (por exemplo, tendências), é sinal que se deve proceder a uma investigação do processo de produção para identificar a(s) causa(s) para tal comportamento e, ações corretivas devem ser tomadas para remover essas fontes não usuais de variabilidade. Exemplos dessas situações podem ser observados nas Figuras 7 e 8, apresentadas anteriormente. Desta maneira, o uso sistemático de cartas de controle, permite a redução da variabilidade em processos de produção, através da eliminação de causas que não são naturais ao processo e, que podem prejudicar a qualidade dos produtos fabricados (Kume, 1993).

O cálculo dos limites de controle é feito após coleta de cerca de 20 ou 30 amostras (subgrupos), sem que o processo gerador das amostras apresente indícios de uma situação anormal ou fora de controle (Ribeiro & Caten, 2000). Assim, coletam-se os dados, calculam-se os limites de controle, e comparam-se esses mesmos dados com os limites de controle calculados. Caso existam pontos fora dos limites de controle, deve-se retirar as amostras correspondentes e recalculam os limites. Note-se que os pontos que estão fora de controle são desconsiderados somente para fins de cálculo dos limites, permanecendo no gráfico de controle para registro histórico.

A seguir, apresenta-se um modelo geral para o cálculo desses parâmetros. No próximo item é apresentado o cálculo dos limites de controle, com maior detalhamento.

Seja w uma amostra estatística obtida de uma característica de qualidade de interesse. Suponha que μ_w seja a média dos valores de w e que seu desvio-padrão seja σ_w . A linha central e os limites de controle superior e inferior podem ser obtidos da seguinte forma (Montgomery, 1997):

$$\begin{aligned} \text{LCS} &= \mu_w + L\sigma_w \\ \text{Linha central} &= \mu_w \\ \text{LCI} &= \mu_w - L\sigma_w \end{aligned} \tag{1}$$

onde L é a distância entre os limites de controle e a linha central, expressa em desvios-padrão. Independentemente do tipo de distribuição que apresentem as características de qualidade, o valor de L comumente adotado é 3 (Montgomery, 1997).

Note-se que, apesar dos limites de controle poderem ser calculados para qualquer tipo de distribuição, é desejável que os dados coletados sigam a distribuição Normal de

probabilidade. De outra forma, o cálculo dos limites de controle torna-se complexo à medida que as características de interesse assumem distribuições assimétricas.

Para os dados não-normais, a utilização do CEP faz uso do cálculo de médias para os subgrupos amostrados. Ao proceder dessa forma, tira-se partido do Teorema do Limite Central que estabelece que, mesmo que um grupo de dados não seja distribuído normalmente, as amostras extraídas desse grupo apresentarão médias que o são (Berk & Berk, 1997). Ou seja, a média de n valores individuais tende a seguir o modelo Normal de distribuição de probabilidade, independentemente da distribuição dos n valores individuais (Ribeiro & Caten, 2000).

A aplicação do CEP no presente trabalho, não pode beneficiar-se do Teorema do Limite Central, já que trabalha com valores individuais de amostras. Contudo, conforme se apresenta no capítulo referente à aplicação do CEP, pode-se demonstrar que a distribuição dos valores das amostras segue uma distribuição Normal.

3.3.1 Cálculo dos Limites de Controle

Conforme comentado anteriormente, amostras obtidas de processos de fabricação seguem algum tipo de distribuição, sendo que a curva Normal é um modelo comum para várias situações de produção (Bothe, 1997; Ishikawa, 1990).

Os dois parâmetros que descrevem uma curva Normal são a média da distribuição (μ) e o desvio padrão (σ). μ descreve a localização (a média do processo), enquanto σ indica a dispersão do processo em torno de sua média (Spiegel, 1993). Esses valores são obtidos através das seguintes fórmulas:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}} \quad (3)$$

onde N é o número total de itens do processo e X_i representa a medida de um valor individual (um item produzido).

Um gráfico da curva normal de probabilidades é apresentado na Figura 11. Nesse gráfico, estão indicados valores de áreas que podem ser obtidas relativamente aos valores de μ e σ .

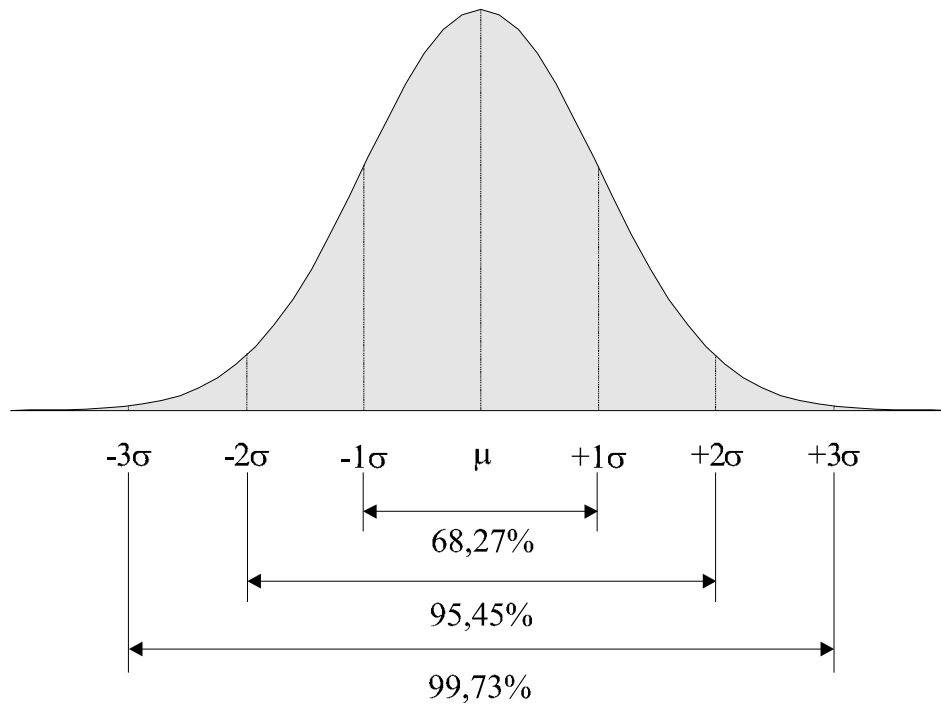


FIGURA 11 - Curva Normal.

Fonte: Spiegel, 1993, p. 187.

De acordo com as equações (2) e (3), μ e σ são obtidos através de medições de todas as unidades produzidas por um processo. Contudo, na maioria dos casos, não é possível realizar medições de todas as saídas de um processo produtivo (Bothe, 1997; Duncan, 1986). Como todas as N medições não estão disponíveis, os parâmetros de um processo podem ser estimados a partir de um número menor de medidas amostrais. Para tanto, amostras de várias unidades consecutivas são coletadas de um processo, em momentos diferentes.

Para uma produção de X unidades individuais, retiram-se amostras de tamanho n ao longo do tempo. Dessas amostras, obtêm-se as seguintes informações:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4)$$

$$R = X_{MAIOR} - X_{MENOR} \quad (5)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (6)$$

onde n é o tamanho de cada amostra (quantos itens cada amostra contém), \bar{X} é a média dos valores das amostras, R é a amplitude da amostra, e s é o desvio padrão da amostra. Para monitorar o processo, essas estatísticas são marcadas em cartas de controle apropriadas (Bothe, 1997).

Quando obtidas de pelo menos 20 amostras, as estatísticas nas equações (4), (5) e (6) podem ser utilizadas para estimar os parâmetros μ e σ , conforme apresentado abaixo (o símbolo “^” designa estimadores dos parâmetro verdadeiros):

$$\hat{\mu}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k} \quad (7)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (8)$$

onde $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$, k representa o número de amostras, e d_2 é uma constante baseada no tamanho da amostra (ver Tabela 2).

Para cartas de médias (\bar{x}), $\bar{\bar{X}}$ é a média dos valores médios (\bar{X}) das amostras. Comparando $\bar{\bar{X}}$ com a média desejada para o processo, obtém-se uma indicação da precisão desse processo em produzir unidades no alvo especificado para o produto. O valor médio da amplitude R , quando dividido por d_2 , fornece uma estimativa do desvio padrão do processo. Essa estimativa informa sobre a dispersão das saídas do processo em torno de sua média.

Para um processo que segue a distribuição Normal, a distribuição das médias amostrais apresenta três propriedades importantes (Bothe, 1997). A primeira é que a média de todas as médias amostrais ($\mu_{\bar{X}}$) é igual a média dos valores individuais (μ), conforme segue:

$$\mu_{\bar{X}} = \mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (9)$$

portanto, $\bar{\bar{X}}$, que é uma estimativa de $\mu_{\bar{X}}$, conseqüentemente, também é uma estimativa de μ , conforme segue:

$$\hat{\mu} = \hat{\mu}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k X_i}{k} \quad (10)$$

A segunda propriedade é que o desvio padrão dos valores \bar{X} ($\sigma_{\bar{X}}$) é diretamente relacionada ao desvio padrão dos valores individuais, σ , como indicado abaixo:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (11)$$

A terceira propriedade envolve o teorema do limite central, mencionado anteriormente. Devido a aplicabilidade desse teorema, os limites de controle de uma carta \bar{X} são simétricos em relação a $\bar{\bar{X}}$.

As três propriedades anteriores são importantes no cálculo dos limites de controle das cartas, conforme segue.

Assumindo uma distribuição Normal de valores individuais X (Figura 12), esses valores estão centrados na média μ . Entre $\mu \pm 3\sigma$, encontram-se 99,73% de todas as saídas do processo, para um processo estável. Devido à primeira propriedade, citada acima, a distribuição das médias amostrais (\bar{X}), também tem sua média ($\mu_{\bar{X}}$) centrada em μ (Figura 12).

O limite de controle superior (LCS) para as médias está localizado a $3\sigma_{\bar{X}}$, acima de $\mu_{\bar{X}}$, ao passo que o limite inferior de controle (LCI), localiza-se a $3\sigma_{\bar{X}}$ abaixo de $\mu_{\bar{X}}$. Portanto, 99,73% de todas as médias amostrais devem localizar-se entre esses valores, caso o processo esteja sob controle. Ou seja:

$$LCI = \bar{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}} \quad (12)$$

$$LCS = \bar{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}} \quad (13)$$

De acordo com a segunda propriedade, a variabilidade das médias é estimada a partir da variabilidade dos valores individuais (equação 11). Logo:

$$LCI = \bar{\bar{X}} - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

$$LCS = \bar{\bar{X}} + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

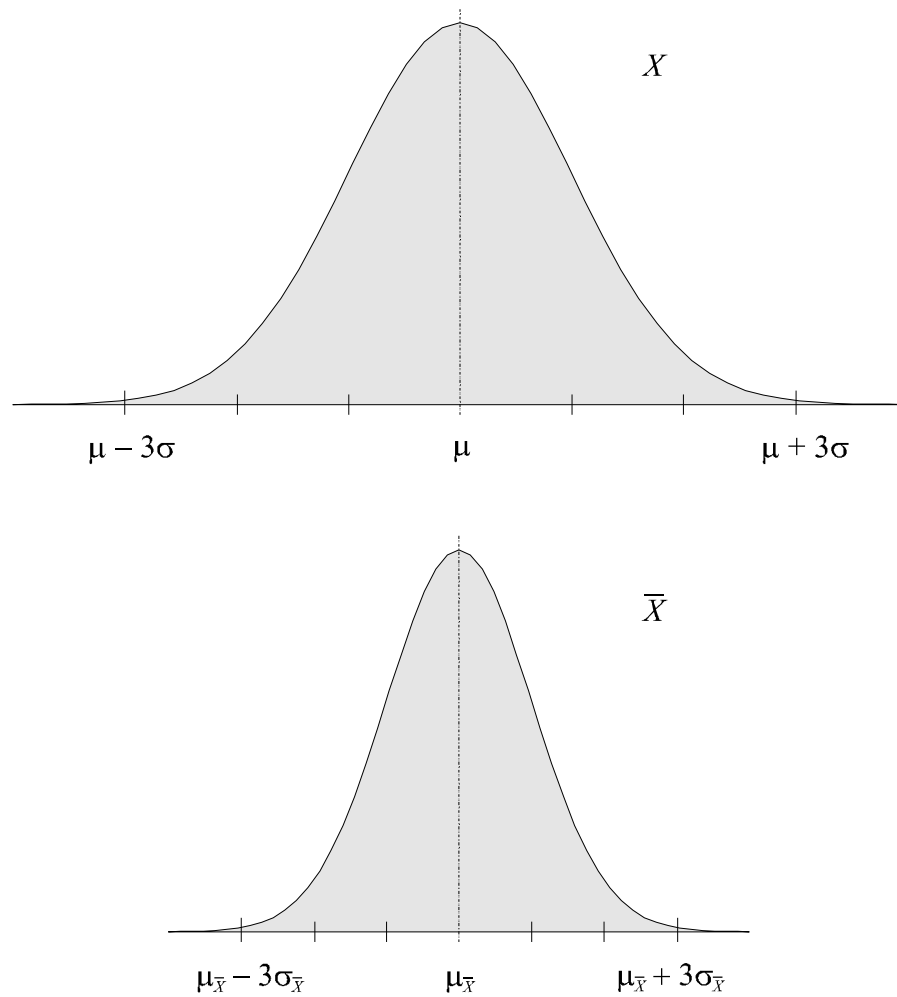


FIGURA 12 - Relação entre a distribuição de valores individuais e as médias amostrais.

Fonte: Bothe, 1997, p. 11.

Como a variabilidade dos valores individual é estimada a partir da média das amplitudes das amostras (equação 8) obtém-se, então:

$$LCI = \bar{\bar{X}} - \frac{3\bar{R}}{\sqrt{nd_2}} \quad (16)$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} + \frac{3\bar{R}}{\sqrt{nd_2}} \quad (17)$$

Substituindo $A_2 = \frac{3}{\sqrt{n} d_2}$ nas equações anteriores, com valores de A_2 apresentados

na Tabela 2 para diferentes tamanhos de amostra, obtém-se os limites de controle para as médias:

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (18)$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (19)$$

O cálculo dos limites de controle para os valores individuais é análogo ao das médias. Por pressuporem amostras individuais e não grupos, a utilização das cartas individuais depende do ajuste dos dados obtidos da característica de qualidade de interesse à uma distribuição normal, caso sua distribuição não siga esse modelo (Ribeiro & Caten, 2000). O formulário para o cálculo dos limites de controle para valores individuais normalmente distribuídos é apresentado a seguir:

$$LCI = \bar{\bar{X}} - E_2 \bar{R} \quad (20)$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} + E_2 \bar{R} \quad (21)$$

onde $\bar{\bar{X}}$ e \bar{R} correspondem à média e amplitude dos valores individuais, respectivamente, e E_2 é uma constante, apresentada na Tabela 2. Observa-se que, apesar de cartas para valores individuais utilizarem amostras de tamanho 1, dois ou mais pontos consecutivos são agrupados para calcular a amplitude móvel. Assim, os valores de E_2 serão baseadas em amostras de 2 ou mais valores (Bothe, 1997).

TABELA 2 - Valores das constantes d_2 , A_2 e E_2 , utilizadas no cálculo dos limites de controle.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
d_2	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08	3,47	3,74
A_2	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31	0,22	0,18
E_2	2,66	1,77	1,46	1,29	1,18	-	-	-	-	-	-

Fonte: Ribeiro & Caten, 2000, p. 30 e 53.

3.3.2 Interpretação das Cartas de Controle

3.3.2.1 Estabilidade do Processo

Todo processo apresenta variabilidade de resultados. Essa variabilidade pode existir em função de causas comuns e/ou causas especiais. Quando um processo está sujeito apenas a causas comuns de variação, ele está sob controle estatístico e apresenta um comportamento estável, ao longo do tempo. Caso um processo esteja sob a ação de causas especiais de variabilidade, esse processo não está sob controle estatístico e, seu comportamento é instável ao longo do tempo.

Um processo precisa ser estável para que seja possível avaliar a sua capacidade de gerar produtos que atendam as exigências dos clientes ou às especificações de projeto (Bothe, 1997).

Um processo que não é estável, não é bem definido e comporta-se de maneira imprevisível (Figura 13). Dessa forma, é difícil estimar como esse processo apresentou-se no passado e, tampouco é possível saber quais serão os resultados do processo no futuro. Por causa dessa instabilidade, não há como mensurar a habilidade atual, ou futura, de um processo atender aos requisitos exigidos.

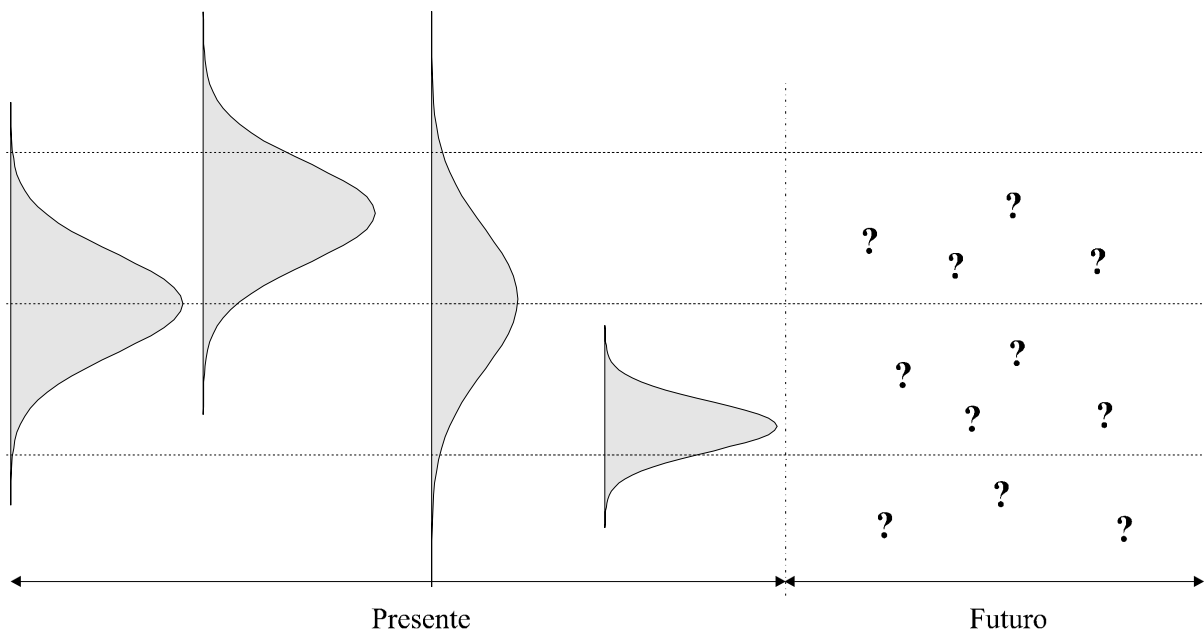


FIGURA 13 - Processo instável não apresenta comportamento previsível.

Fonte: Bothe, 1997, p. 5.

Por outro lado, quando um processo é estável, ele é bem definido e previsível ao longo do tempo (Figura 14). Assim, pode-se esperar que seus resultados reflitam o desempenho desse processo também no futuro, desde que o processo mantenha-se estável. Desta forma, compromissos podem ser assumidos junto aos clientes sobre os níveis de qualidade de produtos obtidos do processo (Bothe, 1997).

No item anterior verificou-se que os limites de controle são calculados de tal forma que, na ausência de causas especiais incidindo sobre o processo, a probabilidade de uma amostra cair fora dos limites é pequena (0,27%). Logo, caso os pontos estejam dentro dos limites de controle, a hipótese de que os parâmetros do processo (média e amplitude)

permanecem os mesmos, é aceita. Caso apareçam amostras fora dos limites de controle, há um forte indício de mudança no processo, devido à presença de causas especiais.

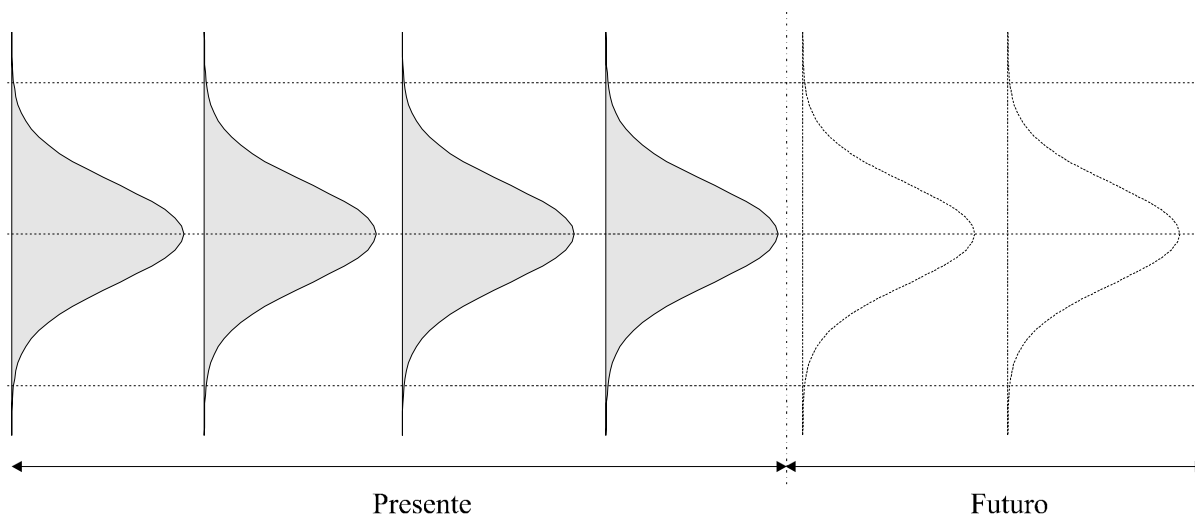


FIGURA 14 - Processo estável apresenta comportamento previsível ao longo do tempo.

Fonte: Bothe, 1997, p. 6.

Destaca-se, que causas especiais não são somente aquelas que aparecem marcadas fora dos limites de controle das cartas. A presença de padrões não aleatórios pode também indicar a sua presença. Dentre esses padrões, pode-se enumerar os seguintes (Bothe, 1997; Devor *et alli*, 1994; Juran & Gryna, 1993):

- Pontos fora dos limites de controle;
- Corridas: 7 ou mais pontos consecutivos em um lado da linha central da carta de controle (acima ou abaixo da linha média);
- Tendências: 7 ou mais pontos movendo-se consecutivamente para cima ou para baixo;
- Ciclos: padrões repetidos;
- Pontos aninhados em torno da linha central: 12 pontos consecutivos dispostos no terço médio da carta de controle;
- Pontos aninhados em torno dos limites de controle: um grande número de pontos próximos dos limites de controle e poucos próximos da linha central da carta.

Depois de constada a presença de causas especiais em um processo, deve-se buscar as causas para cada ponto fora de controle através da análise das condições operacionais. Os resultados estatísticos servem como ponto de partida para a análise, mas as razões e explicações sobre o que está acontecendo encontra-se no próprio processo de produção e nas pessoas nele envolvidas (Ribeiro & Caten, 2000).

Em um processo que apresente causas especiais, o próprio operador pode identificar a anormalidade e tomar uma ação corretiva sobre as causas que estão fazendo com que o processo saia fora do seu padrão natural de operação. Geralmente, causas especiais são de fácil identificação (por serem localizadas), tendo grande efeito sobre o processo (Pires, 2000).

Caso um processo apresente variabilidade excessiva associada, exclusivamente, a causas comuns, é de responsabilidade da gerência atuar sobre o sistema para reduzi-la. Conforme comentado, a variabilidade devido a causas comuns é inerente ao processo, o que exige uma atuação global sobre o sistema em busca de melhorias, o que nem sempre se justifica economicamente. Neste sentido, tomadas de decisão por parte da gerência podem ser necessárias.

Agir em um processo para reduzir a sua variabilidade gera mudanças em um sistema produtivo como um todo, por exemplo (Pires, 2000): *i*) avaliação do projeto, do produto e dos equipamentos; *ii*) análise das matérias-primas utilizadas; *iii*) revisão de procedimentos operacionais, de políticas gerenciais e do ambiente de trabalho.

Se ações de melhorias estão sendo tomadas, o processo deve apresentar um desempenho mais consistente (estável), com redução da variabilidade. Sob estas circunstâncias, os limites de controle devem ser recalculados e, sempre que possível, estreitados. Isso porque, o processo atual (estável) apresenta menor variabilidade de resultados do que o anterior (instável). Se os limites de controle não são estreitados, perde-se a oportunidade de melhorar o processo, visto que, passa-se a considerar causas comuns de variação, como causas que, na verdade, são especiais para o processo atual, que é mais consistente (menos variável) em relação ao anterior (Ribeiro & Caten, 2000).

3.3.2.2 Capacidade do Processo

A capacidade de um processo corresponde à sua probabilidade de satisfazer às expectativas dos consumidores, dadas em termo das especificações definidas para os produtos por ele produzidos (Bothe, 1997). A avaliação da capacidade de processos permite (Montgomery, 1997; Pires, 2000):

- Prever o quanto um processo irá atender às especificações;
- Determinar padrões de tolerância;
- Especificar o desempenho de novos equipamentos;
- Selecionar entre fornecedores competidores;

- Planejar a seqüência de produção, quando existe efeito interativo dos processos sobre as tolerâncias;
- Reduzir a variabilidade no processo de fabricação;
- Otimizar a produtividade e a qualidade.

A análise da capacidade de um processo é um procedimento que evolui a partir do estudo da sua estabilidade. Conforme mencionado no item anterior, somente após a eliminação das causas especiais, é possível avaliar se um processo é capaz de atender às especificações de uma determinada característica de qualidade.

Aqui, deve-se diferenciar um processo estável de um processo capaz. Um processo estável pode não ser capaz de fabricar produtos conformes (de acordo com as suas especificações). Um processo estável não apresenta, necessariamente, uma variação pequena em suas saídas, nem tão pouco gera, necessariamente, produtos de acordo com as especificações. Um processo estável, isto sim, produz resultados que são constantes ao longo do tempo (Bothe, 1997). Assim, um processo estável pode apresentar uma variabilidade maior que as especificações que deveria atender e, conseqüentemente, fabricar produtos não conformes (Pires, 2000). A Figura 15 apresenta um processo estável; observa-se que esse processo pode ser capaz, ou não, dependendo das especificações a serem atendidas.

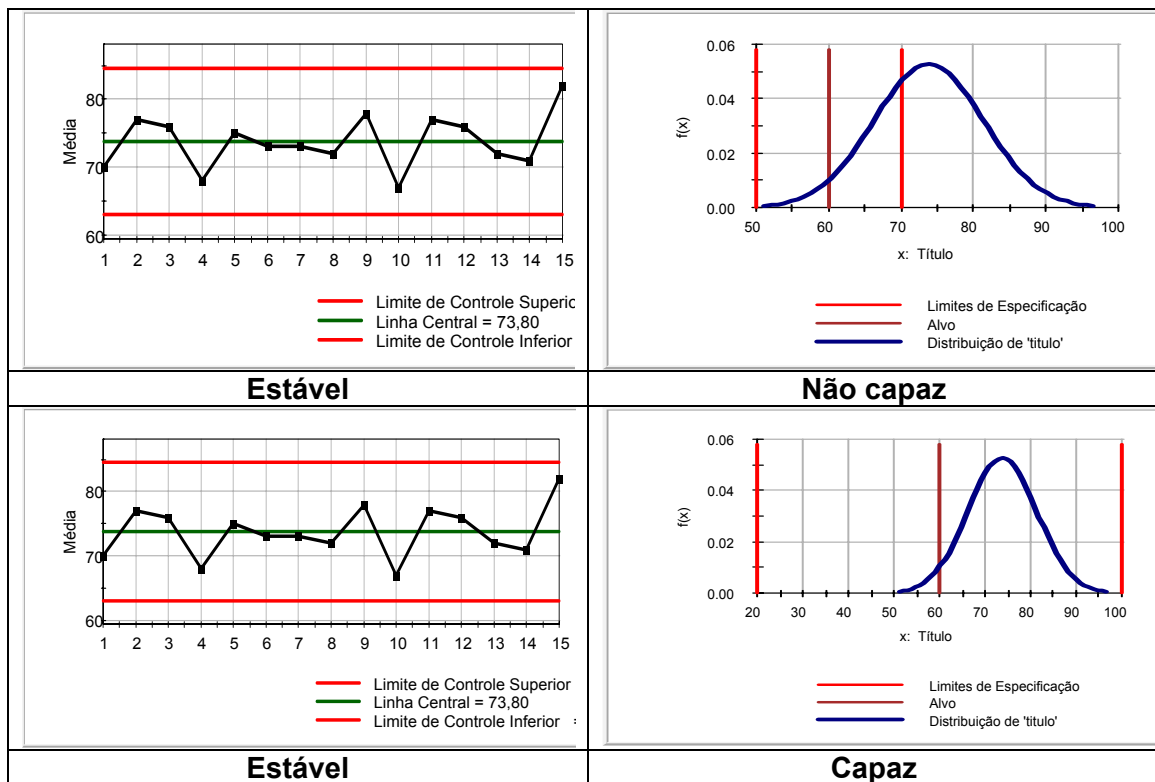


FIGURA 15 - Capacidade versus estabilidade de um processo.

Para avaliar a capacidade de um processo, é necessário conhecer a distribuição de probabilidade dos valores individuais da característica de qualidade que está sendo monitorada, estimar a média e a variabilidade desses valores para, então, determinar os limites naturais do processo. Esses limites caracterizam 99,73% das saídas de um processo (Bothe, 1997). Para um processo em que a característica de qualidade de interesse monitorada apresente uma distribuição Normal de probabilidades, seus limites naturais são calculados considerando a extensão de seis desvios-padrão (6σ) em torno do valor de média:

$$\text{Limite Natural Inferior: } LNI = \mu - 3\sigma \quad (22)$$

$$\text{Limite Natural Superior: } LNS = \mu + 3\sigma \quad (23)$$

Se os pontos que se encontram entre os limites naturais de um processo atenderem as especificações desse processo, ele é considerado capaz. Ou seja, para que um processo seja considerado capaz, pelo menos 99,73% das saídas desse processo devem atender as especificações.

Se um processo está em controle estatístico mas não é capaz de atender as especificações, o problema pode ser atribuído a um ou mais dos seguintes fatores (Bothe, 1997; Devor *et alli*, 1994):

- a. A média do processo não está centrada apropriadamente. Ou seja, o valor médio das unidades que o processo fabrica é diferente do valor nominal (valor alvo) que o processo deve produzir;
- b. A variação (dispersão) do processo é muito grande, ultrapassando os limites naturais do processo. Ou seja, o processo está produzindo unidades com níveis inaceitáveis de variabilidade natural (devido a causas comuns), apesar de poder estar centrado no alvo das especificações;

Para avaliar as condições acima, são utilizados índices de mensuração de capacidade. Os índices mais freqüentemente utilizados são: *i*) índice C_p (equação 24) e; *ii*) índice C_{pk} (equação 25) Esses índices comparam os limites naturais do processo com as amplitudes das especificações exigidas para esse processo (Ribeiro & Caten, 2000). Destaca-se que os índices de capacidade nas equações abaixo pressupõem variáveis normalmente distribuídas.

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma} = \frac{\text{Especificações}}{\text{dispersão}} \quad (24)$$

$$C_{pk} = \min \left| \frac{LES - \bar{X}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{X} - LEI}{3\hat{\sigma}} \right| \quad (25)$$

onde LES é o limite de especificação superior e LEI é o limite de especificação inferior. Nas equações anteriores, o desvio padrão do processo σ é usualmente desconhecido e, por isso, substituído por um valor estimativo $\hat{\sigma}$, dado na equação (8).

O índice C_p é uma medida que considera somente a dispersão de um processo. Esse índice mede a capacidade potencial do processo de atender às expectativas dos consumidores (Juran & Gryna, 1993). Considera-se que um processo tem capacidade potencial se a extensão de 6 desvios-padrão (6σ) da sua distribuição de valores, for menor ou igual a amplitude de suas especificações (Bothe, 1997); neste caso, $C_p \geq 1$. Por outro lado, se $6\sigma > (LES - LEI)$, então $C_p < 1$ e o processo é incapaz de atender as especificações.

O índice C_{pk} avalia a capacidade efetiva de um processo. O cálculo desse índice considera ambas a média e a dispersão e verifica se o processo está centrado no valor alvo das especificações. Sempre que o índice C_{pk} resultar menor que o índice C_p correspondente, tem-se um processo descentralizado (relativamente aos limites de especificação inferior e superior); quando o valor de C_{pk} resultar igual ao valor de C_p , tem-se um processo centrado.

Quanto maior o valor de C_{pk} , menor será o número de produtos que estão fora dos limites de especificação (Juran & Gryna, 1993). Por essa razão, algumas indústrias utilizam como parâmetro desejado de qualidade um índice $C_{pk} > 1,33$, o que implica uma produção de itens defeituosos de apenas 0,00633%. Contudo, de forma geral, o índice $C_{pk} \geq 1,0$ é condição necessária para que a fração de defeituosos seja pequena (ou seja, menor ou igual a 0,27%).

Quando um processo é considerado capaz, significa que está sujeito somente a causas comuns de variação (inerentes ao processamento) e que consegue atender às expectativas dos consumidores de seus produtos. Todavia, a aplicação do CEP não deve ser interrompida caso se constate a efetiva capacidade do processo. Sendo o controle estatístico do processo uma ferramenta de melhoria contínua, deve-se sempre avaliar os limites de especificação dos processos e questionar se os mesmos não podem ser modificados (estreitados) para que, cada vez mais, obtenha-se menor variabilidade de produção para aquele processo.

3.4 O CEP como Ferramenta de Melhoria de Processos

Um processo sob controle estatístico apresenta uma série de vantagens de ordem prática, por exemplo (Juran & Gryna, 1993):

- O processo está sujeito apenas a causas comuns de variação e apresenta um comportamento estável dentro de certos parâmetros, condição necessária para prever seu comportamento futuro;
- O processo opera com menor variabilidade, não ocultando os efeitos de mudanças introduzidas no processo para alcançar melhorias;
- O processo não demanda ajustes constantes, com conseqüente geração de refugos e perdas produtivas;
- Um processo estável pode apresentar condições que, se mantidas, resultarão em um produto aceitável. Tais evidências são necessárias antes que um processo passe do estágio de planejamento para o de produção.

A implementação do CEP é um procedimento iterativo de melhoria. A Figura 16 apresenta as etapas envolvidas na implementação do controle estatístico do processo.

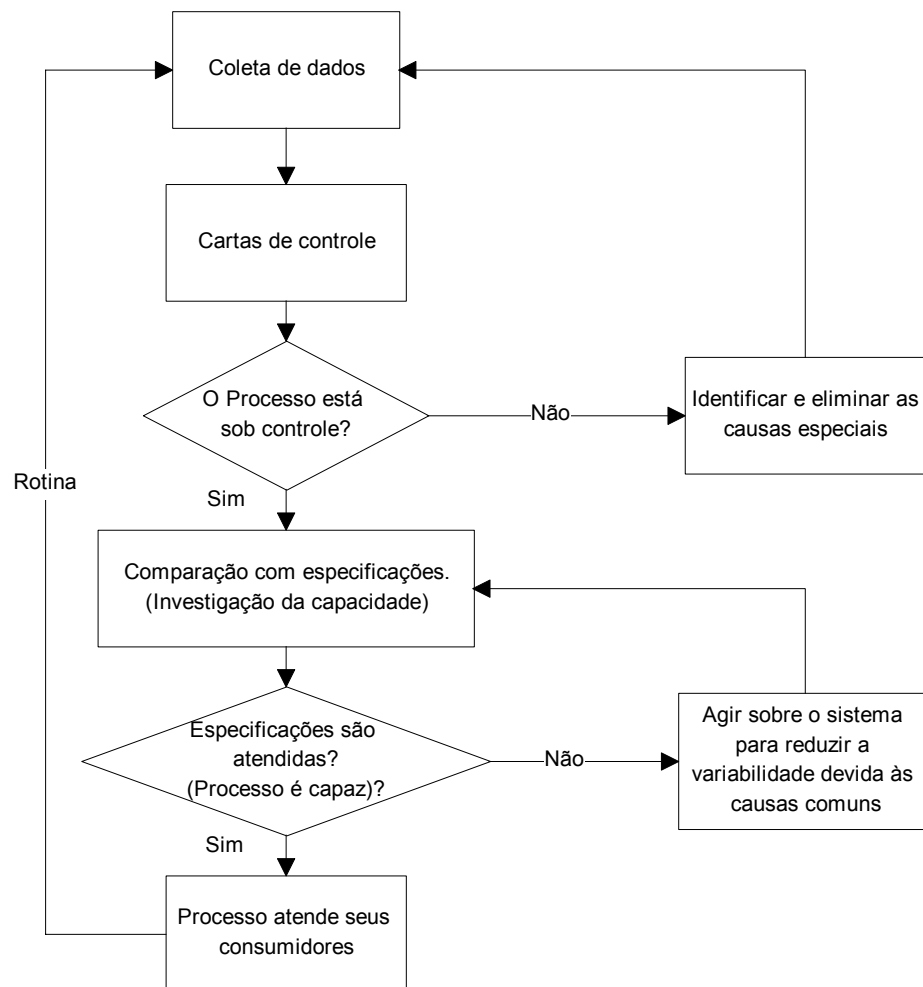


FIGURA 16 - Processo iterativo de melhoria do CEP.

Inicialmente deve-se coletar os dados sobre o processo a ser analisado, os quais serão marcados em cartas de controle. Através das cartas de controle, verifica-se a estabilidade do processo, analisando a presença de causas especiais. Caso essas causas estejam presentes, o processo não é estável e deve-se agir para eliminar as fontes especiais de variabilidade.

Tendo-se identificadas e eliminadas as causas especiais, o processo torna-se estável e previsível. Pode-se, então, avaliar a real capacidade desse processo em produzir produtos que atendam às especificações de qualidade. Caso a dispersão devido às causas comuns seja maior que a amplitude das especificações, deve-se atuar sobre o sistema para reduzir a variabilidade.

Caso o processo atenda os consumidores de seus produtos, deve-se retornar ao passo inicial, e repetir todo o procedimento de análise continuamente. Observe-se que, à medida que se contaste que o processo é capaz e mantenha essa condição ao longo do tempo, pode-se, então, questionar se é possível reduzir a amplitude da faixa de especificações. Isso implica em produzir com menor variabilidade, em uma sistemática de melhoria contínua do sistema produtivo.

As idéias apresentadas acima não estão restritas somente ao controle da qualidade. Elas podem ser aplicadas da mesma maneira para controlar custos de produção, custos por unidades produzidas, volume de vendas, e outras quantidades que são resultados de processos (Ishikawa, 1990). Nesta dissertação, por exemplo, pretende-se utilizar tais idéias para monitorar o fornecedor de matéria-prima, qual seja concreto usinado, através do controle de uma característica de qualidade dessa matéria-prima.

3.5 Função de Perda Quadrática de Taguchi

A abordagem tradicional da qualidade está vinculada à idéia de que os produtos devam atender às especificações, de consumidores e/ou projetos. De acordo com essa visão, se um produto atende às especificações ele é considerado de boa qualidade e, conseqüentemente, adequado ao uso; caso contrário, o produto é considerado inadequado (Park, 1997).

Para avaliar se processos são capazes de fabricarem produtos que atendam às especificações, são utilizados índices de capacidade (item 3.3.2.2). Através desses índices pode-se conhecer o percentual de produção que atende às especificações (produtos conformes) e, também, o percentual não-conforme de produção (produtos defeituosos).

Para medição do nível de qualidade de produtos e processos, o conceito de porcentagem não-conforme é amplamente utilizado. Todavia, a porcentagem de produtos não-

conformes é geralmente pequena em processos de produção. Além disso, fabricantes não costumam expedir produtos defeituosos, selecionando itens conformes para tanto. Sob essa abordagem, quando produtos não-conformes deixam de ser expedidos, os seus consumidores não são diretamente afetados, a não ser pelo aumento de custo e, conseqüentemente, do preço dos produtos. Quando produtos defeituosos chegam às mãos de seus consumidores, esses são diretamente afetados pela má qualidade. Dessa forma, a fabricação de produtos defeituosos, não deve ser somente considerada como um problema de qualidade, mas, também, de custo (Taguchi *et alli*, 1990).

Existe um custo tangível associado à má qualidade; este custo deve ser considerado nas decisões gerenciais. Tal custo refere-se a perda que é imposta a sociedade pela má qualidade de produtos fabricados, perda que pode ser de três tipos (Ribeiro & Caten, 2000):

- 1) Perdas do fabricante: sucata, retrabalho, perda de mercado, etc.;
- 2) Perdas do consumidor (quando produtos defeituosos são enviados para o consumidor): insatisfação com o desempenho do produto, indisponibilidade do produto, perda de tempo, etc.;
- 3) Perdas mútuas: gastos adicionais com reposição ou reparo do produto.

Dessa forma, sempre que existe má qualidade, todos perdem e, em todos os casos, a perda pode ser expressa em unidades monetárias (Ribeiro & Caten, 2000). Para obter-se uma avaliação monetária da qualidade de produtos, utiliza-se a função de perda quadrática de Taguchi.

A função de perda é utilizada para avaliar os processos, quantificando a perda que a fabricação de um produto de má qualidade impõe a sociedade. A idéia central é que se pode relacionar a variabilidade de um processo com a perda econômica, através de uma função de perda, aproximadamente proporcional ao quadrado do desvio da meta estabelecida para uma dada característica de qualidade (Juran & Gryna, 1993). A função de perda pode ser expressa da seguinte forma (Ribeiro & Caten, 2000):

$$L_i = k(y_i - m)^2 \quad (26)$$

onde:

L_i é a perda monetária, associada ao desvio da meta, para a unidade i ;

y_i é o valor da característica de qualidade, medido na unidade i ;

m é meta (valor alvo) para a respectiva característica de qualidade;

k é o coeficiente de perda, que converte o desvio do alvo em termos monetários.

Para determinar o valor de k , deve-se conhecer qual a perda associada a um determinado valor da característica de qualidade y . Usualmente, utiliza-se o custo de reparo ou substituição de um produto para determinar o valor de k , conforme segue (Ribeiro & Caten, 2000):

$$k = A_0 / \Delta^2 \quad (27)$$

onde:

A_0 é o custo de reparo ou substituição do produto;

Δ corresponde ao desvio da meta que exigiria reparo ou substituição.

Sob o conceito da função de perda, qualquer desvio de um valor alvo resulta em perda. Notadamente, a função apontará uma perda monetária mesmo para pequenos desvios de y em relação ao alvo m . A Figura 17 representa a relação entre a perda da qualidade e o desvio do valor nominal (m).

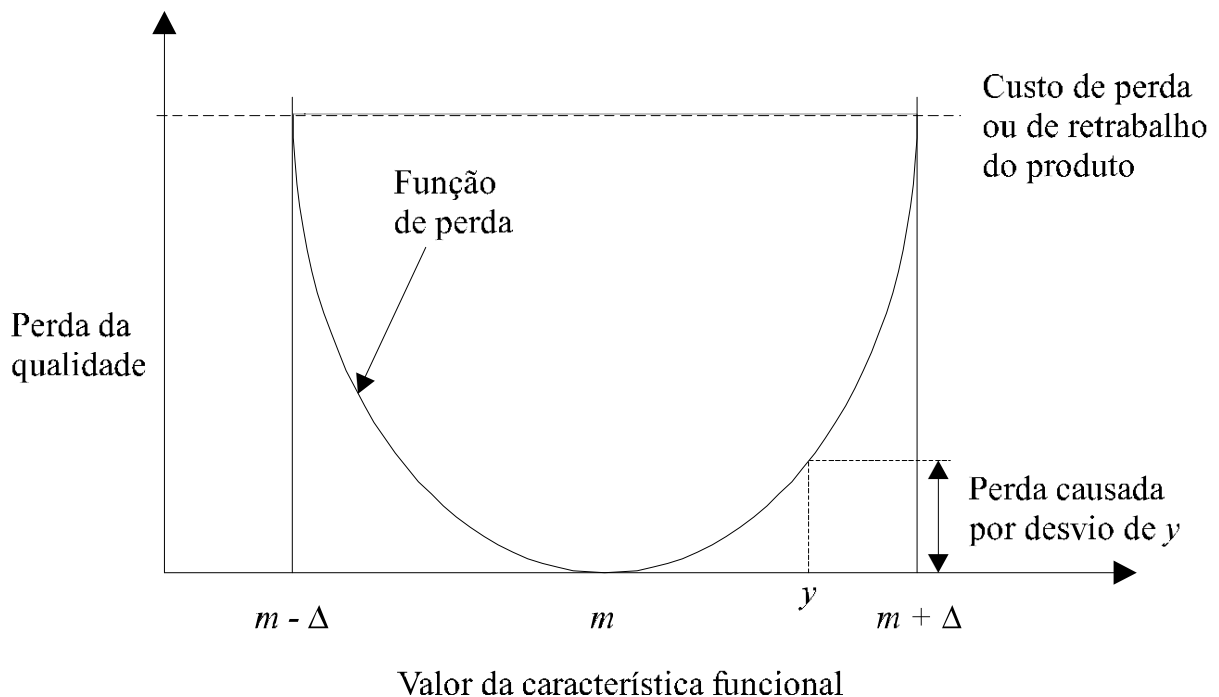


FIGURA 17 - Relação entre perda de qualidade e desvio do valor nominal.

Fonte: Taguchi *et alli*, 1990, p. 20.

Pela visão tradicional do controle da qualidade, perdas somente ocorrem quando as CQ dos produtos excedem os limites de especificação. Deste modo, os procedimentos de

melhoria dos processos terminam quando se atinge a condição de produzir todos os itens dentro das especificações (Ribeiro & Caten, 2000).

Considerando que cada característica de qualidade tem um valor alvo, ou valor nominal, o objetivo final da utilização da função perda é a redução da variabilidade ao redor desse alvo para, conseqüentemente, reduzir a perda devida à variabilidade do processo (Taguchi *et alli*, 1990). Quanto menor a dispersão das CQ em relação ao valor alvo das especificações, menor será a perda monetária inerente ao processo de produção. Deste modo, os procedimentos de melhoria devem continuar até que se obtenha um processo exatamente centrado e com variabilidade zero (Park, 1997).

Assim, a função de perda pode ser utilizada para monitorar melhorias nos processos produtivos. De fato, a função de perda serve como um índice de mensuração da capacidade de processos, sendo mais consistente do que os índices usuais de capacidade (C_p e C_{pk}), já que considera tanto a perda devido à dispersão, quanto a perda devido a possíveis desvios da meta. Os índices C_p e C_{pk} não consideram, diretamente, o desvio do alvo quando da avaliação da capacidade de processos, de tal forma que é possível ter processos descentrados com relação ao alvo e, ainda assim, com índices de capacidade elevados (Ribeiro & Caten, 2000).

Além de avaliar a capacidade de processos, a função de perda pode ser utilizada para auxiliar na definição de tolerâncias de produção e para comparar processos de fabricação distintos (Ribeiro & Caten, 2000).

CAPÍTULO 4

4 INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA QUALIDADE ZERO DEFEITOS – CQZD

4.1 Considerações Iniciais

A partir da crise do petróleo, na década de 70, estabeleceu-se um novo ambiente competitivo mundial, o que tem levado a uma ampla discussão sobre novos sistemas de organização da produção e do trabalho (Antunes, 1995). Dentro desse ambiente destacam-se os modelos japoneses, especificamente o Sistema Toyota de Produção – STP.

O STP apresentou-se como um diferencial dentro da concorrência intercapitalista, visto que quebrou importantes *tradeoffs* (possibilidades de redução em um fator em troca de um aumento em outro) existentes desde os primórdios da organização da produção. Esse sistema mostrou que é possível obter variedade de produtos com baixo custo e com qualidade, oferecendo à produção agilidade para mudar seu *mix* de produção. O sistema facilitou, também, a capacidade de introduzir rapidamente novos produtos no mercado, o que permite o atendimento a pedidos quase personalizados. Tais fatores representam vantagens competitivas.

O Controle da Qualidade Zero Defeitos (CQZD) é um elemento importante na organização e funcionamento do STP. Através do CQZD, a Autonomia, um dos pilares de sustentação do STP, efetua a função de controle necessária para que o outro pilar do sistema, o *Just-in-Time*, possa ser operacionalizado.

Nesse Capítulo apresentam-se os princípios básicos do CQZD e seus elementos. Inicialmente, contudo, faz-se uma revisão sobre conceitos e princípios do STP, os quais são importantes para a compreensão do desenvolvimento da pesquisa.

4.2 Introdução ao Sistema Toyota de Produção

Nas décadas de 70 e 80, a *Toyota Motor Company* despontou no mercado mundial como uma das principais montadoras de automóveis. Seu sucesso adveio do desenvolvimento e implementação de um sistema de produção que levou o Japão a um período de grande crescimento econômico, na medida em que outras empresas japonesas adotaram o sistema. Os princípios, conceitos e técnicas de manufatura que estavam por trás do sucesso da Toyota, e do Japão, tornaram-se conhecidos como o Sistema Toyota de Produção – STP, mais

conhecido no ocidente, especialmente nos EUA, como *Just-in-Time* ou produção enxuta (Womack *et alli*, 1992; Antunes, 1998; Hopp & Spearman, 1996).

O Sistema Toyota de Produção é um sistema de gerenciamento da produção que tem como objetivo aumentar o lucro através da redução dos custos. Para alcançar esse objetivo é necessário identificar e eliminar as atividades que não agregam valor ao produto. Tais atividades são identificadas como perdas do processo produtivo (Ghinato, 1999).

De acordo com os princípios do STP, a eficiência da produção é resultado da sua organização em relação à qualidade, produtividade e custos, simultaneamente, não mais visando produtividade (eficiência das operações) isoladamente. Destaca-se, o caráter de aceitação universal que o STP e seus conceitos apresentam. Tais conceitos são genéricos e válidos para qualquer tipo de organização, independentemente de natureza, tamanho, processo ou produto (Souza, 1997).

O início do desenvolvimento do STP deu-se em 1945 (Ohno, 1997). Nesse período, a despeito da indústria automobilística americana, a Toyota não podia prescindir de economias de escala da indústria de produção em massa para reduzir seus custos, já que o mercado automobilístico japonês era restrito. Para tornar-se competitiva frente as grandes empresas americanas, era necessária a eliminação de todas as funções desnecessárias em suas fábricas. O objetivo era aumentar a produtividade e reduzir os custos. Para tanto, era preciso investigar todas as causas das atividades desnecessárias nas operações de fabricação e aplicar métodos para eliminá-las (Ohno, 1997; Monden, 1984; Hopp & Spearman, 1996).

Os dois princípios habilitadores do Sistema Toyota de Produção são (Ohno, 1997; Coriat, 1994): *i) Just-in-Time (JIT); ii) Automação, ou automação com um toque humano.* Esses princípios são apresentados nos parágrafos abaixo.

Para produzir *Just-in-Time*, os itens necessários à fabricação devem alcançar a linha de produção apenas no momento em que são requisitados e na quantidade necessária (Ohno, 1997). No JIT, os materiais são “puxados” pela fábrica pela demanda no final da linha de produção (Black, 1998). Assim, um processo comunica-se com o processo anterior apenas quando for necessário apanhar peças, no momento exato de sua utilização, produzindo somente a quantidade de material que foi retirada pelos processos subsequentes.

O estabelecimento de um fluxo contínuo de produção *Just-in-Time* permite que uma empresa opere sem excesso de inventário, evitando desperdício (Ohno, 1997; Monden, 1984; Hopp & Spearman, 1996). A situação ideal é a produção em fluxo unitário de peças, sem estoque (estoque zero).

No JIT, a comunicação entre os muitos processos existentes consiste em indicar quando, o que e quanto é preciso de cada material. O *Kanban* é o meio pelo qual as necessidades de material são sinalizadas. Resumidamente, o *Kanban* é um sistema de informação para controlar as quantidades produzidas entre etapas do processo. Usualmente, o *Kanban* é representado por um cartão de inventário colocado em um envelope retangular de vinil. Fazendo-se o cartão circular entre cada um dos processos para controlar a quantidade a ser produzida (ou seja, a quantidade necessária), dispõe-se de um meio para apanhar ou receber ordens de produção (Ohno, 1997; Monden, 1984).

O fluxo de produção no JIT necessita de um sistema operacional de chão de fábrica, que funcione constantemente (Hopp & Spearman, 1996). O objetivo é possibilitar a produção sequencial de diferentes tipos de produtos, um após o outro, com o mínimo de interrupções (Vollman *et alli*, 1997). Portanto, se algum material não está disponível quando necessitado em um posto de trabalho, o sistema inteiro pode ser interrompido. O meio pelo qual o STP evita essas interrupções baseia-se no conceito de Autonomia.

A idéia norteadora da Autonomia é impedir a geração e propagação de defeitos e dirimir qualquer anormalidade no fluxo de produção. A Autonomia consiste em dar autonomia ao operador ou a máquina para parar o processamento quando for detectada alguma anormalidade (por exemplo, a fabricação de um produto defeituoso; Ghinato, 1996). Torna-se visível à supervisão e/ou aos outros operadores quando uma máquina interrompe o processamento ou o operador pára a linha de produção. Tal fato dá início a um esforço coletivo para identificar as causas que levaram a interrupção da produção. O passo seguinte é eliminar essas causas. Evita-se, dessa forma, a recorrência do problema, reduzindo-se o número de paradas da linha, mantendo o fluxo constante de produção. Destacam-se, aqui, duas características importantes da Autonomia: máquinas que são automatizadas, de forma que os operários possam operar várias máquinas simultaneamente e mecanismos à prova de falhas (*Poka-Yokes*), que detectam problemas automaticamente.

Entre as décadas de 40 e 70, a Toyota desenvolveu e instituiu uma série de procedimentos e sistemas para implementar o JIT e a Autonomia, incluindo-se, entre eles, o já citado sistema *Kanban*, sistemas relacionados com a redução do tempo de *setup* (tempo de preparação das máquinas ou equipamentos para o início do processamento), treinamento de funcionários, controle de qualidade, entre outros (Hopp & Spearman, 1996).

Os elementos constituintes do STP podem ser visualizados na Figura 18. Esses elementos podem ser estruturados conforme segue (Antunes, 1998; Ghinato, 1994):

- a) Princípios básicos de construção do STP:
- Mecanismo da função produção – MFP;
 - Princípio do não-custo;
 - Perdas nos sistemas produtivos.
- b) Subsistema de qualidade de gestão:
- Controle da qualidade total – TQC (*Total Quality Control*);
 - Atividades de pequenos grupos.
- c) Subsistema de pré-requisitos básicos de engenharia de produção:
- Troca rápida de ferramentas – TRF;
 - Operação-padrão;
 - *Layout*.
- d) Subsistema de defeito-zero dos produtos:
- Automação;
 - Controle de Qualidade Zero-Defeitos (CQZD);
 - Inspeção na fonte;
 - Dispositivos a prova de falhas – *Poka-Yoke*.
- e) Subsistema de quebra-zero das máquinas:
- 5S's;
 - Manutenção produtiva total – TPM (*Total Productive Maintenance*).
- f) Subsistema de sincronização e de melhorias contínuas:
- *Kanban*.
- g) Subsistema de indicadores:
- Produtividade econômica – relação entre faturamento e os custos globais.

Nesta dissertação, são revistos os elementos constantes nos itens (a), (b), (c) e (d). Tais elementos são fundamentais para a compreensão do STP, sendo utilizados em grande parte no estudo de caso apresentado no Capítulo 5. Os elementos no item (d), em particular, serão objeto de uma revisão detalhada. Os elementos nos itens (e), (f) e (g), apesar de importantes para o entendimento pleno do STP, não encontram aplicação direta nesta

4.2.1.1 O Mecanismo da Função Produção - MFP

Melhorias na produção requerem investigação de cada um dos elementos abaixo apresentados, relativamente às suas funções e inter-relacionamentos (Shingo, 1986):

1. **Objetos da produção:** produtos acabados ou semi-acabados;
2. **Agentes da produção:** pessoas encarregadas de fabricar os produtos, bem como máquinas, ferramentas e demais equipamentos que as auxiliem;
3. **Métodos:** meios pelos quais ações são realizadas;
4. **Espaço:** onde ações são tomadas e locais de onde e para onde os materiais são transportados;
5. **Tempo:** cronometragem do trabalho ou quanto tempo duram as ações.

O Mecanismo da Função Produção (MFP) é uma ferramenta para análise da produção que estabelece uma visão ampla e sistêmica dos elementos acima indicados. O MFP considera a produção como uma rede de processos e operações (Figura 19). Nesse contexto, *processo* é definido como o fluxo de matérias-primas que são processadas até tornarem-se produtos acabados. O processo define como os *objetos* da produção modificam-se de acordo com os *métodos*, o *espaço* e o *tempo*. Tal fluxo pode ser observado na Figura 19, correspondendo ao eixo vertical (Y) da rede. Por sua vez, *operações*, apresentadas no eixo horizontal (X) da Figura 19, descrevem os fluxos pelos quais os *agentes* da produção utilizam *métodos*, *espaço*, e *tempo* para criar os produtos.

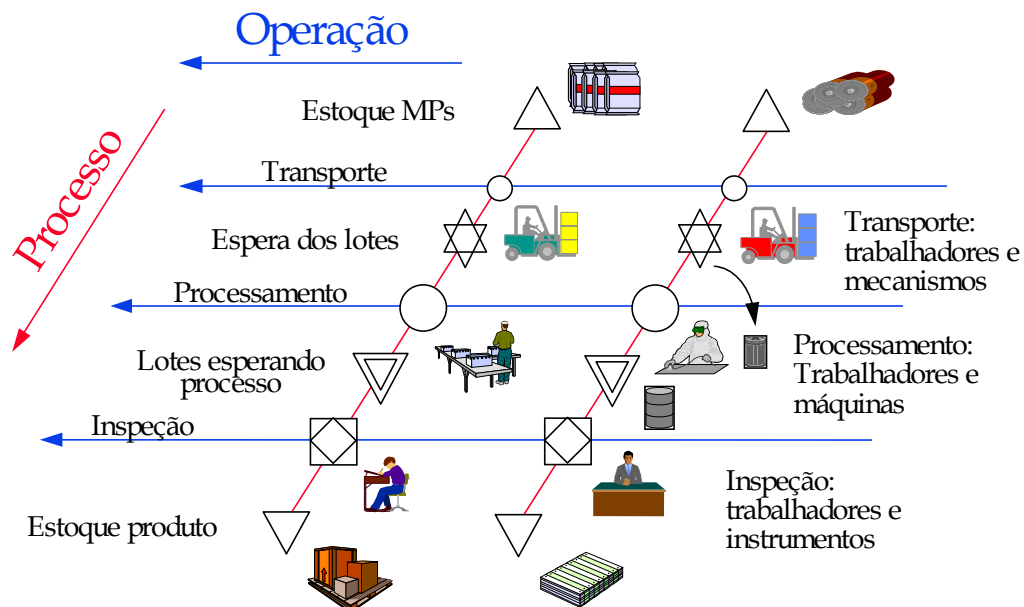


FIGURA 19 - Mecanismo da Função Produção: rede de Processos e Operações.

Fonte: Shingo, 1996a, p. 38.

Pode-se notar, a partir da Figura 19, que as intersecções dos eixos *Y* e *X* correspondem ao encontro dos fluxos de processos e operações. Nessas intersecções ou nós, encontram-se reunidos, simultaneamente, ambos os *objetos* da produção e seus *agentes*, em um determinado tempo e espaço. Nos demais pontos da rede onde não se verifica a intersecção dos eixos, pode-se identificar, por exemplo, que um lote de material está esperando para ser transportado e então processado em um equipamento, enquanto pessoas estão preparando esse equipamento para que ocorra o processamento.

Melhorias são alcançadas nos sistemas produtivos à medida que os espaços entre os pontos de intersecção da rede são reduzidos ou mesmo eliminados (Ghinato, 1996). Para tanto deve-se buscar a eliminação das atividades que não agregam valor ao produto, como transportes, inspeções e estocagens. Como consequência, tem-se a redução de não somente os espaços mas, também, do número de intersecções dentro da rede (Ghinato, 1996).

O MFP rompe com a visão tradicional da produção, que considera os processos como um conjunto de operações, quando diferencia o fluxo dos objetos da produção (Função Processo) e o fluxo dos agentes da produção (Função Operação). De acordo com a visão tradicional, seguindo um raciocínio linear, a melhoria de cada operação isoladamente levaria a melhoria de todo o processo. Sob a ótica do MFP, a melhoria do processo não é necessariamente decorrente de melhorias nas operações.

Mesmo que operações apresentem, localmente, um desempenho excepcional, o sistema produtivo, globalmente, pode não estar otimizado. Se os processos estiverem incorretamente organizados, produtos defeituosos e com custos elevados serão produzidos não importando a eficiência de realização das operações (Shingo, 1996a). Deve-se ter em mente que processos são ações que servem aos clientes e operações são ações realizadas tendo em vista a eficiência das partes do sistema produtivo. Desta forma, são os processos que atingem os objetivos centrais da produção (atender o cliente); operações, neste contexto, são ações que dão suporte a realização dos processos.

A compreensão de que processos diferenciam-se de operações por serem funções distintas que se interceptam ortogonalmente, é de fundamental importância para o estabelecimento das prioridades de melhorias dos sistemas produtivos. Deve-se privilegiar as melhorias nos processos até que todas as possibilidades de alcançá-las tenham extenuado-se, para daí, então, buscar as melhorias nas operações (Ghinato, 1996).

- **Componentes do Processo**

Os aspectos a serem considerados na análise de um processo estão inclusos em uma das seguintes categorias (Shingo, 1996a):

1. **Processamento:** montagem, desmontagem, alterações na forma e qualidade do objeto da produção; ou seja, a transformação das matérias primas em produtos acabados;
2. **Inspeção:** comparação do objeto da produção com um padrão pré-estabelecido;
3. **Transporte:** mudança na localização ou posição do objeto da produção;
4. **Espera:** período de tempo no qual não estão ocorrendo nenhum processamento, inspeção ou transporte do objeto da produção.

O fenômeno da espera, por sua vez, pode ainda ser subdividido em quatro categorias (Antunes, 1994a):

- a. *Espera entre processos:* ocorre quando um lote de *objetos* está esperando enquanto outro(s) lote(s) está sendo processado, inspecionado ou transportado. Ou seja, os *objetos* não passam para o processo seguinte enquanto o processamento atual não tenha sido terminado e a máquina, dispositivos ou operador estejam disponíveis.
- b. *Espera devido ao tamanho dos lotes:* espera a que cada peça de um lote é submetida enquanto todas as demais peças desse lote estão sendo processadas.
- c. *Estocagem de matérias prima.*
- d. *Estocagem de produtos acabados.*

O estudo das esperas é de fundamental importância na construção do STP, por potencialmente serem problemáticas em uma fábrica (por exemplo, acarretam longos tempos de atravessamento e aumento no nível de defeitos e retrabalhos; Antunes, 1998).

• **Classificação das Operações**

As operações realizadas pelo sujeito da produção podem ser classificadas conforme apresenta-se na Figura 20, com termos definidos a seguir.

- **Operações de preparação (operações de *setup*)**

Referem-se às operações de preparação antes e depois dos processamentos, consistindo, basicamente, de mudanças de ferramentas, dispositivos, troca de matrizes e operações de limpeza do equipamento para processamentos subsequentes. São aquelas operações que ocorrem desde a produção da última peça boa do lote precedente até o início da fabricação da primeira peça boa do lote seguinte (Antunes, 1994a).

- Operações principais

Consistem das operações de processamento em si, inspeção, transporte e espera. São aquelas operações que se repetem em cada ciclo de produção e incluem operações essenciais e operações auxiliares.

As operações essenciais correspondem às *operações essenciais de processamento* (fabricação ou montagem dos objetos da produção), *operações essenciais de inspeção* (aferição da qualidade dos objetos da produção com padrões), *operações essenciais de transporte* (alterações na localização dos objetos da produção no chão de fábrica) e *operações essenciais de estocagem* (colocação dos objetos da produção em prateleiras, depósitos, almoxarifados, etc.; Antunes, 1994a).

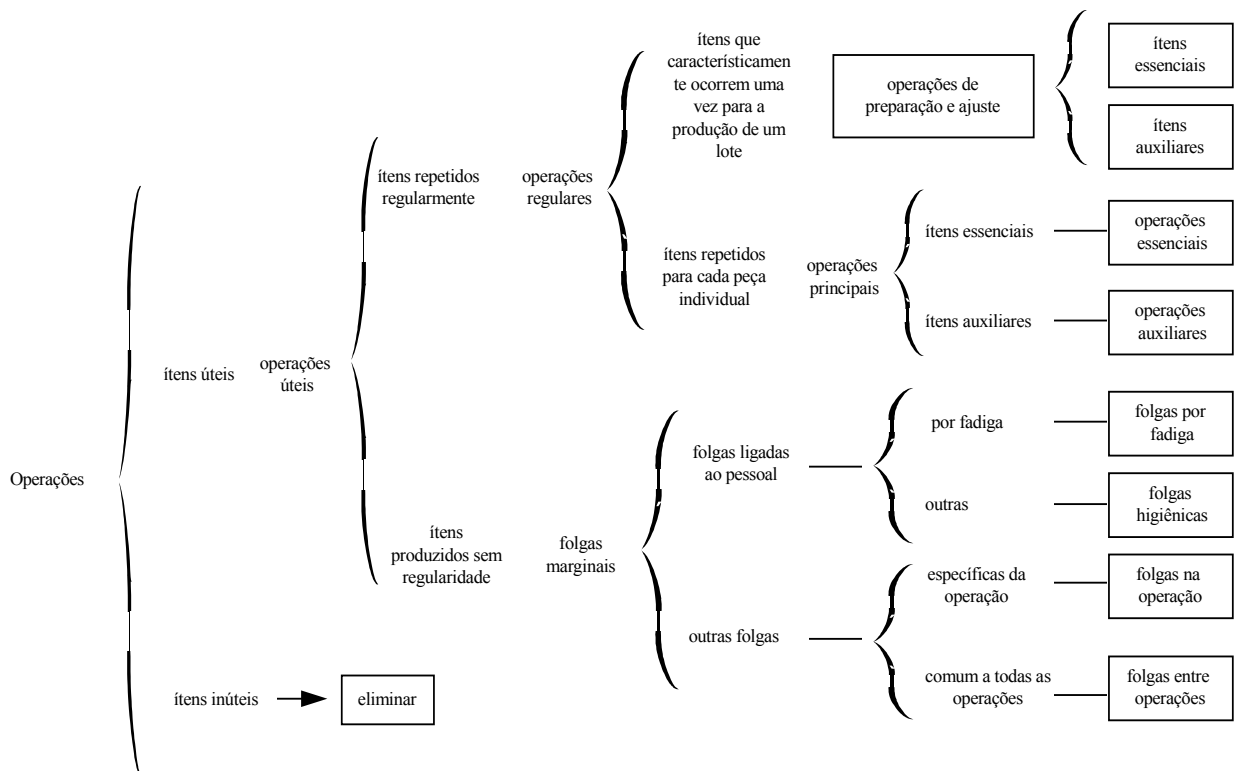


FIGURA 20 - A estrutura das operações

Fonte: Shingo, 1986, p. 9.

As operações auxiliares, por sua vez, constituem-se daquelas atividades que se encontram imediatamente antes e imediatamente após a execução das operações essenciais. São operações que dão suporte às operações essenciais (Ghinato, 1996).

Essas operações podem ser subdivididas em *operações auxiliares de processamento* (alimentação e desalimentação de máquinas), *operações auxiliares de inspeção* (precedem a operação essencial de inspeção; por exemplo, ajustes de instrumentos de aferição), *operações*

auxiliares de transporte (carregamento de materiais que antecedem e sucedem, respectivamente, as operações essenciais de transporte) e *operações auxiliares de estocagem* (colocação e remoção dos objetos da produção nos/dos locais de estocagem).

- Folgas

As folgas referem-se ao período de tempo em que os operadores não estão executando nem operações de preparação, nem operações principais, podendo ser subdivididas em folgas não ligadas ao pessoal e folgas ligadas ao pessoal (Ghinato, 1996).

1. Folgas não ligadas ao pessoal

Tais folgas estão relacionadas a irregularidades nas operações, que não foram previstas e que ocorrem inesperadamente na produção. São períodos de tempo em que os operadores não trabalham, independentemente de suas vontades. Tais folgas podem ser classificadas em folgas na operação e folgas entre operações. As folgas na operação referem-se a atividades que ocorrem com frequências não regulares e que se relacionam diretamente com as operações. Exemplos são folgas para lubrificação de equipamentos, limpeza de ferramentas e recolocação de dispositivos danificados. As folgas entre operações referem-se às folgas que ocorrem entre trabalhos consecutivos devido a trabalhos irregulares. Exemplos são espera por suprimento de materiais e troca de *containers* para estocagem dos produtos acabados.

2. Folgas ligadas ao pessoal

São folgas que ocorrem devido a irregularidades de trabalho e que não estão ligadas diretamente às máquinas e equipamentos, mas sim às pessoas. São divididas em folgas por fadiga e folgas físicas. As folgas por fadiga referem-se a períodos de tempo em que não ocorrem atividades produtivas por parte dos trabalhadores devido à necessidade humana de recuperação de fadigas de origem física e/ou mental. As folgas físicas ou higiênicas referem-se a folgas oriundas de atividades não produtivas dos operadores, para que satisfaçam suas necessidades fisiológicas e higiênicas.

4.2.1.2 O Princípio do Não-Custo

Antes da crise do petróleo de 1973, a capacidade de produção global dos grandes setores da produção em massa dos chamados produtos discretos (automóveis, eletrodomésticos, etc.) e dos produtos intermediários (siderurgia, petroquímica, etc.) eram inferiores a demanda por seus produtos (Coriat *apud* Antunes, 1994a). Foi um período em que era possível comercializar tudo o que fosse produzido (Ohno, 1997). Naquela época as

empresas atuavam no mercado de acordo com o Princípio do Custo (Ghinato, 1994). Tal princípio postula que:

$$\textit{Preço de Venda} = \textit{Custo} + \textit{Lucro} \quad (1)$$

De acordo com o princípio representado na equação (1), o custo dos produtos era tido como fixo, e os preços dos produtos eram impostos ao mercado para que fosse possível alcançar uma margem de lucro pré-estabelecida. Desta forma, as empresas poderiam repassar aos consumidores o acréscimo de custo que porventura pudessem ter devido a ineficiências em seus processos produtivos (Kliemann & Antunes, 1993). Assim, o consumidor era responsável por todo o custo de fabricação (Ohno, 1997). Essa é uma visão que aceita o *status quo*, o que implica dizer que não há necessidade de melhorias (Shingo, 1996b).

Atualmente, com o grande número de concorrentes e aumento da oferta de produtos, se um preço elevado for praticado por um fabricante em função de seus custos também serem altos, os consumidores não comprarão (Ohno, 1997). Basicamente, o que os consumidores desejam são produtos de alta qualidade e baixo custo; concorrentes que atendam a estes pré-requisitos terão a preferência dos consumidores (Shingo, 1996b). Dessa forma, o poder de escolha dos consumidores passa a determinar o preço de venda dos produtos e as empresas não mais podem seguir o Princípio do Custo.

A lucratividade necessária para manter a atuação de uma empresa passa a ser definida como a diferença entre o preço de venda e o custo de fabricação. Na Toyota, essa idéia foi traduzida no Princípio do Não-Custo, que altera a equação (1), apresentando uma nova formulação:

$$\textit{Preço de Venda} - \textit{Custo} = \textit{Lucro} \quad (2)$$

A idéia central na equação (2) é que o mercado determina o preço de venda. Assim, a única forma de uma empresa manter ou aumentar o lucro é através da redução dos custos de produção (Shingo, 1996b). Essa visão exige da empresa esforços contínuos no sentido de redução de custos. No STP, a maneira pela qual se reduzem os custos é através da eliminação total das perdas.

O Princípio do Não-Custo norteia o STP. A redução dos custos através da eliminação das perdas constitui a base de desenvolvimento do sistema. Assim, o Princípio do Não-Custo está voltado para as melhorias nos sistemas produtivos, pois exige grandes esforços por parte das empresas para eliminação das perdas (Shingo, 1996b).

4.2.1.3 Perdas nos Sistemas Produtivos

A capacidade de produção em um sistema produtivo pode ser visualizada através da seguinte equação (Ohno, 1997):

$$\text{Capacidade de Produção} = \text{trabalho} + \text{perda} \quad (3)$$

onde:

- Perda é toda atividade desnecessária que gera custos e não agrega valor ao produto e que, portanto, deve ser eliminada;
- Trabalho compreende as atividades que levam o processo à efetivamente alcançar seu fim; são de dois tipos: *i) Trabalho que adiciona valor*; refere-se ao trabalho efetivo, que representa algum tipo de processamento, ou seja, aquilo que agrega valor ao produto e *ii) Trabalho que não adiciona valor*; representa atividades necessárias, como suporte ao processamento propriamente dito. Refere-se aos movimentos decorrentes das condições atuais de trabalho que auxiliam a realização do processamento, como, por exemplo, a necessidade de caminhar para apanhar uma peça ou apertar o botão de acionamento de uma máquina. Tais movimentos constituem perdas que só podem ser eliminadas através de mudanças das condições de trabalho (Ghinato, 1994).

No STP, o aumento da eficiência (ou seja, da capacidade de produção) só pode ser alcançada quando se produz zero perda e eleva-se a porcentagem de trabalho que adiciona valor para 100 %.

No STP podem ser identificadas 7 grandes perdas (Ohno, 1997; Shingo, 1996a; Shingo 1996b; Antunes, 1995; Antunes, 1998):

1. **Perdas por superprodução:** devem ser o principal foco de melhorias dos sistemas produtivos, pois auxiliam a esconder as outras perdas. Podem ser de dois tipos: *i)* Quantitativa – perda por produzir além da quantidade programada ou necessária, ou por compra de matérias-primas em quantidade maior do que necessário; *ii)* Por antecipação – perda por produzir antes do momento necessário. Como consequência, produtos ficarão estocados aguardando o momento de serem comercializados.
2. **Perdas por transporte:** referem-se as atividades de movimentação de materiais que oneram a produção e não adicionam valor ao produto. A otimização do processo de transporte significa a eliminação da necessidade de transportar.

3. **Perdas no processamento em si:** são parcelas do processamento que não são necessárias para que o produto adquira suas características funcionais.
4. **Perdas por fabricação de produtos defeituosos:** consistem nas peças, sub-componentes e produtos acabados que não estão de acordo com suas especificações de qualidade. Esse tipo de perda é a mais comum e visível, visto que se evidencia exatamente no objeto da produção, exigindo retrabalho ou eventual refugo.
5. **Perdas por estoque:** referem-se aos custos de manutenção e movimentação de estoques de matérias-primas, material em processamento e de produtos acabados.
6. **Perdas por espera:** correspondem aos períodos de tempo em que nenhum processo e operação estão sendo executados, embora os custos horários de utilização estejam sendo contabilizados.
7. **Perdas por movimentação:** referem-se aos movimentos desnecessários executados pelos operadores durante a execução das operações principais. A melhoria dessas perdas pode reduzir o tempo de operação de 10 a 20%.

As sete perdas mencionadas normalmente estão vinculadas entre si e são originárias de disfunções nos processos produtivos (Shingo, 1996a). A identificação e eliminação das perdas no processo produtivo exigem um estudo minucioso, através do MFP, da rede de processo e operações que formam a estrutura da produção, com o objetivo de detectar tais disfunções (Ghinato, 1994). Cabe ressaltar que, na lógica do MFP, apenas o processamento pode agregar valor ao produto. Os outros três elementos do processo (inspeção, transporte e espera) podem ser considerados como perdas. As inspeções não devem ter o propósito de descobrir defeitos e sim eliminá-los. A necessidade de transportar os objetos de produção, bem como as esperas a que os objetos são submetidos, devem ser eliminadas ou minimizadas.

A análise do sistema produtivo da Toyota através do MFP permitiu a identificação das perdas relacionadas anteriormente. Contudo, tais perdas não são as únicas existentes em sistemas produtivos de forma geral. Com o uso do MFP, identificando-se as disfunções existentes nos processos produtivos, pode-se constatar a existência de outros tipos de perdas em diferentes sistemas de produção, inclusive em empresas fornecedoras de serviços, como, por exemplo, perdas relativas ao meio ambiente, perdas ergonômicas e perdas energéticas (Antunes, 1998).

4.2.2 Subsistema de Qualidade de Gestão

4.2.2.1 Controle Total da Qualidade

O Controle Total da Qualidade (TQC – *Total Quality Control*) ou CWQC – *Company-Wide Quality Control* (Controle de Qualidade por Toda Empresa – CQTE) é um sistema administrativo aperfeiçoado no Japão que evoluiu de idéias americanas após o término da Segunda Guerra Mundial (Campos, 1990; Ishikawa, 1986; Ghinato, 1996).

O TQC é um sistema gerencial que integra as tecnologias da qualidade dentro dos diversos departamentos funcionais de uma empresa (engenharia, produção, vendas e serviço), a fim de proporcionar produtos bons e de baixo custo, dividindo os benefícios entre clientes, empregadores e acionistas, ao mesmo tempo em que melhora a qualidade de vida das pessoas (Ishikawa *apud* Ghinato, 1994).

O primeiro passo para o controle total da qualidade consiste na identificação das exigências do consumidor (Ishikawa, 1986). O TQC considera os clientes como prioridade da empresa e sustenta ser necessário que esses clientes sintam-se satisfeitos por longo tempo após a compra de seus produtos ou utilização de seus serviços (Campos, 1990; Ishikawa, 1986). Sob esse aspecto, o gerenciamento pela qualidade total considera como clientes não somente os consumidores finais (clientes externos), mas também os clientes internos à organização. No TQC, os responsáveis por cada processo existente na organização devem considerar o processo seguinte como cliente e devem estar atentos às suas necessidades (Ishikawa, 1990).

Outro aspecto importante do TQC consiste no princípio segundo o qual, em uma empresa, a qualidade não é responsabilidade exclusiva do departamento de controle de qualidade, mas um compromisso assumido por todos da organização (Berk & Berk, 1997). Dessa forma, o estudo de controle da qualidade (CQ) por todos os membros integrantes de todos os departamentos constitui o controle de qualidade instituído como atividade de gestão, abrangente a toda a empresa (Ishikawa, 1986). Esse princípio representa uma mudança significativa para a maioria das empresas que tradicionalmente dependem da inspeção para garantir a qualidade de seus produtos. Ao depender da inspeção (detecção de falhas, em vez da prevenção), a maioria das organizações estabelece a crença de que aqueles que adicionam valor ao produto não são responsáveis pela qualidade de sua produção. O TQC inverte esse raciocínio, fazendo com que todos assumam a responsabilidade pela qualidade.

No TQC, busca-se prevenir a ocorrência da má qualidade em produtos e serviços, em vez de simplesmente detectar e separar peças ou produtos defeituosos. Para tanto, desloca-se o

foco da atenção sobre a inspeção e detecção de defeitos e o concentra na elaboração e implementação de práticas capazes de identificar potenciais falhas. Impede-se a ocorrência e/ou recorrência dessas falhas aplicando-se medidas corretivas nas causas raízes dos problemas. Várias ferramentas e técnicas de apoio são utilizadas na busca do controle e garantia da qualidade no TQC; exemplos incluem o controle estatístico do processo, melhoria contínua de processo, técnicas de projeto Robusto de Taguchi, métodos de identificação, análise e solução de problemas – MIA SP e análises de falhas de sistemas.

O termo “total” do TQC expande o controle da qualidade lateralmente para outras áreas além da produção e amplia seus objetivos para além da qualidade do produto, incluindo, também, a qualidade do trabalho; o objetivo é melhorar a eficiência de todas as atividades da organização (Shingo, 1986). O TQC adota uma filosofia que enfatiza a busca contínua por medidas de melhoria e implementação visando converter oportunidades de aperfeiçoamento em realidade (Berk & Berk, 1997). A melhoria contínua deve abranger processos existentes em todas as áreas, identificando as dificuldades e fontes de variabilidade em processos administrativos, de produção e de serviços que possam comprometer a qualidade dos produtos e a melhoria do processo visando eliminar resultados indesejáveis.

Os conceitos e princípios inerentes ao TQC, como foco no cliente, controle e garantia da qualidade, responsabilidade universal pela qualidade e melhoria contínua (de produtos, processos e condições de trabalho), apresentados acima, suportam e fornecem condições para o desenvolvimento e implementação do STP. Ressalta-se, por exemplo, o vínculo entre o TQC e a estratégia de *marketing* da Toyota. A mobilização de todas as áreas da organização para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos produtos e serviços oferecidos ao mercado, permite o lançamento de produtos com qualidade superior. Esse diferencial é percebido e valorizado pelos consumidores. Tal fato, unido à oferta de produtos com preços reduzidos, permite o aumento da participação da empresa no mercado. Além da relação com a estratégia de *marketing*, pode-se observar, na Figura 18, que o TQC dá suporte ou desdobra-se nas atividades de pequenos grupos, na administração funcional, na manutenção produtiva total, além de aumentar a moral dos trabalhadores (Ghinato, 1996).

4.2.2.2 Atividades de Pequenos Grupos

O gerenciamento pela qualidade total no STP tira partido da sinergia entre equipes de trabalho para ampliar o raciocínio e as práticas do controle de qualidade para todas as áreas de uma empresa. Isso é alcançado através da organização de Círculos de Controle da Qualidade (CCQ) em todas as áreas e setores da organização (Ghinato, 1996). Os CCQ são pequenos

grupos de pessoas, formados para desempenhar atividades de controle da qualidade de forma voluntária em um mesmo setor produtivo. Esses grupos devem funcionar continuamente e desenvolver atividades de melhoria e reformulação de suas áreas de trabalho, utilizando técnicas de controle da qualidade (Campos, 1990; Ishikawa, 1986). Os CCQ são uma forma eficaz de solucionar problemas e desafios enfrentados na busca da melhoria contínua, sendo o meio ideal para a participação e envolvimento dos trabalhadores na conquista da garantia da qualidade (Campos, 1990; Ghinato, 1996).

A idéia básica da formação dos CCQ é transferir a responsabilidade pela identificação e solução de problemas para aqueles que estão mais próximos dos problemas que interferem na oferta de um produto de qualidade e no atendimento da programação de produção (Berk & Berk, 1997). O esquema de melhorias nos CCQ é proposto e introduzido através de um sistema de sugestões. Ressalta-se que, apesar da maioria das sugestões para melhoria ter origem nos CCQ, no STP, sugestões individuais podem ser apresentadas a qualquer momento, independentemente de consulta prévia ao grupo ou a supervisores (Monden, 1984).

Dentre os benefícios obtidos pela implementação dos CCQ em organizações em geral e na Toyota em particular, podem-se citar (Campos, 1990; Ishikawa, 1986; Berk & Berk, 1997):

- Pessoas envolvidas no CCQ, por participarem da análise e solução de problemas em seu meio de trabalho, tornam-se mais receptivas a mudanças sugeridas nos processos. Desta forma, minimiza-se a resistência a mudanças desenvolvidas externamente à organização ou àquele setor produtivo;
- Os CCQ constituem-se em veículo para a educação de trabalhadores, com a divulgação e aplicação prática de técnicas de solução de problemas voltadas para a qualidade;
- Permite a sinergia entre equipes;
- Envolve o empregado na busca por melhorias, inclusive para criar uma área de trabalho feliz, onde haja satisfação e respeito à natureza humana;
- Desenvolve as possibilidades infinitas da capacidade mental humana, permitindo a sua aplicação.

No STP, as ações dos CCQ têm relação direta com o estabelecimento e execução das operações padronizadas, com a redução do tempo de *setup*, com a organização, limpeza e

manutenção dos postos de trabalho (5S's e TPM) e com a implementação do CQZD. Alguns desses elementos são discutidos na seqüência.

4.2.3 Subsistema de Pré-Requisitos Básicos de Engenharia de Produção

4.2.3.1 Troca Rápida de Ferramentas - TRF

Tempo de preparação (ou tempo de *setup*) consiste do período de tempo despendido desde o término da fabricação da última peça boa de um lote, produzido anteriormente por uma máquina, até a saída da primeira peça boa do lote seguinte, quando não há ociosidade (Kannenber, 1994). Ou seja, corresponde ao tempo necessário para preparação de pessoas e equipamentos para a fabricação de um produto diferente daquele produzido anteriormente. Inclui-se, também, nesse tempo de preparação, a fase de testes e ajustes até a fabricação da primeira peça boa do novo lote e conseqüente entrada em produção.

O termo TRF refere-se a uma teoria e conjunto de técnicas para realizar operações de preparação em um período de tempo inferior a dez minutos (Shingo, 1985). Para alcançar esse objetivo, quatro etapas básicas devem ser seguidas, indicadas a seguir, onde a primeira reflete o estado atual do processo (Shingo, 1985; Shingo, 1996a; Kannenberg, 1994):

- Etapa preliminar: atividades de preparação interna e externa não são diferenciadas.

A TRF baseia-se na distinção entre operações de preparação internas (atividades que só podem ser realizadas com a máquina parada) e externas (atividades que podem ser realizadas com a máquina ainda em operação). Na etapa preliminar à aplicação da TRF, essas atividades não são diferenciadas. Pode-se, assim, ter situações onde operações que poderiam ser realizadas externamente, são realizadas com a máquina parada. Isso aumenta desnecessariamente o tempo de preparação e faz com que as máquinas permaneçam ociosas por longos períodos. Nessa etapa, deve-se proceder a um estudo detalhado das atividades de preparação das máquinas. É importante que este estudo seja documentado, analisado e entendido, pois é com base nele que serão feitas as melhorias.

- Primeira etapa: separando preparação interna da externa.

Nesta etapa deve-se distinguir, nitidamente, preparação interna da preparação externa. É necessário identificar as atividades que podem ser realizadas com a máquina em operação e quais as atividades que requerem a parada de equipamento. É importante que as atividades de preparação identificadas como externas sejam efetivamente realizadas com a máquina em funcionamento.

- Segunda etapa: converter preparação interna em externa.

Nesta etapa, atividades de preparação consideradas como internas são convertidas em atividades de preparação externa. Aqui se faz necessária uma análise profunda das funções que certas peças e dispositivos possuem e a que esforços estão submetidos. O objetivo é a simplificação dessas peças e dispositivos ou, até mesmo, a sua eliminação. Desta forma, o tempo de preparação com paralisação de máquinas torna-se menor.

- Terceira etapa: simplificar ao máximo todos os aspectos das operações de preparação.

Aqui, procura-se reduzir os tempos de execução das atividades de preparação. Deve-se examinar as operações de preparação internas e externas para observar eventuais oportunidades de melhoria. O principal ponto a ser atacado é a eliminação dos ajustes.

Ressalta-se que a primeira e a segunda etapa, podem ser realizadas concomitantemente. A divisão aqui apresentada tem por objetivo destacar que há uma fase de análise e outra de implementação (Shingo, 1985).

A aplicação dos conceitos apresentados acima desempenha um papel fundamental na Toyota e em outras empresas que utilizem a TRF, em função das vantagens que apresenta (Monden, 1984; Antunes & Rodrigues *apud* Antunes, 1998):

- A redução do tempo de troca de ferramentas possibilita a minimização do lote de produção, reduzindo o estoque dos produtos tanto intermediário quanto final;
- Com a produção em pequenos lotes, o tempo de fabricação de vários tipos de produtos pode ser reduzido. Desta forma, torna-se possível às empresas adaptarem-se às ordens de clientes e às alterações de demanda;
- A TRF possibilita o aumento da taxa de utilização das máquinas, a medida em que se despende menos tempo preparando essas máquinas. Assim, as técnicas da TRF podem ser utilizadas para adicionar capacidade de produção a uma fábrica;
- A utilização das técnicas da TRF permite a simplificação das preparações, minimizando a possibilidade de ocorrerem erros na regulagem de ferramentas e instrumentos.

A TRF é um dos principais habilitadores da produção *Just-In-Time* (Leschke, 1997). Preparações freqüentes de máquinas são necessárias para produzir uma grande variedade de produtos em pequenos lotes (Shingo, 1985). Caso os tempos dessas preparações sejam longos, a execução do JIT torna-se inviável.

4.2.3.2 Operação-padrão

No STP, a padronização é um dos aspectos fundamentais. Ela é necessária para manter o controle das atividades para que a qualidade seja assegurada (Klippel, 1999).

Uma operação-padrão é um documento, representado pela folha de operações padrão, onde estão registrados os três elementos do procedimento padronizado do trabalho (Ishihara *apud* Greif, 1991; Shingo, 1996a; Ohno, 1997): *i*) Tempo de ciclo; *ii*) Seqüência de trabalho; *iii*) Estoque-padrão.

O tempo de ciclo é o espaço de tempo no qual uma peça, ou uma unidade de produto, é produzida (Black, 1998). Este tempo é determinado através da seguinte equação (Monden, 1984; Ohno, 1997):

$$\text{Tempo de ciclo} = \frac{\text{Tempo efetivo de operação diária}}{\text{Quantidade diária necessária de produção}} \quad (4)$$

onde o tempo efetivo de operação diária corresponde às horas de operação diária e a quantidade necessária por dia é a quantidade de produção necessária por mês, dividida pelo número de dias trabalhados no mês.

A seqüência de trabalho indica a seqüência de operações que os operários devem executar dentro de um determinado tempo de ciclo. O estabelecimento da seqüência de trabalho tem dois propósitos (Monden, 1984):

- Fornecer aos operários, instruções sobre como apanhar peças, colocá-las nas máquinas e retirá-las após o processamento;
- Indicar a seqüência de operações que um operador multifuncional (capaz de operar diversas máquinas) deve executar em diferentes máquinas dentro de um tempo de ciclo.

O estoque-padrão de material em processo, por sua vez, consiste da disposição do material e do espaço entre máquinas, além do material alocado a cada uma dessas máquinas (Monden, 1984). O estabelecimento da quantidade mínima de material em processo é importante para determinar o ritmo das operações das várias máquinas existentes na linha de produção. É importante, também, que o estoque-padrão seja tão pequeno quanto possível, para reduzir os custos de manutenção do material e facilitar o controle visual da qualidade do produto, pois a detecção dos defeitos fica mais evidente (Monden, 1984).

De uma forma geral, o estabelecimento da operação-padrão, parte da análise dos cinco elementos da produção (apresentados no item 4.2.1.1), visando responder às seguintes questões (Shingo, 1996a):

- O quê? – Que produtos serão fabricados? (Objetos da produção);
- Quem? – Que pessoas e máquinas irão produzir os itens? (Agentes da produção);
- Como? – Como serão produzidos? (Método);
- Onde? – Onde serão colocados os itens? Qual o meio de transporte a ser utilizado? (Espaço);
- Quando? – Em que período de tempo? Qual o momento de produzir? (Tempo).

No STP, a utilização da operação-padrão tem como objetivos principais (Monden, 1984; Shingo, 1996a; Edwards *et alli apud* Antunes, 1998):

- Fornecer uma ferramenta ágil para comunicar os procedimentos padrões de trabalho. Essa ferramenta busca obter elevada produtividade através do trabalho eficiente, sem movimentos desnecessários;
- Estabelecer um mecanismo para balancear as operações e ajustar a taxa de produção às demandas dos clientes;
- Instituir uma quantidade mínima de material em processo (número mínimo de unidades necessárias para realizar as operações padronizadas) que é manipulada pelos trabalhadores (esta quantidade-padrão auxilia na eliminação do excesso de inventário);
- Prover um mecanismo de controle visual da fábrica;
- Prover uma ferramenta de treinamento dos trabalhadores.

No STP, todo trabalho deve ser executado de acordo com o que é estipulado nas folhas de operação-padrão, que devem ser revisadas frequentemente para que ocorram melhorias efetivas e contínuas no chão-de-fábrica (Shingo, 1996a).

4.2.3.3 Layout do Posto de Trabalho (*layout* de máquinas)

Um sistema de manufatura pode ser considerado como a combinação ou arranjo de um grupo de elementos físicos (pessoas, espaço, processos e equipamentos), convenientemente organizados para processar informações, materiais e energia (entradas do sistema) com o objetivo de produzir saídas (produtos) com valor adicionado (Ghinato, 1998; Black, 1998; Krajewski & Ritzman, 1999). Sistemas de manufatura, podem ser classificados

de acordo com suas estruturas de produção, isto é, pela maneira com a qual os produtos movimentam-se dentro do sistema. A classificação abaixo está baseada em Ghinato (1998), Hopp & Spearman (1996) e Black (1998):

Processo Contínuo: lida com líquidos, pós e gases, ao invés de peças isoladas. Aqui, os objetos de produção fluem automaticamente através de uma rota fixa. É o sistema de manufatura mais eficiente em termos de utilização da capacidade, embora o menos flexível. Por demandar pouco estoque em processo, torna-se mais simples de controlar. Exemplos: refinarias de petróleo, plantas químicas.

Posição Fixa (*Project Shop*): o produto permanece numa posição ou lugar fixo durante a fabricação devido ao seu peso ou tamanho. Os materiais, máquinas e pessoas são levados para o lugar onde o produto está sendo fabricado. Exemplos: fabricação de locomotivas, montagens de grandes aeronaves e obras de construção civil.

Funcional (*Job Shop*): equipamentos de uso genérico são agrupados funcionalmente, de acordo com o tipo geral de processo de manufatura (por exemplo, tornos em um departamento, furadeiras em outro, injetoras de plástico em outro, e assim por diante). Uma estrutura funcional de manufatura possui *layout* flexível, capaz de processar uma grande variedade de produtos que são direcionados, em pequenos lotes, através dos diversos processos (departamentos) existentes, na ordem apropriada de fabricação. Como pontos negativos tem-se o acúmulo de material em processo, fluxo desordenado de materiais, e *setups* frequentes. Exemplos: gráficas comerciais, fabricação de máquinas-ferramentas, ferramentas especiais e equipamentos.

Em Linha (*Flow Shop*): É a estrutura de produção típica da produção em massa, com elevada taxa de produção, que adota o conceito Taylorista tradicional de um homem/um posto/uma tarefa. Tem uma disposição física orientada para o produto. É um *layout* projetado para movimentar os objetos de produção através de uma seqüência fixa de passos. Normalmente, uma estrutura de produção em linha é dedicada exclusivamente à fabricação de um produto, com equipamentos para fins específicos, sendo desta forma, uma estrutura inflexível a variações no *mix* de demanda.

Manufatura Celular: a idéia básica da manufatura celular é melhorar o gerenciamento do sistema de manufatura dividindo-o em células independentes (sub-sistemas). Na manufatura celular, agrupam-se os processos e operações necessários para produzir uma família de produtos (um conjunto de partes que possuem características semelhantes), em uma seqüência que reduz a movimentação dos objetos de produção na célula. O principal aspecto dessa

estrutura é a sua flexibilidade, pois possibilita que o sistema responda rapidamente a alterações na demanda dos clientes, mudanças no projeto do produto ou no *mix* de produtos a serem fabricados.

Na manufatura celular, as máquinas são organizadas de acordo com a seqüência de produção, formando uma célula de produção em forma U (comentada mais adiante no texto). Geralmente, utilizam-se máquinas mais lentas e específicas, que são menores e mais baratas. Na célula, um trabalhador opera várias máquinas (operador multifuncional), trabalha em pé e caminha ao longo da célula. Os produtos (peças) na manufatura celular são fabricados um por vez e a taxa de produção da célula é determinada pelo tempo de ciclo do sistema.

A manufatura celular possui a vantagem de reduzir a manipulação de material e o tempo de atravessamento, facilitar a automatização de operações e reduzir o estoque de material em processo. É um sistema que melhora a monitoração, o *feedback* e o controle do inventário e da qualidade, além de utilizar de maneira eficaz os recursos humanos.

As estruturas de produção descritas anteriormente podem estar associadas a diferentes tipos de configurações de *layout* de máquinas, conforme descrito a seguir (Ghinato, 1998; Monden, 1984; Coriat, 1994).

Layout linear: este tipo de *layout* é característico da organização da manufatura em linha (*Flow Shop*). Neste *layout*, diferentes tipos de máquinas são dispostas em linha, orientadas de acordo com a seqüência de fabricação dos produtos. Este *layout* permite que produtos fluam rapidamente de máquina para máquina, eliminando estocagem desnecessária de materiais entre processos. Em contrapartida, como é um *layout* rígido e dedicado, impossibilita realocações de operações entre operadores para adaptação às mudanças na demanda e, normalmente, o tempo de *setup* para mudar de um produto para outro é longo.

Layout em ilhas isoladas: diferentes máquinas são organizadas de acordo com a seqüência de processamento para fabricar um determinado produto ou família de produtos. É, portanto, um *layout* orientado para o produto, podendo ser a estrutura básica para alguns sistemas orientados para o fluxo de produção (*Flow Shop*). Tem a particularidade de localizar o trabalhador no centro de várias máquinas diferentes, correspondendo as operações sucessivas a serem efetuadas sobre o produto. Este tipo de *layout* pressupõe a existência de operadores multifuncionais (que operem diferentes máquinas) e possibilita um fluxo constante de produtos entre as máquinas, com mínima movimentação dos operadores. Em contrapartida, os trabalhadores ficam separados, impossibilitando que se ajudem; também há a geração de estoque entre ilhas e a dificuldade de conseguir balanceamento entre os vários processos.

Layout circular (gaiola de pássaros): é um tipo de *layout* comum em sistemas orientados para o processo (*Job Shop*). Nessa configuração de *layout*, máquinas com a mesma função são agrupadas de forma triangular, retangular ou losangular, circundando o operador. A idéia da formação desse tipo de *layout* é eliminar o tempo de espera a que um operador fica submetido, após ter colocado uma peça em uma máquina e a mesma entrar em processamento. Para tanto, duas ou mais máquinas do mesmo tipo são colocadas ao redor do operário. Desta forma, a quantidade de produção por operário pode ser aumentada mas, por outro lado, a quantidade de material em cada estação de trabalho também aumenta. Como consequência, dificulta-se o balanceamento de produção entre estações e os produtos semi-acabados podem não fluir continuamente através dos vários estágios de produção. É difícil, também, sincronizar as várias estações e o tempo total de produção (*lead time*) aumenta.

Layout em forma de U: Conforme mencionado anteriormente, é o *layout* utilizado na manufatura celular. Nesse tipo de *layout*, as máquinas estão organizadas de tal forma, que a entrada de materiais localiza-se próxima à saída dos produtos acabados. Trata-se de organizar a produção segundo postos de trabalho de acordo com as séries de operações a serem realizadas. Aqui, um trabalhador multifuncional é destinado a executar uma série variável de operações, estabelecidas a partir da natureza e do volume dos pedidos. Os materiais fluem através das máquinas uma a uma, enquanto os trabalhadores direcionam-se às máquinas necessárias para coordenar as atividades e balancear a linha.

Através da análise da Figura 18, pode-se observar que o objetivo final do STP, de aumento do lucro, é alcançado pela habilidade do sistema em reduzir custos através da eliminação de perdas, a qual está ligada a estratégia de redução de mão-de-obra (homens/hora). A redução de mão-de-obra, por sua vez, depende da utilização de mão-de-obra flexível, que é alcançada pela combinação de operários multifuncionais e de um *layout* de máquinas adequado, em forma de U, ambos elementos da manufatura celular (Ghinato, 1998; Monden, 1984). Desta forma, a manufatura celular, desempenha um papel importante para o sucesso do STP sendo portanto, um elemento essencial na sua implementação.

De forma geral, um sistema de manufatura moderno deve ser uma entidade em contínua mudança (melhoria contínua), flexível e adaptável a alterações no ambiente externo e capaz de responder rapidamente a essas variações (Ghinato, 1998). Ou seja, impõe-se aos sistemas de manufatura o desafio de estruturar seu ambiente produtivo para obter alta velocidade e baixos custos, preservando a flexibilidade e capacidade de personalização, em uma atmosfera de melhoria contínua da qualidade (Hopp & Spearman, 1996). Devido às suas

características positivas, nota-se na indústria, especialmente nos segmentos mais competitivos, um movimento de afastamento do conceito tradicional de linhas de produção em massa e adesão aos conceitos de operários multitarefa e *layouts* em forma de U (manufatura celular), utilizados no STP (Ghinato, 1998; Black, 1998). Deve-se ressaltar, contudo, que na prática não é possível aplicar a manufatura celular em todos os tipos de fábricas e que certas configurações de *layout* são mais adequadas do que outras em função das características do sistema produtivo e da posição estratégica de uma empresa (Antunes, 1998; Krajewski & Ritzman, 1999). Desta forma, faz-se necessária uma análise detalhada desses fatores quando da decisão sobre o desenvolvimento de novas plantas ou alterações daquelas já existentes.

4.2.4 Subsistema de Defeito-Zero dos Produtos

Nesse item são detalhados os conceitos de Autonomia, Controle de Qualidade Zero-Defeitos (CQZD), Inspeção na Fonte e *Poka-Yoke*. Estes elementos são fundamentais na compreensão do estudo de caso apresentado no Capítulo 5 sendo, assim, objeto de análise aprofundada.

4.2.4.1 Autonomia

A Autonomia consiste na autonomia delegada a um operador ou a uma máquina para parar o processamento sempre que for detectada alguma anormalidade. O objetivo central é impedir a geração e propagação de defeitos e eliminar qualquer anormalidade no processamento e no fluxo de produção (Ghinato, 1999). Para uma melhor compreensão do conceito de Autonomia, deve-se observar dois aspectos inter-relacionados, que a compõem: a lógica da automação e a lógica da autonomia (Antunes, 1998; Coriat, 1994).

Embora haja alguma associação entre Autonomia e automação, esses dois conceitos são distintos (Ghinato, 1996). Um sistema plenamente automatizado deve ser capaz de executar o processamento, detectar anormalidades, decidir sobre a forma adequada de correção e aplicá-la, sem interferência humana (Shingo, 1996a). Na Autonomia, por sua vez, as máquinas são capazes de executar o processamento e detectar a ocorrência de anomalias sem o auxílio de operadores; contudo, a decisão sobre a forma de correção e sua aplicação necessita de intervenção humana (Shingo, 1996a; Ghinato, 1996). Observa-se, então, que a Autonomia representa um estágio anterior a plena automação e, por esta razão, é também chamada de pré-automação (Shingo, 1996a).

Na Autonomia, procura-se transferir para as máquinas a função de detecção de problemas, através do desenvolvimento e aplicação de dispositivos capazes de detectar

anomalias – automação com funções humanas (automação com toque humano). Em contrapartida, continua sendo de responsabilidade dos indivíduos que atuam sobre o processo o desenvolvimento e aplicação de soluções para os problemas encontrados.

Pode-se, ainda, destacar, sob a lógica da automação, que o desenvolvimento de equipamentos que detectem problemas (pré-automação) é viável, tanto técnica como economicamente (Shingo, 1996a). Contudo, fazer com que esses equipamentos também estejam aptos a corrigir os problemas, demanda grandes investimentos além de ser tecnicamente difícil (Shingo, 1996a; Ghinato, 1996). Desta forma, não é trivial justificar tal custo. De outra forma, cabe ressaltar que, através da Automação, é possível alcançar 90% dos benefícios proporcionados pela plena automação, com apenas 10% do investimento necessário para sua implementação (Shingo *apud* Ghinato, 1994). Assim, na Toyota, a solução racional, é a separação entre a detecção e a solução de problemas. A primeira torna-se uma função da máquina, pois é técnica e economicamente viável e, a segunda, é função humana.

Do ponto de vista da autonomia, quatro pontos devem ser considerados (Antunes, 1998):

- a) O surgimento histórico da Automação e sua relação com o rompimento de pressupostos Tayloristas, sustentados pelos sistemas de produção em massa;
- b) O surgimento do conceito de multifuncionalidade;
- c) A perspectiva de ampliação da Automação para operações manuais, sem a presença de máquinas;
- d) A possibilidade de aplicação sistêmica da Automação com respeito a aspectos relativos à segurança do trabalho e à redução dos desperdícios de energia.

A Automação originou-se a partir do desenvolvimento de uma máquina de tear que possuía uma característica peculiar: parava de produzir automaticamente quando ocorria algum problema de qualidade ou quando se atingia a quantidade prevista de produção (Antunes, 1998). Assim, não mais era necessário que um trabalhador permanecesse ao lado de uma máquina se ela estivesse funcionando normalmente; apenas quando a máquina parasse devido a uma situação anormal, é que ela sofria intervenção humana (Ohno, 1997). Esta lógica de operação representava um rompimento com a proposta Taylorista de ‘um homem/um posto/uma tarefa’ (Antunes, 1998). A transferência de atividades manuais para as máquinas, aliada à sua maior confiabilidade quanto à garantia de fabricação de produtos não

defeituosos e da quantidade planejada de produção, permitiu, na Toyota, a separação entre o homem e a máquina (Shingo, 1996a). Assim, um operador podia operar várias máquinas, visto que não estava mais “preso” a seu posto de trabalho. Tornava-se possível, então, reduzir o número de operadores e aumentar a eficiência da produção (Ohno, 1997).

A nova lógica que se colocava era a de ‘um homem/vários postos/várias tarefas’, que é a essência do conceito de multifuncionalidade. A utilização desse conceito teve conseqüências industriais amplas e fundamentais, tais como (Antunes, 1998): *i*) permitiu a criação da estrutura celular de manufatura; *ii*) melhorou a qualidade dos produtos; *iii*) causou modificações radicais na organização do trabalho e da produção; *iv*) permitiu modificações no controle de fabricação; e *v*) trouxe modificações nas relações trabalhadores/supervisão. Todas essas mudanças, tiveram foco na redução dos custos globais de fabricação, através da eliminação das perdas (Antunes, 1998).

Outro ponto importante de análise, refere-se à extensão do conceito de Autonomia a situações de trabalho e de operações que não mobilizem, necessariamente, máquinas automáticas, como em linhas de trabalho manual (Coriat, 1994; Monden, 1984). Neste caso, qualquer operador da linha possui autonomia de parar a produção se ocorrer alguma anormalidade (Ohno, 1997). É importante notar que a Autonomia identifica-se mais com a lógica da autonomia do que com a da automação (Ghinato, 1996). Ao passo que a autonomia para interromper a produção é condição fundamental, a automação nem sempre está presente, como no caso de linhas onde as operações são caracteristicamente manuais (maior parte das linhas de montagem na época em que foi criado o STP; Antunes, 1998; Ghinato, 1996).

Ressalta-se, também, a possibilidade de utilização do conceito de Autonomia em outros campos de ação, por exemplo (Antunes, 1998): no projeto de máquinas e sistemas dotados de autonomia para detectar problemas relativos à segurança dos trabalhadores e que, também, permitam minimizar, ou eliminar, o desperdício de energia.

Por último, cabe destacar a relação da Autonomia com a redução de custos pela eliminação de perdas e sua importância para o perfeito funcionamento do JIT. Através da aplicação da Autonomia é possível eliminar 3 das 7 perdas relacionadas anteriormente (item 4.2.1.3), quais sejam (Ghinato, 1996):

Perda por superprodução: Como uma máquina dispõe de dispositivos que interrompem o processamento ao atingir-se a quantidade planejada de produção, não ocorre excesso de produção, eliminando-se a perda por superprodução.

Perda por espera: a Autonomia dispensa a presença de um operador que verifique a ocorrência de anormalidades durante o processamento. Assim, após o acionamento da primeira máquina, o operador pode dirigir-se a outros postos de trabalho para preparar e operar outras máquinas ou realizar operações auxiliares durante o tempo de ciclo do processamento. Desta forma, o operador não “perde” tempo observando (controlando) a máquina produzir, despendendo esse tempo com operações auxiliares ou essenciais.

Perda por fabricação de produtos defeituosos: é função básica da Autonomia interromper o processamento no caso de anormalidades. Assim, a máquina não efetua o processamento se houver risco de fabricação de produtos defeituosos. Somente após a intervenção do operador ou da equipe responsável para eliminar a causa do problema, é que se retoma a produção.

No JIT, o suprimento dos itens necessários, na quantidade adequada, no local exigido e no tempo certo para os diversos processos produtivos, exige um mecanismo que garanta que cada processo produza somente a quantidade exigida de produtos e que estes estejam livres de qualquer defeito, para que estejam disponíveis quando forem necessários (Ghinato, 1996). Nesse sentido, pelo exposto anteriormente, a Autonomia constitui um conceito essencial para a execução do JIT.

4.2.4.2 O Controle da Qualidade Zero Defeitos e seus Elementos

A operacionalização do JIT necessita um alto nível de controle de qualidade (Hopp & Spearman, 1996). Conforme mencionado anteriormente, o JIT opera com um número reduzido de peças entre os processos, e o operador de uma máquina não dispõe de um grande número de partes para escolher aquela que se apresenta em melhor condição de uso. No limite, esse operador pode dispor de somente uma peça para trabalhar; se a peça apresentar defeito, ela não poderá ser utilizada, o fluxo de produção é interrompido e toda a linha de produção pára de produzir. Portanto, a qualidade do produto é um aspecto indispensável do Sistema Toyota de Produção, pois sem um controle eficaz da qualidade, o fluxo contínuo da produção é impossível de ser alcançado (Monden, 1984).

A Toyota utiliza-se do conceito de Autonomia para evitar as interrupções em sua linha de produção. A Autonomia possibilita a identificação de anormalidades e subsequente paralisação da produção, para a imediata ação corretiva. Para exercer sua função de controle, a Autonomia faz uso de uma estratégia de inspeção eficaz, que é incorporada à execução do processamento, para imediata detecção e correção de problemas (Ghinato, 1996). Através do CQZD, a Autonomia exerce a função de controle necessária para evitar a fabricação de produtos defeituosos (Ghinato, 1996).

O CQZD refere-se a um sistema de controle da qualidade que busca eliminar a ocorrência de defeitos na fabricação de produtos, através da identificação e controle das causas desses defeitos, durante a realização das operações (Ghinato, 1996). O CQZD parte do princípio que os erros são os responsáveis pelos defeitos e que, portanto, o controle deve ser exercido sobre os erros (causas) e não sobre seus efeitos (defeitos). Evita-se, dessa forma, que produtos defeituosos sejam fabricados. Contudo, o objetivo da aplicação do CQZD não é apenas a fabricação de produtos isentos de defeitos, mas a garantia de que um sistema seja capaz de produzir consistentemente produtos livres de defeitos (Ghinato, 1996). Este conceito deve ser aplicado em todas as operações e processos de forma que cada operação e cada processo sejam planejados considerando todas as possibilidades de falha. Assim, os aspectos relativos à gestão da qualidade, no CQZD, objetiva que os produtos não apresentem defeito em nenhuma parte do fluxo produtivo.

O CQZD está estruturado em um processo de identificação das causas dos defeitos, utilização de uma estratégia de inspeção que previna problemas, aplicação de dispositivos capazes de detectar anormalidades nas operações e ação imediata quando os defeitos são localizados (Ghinato, 1996). Assim, pode-se destacar quatro pontos fundamentais para a sustentação do CQZD (Shingo, 1986):

1. Utilização de inspeção na fonte. Esta estratégia de inspeção tem caráter preventivo. Significa aplicar funções de controle no estágio onde os defeitos são originados. Desta forma, o controle é aplicado na detecção de erros antes que eles se convertam em defeitos. Procura-se, assim, eliminar qualquer custo associado a ocorrência de anormalidades no fluxo produtivo (perda por fabricação de produtos defeituosos).
2. Utilização de inspeção 100%, em que todos os itens produzidos são inspecionados, ao invés de inspeção por amostragem;
3. Redução do tempo decorrido entre a detecção de uma anormalidade e a aplicação corretiva;
4. Reconhecimento de que os trabalhadores são falíveis. Portanto deve-se dispor de instrumentos que intervenham nas ações “desastradas” das pessoas, evitando que seus erros gerem defeitos. Para tanto, aplicam-se dispositivos à prova de falhas – *Poka-Yokes*, para efetuar a função controle junto à execução.

Na seqüência do texto, os elementos do CQZD, são comentados em detalhe. São apresentados os diferentes métodos de inspeção, bem como as funções e os tipos de

dispositivos *Poka-Yoke*. Inicialmente, contudo, faz-se necessário comentar a respeito da função controle e sua importância dentro do ciclo de gerenciamento da produção.

A. As Funções do Gerenciamento e o Controle da Qualidade

Quando uma empresa fabrica produtos defeituosos, apenas 1/4 ou 1/5 da responsabilidade pode ser atribuída aos operários que os fabricaram. A maior parte da falha deve ser atribuída ao nível gerencial (Ishikawa *apud* Ghinato, 1996).

Na construção civil, observa-se que a incidência de perdas é causada, principalmente, por deficiência no gerenciamento do empreendimento e da obra (Boop, 2000). Nota-se que os operários são, muitas vezes, apontados como principais responsáveis pela baixa produtividade, má qualidade e pelo elevado índice de perdas. Todavia, a gerência tem mais responsabilidade pelas perdas que os operários. Observa-se, assim, o importante papel das funções do gerenciamento na condução de um negócio.

Existem variações quanto ao número de funções gerenciais. Contudo, pode-se destacar as seguintes funções básicas (Shingo, 1986): *i*) Planejamento; *ii*) Controle (e execução); *iii*) Monitoramento. Essas funções e suas inter-relações são apresentadas a seguir.

▪ Função Planejamento

O planejamento envolve a identificação de alternativas potenciais de ação que possam satisfazer um objetivo. Envolve, também, a avaliação dos meios para a implementação dessas alternativas (Ghinato, 1996). O planejamento é uma atividade que deve ser realizada em todos os níveis organizacionais e deve ser integrado de forma a manter esses níveis em sintonia (Shingo, 1996b). Nesta fase, devem ser elaborados os planos de produção e determinadas as operações padrão, mencionadas anteriormente (item 4.3.2).

Basicamente, o planejamento da produção deve fornecer informações que possibilitem o gerenciamento eficiente de materiais, a utilização eficiente de pessoas e equipamentos e a coordenação das atividades dos fornecedores de acordo com as atividades da produção (Vollman *et alli*, 1997).

É importante que o planejamento seja realizado antes da implementação das ações em um tempo suficiente para a criação de padrões adequados, os quais serão utilizados como diretrizes para as implementações (Shingo, 1996b). Tais padrões não devem ser definidos em termos genéricos. Os padrões devem estabelecer quais as tolerâncias permitidas para cada processo e quais os procedimentos operacionais que devem ser executados para atendê-las. Aqui, o significado de qualidade pode ser entendido como a conformidade com as

especificações ou necessidades daqueles que utilizarão os produtos (Black, 1998). Isto significa que os padrões de conformidade devem ser precisamente determinados.

Recomenda-se, para a elaboração dos padrões durante a fase de planejamento, a utilização de técnicas estatísticas. Tais técnicas podem auxiliar: *i*) no estabelecimento das especificações das operações; *ii*) na determinação dos níveis ótimos de operação dentre as diversas condições possíveis; *iii*) na avaliação dos métodos de operação em aplicação, e *iv*) na investigação das oportunidades de melhorias. O projeto de experimentos, o CEP e os testes de hipóteses são alguns exemplos de técnicas estatísticas que podem ser aplicadas na fase de planejamento como instrumentos adequados para a consecução das atividades relacionadas acima. Depois de determinadas as condições ótimas de operação, as mesmas devem ser traduzidas em manuais de processo e operações e repassadas para aqueles que irão conduzir o processo.

Observa-se, contudo, que a simples determinação de planos de produção com manuais de procedimentos, mesmo que apropriados e perfeitamente elaborados, não é capaz de assegurar que os processos e operações sejam executados adequadamente. Para que as instruções contidas nesses manuais sejam perfeitamente entendidas pelos que irão utilizá-los, essas pessoas devam ser treinadas visando a execução livre de erros.

▪ **Função Controle e Função Execução**

A fase de execução corresponde a etapa em que são implementadas as ações previamente estabelecidas pela função planejamento. É durante essa fase que os produtos são fabricados e, por conseguinte, é nela que os defeitos de fabricação ocorrem, independentemente de quão consistente e bem realizado tenha sido o planejamento (Ghinato, 1996; Shingo, 1996b). Portanto, a qualidade de um produto é fundamentalmente determinada pela qualidade das atividades desenvolvidas pela função execução. Desta forma, os métodos e técnicas de controle aplicados têm impacto decisivo na qualidade e na taxa de defeitos dos produtos acabados (Shingo, 1996b).

A função controle pode ser entendida como a atividade de reconhecimento e correção de anormalidades no fluxo produtivo, que pode ser exercida pelos gerentes, pelos operários ou pelas próprias máquinas, através da utilização de dispositivos *Poka-Yoke*, descritos mais adiante. Quanto mais rápida for a detecção e a informação da ocorrência de uma anormalidade (*feedback*), mais rapidamente poderão ser tomadas medidas corretivas.

A função controle exercida pelos gerentes refere-se à observação do trabalho desenvolvido pelos operários. O controle exercido pelos operários, por sua vez, refere-se à

verificação dos resultados de suas atividades de acordo com os padrões especificados na fase de planejamento da produção. Dessa forma, ambos os gerentes e operários desenvolvem suas tarefas sob a ação da função controle. O reconhecimento e correção dos erros pelos operadores somente é possível porque os padrões e processos são perfeitamente dominados por eles, através de um esforço de instrução e treinamento sistemático (Ghinato, 1996).

A inter-relação entre as funções planejamento e controle, vem apresentada no Quadro 15. Pode-se observar ali a diferença da dinâmica de suas aplicações.

QUADRO 15 - Relação entre a função planejamento e a função controle.

PLANEJAMENTO	CONTROLE
Determina a estrutura estática da produção	Afeta o controle dinâmico da produção
É feito, normalmente, uma única vez, na fase inicial do desenvolvimento. Ocasionalmente, pode ter algumas modificações posteriores.	É exercido diariamente.
Determina a capacidade da produção	Determina o nível real dos objetivos alcançados <i>versus</i> a capacidade de produção, determinada durante o planejamento.

Fonte: Shingo, 1996b, p. 189.

Ainda comparando-se as funções planejamento e controle, identificam-se três tipos de relações (Shingo, 1996b; Ghinato, 1996):

Características opostas entre planejamento e controle: o planejamento estabelece uma estrutura estática da produção, ao passo que o controle é uma atividade dinâmica e contínua ao longo do tempo. O planejamento deve ser feito antes da implementação das ações. O controle, por sua vez, deve ser exercido continuamente. O controle deve verificar, por exemplo, se a seqüência de produção está sendo seguida e se o trabalho está ocorrendo de acordo com o cronograma. Essas atividades devem ser realizadas diariamente, durante a produção. O objetivo é fazer com que a execução atenda às especificações estabelecidas no planejamento.

Relação de compensação entre planejamento e controle: a qualidade de um produto é resultado da aplicação da função controle, implementada junto à execução, e da função planejamento.

A função planejamento é de suma importância na determinação do desempenho e na prevenção de problemas na utilização dos produtos. Em outras palavras, a qualidade de um produto inicia na fase de planejamento (projeto). Assim, não deve ficar somente ao encargo da função execução e função controle a garantia da qualidade de um produto.

A existência de uma relação de compensação entre o planejamento e o controle, permite que um planejamento de alto nível de confiança esteja associado a um controle de baixo nível de precisão e vice-versa. Este mecanismo de compensação está ilustrado na Figura 21.

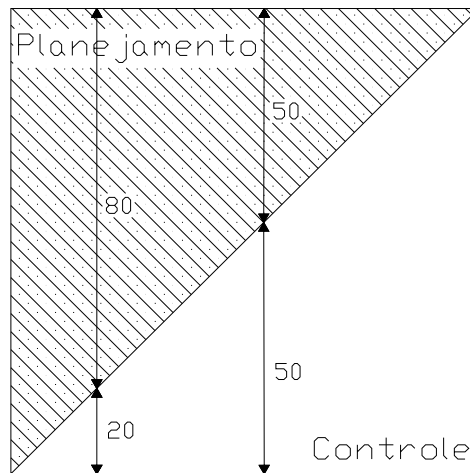


FIGURA 21 - Relação de compensação entre a função planejamento e a função controle.

Fonte: Shingo, 1996b, p. 190.

Relação global entre planejamento e controle: exemplifica-se a relação global entre planejamento e controle através dos exemplos apresentados a seguir (Shingo, 1986; Shingo, 1996b):

Exemplo A: o planejamento e os padrões (processos e operações) não estão estipulados, sendo atribuição do pessoal do chão de fábrica o estabelecimento de padrões de trabalho e o sequenciamento das atividades. Nessa situação, mesmo implementando-se um sofisticado sistema de controle com o pessoal de fábrica trabalhando com capacidade total, os atrasos nas entregas e a quantidade de produtos em processamento continuariam aumentando.

Exemplo B: o planejamento está adequado e uma programação padrão está estabelecida. Nesse caso, atrasos nos processamentos são mínimos. As entregas de produtos são realizadas de acordo com os prazos e a quantidade de produtos em fabricação é mínima. Nessa situação, a produção pode ser executada com um sistema de controle relativamente simples.

Pelo exposto, pode-se observar que melhorias no planejamento têm importância fundamental quando a produção exige aperfeiçoamento. Por outro lado, compensar um planejamento pouco eficaz pela intensificação do controle é antieconômico, embora, geralmente, exija menor esforço e menores custos de implementação (Shingo, 1996b). Assim,

ao buscar melhorias na produção, deve-se sempre enfatizar melhorias no planejamento. Contudo, a execução do que foi estabelecido pela função planejamento necessita de uma função controle que seja eficaz, para garantir o atendimento das especificações. A precisão da função controle depende, fundamentalmente, do nível de confiança da função planejamento.

▪ **Função Monitoramento**

A função monitoramento é implementada após as funções execução e controle terem sido realizadas (Shingo, 1996b). O monitoramento consiste da comparação dos resultados obtidos na fase de execução e controle com as especificações estabelecidas no planejamento (Shingo, 1996a). Assim, caso haja alguma deficiência no planejamento ou obtenham-se resultados indesejáveis, é necessário determinar de onde provêm essas falhas. As informações obtidas são utilizadas no próximo processo de planejamento, onde medidas devem ser tomadas para corrigir as anormalidades. Fecha-se, desta forma, o ciclo de gerenciamento.

Para a execução adequada das funções do gerenciamento, faz-se necessário a elaboração de um ciclo secundário de planejamento, execução/controle e monitoramento. Por exemplo, implementação da função controle deve seguir os seguintes passos (Shingo, 1996b):

- Planejamento da implementação do controle;
- Execução do controle;
- Controle secundário, que deve regularizar o controle primário;
- Monitoramento dos resultados.

Assim, observa-se que as funções gerenciais estão inter-relacionadas e devem ser implementadas consecutivamente. A Figura 22 ilustra o exposto.

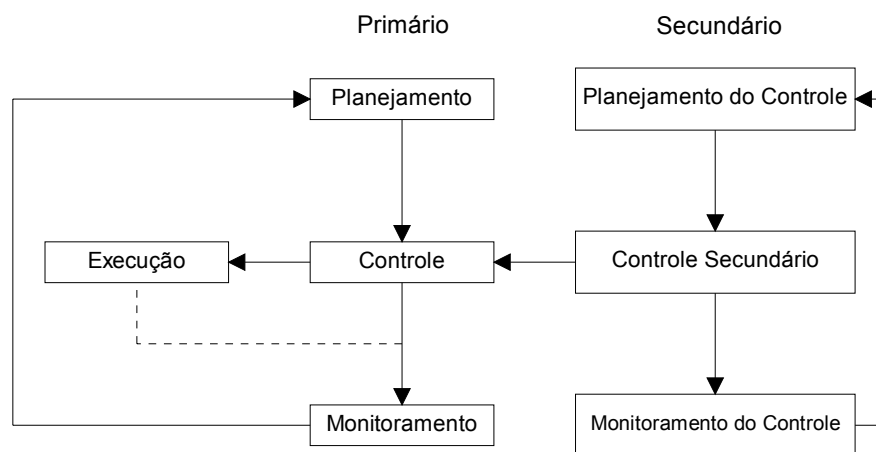


FIGURA 22 - Desdobramento da execução da função controle.

Fonte: Shingo, 1996b, p. 193; Ghinato, 1996, p. 44.

B. O Ciclo do Gerenciamento e as Relações entre as Funções Gerenciais

Pelo que foi comentado no item anterior, verifica-se que o ciclo gerencial proposto por Shingo (1986; 1996b) difere do ciclo de controle do processo, originalmente proposto por Shewhart e difundido por Deming, conhecido como ciclo PDCA ou ciclo de Deming com suas fases componentes apresentadas na Figura 23.

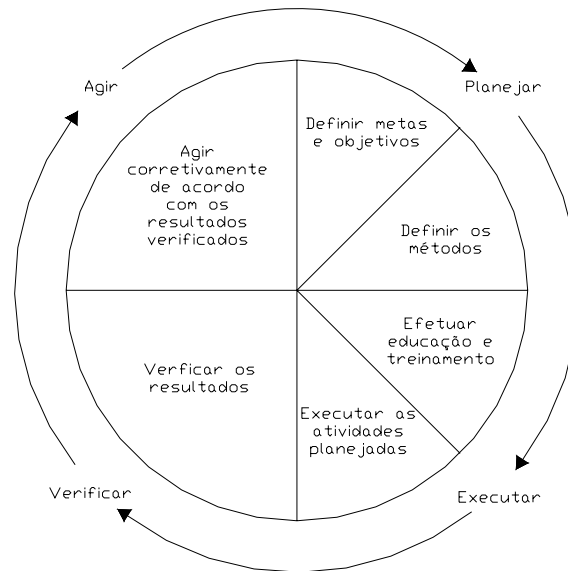


FIGURA 23 - Ciclo PDCA

Fonte: Ishikawa, 1986, p. 57.

Em contraste com o ciclo PDCA, o ciclo de gerenciamento proposto por Shingo (1986; 1996b) adota uma forma diferenciada de relacionar as funções de gerenciamento, através de um ciclo com três elementos: *i*) Planejamento (*Plan*); *ii*) Execução (*Do*); *iii*) Verificação (*Check*). Esse ciclo é apresentado na Figura 24.

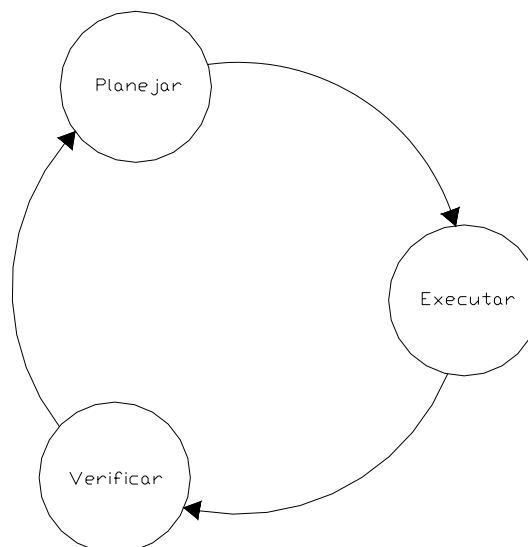


FIGURA 24 - Ciclo de gerenciamento proposto por Shingo.

Fonte: Shingo, 1996b, p. 1986.

Embora note-se uma diferença de interpretação entre o modelo clássico do PDCA e o modelo adotado na Toyota, essa diferença não ocorre em função do número de elementos abordados, mas sim em termos de suas funções. Apesar de não estar representada graficamente, a função Agir (*Act*) ainda permanece como componente do ciclo, implícita na função Verificar (monitorar – *Check*). Nesse caso, a função Agir assume um caráter corretivo, conforme mencionado anteriormente.

A principal divergência entre as duas abordagens, diz respeito ao entendimento que a função execução é inseparável da função controle (Shingo, 1996b). No ciclo PDCA observa-se a inexistência de qualquer mecanismo de controle associado à função execução. Portanto, a aplicação do ciclo PDCA pode permitir a execução de uma atividade mesmo com a presença de um erro ou falha, que somente seria apontada mais adiante com a função monitoramento.

Desta forma, a aplicação do ciclo de Deming sem a execução controlada não pode sustentar o Sistema Zero Defeitos, uma vez que a execução permite a ocorrência de falhas. Tal situação pode inviabilizar a operacionalização do JIT. No CQZD, o controle deve-se dar teoricamente em um tempo muito próximo ao da execução. O monitoramento, por sua vez, ocorre em um tempo distinto daquele da execução, ajudando no (re)planejamento, mas não tendo influência direta junto à execução (Antunes, 1998).

O reconhecimento de que a função controle age conjuntamente com a função execução e que ela deve ser eficiente, é o conceito crucial de um sistema de controle da qualidade que visa eliminar defeitos (Shingo, 1986). Essas considerações tornam mais simples o entendimento do significado de dispositivos à prova de falhas no estágio de execução e controle da produção, conforme apresentado mais adiante.

C. O Significado da Operação de Inspeção

A produção no STP é constituída de uma rede de processos e operações (Figura 19). Os processos podem ser subdivididos em quatro categorias: *i*) processamento, *ii*) inspeção, *iii*) transporte e *iv*) esperas. A inspeção consiste da comparação do objeto da produção com um padrão pré-estabelecido. Todavia, essa é apenas a descrição do ato de inspecionar. Sob o ponto de vista do MFP, a inspeção é uma atividade que suplementa os elementos do processo. A inspeção deve revelar e prevenir defeitos no decorrer do processamento, do transporte e das esperas (Shingo, 1996b; Ghinato, 1996).

A função inspeção pode ser considerada como uma função secundária dentro da produção. A operação de inspeção é uma atividade que não acrescenta nenhum valor ao produto e aumenta os custos de produção sem aumentar a produtividade (Monden, 1984;

Shingo, 1986). Portanto, a inspeção representa um desperdício. Se do ponto de vista da função operação é importante que a inspeção seja a mais eficiente possível, do ponto de vista da função processo, inspecionar eficientemente significa desperdiçar eficientemente (Ghinato, 1996). Esse aspecto deve ser levado em consideração quando se pensa em otimizar a operação de inspeção. É necessário, inicialmente, questionar por que se deve conduzir inspeções e procurar reduzir ou eliminar a necessidade de realizá-las. Desta forma, a maneira mais adequada de otimizar a inspeção é dispor de processos que eliminem a necessidade de inspecionar (Shingo, 1986).

D. Operação de Inspeção e a Função Controle

A operação de inspeção está diretamente relacionada com a função controle, na medida em que é a operação de inspeção que desempenha a função controle. Desta forma, embora seja uma atividade que não agrega valor ao produto, a inspeção é um importante meio para o aprimoramento contínuo e eliminação dos defeitos. Por isso, a inspeção é uma operação que ainda ocupa um lugar de destaque dentro do Mecanismo da Função Produção (Ghinato, 1996). Contudo, no STP, a operação de inspeção desliga-se de seu objetivo tradicional de detectar defeitos, para constituir-se de um mecanismo preventivo, capaz de eliminar defeitos por completo.

E. Objetivos e Estratégias de Inspeção

Conforme apresentado no item anterior, sob o do ponto de vista do processo, a inspeção é uma operação que representa uma perda. Logo, essa é uma função que deve ser eliminada ou reduzida nos processos de fabricação. Para tanto, deve-se iniciar por analisar os objetivos das operações de inspeção (Ghinato, 1996). A mudança do objetivo da inspeção pode ser o primeiro passo para sua otimização.

A inspeção é, em essência, uma operação de comparação de um produto ou serviço, com os padrões estabelecidos. Divergências que por ventura existam entre esses padrões e o resultado da inspeção é considerado uma anormalidade. A caracterização das anormalidades é importante para a determinação dos objetivos e para aplicação de estratégias de inspeção. Anormalidades detectadas na inspeção podem ser classificadas em defeitos ou erros. Defeito pode ser definido como um dano ocorrido no objeto da produção. Erros, por sua vez, podem ser entendidos como a execução imperfeita de uma atividade, capaz de causar um dano ao objeto (defeitos), aos fatores da produção ou ao planejamento do fluxo de atividades. Logo, um erro pode ser entendido como um defeito em potencial (Ghinato, 1996).

Os objetivos da inspeção estão relacionados com a natureza da anormalidade a ser detectada (erros ou defeitos). Para tanto, estratégias de inspeção podem ser utilizadas para: *i*) descobrir defeitos; *ii*) reduzir defeitos; *iii*) eliminar defeitos.

Inicialmente, inspecionavam-se os produtos acabados com a intenção de rejeitar aqueles que apresentavam defeitos. Tratava-se da inspeção por julgamento. Essa noção que a única função da inspeção era inspecionar produtos acabados com vistas a eliminar os defeituosos foi revista com o surgimento da inspeção informativa. Esse novo método de inspeção reduzia a ocorrência de defeitos através do *feedback* da informação da ocorrência de defeitos ao processo de origem e agia-se em acordo com a informação fornecida, para corrigir as causas dos defeitos. Essa era uma maneira inovadora de pensar sobre a função da inspeção, mas, ainda assim, era uma estratégia de inspeção com foco sobre a identificação e eliminação de defeitos.

Na inspeção informativa, o *feedback* e as ações corretivas aconteciam somente após a identificação dos defeitos. Era necessária uma estratégia de inspeção que impedisse que os defeitos ocorressem em primeiro lugar. Surgiu, então, o conceito de inspeção na fonte. Percebeu-se que os defeitos são os efeitos dos erros e que, portanto, para fabricar produtos sem defeitos, fazia-se necessária uma estratégia de inspeção sobre os erros, em um estágio anterior aos defeitos, através da utilização de mecanismos apropriados. Percebeu-se que importantes benefícios poderiam ser alcançados através da combinação da estratégia de inspeção na fonte e os dispositivos *Poka-Yoke*. Essa combinação tornou possível a obtenção do controle de qualidade zero defeitos (CQZD).

A Tabela 3 apresenta as estratégias adotadas para cada objetivo da inspeção. O desenvolvimento das diferentes estratégias de inspeção é apresentado a seguir.

TABELA 3 - Objetivos da inspeção e as estratégias utilizadas para alcançá-los.

OBJETIVO	ESTRATÉGIA
<i>Descobrir defeitos</i>	<i>Inspeção por julgamento</i>
<i>Reduzir defeitos</i>	<i>Inspeção informativa</i>
<i>Eliminar defeitos</i>	<i>Inspeção na fonte</i>

E1. Inspeção por Julgamento: Inspeção para Descobrir Defeitos

Inspeções por julgamentos são utilizadas para categorizar produtos acabados como defeituosos ou aceitáveis, após o término de sua produção (Shingo, 1986). A sua função é

impedir que produtos com defeito cheguem aos consumidores finais ou aos processos subsequentes dentro do sistema de manufatura.

Essa estratégia de inspeção, independentemente da eficiência em sua execução, não contribui para a redução da perda por fabricação de produtos defeituosos, que é o tipo de perda a ser combatida pela operação de inspeção (Ghinato, 1996). Isso ocorre porque a inspeção por julgamento está estruturada na idéia da simples detecção de anormalidades, enquanto defeitos. Este tipo de inspeção pode, no máximo, evitar que produtos defeituosos sejam repassados para quem os utilizarão, mas não impedir que produtos defeituosos sejam fabricados, pois não é capaz de detectar erros no processamento, já que o foco está direcionado para seus efeitos.

Outra característica da inspeção por julgamento refere-se a pouca eficiência da função *feedback*. No caso de detecção de produtos defeituosos durante a operação de inspeção, essa informação somente é transferida ao responsável pelo processamento quando não há mais possibilidades de correção, pois os produtos defeituosos já foram fabricados ou quando as correções que por ventura possam ser efetuadas não puderem mais evitar a quantidade de produtos defeituosos já fabricados (Ghinato, 1996).

E2. Inspeção Informativa: Inspeção para Reduzir Defeitos

Inspeção informativa é uma estratégia de inspeção em que, ao ser detectada a ocorrência de um defeito, a informação (*feedback*) desse fato é transmitida para o processo responsável (origem do defeito), para que medidas corretivas sejam tomadas (Shingo, 1986). O surgimento da estratégia de inspeção informativa foi um avanço com relação à inspeção por julgamento. Em contraste com a antiga idéia de inspecionar para distinguir entre produtos aceitáveis ou defeituosos, a inspeção informativa apresentou a possibilidade de reduzir a taxa de incidência de produtos defeituosos, o que representa uma melhoria importante para o controle da qualidade (Shingo, 1986).

Pode-se apresentar três categorias para esse método de inspeção (Shingo, 1986; Ghinato, 1996: *i*) Controle estatístico da qualidade (CEQ); *ii*) Sistema de inspeção sucessiva (SIS); *iii*) Sistema de auto-inspeção (SAI).

Apesar da inspeção informativa representar uma melhoria da função inspeção, pois é capaz de reduzir defeitos, essa é uma estratégia de controle ineficaz para uma produção zero defeitos, já que tem o foco na detecção dos defeitos dos produtos e não dos erros no processamento. Por mais eficiente que seja o método de inspeção informativa adotado,

sempre haverá a necessidade de ocorrência de pelo menos um erro, antes de ser tomada alguma ação corretiva (Ghinato, 1996).

- **Controle Estatístico da Qualidade**

O controle estatístico da qualidade refere-se à aplicação do controle estatístico de processos, que utiliza cartas de controle construídas estatisticamente, para reduzir a fabricação futura de produtos defeituosos em processos produtivos. A partir da identificação de uma situação anormal no fluxo de produção, retorna-se a informação da sua ocorrência ao seu processo de origem, para que os métodos de processamento possam ser corrigidos. Em síntese, esse é o mecanismo de aplicação do CEP, discutido no Capítulo 3. Nesta seção, comenta-se sobre a aplicação do CEP em um ambiente que visa a fabricação de produtos 100% livres de defeitos.

O CEP é uma ferramenta que aceita a ocorrência de um determinado nível de defeitos, ou não conformidades, decorrentes da variabilidade inerente aos processos. Conforme apresentado no Capítulo 3, pode-se aceitar no CEP a incidência de 0,27% de defeitos não detectáveis pela aplicação das cartas de controle e, ainda assim, o processo será considerado capaz de atender às exigências dos consumidores (Ghinato, 1996).

Dessa forma, pode-se concluir que métodos baseados na teoria estatística, como o CEP, não seriam indicados para exercer a função controle quando o objetivo é operar um sistema de manufatura que não produza itens defeituosos. Nesse caso, deve-se desenvolver e aplicar outros métodos de controle, que permitam a execução de atividades livres de erros. Isso é o que acontece na Toyota.

Apesar da constatação que o CEP pode não ser aplicável como método de controle, em um ambiente que vise o zero defeito, a sua utilização não é descartada na Toyota. O que há é uma mudança no fim de sua utilização. Na Toyota, os métodos estatísticos são utilizados intensivamente como ferramenta para auxiliar a função planejamento e não como função de controle. Na fase de planejamento a aplicação de técnicas analíticas como projetos de experimentos e a determinação de diferenças significativas trouxe melhorias reais no estabelecimento de padrões de processo e procedimentos operacionais (Shingo, 1986).

Destaca-se, também, a possibilidade de utilização do CEP como ferramenta de monitoramento de processos. Observa-se, que o CEP encaixa-se na descrição da função monitoramento, comentado anteriormente. Nesse sentido, ele seria um facilitador do processo de planejamento à medida que o CEP é uma técnica poderosa de coleta de dados e

acompanhamento de produção, que se adequa como método de monitoração da execução para posterior replanejamento das atividades produtivas caso seja necessário.

Observa-se que o ciclo de implementação do CEP encaixa-se perfeitamente no perfil de uma ferramenta de monitoramento. Na verdade, o CEP pode identificar condições anormais de processamento e propor melhorias, que seriam implementadas através de dispositivos *Poka-Yoke*.

- **Sistema de Inspeção Sucessiva (SIS)**

Constatado que o controle estatístico da qualidade não se aplicava para os fins de produção sem defeitos, concluiu-se que a inspeção amostral, realizada pelo CEP, deveria ser substituída por uma inspeção 100% (todos os itens são inspecionados) e que o *feedback* do resultado da inspeção deveria ser otimizado para possibilitar uma ação corretiva mais rápida (Shingo, 1986; Ghinato, 1996).

A situação ideal seria aquela em que o próprio operador que executa o processamento realizasse a inspeção 100%. Desta forma, ações corretivas poderiam ser tomadas imediatamente após a identificação de qualquer anormalidade. Contudo, nessa situação, os trabalhadores podem ser tendenciosos na avaliação da qualidade dos produtos por eles fabricados e quanto sua conformidade aos padrões de qualidade estabelecidos (Shingo, 1986; Black, 1998).

Optou-se, assim, por uma solução alternativa onde o operador do processo subsequente inspeciona o resultado do trabalho do processo antecedente (ou seja, a função de inspeção é transferida e passa a ser executada por quem utilizará o produto). Portanto, a inspeção é realizada por quem sabe qual a qualidade requisitada para que seu processamento não seja deficiente. Essas inspeções seriam realizadas por todos os processos de produção sucessivamente, da seguinte forma (Shingo, 1986):

1. Ao término do processamento de um item, o operador do processo A, passa o item para o processo seguinte, o processo B;
2. Antes de iniciar o processo B, o operador inspeciona o item processado em A. Caso o item não apresente nenhum defeito, o operador B realiza seu processamento e passa o produto obtido para o processo seguinte, processo C. Caso o item fornecido por A apresente algum defeito, o mesmo é imediatamente passado de volta para o operador desse processo. O item é verificado e o defeito é corrigido. Ações são, então, tomadas

para prevenir a recorrência do defeito. Enquanto isso, o fluxo de produção é interrompido;

3. Este ciclo repete-se até o último processo. Dessa forma, todos os processos são sucessivamente inspecionados pelos processos subseqüentes no fluxo de produção.

Este tipo de inspeção sobressai-se em comparação ao CEQ na medida em que torna possível inspecionar todos os itens produzidos, fornece *feedback* e ação mais rápidos além de ser realizado por pessoas que não estão envolvidas no processamento dos itens inspecionados, não estando comprometidas com os resultados obtidos (Shingo, 1986). O SIS representa, neste contexto, uma evolução da função inspeção.

- **Sistema de Auto-Inspeção (SAI)**

Esse é o sistema mais eficaz de inspeção informativa (Ghinato, 1996). É uma estratégia que permite que os próprios operadores possam identificar anormalidades durante o processamento e fornece *feedback* imediato de sua ocorrência, possibilitando que medidas corretivas sejam rapidamente tomadas para normalizar o processamento.

Conforme visto no item anterior é possível reduzir a incidência de defeitos através do sistema de inspeção sucessiva. Contudo, a situação mais eficaz é que o próprio operador realize a inspeção. Quando o próprio operador é responsável pela inspeção, ele tem um *feedback* mais rápido da ocorrência de alguma anormalidade no processamento e, pode tomar uma ação corretiva mais eficaz, evitando a fabricação continuada de produtos defeituosos.

Todavia, existem ressalvas quanto a realização da inspeção pelos próprios operadores (ver item anterior). Um sistema de auto-inspeção que eliminasse esses problemas seria ainda mais eficiente do que a inspeção sucessiva. Nesse sentido podem ser implementados dispositivos *Poka-Yoke* que automaticamente detectam defeitos para reforçar a auto-inspeção realizada pelos operadores.

A instalação de dispositivos *Poka-Yoke* torna possível uma ação corretiva imediata, à medida que permite que anormalidades no processamento sejam identificadas no processo em que ocorrerem ao invés de no processo subseqüente. Esse tipo de método de inspeção permite que o nível de produtos defeituosos seja reduzido ainda mais, o que representa uma evolução com relação a inspeção sucessiva. Assim, os dispositivos *Poka-Yoke* efetuariam uma inspeção sobre todos os produtos fabricados (inspeção 100%) e daria a cada trabalhador *feedback* imediato sobre a incidência de defeitos em seu processamento. Os trabalhadores, então,

seriam os responsáveis pela tomada de medidas corretivas para impedir a recorrência da anormalidade.

Através da auto-inspeção, o nível de defeitos pode ser ainda mais reduzido com relação a inspeção sucessiva. Todavia esta estratégia, não elimina totalmente a fabricação de produtos defeituosos, visto que ainda atua sobre os defeitos e não sobre os erros.

E3. Inspeção na Fonte: Inspeção para Eliminar Defeitos

Inspeção na fonte é uma estratégia de inspeção que, ao invés de estimular o *feedback* e ação em resposta aos defeitos de fabricação, está baseada na idéia de descobrir os erros que geraram os defeitos e realizar *feedback* e ação ainda no estágio de incidência do erro (Shingo, 1996a). Dessa forma, evita-se que erros tornem-se defeitos e anormalidades são detectadas e corrigidas rapidamente, de maneira que as condições para a ocorrência de um defeito são completamente eliminadas (Ghinato, 1996).

A implementação da inspeção na fonte depende do reconhecimento da relação de causa-e-efeito entre erros e defeitos, da identificação dos tipos de erros que podem ser eliminados e da efetiva aplicação de ferramentas que possibilitem esse fim (Ghinato, 1996). Pode-se observar a diferença na dinâmica de aplicação da inspeção na fonte com relação a inspeção informativa, analisando-se o ciclo de controle utilizado pelos dois métodos conforme apresentado a seguir.

A função controle exercida pela inspeção informativa é executada em um longo ciclo de controle (Shingo, 1986):

- Um erro ocorre (causa) mas não é percebido;
- Um defeito ocorre (efeito) e é detectado;
- Essa informação é passada para os responsáveis (*feedback*);
- A ação corretiva é implementada.

Na inspeção na fonte, o ciclo de controle é menor e concentra-se sobre as causas dos defeitos, conforme se apresenta (Shingo, 1986):

- O erro (causa) acontece e é detectado;
- O *feedback* acontece no estágio do erro, antes que se torne um defeito;
- A ação corretiva é implementada.

Desta forma, ao contrário das inspeções por julgamento e informativa, na inspeção na fonte o controle é exercido sobre as causas dos defeitos e a ação corretiva passa não mais a ser exercida sobre o objeto da produção (produto), mas sim sobre o processamento em si (agentes). Essa estratégia permite que, de fato, seja alcançada a marca de zero defeitos (Ghinato, 1996).

Existem duas maneiras de implementar uma estratégia de inspeção na fonte (Black, 1998; Shingo, 1996b): vertical e horizontal. Inspeção vertical controla processos precedentes que podem ser a causa de defeitos subseqüentes (Black, 1998). Inspeção horizontal detecta a fonte de defeitos dentro dos processos. Nas duas situações após a detecção dos erros, correções são introduzidas para impedir que esses erros tornem-se defeitos (Black, 1998).

A inspeção na fonte é realizada em regime 100%, com todos os itens produzidos inspecionados. Essa função é realizada pelos dispositivos *Poka-Yoke* comentados na seqüência.

E4. Sistemas *Poka-Yoke*

Dispositivos *Poka-Yoke* são o principal meio para operacionalizar o CQZD e a Autonomia (Ghinato, 1996). Um dispositivo *Poka-Yoke* é um mecanismo que acoplado a uma operação, impede a execução irregular de uma atividade (Antunes, 1994b). Apesar de serem utilizados para garantir que o processamento não fabrique produtos defeituosos, dispositivos *Poka-Yoke* podem também ser acoplados à operação de transporte, inspeção e mesmo de estocagem (Ghinato, 1996).

Aqui, deve-se fazer uma ressalva quanto a distinção entre dispositivos *Poka-Yoke* e sistemas *Poka-Yoke*. Dispositivos *Poka-Yoke* têm as seguintes características (Antunes, 1994b): *i*) capacidade de serem utilizados em regime de inspeção 100%; *ii*) são de simples aplicação e dispensam a constante atenção do operador ao processamento que, então, pode operar em outros processos; *iii*) geralmente não exigem grandes investimentos para implementação.

Os sistemas *Poka-Yoke*, por sua vez, utilizam dispositivos *Poka-Yoke* para reduzir ou eliminar defeitos, através de *feedback* e ação corretiva imediatos. Assim, um sistema *Poka-Yoke* exerce duas funções principais (Shingo, 1986): *i*) efetua inspeção 100%, e *ii*) na ocorrência de anormalidades, efetua *feedback* e ação corretiva imediatos.

O efeito da utilização de um sistema *Poka-Yoke* depende do objetivo vinculado à sua aplicação. Isto é, depende da estratégia de inspeção a qual ele será combinado (inspeção na

fonte, auto-inspeção ou inspeção sucessiva). Para se alcançar o zero defeitos, deve-se aplicar o sistema *Poka-Yoke* na detecção dos erros antes que se tornem defeitos, eliminando-os por completo (aliado a uma estratégia de inspeção na fonte).

Os sistemas *Poka-Yoke* podem ser classificados de acordo com seu propósito e técnicas utilizadas, conforme apresentado na Figura 25.

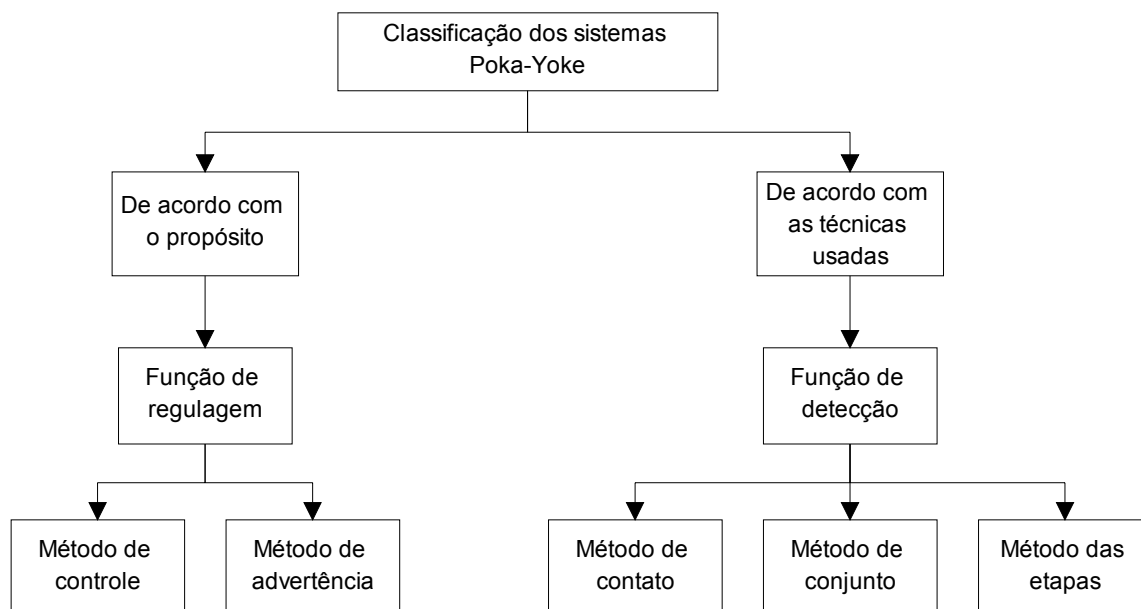


FIGURA 25 - Classificação dos sistemas *Poka-Yoke*.

Fonte: Antunes, 1994b.

▪ **Função Regulação**

A função de regulação define o método que será utilizado em função do objetivo desejado (Ghinato, 1996). Depois de detectada uma anormalidade, o sistema *Poka-Yoke* pode bloquear o processamento ou apenas alertar a ocorrência dessa anomalia. A opção depende da gravidade, da frequência e conseqüências do problema.

a. Método de controle

Esse é um método que, depois de detectadas anormalidades, pára a linha de produção ou a máquina em que o problema ocorreu de maneira que uma ação corretiva seja imediatamente implementada, evitando-se a geração de defeitos em série (Antunes, 1994b). O CQZD depende amplamente da utilização desse método.

b. Método da advertência

O objetivo desse método é chamar a atenção do operador sobre a ocorrência de alguma anormalidade no processamento. O sistema detecta a anormalidade mas, ao invés de

parar o processamento, apenas sinaliza a ocorrência da anomalia através de sinais sonoros (buzinas, sirenes, tons musicais) ou sinais luminosos (lâmpadas coloridas, lampejos intermitentes) ou ambos (Antunes, 1994b).

Como o processamento não é interrompido, produtos defeituosos podem ser fabricados se os operadores não notarem os avisos. Desta forma, a utilização desse método justifica-se somente em situações em que o impacto da ocorrência de defeitos seja reduzido ou quando for tecnicamente ou economicamente inviável a implementação do método de controle (Shingo, 1986).

- **Função de Detecção**

- a. **Método do contato**

Detecta a anormalidade na forma ou dimensão e a presença de tipos específicos de defeitos através de dispositivos que se mantêm em contato com o produto na ocasião da inspeção.

- b. **Método do conjunto**

Esse método é utilizado em operações que são executadas de acordo com uma seqüência de movimentos ou passos que foram previamente estabelecidos. O objetivo é assegurar que nenhum dos passos seja negligenciado, ou seja, deixe de ser executado.

- c. **Método das etapas**

Esse método é aplicado em situações em que a operação é executada através de movimentos padronizados. O objetivo é evitar que um operador realize, por engano ou descuido, uma etapa que não faz parte da operação.

Deve-se ressaltar que, teoricamente, qualquer operação controlada através de métodos estatísticos pode ser controlada por sistemas *Poka-Yoke*. Todavia, na prática, nem sempre é possível técnica e economicamente aplicar esses sistemas. De fato, em diversos casos, a melhor opção para o controle da qualidade não consiste na escolha entre o CEP ou *Poka-Yoke*, mas na combinação dessas ferramentas (Ghinato, 1996). Exemplos de dispositivos *Poka-Yoke* podem ser observados no Capítulo 5, item 5.3.1.

CAPÍTULO 5

5 APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA ETAPA DE ELEVÇÃO DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

5.1 Considerações Iniciais

O objeto de estudo no caso apresentado nesta dissertação é a aplicação de ferramentas de controle de qualidade em uma etapa construtiva de edifícios residenciais. As ferramentas aplicadas são: *i*) controle estatístico do processo – CEP (apresentado no Capítulo 3), e; *ii*) dispositivos *Poka-Yoke* (apresentados no Capítulo 4). A etapa construtiva mencionada é a elevação da estrutura de concreto armado. A partir da análise do processo produtivo atual para a referida etapa construtiva, identificou-se a existência de perdas. Com o intuito de atacar essas perdas, propõe-se o uso das ferramentas mencionadas.

O trabalho situa o controle da qualidade na construção civil, especificamente das estruturas de concreto, dentro de um conceito mais amplo, que é o controle dos materiais e serviços (processos produtivos) de uma construção, tendo em vista a realização de obras que sejam adequadas ao uso por seus usuários. Aqui, ressalta-se a necessidade do controle adequado não só da qualidade dos materiais, mas também, da execução dos serviços. Destaca-se, que não só os produtos, mas os processos e as operações são passíveis de serem controlados.

Essa visão sistêmica da qualidade está de acordo com a atual visão do controle da qualidade, que se cristalizou a partir da bem sucedida experiência japonesa. Tal visão conduz a um maior domínio e conhecimento dos produtos, dos processos e das operações e interfere positivamente nos custos de produção, através da eliminação das perdas, favorecendo os consumidores com menores preços e maior qualidade. Essa é uma visão que se adequa à construção civil, pois o custo total de um empreendimento pode ser minimizado sempre que a qualidade predominar (Helene & Terzian, 1992).

É dentro dessa conceituação que esta dissertação se enquadra. Propõe-se o monitoramento de uma característica de qualidade de um dos diversos insumos utilizados em obra, qual seja, o concreto. Através da mensuração da variabilidade da propriedade que melhor caracteriza a qualidade desse material (resistência à compressão axial), pretende-se

reduzir o desconhecimento da distribuição de seus valores e avaliar a capacidade de seu fornecedor em atender às exigências dos consumidores. Propõe-se, também, a utilização de dispositivos *Poka-Yoke* de controle autônomo da qualidade. Tais dispositivos são aplicados (i) com funções de controle da qualidade e prevenção de defeitos e (ii) como ferramentas auxiliares na melhoria de atividades produtivas (por exemplo, na redução de tempos de preparação).

Este capítulo tem como objetivo descrever e discutir a aplicação das ferramentas mencionadas acima, bem como apresentar as etapas de pesquisa para a sua efetiva implementação.

5.2 Desenvolvimento da Pesquisa

O início dos trabalhos de pesquisa partiu da iniciativa de uma empresa de construção civil, do subsetor de edificações, da cidade de Porto Alegre – RS. A empresa tinha necessidade de aprimorar suas práticas construtivas e buscava novos conceitos, técnicas e ferramentas para tanto.

A busca por aperfeiçoamento, pela referida empresa, estava vinculada a um programa interno de melhorias, denominado Programa de Gestão para a Produção. Esse programa delineia a estratégia de ações a serem tomadas pelo corpo técnico da empresa nos próximos anos. Nele, foi estabelecido um plano de ação desenvolvido para atingir melhores resultados em seis aspectos, julgados competitivos pela empresa: custo, produtividade, controle, qualidade, procedimentos-padrão e prazos (Souto, 2000).

O programa em questão foi desenvolvido e implementado em cinco etapas, conforme apresentado a seguir (Souto, 2000):

- 1ª etapa: difusão de conceitos da Qualidade Total. Nesta etapa foram definidos o negócio da empresa, iniciado um programa de 5's, estabelecido alguns Procedimentos Operacionais Padrão (POP) e identificados alguns itens de controle;
- 2ª etapa: realização de um trabalho de aprimoramento sobre os projetos elétricos, hidráulicos, estrutural, fundações, dentre outros, através de um seminário de treinamento de 90 horas;
- 3ª etapa: definição de melhorias no processo de orçamentação dos empreendimentos e adoção de uma sistemática de divisão do empreendimento em etapas construtivas;
- 4ª etapa: trabalho de melhoria nos canteiros de obra. Nesta etapa foram repassadas aos mestres e encarregados, noções de gestão pela Qualidade Total. Aqui, foram definidas

as relações cliente-fornecedor, itens de controle e verificação, e relacionamentos de causa-efeito-causa;

- 5ª etapa: refere-se ao aprimoramento dos processos produtivos da empresa. Nesta etapa está inserida a presente dissertação. Desta etapa participaram dois pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que resultou em dois trabalhos de pesquisa distintos. O primeiro pode ser averiguado em Souto (2000). O segundo corresponde ao presente estudo.

Analisando-se as etapas do Programa de Gestão para a Produção desenvolvido pela empresa, constata-se que o estudo aqui desenvolvido é parte de um programa amplo de melhorias, que visa elevar a empresa em questão a uma situação de excelência no setor em que atua.

Para alcançar esse objetivo a empresa buscou alternativas que a capacitasse a melhorar seu sistema de manufatura. A despeito das ações em prol de melhorias já implementadas na empresa nas quatro primeiras fases do Programa de Gestão para a Produção, o departamento técnico percebeu que poderia aumentar a eficiência na construção de seus empreendimentos, com redução no tempo de produção, através da eliminação das perdas existentes em seus processos produtivos.

Para tanto, aliou-se a outras empresas do setor formando o *Lean Construction Group*. Esse grupo foi formado por empresas dos três subsetores da construção civil (apresentados no Capítulo 2), bem como por empresas fornecedoras de matérias-primas. O objetivo da formação do grupo foi estabelecer um núcleo de inovação tecnológica para a construção civil no RS, através do repasse de filosofias, princípios e ferramentas modernas de gestão da produção e da troca de experiências entre as empresas (Souto, 2000).

Inicialmente, o grupo participou de um curso onde foram transmitidos conhecimentos sobre o Sistema Toyota de Produção. A partir desse curso, o grupo teve contato com esse sistema de gerenciamento da produção e pôde avaliar os benefícios que a utilização de seus princípios e ferramentas poderiam trazer às suas respectivas organizações.

Ao término do curso foi de interesse da empresa, que fosse realizado um trabalho de análise do seu processo produtivo, baseando-se nos conceitos do STP. A partir desse trabalho deveriam ser propostas melhorias. Por opção da empresa, foi estabelecido que o trabalho fosse realizado na etapa de elevação da estrutura de concreto armado. Realizou-se, então, um

trabalho inicial de análise e propostas de melhorias em um dos empreendimentos da empresa para a referida etapa.

O referido trabalho iniciou em novembro de 1998 e finalizou em março de 1999 com a apresentação de seus resultados ao departamento técnico da empresa. Nesse período os pesquisadores acompanharam dia-a-dia as atividades desenvolvidas em canteiro de obras. Os problemas do sistema produtivo foram levantados através de entrevistas abertas com os funcionários da obra (mestre-de-obras, encarregados e assistentes de carpintaria, ferragem, instalações elétricas e hidráulicas, e engenheiro responsável), do mapeamento do fluxo de produção (com o uso do MFP) e de debates com o corpo técnico da empresa.

O processo de produção foi inicialmente estudado e mapeado através do Mecanismo da Função Produção. Com o uso do MFP, procurou-se identificar as atividades desenvolvidas no canteiro de obras e o sequenciamento das mesmas. Posteriormente, o processo produtivo mapeado foi analisado segundo a lógica das 7 perdas do STP. Em uma etapa final, foram realizadas entrevistas com os funcionários envolvidos no processo produtivo em questão. Através dessas entrevistas pôde-se confirmar a validade das observações realizadas ao longo do estudo.

No desenvolvimento do estudo inicial, pôde-se levantar os seguintes aspectos acerca do processo produtivo da empresa:

- Existia um planejamento macro das etapas a serem realizadas, baseando-se no cronograma físico-financeiro da obra. Nesse planejamento eram definidas datas em que cada etapa deveria iniciar e finalizar. Todavia, faltava planejamento operacional direcionado aos encarregados das equipes de produção e demais funcionários, em que deveriam ser definidos o que deveria ser produzido, quando deveria ser produzido, por quem e em que quantidade. Como a falta de planejamento operacional dificultava a exata definição daquilo que deveria ser produzido para atender ao que estava estabelecido no cronograma, algumas vezes a produção estava adiantada e, outras vezes, encontrava-se atrasada. Ambas as situações não interessavam a empresa. No caso da obra estar adiantada, a empresa tinha que cobrir os gastos antecipadamente, pois o banco financiador da obra não havia liberado a parcela referente àquela etapa de obra já construída (produção antecipada). Caso a obra estivesse atrasada, o banco não liberava o montante para o mês subsequente e a empresa, novamente, tinha que arcar com os gastos, até a próxima medição realizada pelo banco.

Destaca-se, também, como consequência da falta de planejamento operacional, que algumas equipes de trabalho ficavam sem realizar trabalho (atividades que agregam valor ao

produto final) enquanto esperavam outras equipes liberarem frente de trabalho para que pudessem voltar a executar suas tarefas produtivas.

- Os trabalhadores de chão de fábrica detinham o domínio do processo de trabalho. O engenheiro (média gerência) responsável pela obra pouco intervinha no processo produtivo. Sua função era fiscalizar a execução da obra, administrar a logística de fornecimento/recebimento de materiais, conferir a qualidade dos serviços executados e tomar decisões relacionadas ao andamento da obra de acordo com o estabelecido no cronograma físico-financeiro. Para tanto, deveria estabelecer metas gerais de produção a serem alcançadas dentro de um certo prazo (por exemplo, laje do 2º pavimento deve ser concretada em duas semanas). Todavia, a definição de como executar o trabalho, a constituição das equipes, a programação e a alocação de tempos, o estabelecimento do ritmo de trabalho e o próprio controle da produção davam-se no interior da força de trabalho, sob a liderança do mestre e dos encarregados de cada equipe. Os trabalhadores intervinham com sua experiência prática, traduzindo e adaptando os projetos na fase de execução, enquanto recorriam a conhecimentos tradicionais na utilização e aplicação de materiais e componentes.

- Não existia uma cultura solidária entre as equipes de trabalho, ou seja, não existia cooperação entre as equipes. Cada atividade era tratada, pelos funcionários e supervisão, como ilhas isoladas de produção (Ohno, 1997). Cada equipe estava preocupada em desenvolver seu trabalho, não se preocupando com o trabalho das equipes a jusante e nem a montante (relação cliente/fornecedor interno inexistente). Como consequência havia interferência do trabalho de cada equipe no trabalho das outras, o que afetava a qualidade do produto final. Cita-se como exemplo, a equipe de concretagem, formada por pedreiros e serventes que, por terem que andar sobre a laje durante sua concretagem, pisavam nos eletrodutos e pontos hidráulicos, tirando-os de posição, ou mesmo quebrando as tubulações. Nessa situação, o conserto é de difícil execução, pois os eletrodutos e pontos hidráulicos não estão visíveis devido ao concreto já lançado na laje. Destaca-se, também, que devido à movimentação de pessoal sobre a laje durante a concretagem, algumas fôrmas de vigas ou pilares poderiam sair de prumo ou de nível. Logo, a interferência das equipes de produção tem influência significativa na qualidade final do produto.

- Pôde-se observar no canteiro de obras a constante disputa por um recurso crítico para a realização das atividades, o elevador de cargas (guincho), o que gerava paradas sucessivas na produção devido à falta de materiais, ferramentas, equipamentos e mesmo de pessoal. Apesar de bastante demandado em alguns momentos, o elevador encontrava-se

ocioso em outros, evidenciando a falta de planejamento operacional das atividades. Ao longo do desenvolvimento do trabalho, pôde-se observar que operários tinham que se deslocar de seu local de trabalho e descer vários andares de escada para buscar material, uma vez que o elevador estava servindo a outra frente de trabalho.

- Observou-se, também, devido à falta de planejamento operacional das atividades, à falta de solidariedade entre equipes e à falta de domínio técnico do processo de trabalho por parte da empresa (média e alta gerências), a existência de diversas perdas no processo construtivo da etapa considerada. Entre essas perdas pode-se citar as que se apresentam a seguir no texto (item 5.2.2). No intuito de debelar algumas dessas perdas, desenvolve-se o presente estudo.

A partir das observações apresentadas acima, foram propostas melhorias para o processo produtivo da etapa estrutura. Em primeiro plano (considerando-se que não se poderia adotar outro método construtivo), constatou-se a necessidade de implantação de uma sistemática de planejamento da produção por parte da empresa. Conforme comentado no Capítulo 4 (item 4.2.4.2), ao buscar melhorias na produção deve-se sempre enfatizar melhorias no planejamento. Nesse sentido, foi desenvolvida uma ferramenta que pudesse auxiliar o planejamento da produção. Essa ferramenta está descrita em Souto (2000). Contudo, deve-se ressaltar que, aliada a uma sistemática de planejamento, deve existir uma sistemática de controle, para garantir que o planejamento de fato seja executado tal qual foi estabelecido. Nesse sentido e com vistas à eliminação de perdas, propõe-se a implementação de uma lógica de controle da qualidade zero-defeitos de acordo com os princípios do CQZD. Através do desenvolvimento e implementação de dispositivos *Poka-Yoke*, principal facilitador do CQZD, pretende-se introduzir no canteiro de obras uma ferramenta facilitadora das atividades executadas durante a produção.

Em uma segunda fase do desenvolvimento desta dissertação, realizada em um segundo canteiro de obras da empresa, constatou-se que, a despeito da implementação de um sistema de controle da qualidade que assegurasse a qualidade dos serviços executados, a qualidade do produto final poderia ser prejudicada devido à utilização de matérias-primas inadequadas. Atentou-se para esse aspecto devido a ocorrência de fissuras em uma laje, após sua concretagem (ver Anexo A). Conforme pode ser observado no material anexado, concluiu-se que o surgimento das fissuras na laje deveu-se à retração hidráulica e contração térmica do concreto, ambas relacionadas aos materiais utilizados na fabricação desse insumo, especificamente o cimento. No intuito de prevenir a ocorrência futura de defeitos nos

produtos fabricados buscou-se uma ferramenta que possibilitasse o monitoramento da qualidade dos materiais fornecidos à obra, neste caso, o concreto. Nesse sentido aplicou-se o controle estatístico de processos (CEP) para monitorar a qualidade do fornecimento desse material.

5.2.1 Processo Produtivo

Em melhorias de produção, deve-se dar prioridade máxima para os fenômenos de processo (Shingo, 1996b). Para tanto, deve-se distinguir claramente os fenômenos que ocorrem na produção que estão relacionados ao eixo dos processos e quais estão relacionados ao eixo das operações. Este item tem como objetivo descrever, sob a ótica do MFP, o processo de fabricação da estrutura de concreto armado, conforme executado na empresa estudada.

As principais atividades desenvolvidas durante a elevação da estrutura de concreto armado são: *i*) montagem de fôrmas (para pilares, vigas e lajes); *ii*) montagem de armaduras (para pilares, vigas e lajes); *iii*) colocação de eletrodutos para as instalações elétricas; *iv*) marcação de pontos hidráulicos, de incêndio, de gás e refrigeração. As equipes especializadas que desenvolvem essas atividades são, respectivamente: *i*) carpinteiros; *ii*) armadores; *iii*) eletricitistas; *iv*) hidráulicos. Os principais materiais utilizados são: *i*) concreto; *ii*) aço; *iii*) eletrodutos de PVC; *iv*) tubulações de PVC. A realização dessas atividades ao longo do tempo pode ser observada no gráfico de Gantt apresentado no Anexo B. Esse gráfico foi construído levando-se em consideração as atividades desenvolvidas na construção de um empreendimento com as características apresentadas no Quadro 16.

QUADRO 16 - Características da obra estudada.

Área do terreno:	3.205,50 m ²
Número de prédios:	02 unidades (Torre + Garagem)
Número de economias:	40 aptos. + 01 dormitório zelador
Número de dormitórios:	120 dormitórios sociais + 01 dormitório zelador
Número de pavimentos:	Subsolo + Pilotis + 10 Pavtos. Tipo + Coberturas
Área do pavto. tipo	654,33 m ²

Conforme o MFP, o estudo de um processo refere-se ao acompanhamento das peças e/ou matérias-primas no tempo e no espaço que se transformam fisicamente (agrupando-se ou moldando-se) até tornarem-se produto acabado. No que tange a etapa de elevação da estrutura de concreto armado de uma edificação, os principais produtos obtidos são os pilares, as vigas e as lajes. As matérias-primas necessárias à obtenção desses produtos, no caso estudado, são o

concreto usinado e o aço. Dessa forma, o acompanhamento do fluxo desses materiais no tempo e no espaço corresponde a observação do eixo dos processos de acordo com o MFP.

As outras atividades, mencionadas anteriormente, que são realizadas durante a produção da estrutura de concreto, mas que não se referem ao fluxo das matérias-primas citadas no parágrafo anterior, pertencem, portanto, ao eixo das operações do MFP. Tomando-se como exemplo as atividades de montagem das fôrmas de pilares, vigas e lajes, observa-se que a realização dessas atividades não é o objetivo final do processo de concretagem, ou seja, as fôrmas em si, não são produtos, mas sim os pilares, vigas e lajes concretados. Portanto, ao acompanhar-se o fluxo de materiais e atividades desenvolvidas durante a montagem de fôrmas, não se está observando o fluxo dos objetos de produção.

Pode-se fazer uma correlação entre as fôrmas utilizadas na construção civil e as matrizes utilizadas em outras indústrias, que são elementos que servem como moldes para fundição (fabricação) dos objetos de produção. São nas fôrmas (moldes) que as armaduras de pilares, vigas e lajes agrupam-se ao concreto obtendo-se então, o produto estrutura. Partindo dessa ótica, as atividades de montagem das fôrmas podem ser consideradas como operações de preparação (*setup*) para a obtenção dos produtos acabados (montar as fôrmas significa preparar as matrizes para que o produto estrutura seja obtido).

Pelo exposto, considera-se processo no caso analisado, o fluxo de concreto e aço ao longo do tempo e no espaço, sendo as atividades de montagem de fôrmas, operações de *setup* que, somente são necessárias para a obtenção do produto final estrutura, devido ao método construtivo utilizado. Portanto, a análise do processo produtivo na etapa construtiva em questão deve ser focada no processamento, inspeção, transporte e esperas dos materiais (aço e concreto), ao passo que as atividades de montagem de fôrmas são operações de preparação.

No Anexo C, apresentam-se os fluxogramas de processos, de acordo com as considerações anteriores. Os fluxogramas elaborados para os processos foram utilizados como ferramentas auxiliares na análise de perdas do processo, apresentada na seqüência. Esses fluxogramas foram construídos conforme a simbologia que representa os elementos do processo adotada no STP, apresentada na Figura 26, sendo descritas as principais atividades para a produção da estrutura. Nos fluxogramas, pode-se observar o fluxo dos objetos de produção necessários para a construção do produto estrutura. Observe-se, que no fluxograma relativo ao fluxo do aço, considerou-se a produção dos três elementos principais da estrutura, pilares, vigas e lajes. Com relação ao fluxo do concreto, apresenta-se somente a descrição do processo relativo a concretagem de vigas e lajes. Na concretagem o concreto era bombeado.



FIGURA 26 - Simbologia de identificação dos elementos do processo.

Fonte: Shingo, 1986, p. 38.

Através da análise do fluxograma de processos, observa-se que o processo está sujeito a diversas esperas, existem pontos de formação de estoques intermediários de matérias-primas e produtos semi-acabados, ocorre intensa movimentação de material e poucos pontos onde se realiza processamento. Ou seja, existem perdas no processo de produção.

5.2.2 Identificação e Análise das Perdas no Processo Produtivo

A análise de perdas apresentada neste item baseia-se na classificação das 7 perdas utilizadas no STP. Não se faz, portanto, referência a nenhuma outra classificação de perdas, desenvolvida e empregada na construção civil. Algumas dessas classificações podem ser encontradas nos trabalhos de Skoyles (1976), Pinto (1989), Picchi (1993), Soibelman (1993) e Costa (1999).

Na análise foram considerados os materiais e processos produtivos. As perdas identificadas não foram mensuradas, visto que o objetivo inicial do trabalho era somente identificar perdas e propor medidas que auxiliassem a sua eliminação do canteiro de obras. As principais perdas identificadas a partir do estudo dos fluxogramas no Anexo C e de observações *in loco*, classificadas conforme a proposição de Ohno (1997), são apresentadas a seguir. *Poka-Yokes* concebidos para reduzir ou eliminar alguns tipos de perdas também são referenciados no texto.

(1) Perdas por superprodução: as perdas por superprodução podem ser subdivididas em superprodução quantitativa (fazer mais do que necessário) e por antecipação (fazer antes do momento necessário).

As perdas por superprodução quantitativa na construção civil, de uma forma geral, não ocorrem com frequência, visto que os produtos a serem fabricados são, normalmente, bem definidos pelos projetos (por exemplo, armadura negativa que deve ser produzida para a laje L4 do segundo pavimento; Costa, 1999). Este tipo de perda, contudo, pode estar relacionada à produção além da quantidade prevista de elementos necessários à construção, os quais têm baixo custo associado à sua fabricação (Costa, 1999). Citam-se como exemplos, componentes do produto (armaduras de aço e elementos estruturais pré-moldados) e elementos que auxiliam a produção (espaçadores para as armaduras, cunhas de madeira, escoras, etc.). Também, pode-se identificar esse tipo de perda na produção ou consumo de materiais de construção, esses sim, com elevado custo associado (por exemplo, a produção de concreto em quantidade maior do que a necessária ou com excesso de cimento).

Identificou-se no estudo, ainda que incomum à construção civil, a ocorrência de perdas por superprodução quantitativa relativamente à fabricação de produtos além da quantidade necessária. Foi construído um pilar onde não estava prevista sua construção. Conseqüentemente, foi necessário mobilizar dois operários da equipe de carpintaria para destruir o pilar adicional. Esses funcionários deixaram de realizar as atividades principais da carpintaria de montagem de fôrmas, para realizar retrabalho em função da perda por superprodução. Ressalta-se, que a própria construção do pilar demandou a realização de atividades de montagem de fôrmas, montagem da armadura do pilar e concretagem. Essas atividades representam perdas, à medida que não foram necessárias para a formação do produto final.

Com relação aos subcomponentes do produto, não se identificou a ocorrência de perdas por superprodução quantitativa devido à fabricação em excesso de armaduras (pela própria concepção do processo produtivo que utilizava barras de aço já cortadas e dobradas de fábrica). Contudo, observou-se esse tipo de perda com relação às fôrmas. Devido à ocorrência de outros tipos de perdas, como se comenta no texto, em algumas situações utilizava-se mais material (por exemplo: compensados) do que o previsto inicialmente.

Relativamente aos materiais de construção, observou-se a compra de concreto acima da quantidade necessária. O volume adicional que sobrava era reutilizado em outras frentes de trabalho como, por exemplo, em calçamento e lastro de piso. Apesar do volume restante da

concretagem de pilares, vigas ou lajes ser reaproveitado na produção de outros produtos, essa reutilização, que passou a ser necessária em função da perda por superprodução, constitui em si própria uma perda também por superprodução. Isto se deve à utilização de um concreto estrutural, dosado com teores de cimento (com alto custo associado) e demais componentes (com menor custo associado) para possuir resistência à compressão aos 28 dias de 18 MPa, em produtos que não necessitam de tal resistência. Observaram-se, também, situações em que o concreto adicional era reutilizado em elementos que não compõem o produto final, como rampas de acesso temporárias e áreas temporárias de estocagem de material. Nessas situações, o concreto era desperdiçado, uma vez que esses elementos concretados não fazem parte do produto final que será utilizado por seus usuários.

As perdas por superprodução por antecipação identificadas, referem-se ao trabalho adiantado realizado pelos operários antes que o mesmo fosse necessário. Esta antecipação gera estoques que devem ser movimentados ou organizados. Estes novos movimentos, que então passam a ser necessários, podem ser considerados como perda. A própria geração de estoques é considerada perda. Finalmente, observa-se que perdas por antecipação geram perdas por espera.

Cita-se como exemplo de perda por antecipação, a retirada das fôrmas antes do período em que serão reutilizadas. O material retirado é, então, separado e estocado e, posteriormente, tem que ser movimentado para o local onde serão utilizados novamente; esta movimentação adicional representa uma perda (com o intuito de atacar esse tipo de perda, propõe-se o *Poka-Yoke* 01).

Outro exemplo de perdas por antecipação diz respeito ao adiantamento na fabricação de componentes do produto (como as armaduras de vigas e pilares) e à antecipação na realização de alguns serviços em obra (Costa, 1999).

Perdas devidas ao adiantamento na fabricação de componentes foram registradas na montagem das armaduras de vigas e pilares. Como o tempo de produção das armaduras é mais curto do que o da montagem das fôrmas (ver Anexo B), a equipe de armadores adiantava sua produção com relação à equipe de carpintaria. Enquanto a equipe de carpinteiros estava montando as fôrmas para o segundo pavimento, por exemplo, a equipe de armadores estava montando as ferragens de vigas e pilares para o terceiro e, às vezes, para o quarto pavimento. Essa produção antecipada gerava perdas por geração de estoques, por transporte e por espera.

Com relação à antecipação na execução de serviços, pode-se citar o exemplo da concretagem de uma parcela da laje da garagem para que servisse de travamento de uma cortina de concreto.

Devido à falta de planejamento e organização prévios do *layout* do canteiro de obras, não foram determinados, antes do início da construção da edificação, quais os locais de entrada dos caminhões de carga para entrega de materiais de construção à obra. De fato, somente após o início dos trabalhos é que se constatou que havia disponível apenas um caminho que serviria para esse fim, o qual passava atrás de uma cortina de concreto armado. A referida cortina, por sua vez, não foi projetada para suportar o esforço lateral devido à passagem de caminhões de carga no aterro que ela deveria conter. Por isso, optou-se por antecipar a construção de uma parcela da laje para servir de travamento para a cortina e não ser necessário reprojeta-la.

A parcela da garagem construída pode ser considerada uma perda por superprodução por antecipação, pois a sua produção não estava prevista no cronograma físico financeiro da obra para aquele período de tempo. Conseqüentemente, a empresa teve que arcar com os custos de sua produção, à medida que não estava previsto no orçamento do banco financiador da obra, esse gasto antecipado. Houve, também, um custo adicional na construção da parcela da garagem, devido ao pedido extra de peças para a montagem das fôrmas, que também não estava previsto no orçamento. Essa antecipação gerou uma perda por espera que atrasou as atividades que vinham sendo desenvolvidas no canteiro de obras (ver o item sobre perdas por espera).

(2) Perdas por geração de estoques: as perdas por geração de estoques aqui relacionadas estão associadas às movimentações adicionais de matérias-primas, material em processamento e de componentes do produto que passam a ser necessárias devido à formação de estoques de peças e materiais no canteiro de obras.

Observou-se a ocorrência de perdas pela geração de estoques durante as atividades de montagem das fôrmas. Essas perdas estão associadas às perdas por superprodução por antecipação. Ao retirar as fôrmas antes do tempo necessário à sua reutilização nos pavimentos superiores, os carpinteiros depositavam as peças (folhas de compensado, parafusos, sargentos, sarrafos, etc.) ao longo do pavimento onde estavam sendo realizadas as atividades de desfôrma. Esse armazenamento intermediário gerava uma movimentação adicional dos materiais quando eles eram necessários à produção. Ou seja, as peças eram retiradas e transportadas para um local de armazenagem temporário onde eram submetidas a uma espera

e quando chegava o momento de serem reutilizadas eram, então, transportadas novamente para o local de utilização. Essa movimentação não agrega valor ao produto final, à medida que não está ocorrendo nenhum processamento mas, tão somente, o traslado de peças. Portanto, configura-se como perda. Também com o intuito de atacar esse tipo de perda, propõe-se a utilização do *Poka-Yoke* 01.

Perdas por geração de estoques também ocorriam nas atividades desenvolvidas pelos armadores. Essas perdas eram oriundas das perdas por superprodução por antecipação, mencionadas no item anterior e, também, da falta de organização (falta de planejamento) do canteiro de obras.

Com relação às perdas por superprodução por antecipação, o fato dos armadores estarem com sua produção adiantadas em relação aos carpinteiros fazia com que eles tivessem que estocar as armaduras já montadas. Essa estocagem gerava uma movimentação adicional de materiais. Da mesma forma que ocorria com os componentes das fôrmas, as armaduras eram transportadas para um local intermediário de estocagem (onde se submetiam a uma espera) e, posteriormente, levadas ao local onde seriam utilizadas. Novamente, essa movimentação adicional configura-se como perda.

Outra perda identificada refere-se à formação de estoques de barras de aço que eram entregues à obra pelo fornecedor. Conforme mencionado anteriormente, a ferragem utilizada pelos armadores já vinha cortada e dobrada, de acordo com o projeto estrutural. O objetivo era eliminar as operações de corte e dobre das barras em canteiro de obras, facilitando, dessa maneira, as atividades de montagem de armaduras. No entanto, as barras de aço que eram entregues à obra vinham misturadas no caminhão de entrega o que dificultava a discriminação entre barras que eram destinadas a vigas, pilares e lajes. Desta maneira, durante a estocagem as barras de elementos estruturais diferentes eram armazenadas juntas. Em função dessa mistura, a montagem das armaduras era prejudicada com esperas, pois os armadores tinham que despender tempo procurando, em meio a toneladas de aço, as barras que lhe interessavam (essa espera pode ser visualizada no fluxograma de processos no Anexo C).

(3) Perdas por transporte: essas perdas estão associadas às movimentações de materiais, que geram custos para a empresa sem, contudo, agregar valor ao produto final.

Observou-se a presença desse tipo de perda no canteiro de obras no transporte das armaduras de vigas e pilares e barras de aço de lajes. O transporte era realizado de duas maneiras: *i*) através de uma corda, em que os armadores içavam as armaduras ou barras de aço; *ii*) através do elevador de cargas. Em ambas as situações, somente poderiam ser

transportadas poucas unidades por vez, em função das limitações dos meios de transporte. No caso (i), há a limitação humana de capacidade de carga; no caso (ii), existe uma limitação de espaço e capacidade de carga (essa de menor relevância que a anterior).

Como o local de montagem das armaduras era fixo e localizava-se no subsolo ou andar térreo da edificação, à medida que se elevava a estrutura da edificação, o transporte das armaduras ficava cada vez mais dificultado. Nos primeiros andares, a maioria das armaduras podia ser transportada através do uso de cordas. À medida que se passava a construir os pavimentos mais altos passava-se utilizar, também, o elevador de carga. No entanto, mesmo utilizando-se o elevador, não se podia abster de utilizar a corda, visto que as armaduras de maior comprimento não cabiam no vão do elevador. Nesse caso, tinha-se que içar manualmente as armaduras. Nessa situação o transporte demandava um tempo considerável e gerava perdas por espera, à medida que o processo era interrompido enquanto as armaduras eram transportadas (essa espera pode ser observada no fluxograma de processos). Para atacar esse tipo de perda, propõe-se o uso do *Poka-Yoke* 04.

Também, foram observadas perdas no transporte de compensados e peças para montagem das fôrmas. Aqui, também, a serra onde eram cortados os compensados ficava no subsolo ou andar térreo. Apesar dos compensados poderem ser transportados via elevador de cargas, muitas vezes não eram, pela falta de programação de uso desse equipamento mencionada anteriormente. Nesse caso, os carpinteiros tinham que descer de escada até o local da serra para buscar material, procedimento este que também demanda bastante tempo. Para esse tipo de perda também se pode aplicar o *Poka-Yoke* 04.

(4) Perdas nos movimentos: essas perdas associam-se aos movimentos e esforços que não são necessários ao processamento, que são realizados pelos trabalhadores durante a execução das operações principais e que interferem negativamente na produtividade dos trabalhadores. As perdas nos movimentos diferenciam-se das perdas por transporte, no sentido que as primeiras estão ligadas ao eixo das operações da rede de processos e operações do MFP, ao passo que a segunda refere-se ao eixo dos processos (ligada à movimentação do objeto da produção).

No canteiro de obras, de uma forma geral, as perdas nos movimentos podem ser amplamente encontradas em praticamente todas as atividades desenvolvidas, devido à falta de organização dos postos de trabalho, à falta de projeto de trabalho (com métodos de trabalho mal definidos ou inexistentes), à falta de planejamento do *layout* do canteiro de obras, à inexistência de equipamentos para efetuar as tarefas (ou emprego de equipamentos

inadequados), além de outras condições insatisfatórias de trabalho (falta de segurança, condições ergonômicas inadequadas de trabalho, etc).

Apesar de estar presente em um grande número de operações, nesse texto faz-se menção a situações específicas em que se detectou esse tipo de perda, sobre as quais foram propostas melhorias nas operações através da utilização de dispositivos *Poka-Yoke*.

Uma primeira situação, refere-se à montagem das armaduras, especificamente à colocação dos estribos. Na montagem das armaduras de pilares e vigas, os armadores utilizam dois cavaletes de madeira, onde colocam um ferro guia para servir de apoio e referência para a montagem das armaduras. Em uma das extremidades do ferro guia fixa-se um estribo, a partir do qual, com o uso de uma trena (ou metro), os armadores passam a marcar os espaçamentos entre estribos tal qual especificado em projeto. Após marcar a posição em que os estribos devem ser colocados, efetua-se, finalmente, a sua efetiva colocação. O procedimento de medir e marcar os espaçamentos entre estribos com a utilização de uma trena demanda a realização de, pelo menos, três operações auxiliares: *i*) medição; *ii*) soma dos valores dos espaçamentos; *iii*) marcação dos espaçamentos no ferro guia. Essas operações podem ser consideradas auxiliares, à medida que se encontram imediatamente antes da colocação dos estribos, esta sim, a operação essencial.

No estudo, considerou-se como perda por movimento as operações auxiliares mencionadas acima uma vez que através da implementação do *Poka-Yoke 05*, pode-se reduzir o número de operações a apenas uma, com menores possibilidades de ocorrerem erros (com a utilização do *Poka-Yoke*, aglutina-se as operações (*i*) e (*ii*) e (*iii*), passando a existir somente uma operação auxiliar que suporta a operação essencial de colocação de estribos). Além de agilizar as operações de marcação e colocação de estribos, o *Poka-Yoke* apresenta um potencial de redução no número de peças defeituosas produzidas (ver *Poka-Yoke 05*).

Também pôde-se observar, a ocorrência de perdas nos movimentos durante a colocação das armaduras das lajes. Aqui, mais uma vez os armadores lançam mão de seus instrumentos (trensas ou metro) para medir, marcar e colocar as barras de aço nas fôrmas. As operações auxiliares de *i*) medição, *ii*) soma dos espaçamentos e *iii*) marcação também, nesse caso, foram consideradas como perda. Esse, procedimento, tal qual o comentado acima, pode acarretar em erros que podem gerar defeitos. Para melhorar a colocação das armaduras das lajes, sugere-se o *Poka-Yoke 06*. A partir de sua utilização elimina-se a necessidade de executar as operações auxiliares e passa-se a somente realizar a operação essencial de colocação das barras, a qual agrega valor ao produto.

(5) Perdas por espera: essas perdas estão relacionadas aos períodos de tempo em que os operários não estão produzindo (conforme o cronograma de obra), apesar da empresa arcar com os seus custos horários.

Notou-se que, de uma forma geral, as perdas por espera são decorrentes da falta de planejamento e controle da produção. Como mencionado anteriormente, a falta de planejamento prévio da produção incorria na falta de sincronização entre as atividades realizadas pelas equipes e entre as equipes e o fluxo de materiais.

Um exemplo de perda por espera ocasionada pela falta de planejamento é a parada na execução dos serviços (com conseqüente parada dos trabalhadores), ocasionada pela falta de materiais devido ao uso mal coordenado do elevador de cargas, causando perdas por parada da mão-de-obra.

Outro exemplo de perda por espera ocasionada pela falta de planejamento advém da perda por superprodução por antecipação da parcela de laje da garagem, citada anteriormente. Devido à antecipação da construção da parcela da garagem, teve-se que mobilizar uma parcela do efetivo de carpinteiros, os quais estavam trabalhando na torre principal (prédio com os apartamentos) do empreendimento, para montar as fôrmas da garagem. Também foram mobilizadas outras equipes, como serventes, armadores e pedreiros para as escavações, regularização do terreno, construção das fundações da estrutura da garagem, montagem das armaduras de pilares, vigas e lajes e concretagem da estrutura (todas essas atividades não estavam previstas inicialmente para serem realizadas naquele momento). Devido a essas mobilizações, as atividades que estavam sendo executadas na torre tiveram que ser interrompidas em certos momentos ou prosseguiram com produtividade abaixo da normal (devido à falta de pessoal e material). A montagem das fôrmas do primeiro pavimento da torre sofreu um atraso por falta de carpinteiros e peças, as quais foram utilizadas na construção da garagem.

Desta forma, houve uma perda por espera ocasionada pela perda de superprodução por antecipação, onde as atividades que constavam do cronograma físico/financeiro da obra tiveram que esperar o término de outras atividades que, apesar de serem necessárias, não estavam previstas para acontecer naquele dado momento. Esta espera, por sua vez, foi gerada a partir da falta de planejamento do canteiro de obras. A espera a que foram submetidas as atividades que estavam previstas no cronograma financeiro da obra fez com que essas atividades atrasassem e, portanto, não se completou a parcela de obra que estava prevista para a liberação do parcelamento do financiamento, o qual teve que ser renegociado.

Perdas por espera também puderam ser identificadas devido à geração de estoques de barras de aço e armaduras e peças para montagem das fôrmas. Com relação à montagem das fôrmas, notou-se, devido à geração de estoques intermediários que, em algumas situações, as peças eram misturadas e, quando eram necessárias à produção, elas não eram encontradas ou demoravam a ser encontradas. A demora em encontrar as peças atrasava a montagem das fôrmas. Como a quantidade de peças disponíveis correspondia à exata quantidade necessária à produção, por não tê-las disponíveis quando requisitadas, os carpinteiros tinham que esperar que as peças fossem encontradas, o que atrasava a montagem das fôrmas. Notou-se, em algumas situações, que os compensados não eram encontrados. Nesse caso os responsáveis pela montagem das fôrmas tinham que esperar que fossem cortadas novas folhas de compensados para retomarem a produção. Para esse tipo de perda aplica-se o *Poka-Yoke* 01.

No que tange às perdas por espera oriundas da geração de estoques de armaduras, como não havia um local pré-determinado para que as armaduras montadas fossem armazenadas (temporariamente), o resultado era a mistura de armaduras, pois eram todas armazenadas conjuntamente. Podia-se encontrar, em um mesmo local, armaduras de vigas para o segundo, terceiro e quarto pavimentos. Essa desorganização na estocagem das armaduras montadas, tal qual acontecia com as fôrmas, gerava uma espera no processamento pela necessidade de ter que procurar as armaduras a serem utilizadas. Ou seja, algumas vezes ocorria de os armadores que estavam em cima da laje para colocar as armaduras nas fôrmas terem que esperar que as mesmas fossem encontradas.

A mesma situação repetia-se, com relação ao estoque de barras de aço que eram entregues à obra. Conforme comentado anteriormente, as barras eram misturadas e fazia-se necessário que os armadores despendessem algum tempo à sua procura. A montagem das armaduras sofria uma espera até que se encontrassem as barras para montá-las.

Ainda com relação às barras de aço, através dos fluxogramas de processo e do gráfico de Gantt, pode-se observar as esperas a que elas estão sujeitas para cada elemento da estrutura. Considerando-se os dias trabalhados, as barras de aço para pilares esperam 2 dias; as barras para vigas, esperam 4,5 dias; as barras para as lajes esperam 10,5 dias. Essas esperas representam perdas à medida que se forma estoque de matéria-prima, que pode ser evitado adiando-se o pedido desse material para uma data mais próxima de sua utilização.

(6) Perdas por fabricação de produtos defeituosos: essas perdas consistem na produção de peças, componentes e produtos acabados que não atendem às especificações de qualidade

requeridas pelo projeto. Dentre as conseqüências da ocorrência desse tipo de perda, pode-se destacar a redução do desempenho do produto final e a necessidade de efetuar retrabalhos.

Na construção civil, as perdas por fabricação de produtos defeituosos, normalmente estão associadas ao controle deficiente do processo produtivo, à falta de especificações ou detalhamento insuficiente da documentação da obra (projetos, manuais de procedimento, programação de obra, etc.) à utilização de materiais inadequados (defeituosos ou de qualidade inferior), à falta de capacitação dos operários, etc (Costa, 1999).

Como exemplo da ocorrência desse tipo de perda, identificadas neste estudo, pode-se destacar os desaprumos de pilares, lajes e vigas desniveladas, formação de dentes (saliências de concreto existentes na estrutura, em função da não estanqueidade das fôrmas, que possibilitava o escoamento do concreto fluido) e fissuras em lajes.

Com relação especificamente à fissuração de lajes, detectou-se a sua ocorrência devido à utilização de material (concreto) inadequado. Para monitorar a qualidade desse material, com intuito de prevenir a recorrência de perda por fabricação de produtos defeituosos, aplica-se o controle estatístico do processo.

(7) Perdas no processamento em si: referem-se à execução de atividades desnecessárias para que o produto obtenha suas características funcionais ou à realização de atividades necessárias mas de maneira inadequada. Para detectar esse tipo de perda deve-se questionar (Shingo, 1996b): por que fazer esse tipo específico de produto e por que utilizar determinado método de processamento.

Para o caso em estudo, possíveis questionamentos são: por que construir utilizando concreto moldado *in loco*? Qual a função e necessidade da realização das operações de montagem de fôrmas? Pelo o que foi exposto anteriormente, as atividades de montagem de fôrmas são consideradas operações de preparação; portanto, a necessidade de realizá-las deve ser inquirida. Do ponto de vista das operações, é interessante que essas sejam realizadas o mais eficientemente possível; sob a ótica da função processo, contudo, deve-se eliminar ou reduzir tudo que não seja essencialmente processamento. Outro ponto que deve ser levado em consideração é a espera a que está sujeito o fluxo de produção devido à realização dessas operações. Observando-se o gráfico de Gantt (Anexo B), nota-se que o fluxo do aço está sujeito a uma espera de 1,5 dia (que pode chegar a dois ou mais dias, dependendo do canteiro de obras). Nesse período de tempo as armaduras pré-montadas das vigas, as armaduras já montadas dos pilares e as barras de aço das lajes estão estocadas aguardando o término das

operações de montagem das fôrmas. Portanto, a realização das operações de montagem de fôrmas acarreta perda para o processo atual, interrompendo o fluxo de produção.

Outro questionamento possível de ser feito através da observação dos fluxogramas de processo e do gráfico de Gantt, considerando o eixo dos processos do MFP, é: por que os fluxos de aço e concreto ocorrem em momentos distintos? Devido ao atual método construtivo adotado pela empresa, observa-se que o fluxo de produção tem um elevado tempo de produção (18 dias corridos ou 14 dias trabalhados). Observa-se, também, que o *lead time* do fluxo do concreto é inferior ao do fluxo do aço e que os dois ocorrem em momentos distintos. Ou seja, o último deve ocorrer para que o primeiro seja iniciado. Esse intervalo entre a realização da montagem e colocação de armaduras e a concretagem da estrutura é considerado perda, portanto, deve ser eliminado.

Para tanto, o sistema de manufatura atual precisa ser melhorado para reduzir o tempo de produção. Uma das possibilidades de aprimoramento é através da redução do tempo de preparação (tempo de montagem das fôrmas), para reduzir o tempo de espera das armaduras. Contudo, o foco de melhorias deve ser o eixo dos processos do MFP. Em um primeiro patamar de melhorias, deve-se considerar a modificação do processo atual para que o *lead time* do processo seja encurtado, considerando, por exemplo, a possibilidade de adoção de outro método construtivo que beneficie o fluxo dos objetos de produção, eliminando a necessidade de montar fôrmas. Somente em um segundo patamar de melhorias é que se deve buscar o aumento da eficiência das operações de montagem de fôrmas como maneira de reduzir o tempo de produção. Para tanto, sugere-se uma abordagem utilizando-se os conceitos e técnicas da Troca Rápida de Ferramentas, abordados no Capítulo 4.

A própria utilização dos materiais atualmente utilizados pode ser questionada. Por exemplo, por que utilizar concreto? por que não construir utilizando somente aço? Ou, mesmo, por que utilizar concreto ou aço e não adotar outro sistema estrutural (por exemplo, alvenaria estrutural)?

Pelo exposto, observa-se que perdas no processamento em si estão relacionadas com as características básicas de qualidade de um produto, estando associadas ao patamar tecnológico ou método de produção utilizado por uma empresa. A identificação desse tipo de perda requer uma análise aprofundada do sistema de manufatura através do MFP, onde as melhorias devem estar voltadas prioritariamente ao eixo dos processos. Neste contexto, questionar melhorias operacionais está em um segundo plano.

5.3 Aplicação Efetiva das Ferramentas de Controle da Qualidade

Nas seções que se seguem, são apresentados os esquemas operacionais dos *Poka-Yokes* e os resultados da utilização do CEP no caso em estudo. Os *Poka-Yokes* listados correspondem àqueles mencionados na seção 5.2.2, além de outros não mencionados anteriormente. Eles foram elaborados para melhoria do sistema de manufatura atual, considerando-se que a empresa não tinha interesse em adotar outro método construtivo. A aplicação do CEP teve por objetivo o controle da qualidade do concreto, através do monitoramento de sua resistência à compressão.

5.3.1 Aplicação dos Dispositivos *Poka-Yoke*

Este item descreve os dispositivos *Poka-Yoke* elaborados e propostos para melhoria do processo construtivo da etapa estrutura. Apresentam-se os dispositivos, as operações a eles relacionadas e os problemas que visam debelar.

• **Poka-Yoke 01**

Operação: montagem das fôrmas

Problema: perda de tempo e materiais devido à falta de planejamento e organização do canteiro de obras.

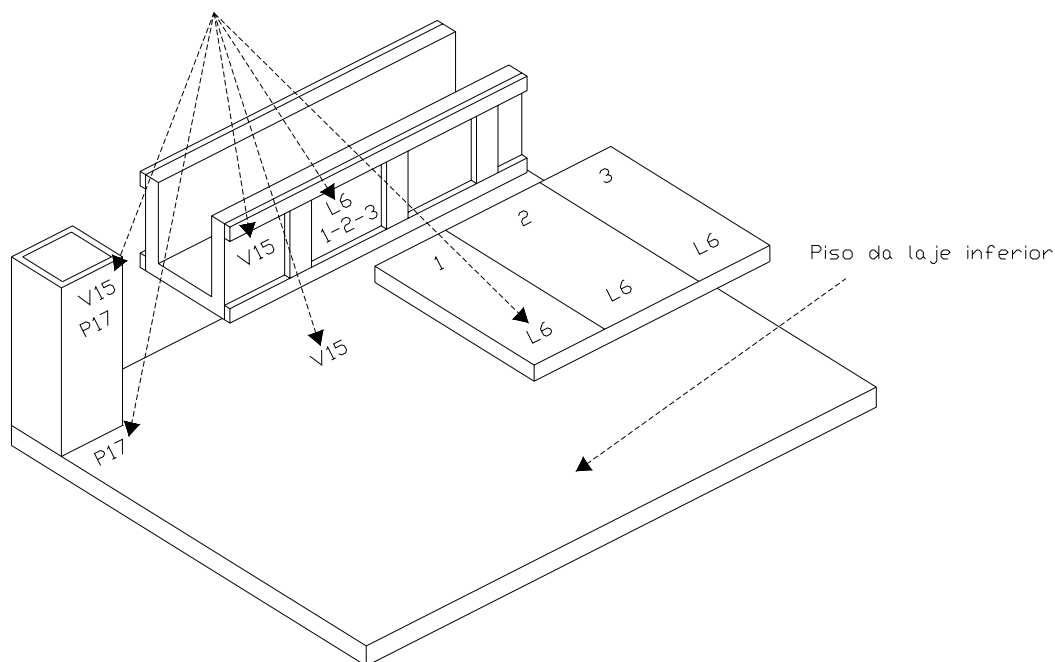
Antes da melhoria:

Devido à falta de planejamento das atividades e da desorganização do canteiro de obras, os carpinteiros despendiam demasiado tempo na procura de folhas de compensado e demais elementos para montagem das fôrmas do pavimento tipo. No caso dos compensados, quando não conseguiam encontrar os que foram utilizados no pavimento inferior, tinham que cortar novas folhas, o que implicava em significativa perda de tempo e de materiais. Com relação aos demais elementos (laterais de vigas, painel de pilares, etc.), as atividades eram paralisadas até que as peças fossem encontradas.

Depois da melhoria:

As fôrmas de vigas, pilares e lajes ficam mais fáceis de ser encontradas depois de numeradas. Para tanto, os carpinteiros passam a ter que organizar as fôrmas à medida que as desfôrmas, preferivelmente, próximas ao local onde serão utilizadas novamente. Evita-se, dessa forma, que se desperdice material e se perca tempo procurando peças.

Marcação de fôrmas de vigas, pilares e assoalhos de lajes com números para melhor identificação das partes para montagem.



Efeitos: Redução das perdas por espera e de materiais e redução do tempo de preparação.

• Poka-Yoke 02

Operação: desfôrma das laterais de vigas.

Problema: perda de tempo e danificação de materiais na retirada das laterais de vigas.

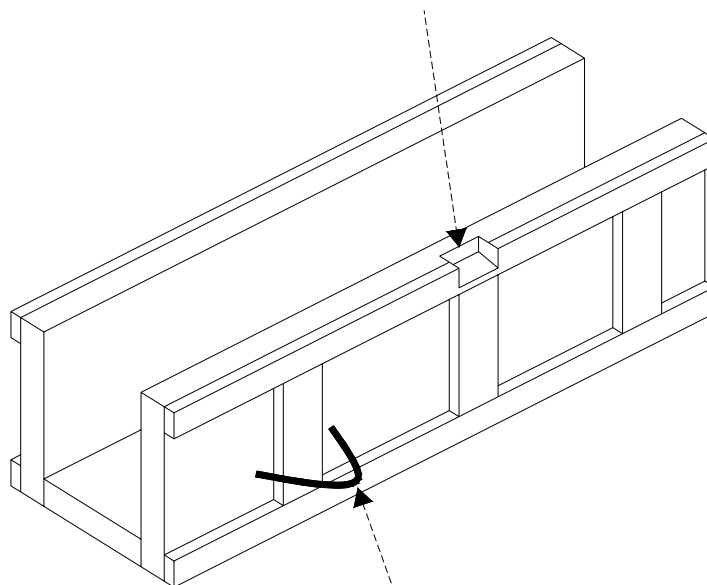
Antes da melhoria:

Em algumas situações as fôrmas das vigas eram parcialmente destruídas, passando a ser inutilizáveis, quando eram retiradas. Tal fato ocorria por que o concreto adere às paredes da fôrma e dificulta sua retirada. Os carpinteiros, então, forçavam a retirada com cunhas de madeira e pé-de-cabra. Esse procedimento danifica as fôrmas, principalmente as mais antigas.

Depois da melhoria:

Na lateral da viga é feito um chanfro que facilite a colocação de algum instrumento para a retirada da fôrma. É, também, colocado um aro metálico para auxiliar o carpinteiro a puxar a fôrma quando ela for retirada. Evita-se, desta forma, que o material seja estragado e reduz-se o esforço para a retirada da fôrma.

Chanfro na lateral do painel para facilitar a sua retirada sem prejudicar a fôrma



Aro na face da fôrma da viga para facilitar sua retirada

Efeitos: Redução das perdas por fabricação de produtos defeituosos

• *Poka-Yoke 03*

Operação: desfôrma dos assoalhos de lajes.

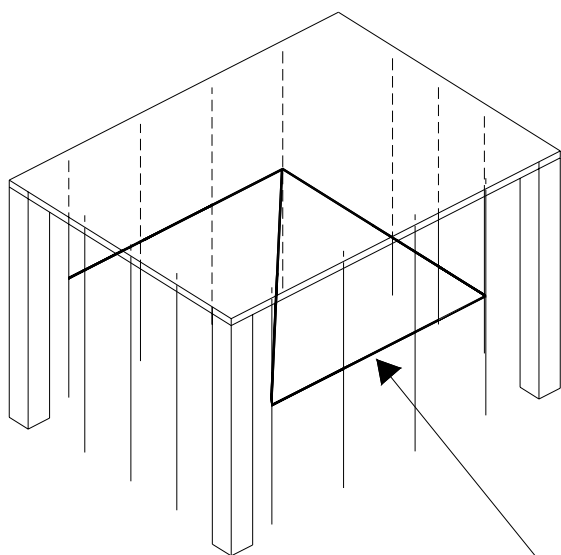
Problema: danificação dos compensados dos assoalhos de laje em sua retirada.

Antes da melhoria:

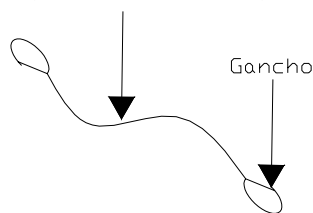
Na retirada dos assoalhos das lajes, os compensados, geralmente, descolam-se do fundo da laje simultaneamente e conjuntamente, impossibilitando que os carpinteiros possam segura-los. Assim, os compensados caem no chão e, por vezes, danificam-se. Tal fato impossibilita seu uso posteriormente, o que implica em utilizar folhas de compensado novas. Nesse caso ocorrem perdas por superprodução quantitativa de materiais, perdas por espera em função do tempo despendido para cortar os novos, perdas por transporte e nos movimentos.

Depois da melhoria:

Uma corda com ganchos é amarrada em volta dos pontaletes (ou pilares) com o intuito de formar uma espécie de rede para amortecer a queda dos compensados quando forem retirados dos fundos das lajes.



Corda com ganchos nas extremidades, que será amarrada em torno dos pontaletes que sustentam o assoalho, para evitar que danifiquem-se ao cair, após desfôrmos



Corda (acima mostrada) em volta dos pontaletes

Efeitos: Redução das perdas por fabricação de produtos defeituosos

• *Poka-Yoke* 04

Operação: transporte de barras de aço e armaduras

Problema: o transporte das barras de aço e armaduras é demorado e acarreta perdas no processo (ver fluxograma de processos – Anexo C, e item sobre identificação e análise das perdas).

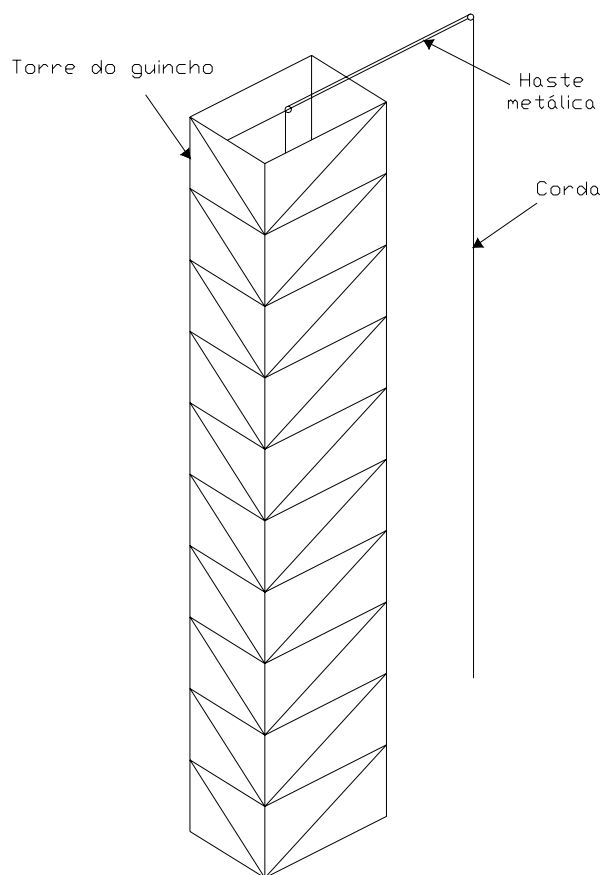
Antes da melhoria:

As barras de aço e armaduras de pilares, vigas e lajes são transportadas pelo guincho. Esse procedimento é limitado, à medida que há restrição de espaço para transporte dentro do guincho. As armaduras ou barras de maior comprimento eram, então, transportadas por partes pelo guincho ou manualmente pelos armadores. No primeiro caso o transporte da ferragem impedia que o guincho fosse utilizado por outras equipes dentro de obra, interferindo no ritmo de produção à medida que causava esperas na produção. No segundo caso (transporte manual) a operação de transporte era difícil e demandava tempo e pessoal para sua execução. Desta forma o processo estava sujeito a esperas.

Depois da melhoria:

As armaduras e barras de aço são transportadas por fora do guincho através de uma corda presa ao elevador por uma haste de metal com roldanas. Esse procedimento otimiza a operação de transporte, à medida que não há restrição de carga ou espaço para o transporte de armaduras. Pode-se transportar tanto barras soltas ou armaduras inteiras. Nesse caso não é mais necessário pré-montar as armaduras no solo para posterior finalização na laje. Desta forma, elimina-se do fluxo do processo as operações de transporte e estocagem de armaduras pré-montadas (ver fluxograma de processos).

A utilização do *Poka-Yoke* também auxilia outras frentes de trabalho. À medida que as armaduras não são transportadas dentro do guincho, libera-se espaço para transporte de outros materiais, como por exemplo, os compensados das fôrmas.



Efeitos: Redução das perdas por transporte e espera.

• **Poka-Yoke 05**

Operação: montagem das armaduras de vigas e pilares.

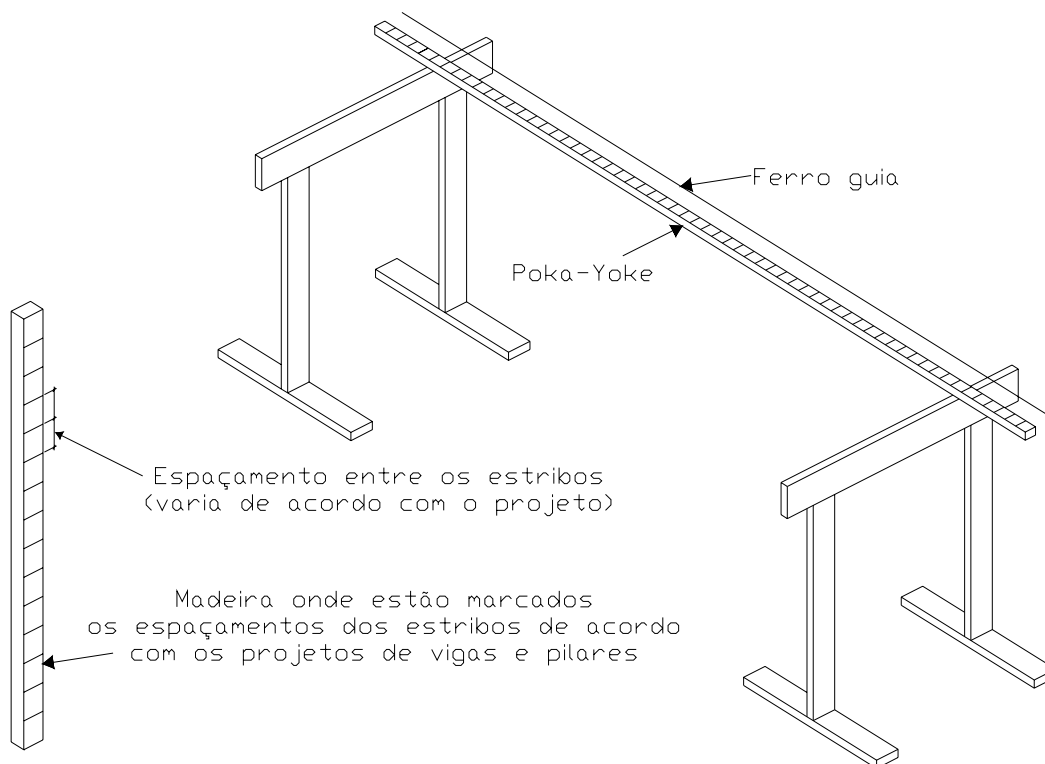
Problema: elevado número de operações auxiliares necessárias para consecução da operação essencial de colocação de estribos, que demanda demasiado tempo e está sujeita a erros que podem gerar fabricação de produtos defeituosos.

Antes da melhoria:

Os armadores montavam os cavaletes para montagem da ferragem, utilizavam-se de um ferro guia onde com o auxílio de uma trena (ou metro), marcavam no ferro guia a posição de cada estribo. Esse procedimento era repetido todas as vezes que se montava uma armadura. Note-se que o espaçamento entre os estribos pode variar a cada 10 cm, 12 cm, 15 cm e 20 cm. Essa variação implica que cada vez que iam montar as armaduras, os armadores tinham que saber qual o espaçamento que seria utilizado e marcar a posição de cada estribo através da soma dos valores do espaçamento. Esse procedimento pode gerar erros com eventuais retrabalhos em função da soma errada de valores e, conseqüente, colocação dos estribos com espaçamentos inadequados. Pode, ainda, ocasionar na fabricação de produtos defeituosos pela falta de colocação de algum estribo, por não se ter marcado no ferro guia a sua presença. Pode, ainda, ocorrer dos estribos serem colocados fora de posição pela movimentação involuntária da trena (ou metro) pelo armador, visto que ele segura o equipamento de medição com as mãos. Nessa situação, novamente, fabrica-se um produto defeituoso.

Depois da melhoria:

Ao montar a ferragem os armadores utilizam um gabarito de madeira onde estão marcados os espaçamentos entre estribos. Existe um gabarito para cada valor de espaçamento. Desta forma, os armadores têm que somente certificar-se do espaçamento adotado e utilizarem o respectivo gabarito. Assim, evita-se possíveis erros devido à soma errada de valores e agiliza-se a montagem da ferragem à medida que não têm mais que colocar o ferro guia, abrir a trena (ou metro) no comprimento da guia, somar os valores e marcar um por um. Com a redução do número de erros na colocação dos estribos, essa operação passa ser mais confiável, diminuindo gradativamente a necessidade de inspeção.



Efeitos: Redução do tempo de montagem das armaduras de vigas e pilares, redução de perdas por espera e por fabricação de produtos defeituosos (estribos colocados em posição errada).

• Poka-Yoke 06

Operação: montagem das armaduras das lajes.

Problema: elevado número de operações auxiliares necessárias para consecução da operação principal de colocação de estribos, que demanda demasiado tempo e está sujeita a erros que podem gerar fabricação de produtos defeituosos.

Antes da melhoria:

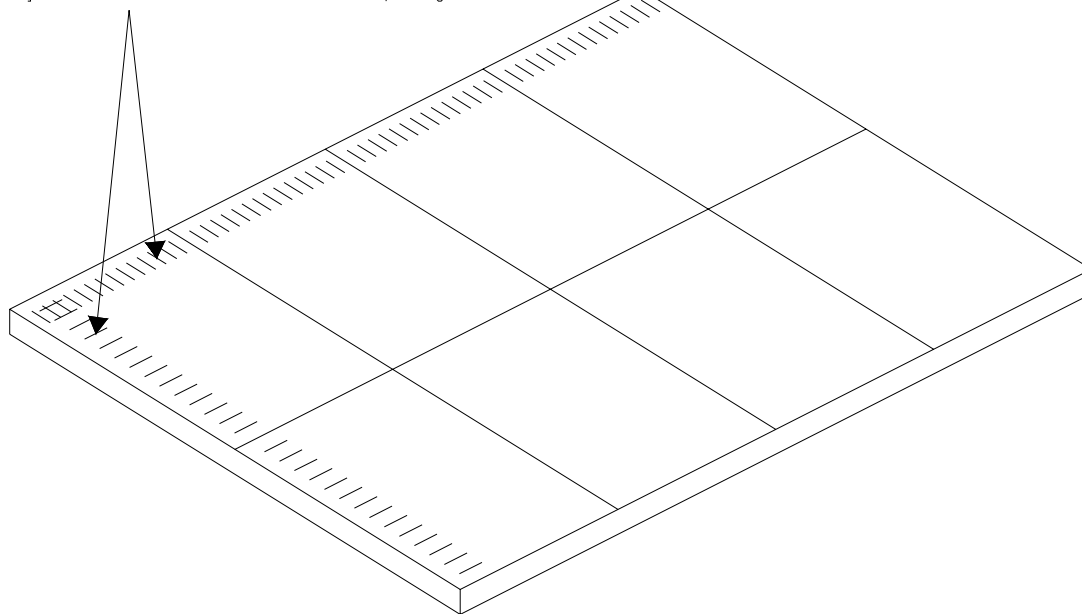
Assim como na montagem das ferragens de vigas e pilares, na colocação da ferragem das lajes, os armadores marcavam o assoalho com o auxílio de uma trena (ou metro) e depois colocavam as barras de aço. Esse procedimento demandava bastante tempo.

Depois da melhoria:

Os compensados que são utilizados como fôrma para as lajes (assoalho), são marcados com os respectivos espaçamentos das barras de aço. Assim, os armadores têm que somente colocar a ferragem na posição indicada. Evita-se dessa forma, perda de tempo e erros na marcação e colocação das ferragens.

Aqui também, por estar sujeita a menor incidência de erros, a operação de colocação de estribos torna-se mais confiável, eliminando a necessidade de inspeção dos serviços executados.

Marcas nas fôrmas das lajes
espaçadas de acordo com o projeto



Efeitos: Redução das perdas por fabricação de produtos defeituosos e perdas por espera

• *Poka-Yoke 07*

Operação: colocação do gabarito de rebaixo de lajes.

Problema: o gabarito não garante que os rebaixos das lajes sejam bem executados, pois o pino que mantém o nível do gabarito pode ceder quando alguém pisa sobre o gabarito.

Antes da melhoria:

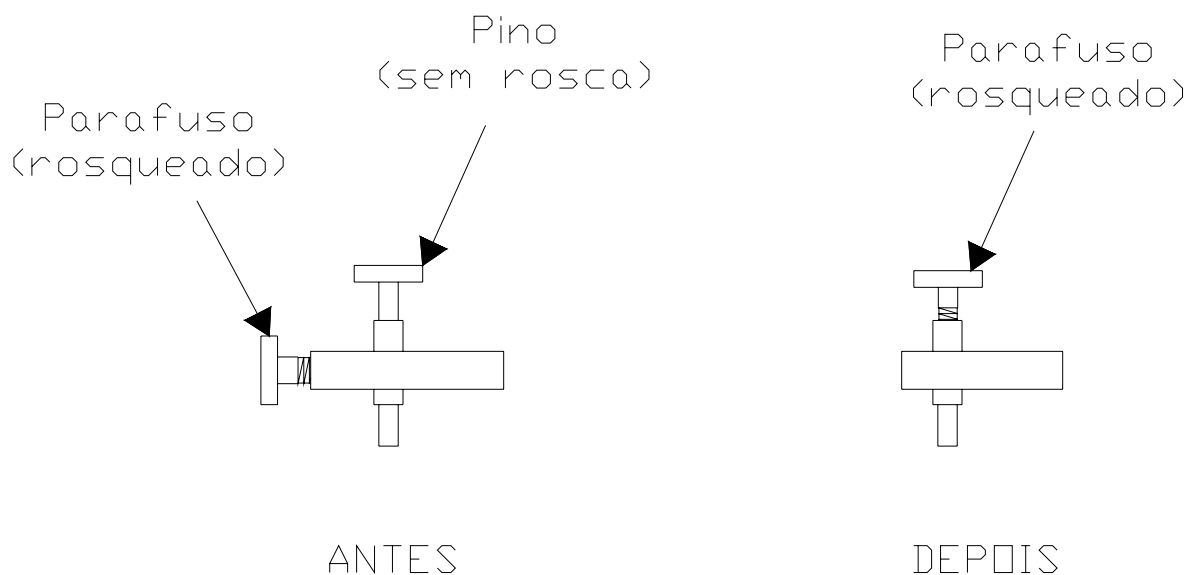
Para colocar o gabarito na altura correta do rebaixo, é utilizado um pino (sem rosca) e um parafuso (rosqueado). O pino determina a altura que deve ficar o rebaixo, por exemplo, 10 cm; o parafuso fixa o pino na posição correta (ver figura abaixo). Todavia, esse sistema de fixação não é seguro, pois com frequência cede sob o peso de alguém que pise sobre o gabarito. O que garante que o gabarito ficará na posição correta é somente o atrito entre a ponta do parafuso e a haste do pino. Portanto, pequenas sobrecargas sobre o gabarito fazem com que o gabarito ceda e saia de posição. Se ao concretar o gabarito não estiver na altura correta, o rebaixo não terá a altura de projeto. Fabrica-se, assim, um produto defeituoso.

Ressalta-se, que durante a concretagem, cientes do problema com os rebaixos, os carpinteiros tinham que constantemente verificar o nível dos gabaritos para, caso necessário, ajustá-lo.

Depois da melhoria:

Passa a existir somente um parafuso para regulagem da altura do gabarito. Esse parafuso é rosqueado de maneira que oferece maior segurança para que o rebaixo não ceda sob algum peso. Garante-se, dessa forma, que o rebaixo vai estar na altura certa durante a concretagem. O acerto de altura do gabarito também foi facilitado, pois existe somente um parafuso para ser manuseado.

A utilização desse *Poka-Yoke*, dispensa a necessidade da permanência de um carpinteiro durante a concretagem da laje, à medida que garante que o gabarito permanecerá na altura correta.



Efeitos: Redução das perdas por fabricação de produtos defeituosos.

• Poka-Yoke 08

Operação: corte de madeira com serra circular.

Problema: os carpinteiros não colocam o capacete de proteção ao utilizarem a serra.

Antes da melhoria:

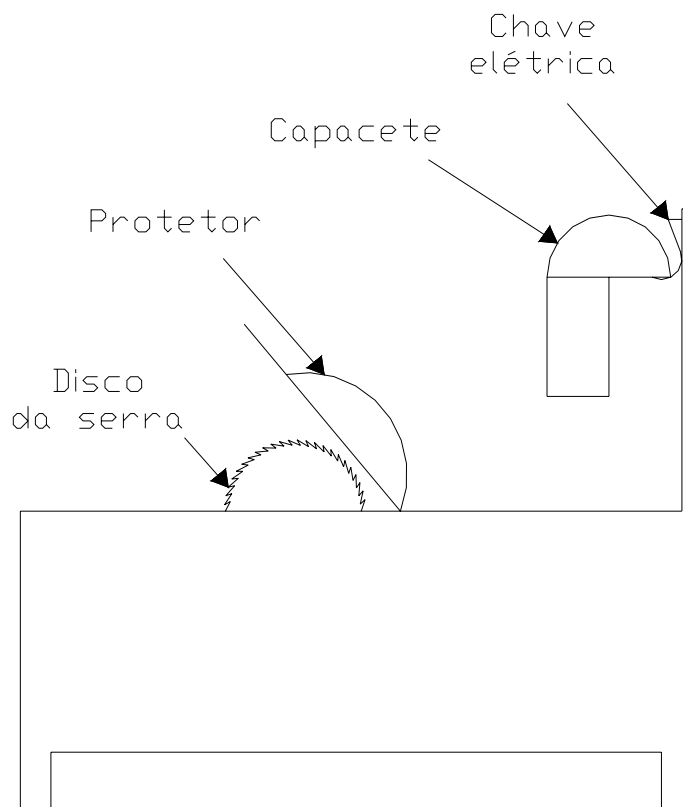
Existe resistência por parte dos carpinteiros em utilizarem equipamentos de proteção individual. No caso da serra circular, por exemplo, não é utilizado o capacete, que é um equipamento de proteção individual (EPI) de uso obrigatório.

Os carpinteiros alegam que esquecem de colocar o capacete ou que só vão cortar um pedaço pequeno de madeira.

Depois da melhoria:

O capacete de proteção fica pendurado na chave que liga a serra circular, quando ela não está em funcionamento. Portanto, para ligar a serra é necessário retirar o capacete da chave de força.

Como para acionar a serra tem-se que apanhar o capacete, a idéia é que os carpinteiros o coloquem antes de usar a serra, já que estão de posse do EPI. Não se pode alegar, nesse caso, que esqueceram de pegar o capacete ou que o capacete não estava próximo a serra.



Efeitos: aumento das condições de segurança no trabalho na operação da serra circular.

5.3.2 Aplicação do Controle Estatístico do Processo

5.3.2.1 Determinação da Variável de Controle

No monitoramento da qualidade do concreto, a resistência à compressão é o principal parâmetro de interesse. Como apresentado no Capítulo 2, a resistência à compressão, em edificações correntes de concreto armado, é o melhor indicador de qualquer alteração que tenha ocorrido no processo de produção do concreto ou nos materiais constituintes desse insumo. Sua importância também é destacada por Norma – NBR 6118 (ABNT, 1978), que estabelece a aceitação ou não de uma estrutura de concreto armado, tendo como parâmetro a resistência à compressão apresentada pelo concreto empregado.

Assim é decorrência natural de sua importância, que se utilize a resistência à compressão como variável de controle de qualidade do concreto para aplicação do CEP neste estudo.

5.3.2.2 Coleta de Dados

Os dados utilizados foram obtidos dos resultados de certificados de ensaios de resistência à compressão axial do concreto, fornecidos por empresa especializada. Nesses certificados constam os resultados de testes de compressão axial realizados em corpos-de-prova, de dimensões 100 (ϕ) \times 200 (h) mm, para as idades de 03, 07 e 28 dias, além de outras informações, como data e hora de moldagem dos corpos-de-prova, o valor do abatimento do tronco de cone para o concreto de cada caminhão amostrado, o tipo de concreto utilizado e as condições do tempo no dia da moldagem dos corpos-de-prova. Para maiores detalhes, ver Tabela 1 do Anexo D.

Por determinação da empresa contratante dos serviços de concretagem (empresa executante da obra), eram moldados exemplares de concreto para cada caminhão betoneira que chegava à obra. Tal procedimento, de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 1996), denomina-se amostragem total (100%) do fornecimento do concreto. Eram moldados, no mínimo, um exemplar com dois corpos-de-prova para cada entrega de material. Esse exemplar era, obrigatoriamente, ensaiado para a idade de 28 dias. Adicionalmente, moldavam-se mais dois corpos-de-prova (CP), a cada dois caminhões betoneiras. Por opção da empresa contratante dos serviços de concretagem, esses CP adicionais poderiam ser ensaiados em idades diferentes. Nesse caso, um dos CP era ensaiado aos 3 dias e o outro aos 7 dias, conforme pode ser observado na Tabela 1 do Anexo D. No total, foram moldados 1143 corpos-de-prova, sendo 748 deles (374 exemplares) para ensaios de compressão aos 28 dias, 255 para os 7 dias e 140 para os 3 dias.

Como os dados referentes às resistências à compressão aos 3 e aos 7 dias não correspondiam a todo o período em análise, optou-se por somente monitorar a resistência obtida aos 28 dias. Não obstante, o valor da resistência aos 28 dias corresponde ao valor especificado em projeto; por conseguinte, é o valor mais indicado para controle entre os três apontados.

5.3.2.3 Utilização de Cartas de Controle para Valores Individuais para o Monitoramento do Fornecimento de Concreto

Dado que as operações de ensaio dos exemplares para obtenção da resistência à compressão do concreto aos 28 dias disponibilizam somente um valor de resistência potencial (valor representativo de cada exemplar ensaiado), dispõe-se de uma amostra de tamanho $n=1$. Assim, não é possível formar grupos e/ou subgrupos, de tal forma que não se pode utilizar cartas de controle para médias. Logo, nessas condições, cartas para valores individuais são os tipos de cartas de controle indicadas para o monitoramento do processo.

5.3.2.4 Interpretação das Cartas de Controle

Conforme apresentado no Capítulo 3, o cálculo dos limites de controle e dos índices de capacidade, foi realizado supondo que as variáveis em estudo seguem uma distribuição Normal. Caso os dados não sigam esse tipo de distribuição, uma alternativa é utilizar uma transformação nos dados. O desejado é que os dados sigam a distribuição Normal (Ribeiro & Caten, 2000). Desta forma, antes de proceder ao estudo da estabilidade do processo e a avaliação de sua capacidade, é necessário verificar o tipo de distribuição que os dados analisados seguem.

A *priori*, conforme discutido no Capítulo 2, sabe-se que a produção de concreto segue uma distribuição Normal. Todavia, para certificar que no caso em avaliação os dados analisados (Tabela 1, Anexo D) apresentam esse tipo de distribuição, dispõe-se do histograma da Figura 27 e dos resultados de testes de normalidade, mostrados no Quadro 17, obtidos através da utilização do *software* ProCEP (1999).

Pela análise do histograma e dos resultados dos testes de normalidade, não se pode rejeitar a hipótese de que o processo segue uma distribuição Normal. Confirma-se, assim, para os dados amostrados, que a produção de concreto segue uma distribuição Normal. Portanto, a análise da estabilidade e a avaliação da capacidade do processo podem ser efetuadas de acordo com as considerações feitas no Capítulo 3. O estudo da estabilidade e a avaliação da capacidade do processo são apresentados a seguir.

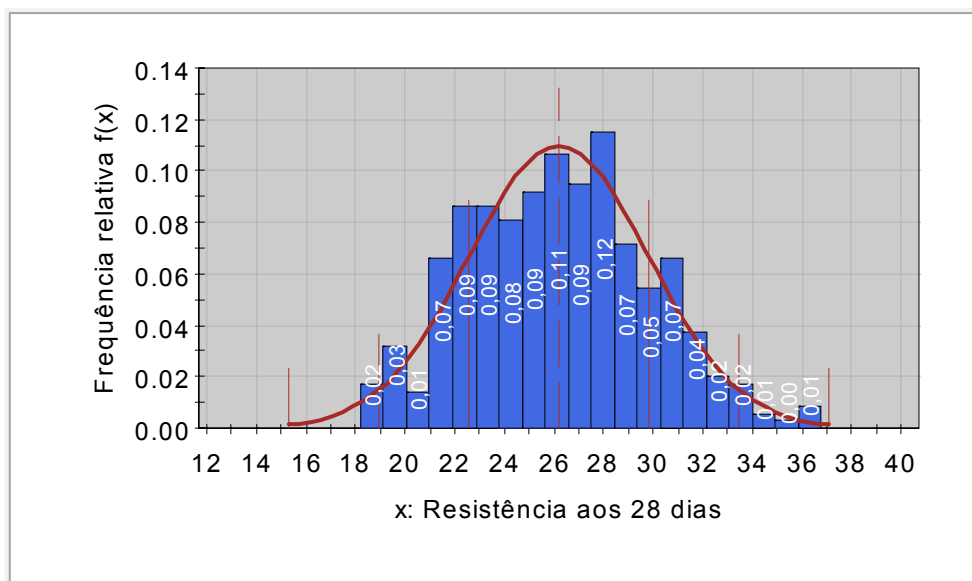


FIGURA 27 - Histograma dos dados analisados.

QUADRO 17 – Testes de normalidade dos dados analisados.

TESTES ANALÍTICOS DE AJUSTE DOS DADOS

Resistência aos 28 dias

Intervalo de análise: amostra 1 até 374

Período da análise: 22/09/99 08:30 até 27/04/00 14:00

Teste analítico do Qui-Quadrado:

QQ = 21,71 com 17 graus de liberdade

Nível mínimo de significância = 0,1963

Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S):

DN = 0,0415

Nível mínimo de significância = 0,1194

A hipótese de que a população segue o modelo Normal não pode ser rejeitada.

• **Estudo da Estabilidade do Processo de Fornecimento de Concreto**

O estudo da estabilidade do processo de fornecimento de concreto foi desenvolvido utilizando-se cartas de controle para valores individuais e para amplitudes móveis. A carta de controle para valores individuais da característica em análise, resistência à compressão axial do concreto aos 28 dias, encontra-se subdividida nas Figuras 28, 29, 30 e 31 apresentadas a seguir. A carta foi gerada com auxílio do *software* ProCEP (1999). Os valores marcados na carta podem ser encontrados na Tabela 1 do Anexo D. O período de análise apresentado na carta corresponde aos meses de Setembro de 1999 a Maio de 2000 (ver Tabela 1 do Anexo D). A carta de controle para amplitudes móveis encontra-se anexada a dissertação (Anexo E).

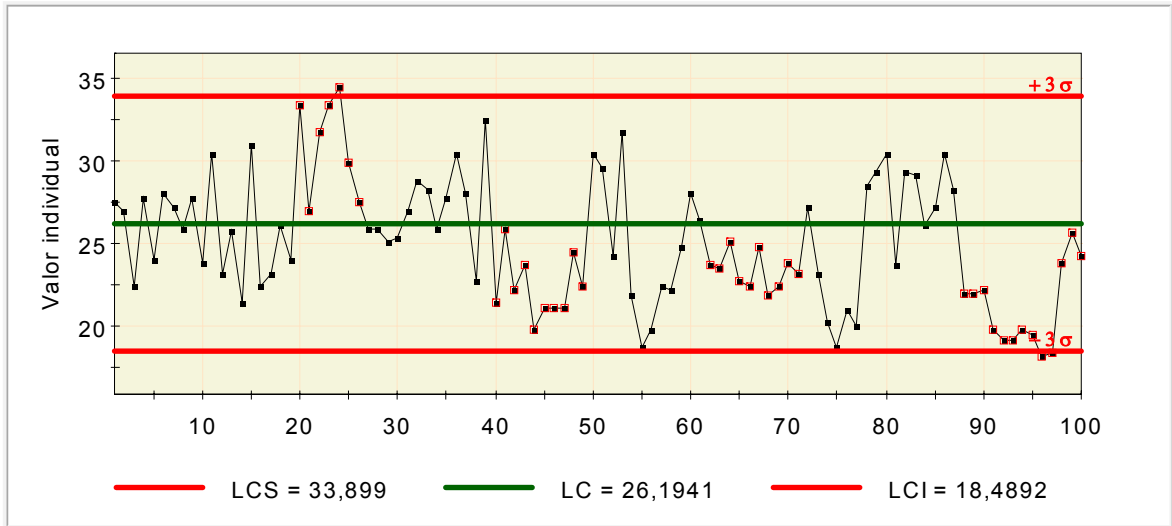


FIGURA 28 - Carta de controle da resistência aos 28 dias, período de 22/09/99 a 17/11/99.

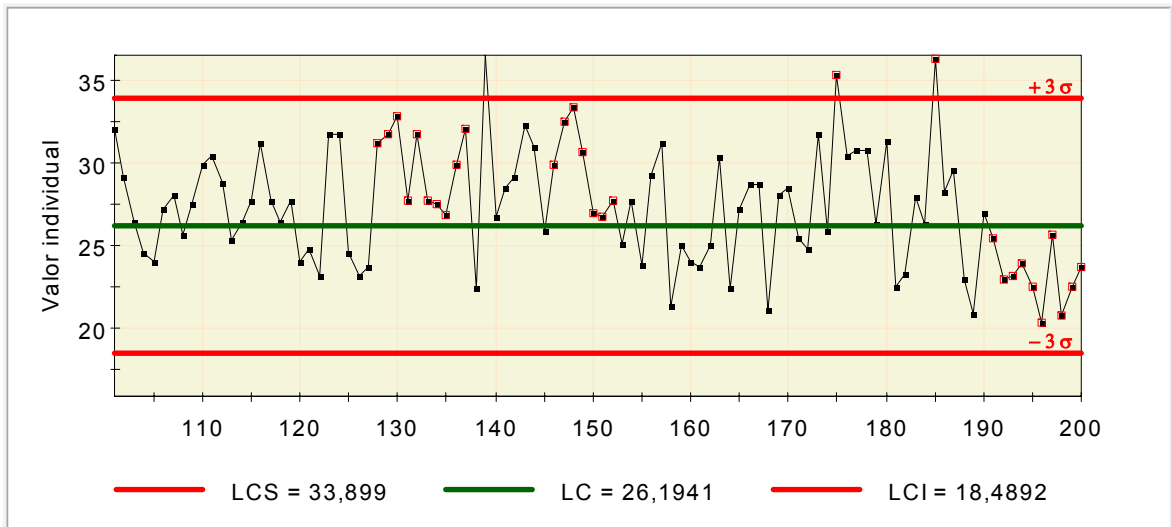


FIGURA 29 - Carta de controle da resistência aos 28 dias, período de 22/11/99 a 14/01/00.

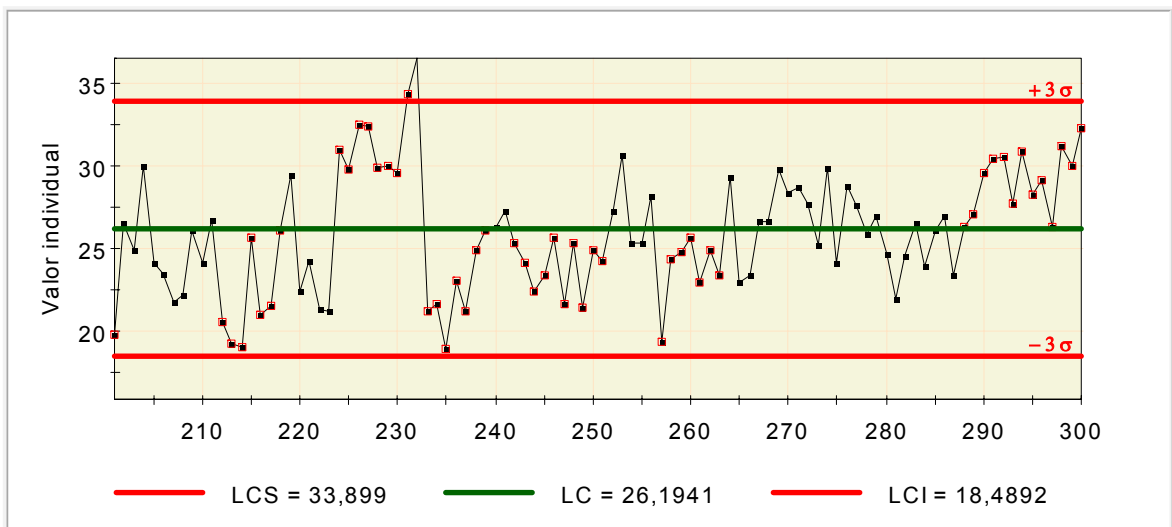


FIGURA 30 - Carta de controle da resistência aos 28 dias, período de 14/01/00 a 15/03/00.

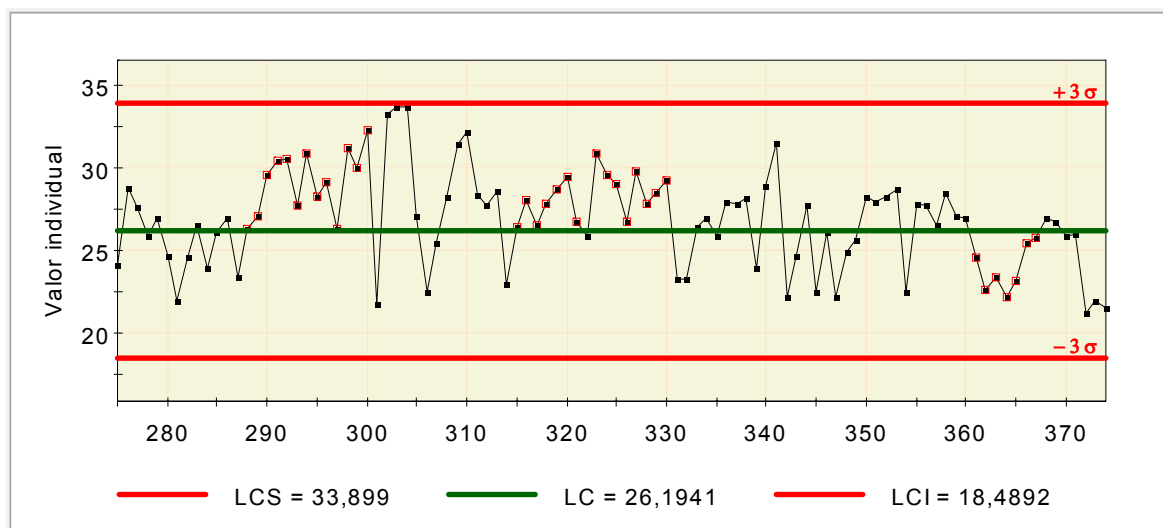


FIGURA 31 - Carta de controle da resistência aos 28 dias, período de 22/03/00 a 27/04/00.

Através da análise das figuras anteriores e da carta de controle apresentada no Anexo E, observa-se que o processo apresenta pontos fora dos limites de controle e alguns padrões anormais de comportamento. Especificamente com relação à carta para valores individuais (Figuras 28, 29, 30 e 31), não se observa a formação de linhas contínuas apontando tendências, ascendentes ou descendentes; notam-se, todavia, várias seqüências de valores abaixo e acima da linha central da carta de controle. Observa-se, também, um comportamento cíclico no processo estudado, onde as seqüências de pontos alternam-se de posição, relativamente à linha central, apresentando-se acima ou abaixo da mesma. O comportamento cíclico apresentado pelo processo é sinal de ajustes nele efetuados por parte da empresa fornecedora do concreto, o que sugere que o produtor conhece os resultados de seu processo de produção e tenta ajustá-lo.

A partir da análise temporal das medições de resistência à compressão, apresentada nas Figuras 28, 29, 30 e 31, e da carta de controle para amplitudes móveis (Anexo E), conclui-se que o processo analisado é instável no período considerado, com a presença de várias causas especiais (marcadas em vermelho). Logo, esse processo não está sob controle estatístico.

Conforme discutido no Capítulo 3, estabilidade é condição necessária para a avaliação da capacidade de um processo. Um processo estável é aquele que está sujeito a somente causas comuns de variabilidade. Desta forma, deve-se proceder a uma investigação das causas da instabilidade, propor e implementar soluções para eliminar os efeitos de tais fatores no processo analisado, tornando-o, então, estável para posterior análise de sua capacidade.

Existem diversos fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto. Pode-se elencar desde a heterogeneidade dos materiais (agregados, cimento, água, aditivos) até o seu transporte, lançamento, adensamento e cura (Helene, 1980). Todavia, o controle da qualidade da resistência do concreto nesta dissertação refere-se à resistência potencial do concreto (conforme visto no Capítulo 2), medida na saída da betoneira (ou do caminhão betoneira), de acordo com o esquema apresentado na Figura 32. Dessa forma, os fatores que influenciam na resistência potencial do concreto devem-se aos materiais, à mistura e ao procedimento de ensaio. Os dois primeiros itens mencionados (materiais e mistura) são fatores diretamente relacionados com a produção do concreto, ao passo que o último está relacionado com as operações de ensaio.

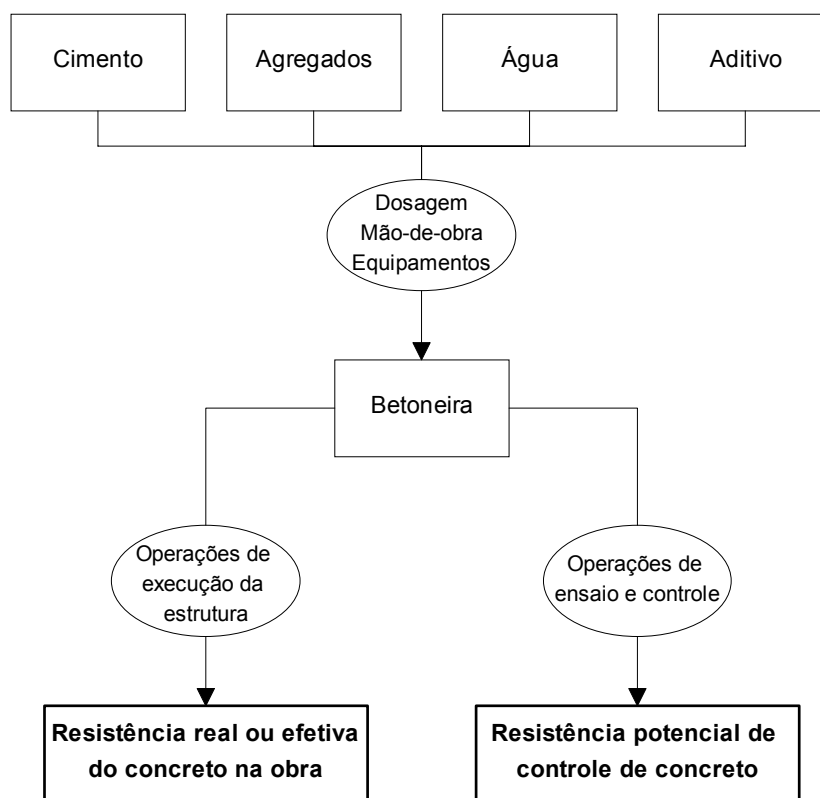


FIGURA 32 – Obtenção da resistência potencial a partir das operações de ensaio e controle do concreto.

Fonte: Helene, 1980, p. 53.

Sobre as operações de ensaio, existe a probabilidade de ocorrerem erros, devido à imprecisão intrínseca aos métodos de ensaios e dos erros cometidos pelos operadores. Esses erros podem influenciar no resultado obtido no ensaio dos CP sem que tenham ocorrido variações na qualidade do próprio concreto. Logo, a análise da estabilidade do processo deve levar em consideração possíveis erros devido a ensaios de resistência à compressão mal

efetuados. Esses erros podem fazer com que um processo estável apresente-se instável devido a utilização de dados incorretos.

Nesta dissertação, descarta-se a influência dos resultados dos ensaios de CP como fonte de variação na resistência do concreto ao utilizar-se como resistência potencial, o maior valor obtido no ensaio de um exemplar (2 CP). Como comentado no Capítulo 2, o maior valor é menos afetado pelas operações de ensaio, sendo esse valor correspondente a maior resistência à compressão que o concreto ensaiado pode obter em uma época específica. Tal procedimento é previsto em Norma (NBR 12655; ABNT, 1996), de tal forma que não seja levado em consideração o efeito dos ensaios à compressão nos resultados obtidos.

Logo, a instabilidade apresentada pelo processo analisado provavelmente deve-se exclusivamente ao processo de produção. Ou seja, os problemas associados à ocorrência das causas especiais no processo analisado são decorrentes do processo de fabricação do concreto. Uma análise aprofundada dos fatores que levam o processo sob análise a apresentar-se instável no período estudado foge do escopo da presente dissertação, que visa tão somente o estudo do fornecimento do concreto e não de sua fabricação. Dessa forma, fatores que interferem no processo produtivo e que são responsáveis pela qualidade do concreto não são discutidos nesta dissertação. Todavia, comentários e sugestões para melhoria dos padrões atuais do processo em questão, são apresentados adiante no texto. A seguir, procede-se o estudo da capacidade do processo analisado.

- **Estudo da Capacidade do Processo de Fornecimento de Concreto**

O estudo de capacidade do processo de fornecimento de concreto refere-se à avaliação da capacidade do produtor desse insumo de atender às exigências de seus consumidores e ao estabelecido por Norma (ABNT, 1996; ABNT, 1978). Nesta dissertação, a avaliação da capacidade do processo é subdividida em: *i*) capacidade técnica; *ii*) capacidade de limites de produção.

i. Capacidade Técnica

A capacidade técnica, refere-se a capacidade do processo de fabricar concreto que atenda ao valor mínimo da resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) exigida pelo consumidor (estipulada em projeto).

O critério da NBR 6118 (ABNT, 1978) recomenda que se aceite o concreto sempre que tenham sido satisfeitas as condições de projeto e execução da Norma, e somente quando a inequação abaixo for satisfeita:

$$f_{ckj,est} \geq f_{ckj} \quad (1)$$

onde:

- $f_{ckj,est}$ – resistência característica estimada do concreto à compressão aos j dias. É o valor obtido ao ensaiar corpos-de-prova cilíndricos e aplicar aos resultados obtidos, uma fórmula matemática – o estimador.
- f_{ckj} – resistência característica do concreto à compressão aos j dias. Resistência determinada em projeto.

A idade adotada para análise da capacidade é de 28 dias ($j = 28$ dias), que é a idade de referência para o dimensionamento de uma estrutura.

Dessa forma, o processo é dito capaz se atender à resistência estipulada em projeto, sendo este o valor mínimo a ser atendido pelo produtor do concreto. Logo, a finalidade da análise da capacidade técnica é julgar a capacidade do produtor de fornecer concreto que, aos 28 dias, apresente resistência igual ou superior ao valor de projeto. Sendo a resistência do concreto é uma característica de qualidade do tipo *maior é melhor*, o processo é dito capaz se pelo menos 99,73% dos valores de resistência obtidos através de ensaios forem iguais ou maiores que o mínimo exigido em projeto.

Para o caso em estudo, a resistência a compressão mínima exigida pelo consumidor é de 18 MPa ($f_{ck} = 18$ MPa), aos 28 dias. Logo, $f_{ck28,est} \geq 18$ MPa, ou seja, o limite de especificação inferior do processo é 18 MPa. O não atendimento dessa especificação implicará em perdas ao consumidor, podendo-se destacar os seguintes tipos (de acordo com a análise das sete perdas, apresentadas no item 4.2.1.3 do Capítulo 4): *i*) perdas por fabricação de produtos defeituosos: perdas que exigem retrabalho ou podem gerar eventuais refugos, pela fabricação de produtos que não estão de acordo com suas especificações técnicas de qualidade (o fato da estrutura não estar apta a atender às solicitações de cargas a ela impostas por falta de resistência do concreto, pode gerar a necessidade de reforço dos elementos estruturais, principalmente os pilares, sob pena de levar a estrutura à ruína); *ii*) perdas por espera: perdas correspondentes aos períodos de tempo em que nenhum processo e operação estão sendo executados, devido, no caso específico, à recuperação dos produtos defeituosos.

A Figura 33 apresenta o estudo da capacidade técnica do fornecimento do concreto, realizado utilizando o *software* ProCEP, 1999. Para a análise da capacidade, devem ser retiradas as causas especiais que interferem no processo, conforme comentado nos itens 3.2 e

3.3.2.2 do Capítulo 3. Portanto, a Figura 33 apresenta um processo submetido a melhorias com vistas à estabilidade.

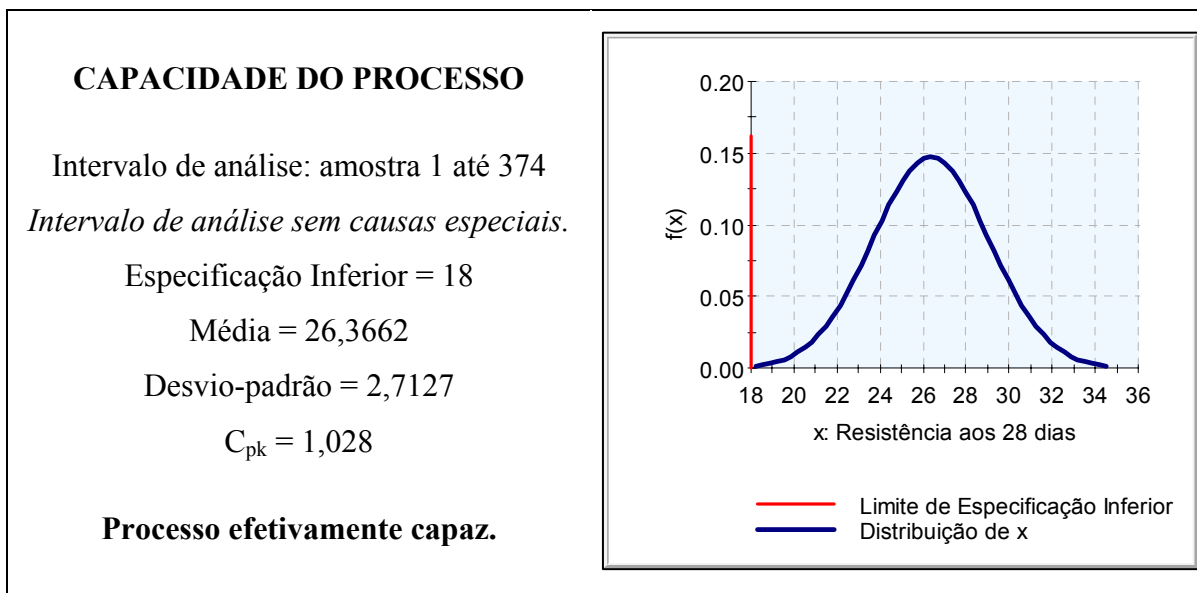


FIGURA 33 - Avaliação da capacidade técnica sem a presença de causas especiais.

Observa-se, pela análise da Figura 33, que no período considerado o processo de fornecimento de concreto é capaz de atender às exigências do consumidor. Verifica-se que o valor do C_{pk} é superior a 1, condição que indica que a produção de concreto abaixo do limite de especificação é inferior a 0,27%.

Para efeito de comparação entre o processo melhorado (sem causas especiais) e o processo atual (com causas especiais) apresenta-se, na Figura 34, o estudo da capacidade para o processo operando nas condições atuais.

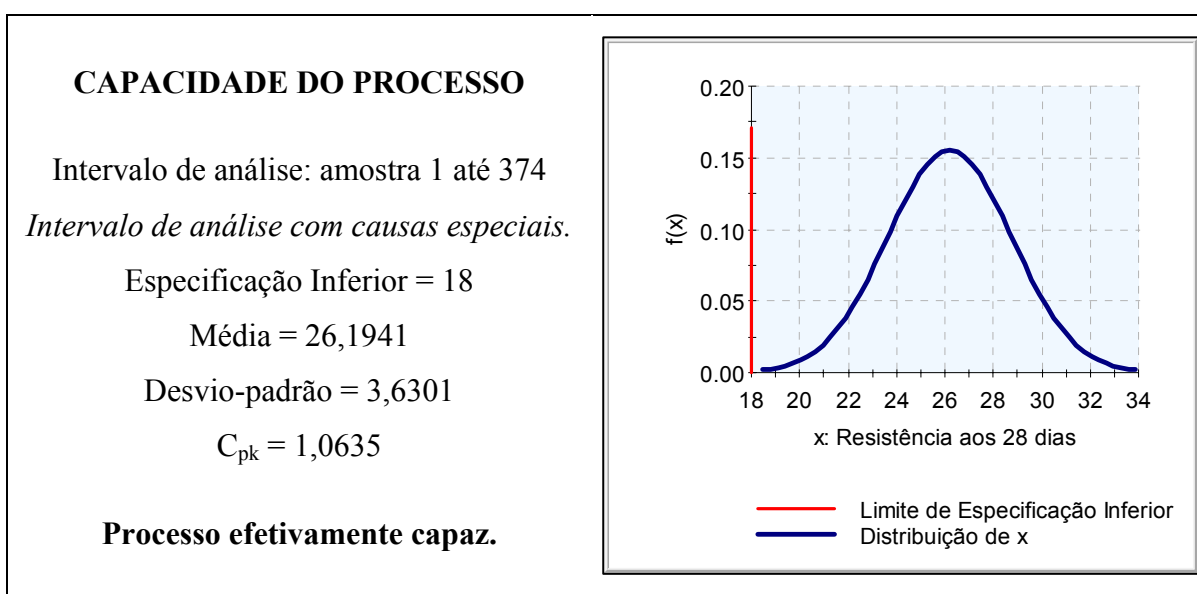


FIGURA 34- Avaliação da capacidade técnica com a presença de causas especiais.

Observando-se a Figura 34 constata-se que, mesmo com a presença de causas especiais (processo instável), o processo é capaz de produzir pelo menos 99,73% de suas unidades de acordo com as especificações ($C_{pk} \geq 1$). Conclui-se, desta forma, que o processo atual atende à seu consumidor e está de acordo com o estabelecido em Norma.

Por definição, um processo instável é candidato a melhorias que visem sua estabilização. Contudo, partindo-se da análise da capacidade técnica, apesar de não estar sob controle estatístico, não se justifica a adoção de medidas para melhoria do processo avaliado, neste caso em particular, visto que o mesmo é capaz de atender às expectativas de seus consumidores e apresenta resultados superiores ao que se exige por Norma. Ou seja, mesmo estando fora de controle estatístico, não se faz necessária intervenção no processo atual para torná-lo estável.

Nota-se que o índice de capacidade (C_{pk}) para o processo instável (Figura 34) apresenta-se ligeiramente superior ao respectivo índice para o processo estável. Esta é uma situação particular que pode ser justificada da seguinte maneira. Observando-se as Figuras 28, 29, 30 e 31, nota-se que a maior parte das causas especiais representam valores próximos à linha central da carta de controle, que possuem desvios-padrão pequenos relativamente aos demais pontos. Ao retirar esses valores para análise da capacidade, o desvio-padrão do grupo de valores sem causas especiais tende a aumentar. Como o índice C_{pk} é inversamente proporcional ao valor do desvio-padrão da amostra (equação (25) do Capítulo 3) e o processo estável apresenta desvio-padrão superior ao processo instável, tem-se $C_{pk(estável)} < C_{pk(instável)}$.

ii. Capacidade dos Limites de Produção

A avaliação da capacidade dos limites de produção refere-se a análise da capacidade do produtor de fabricar concreto dentro de certas especificações, mínima e máxima, em condições normais de produção, de acordo com o permitido por Norma (ABNT, 1996; ABNT, 1978) e que atenda às exigências do consumidor, conforme explicado a seguir.

O projeto estrutural baseia-se na hipótese de uma determinada resistência mínima do concreto (f_{ck}). Contudo, a resistência real do material, obtida em obra, é uma quantidade variável. Como foi mencionado no Capítulo 2, admite-se que a variação dos valores de resistência das amostras de um dado volume de concreto possa ser representada por uma distribuição Normal. Assim, caso um fabricante ao produzir concreto estabeleça como alvo de produção o valor da resistência de projeto (f_{ck}), ele corre o risco de ver 50% dessa produção rejeitada, mesmo que esta esteja absolutamente de acordo com o especificado (Figura 35). Nessa situação, o consumidor pode receber concreto com resistência abaixo das suas

necessidades 50% das vezes que o produtor oferecer o material. Um processo que opere sob essas condições é rejeitado por não possuir capacidade técnica.

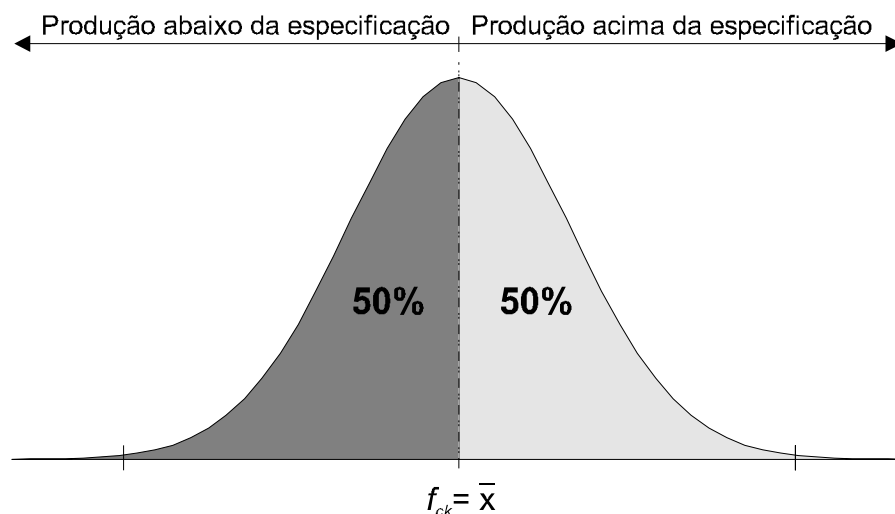


FIGURA 35 - Produção de concreto com alvo centrado na especificação de projeto.

É natural pressupor que o risco de rejeição da produção será tanto menor quanto mais acima da resistência exigida (f_{ck}) estiver a média da produção (Helene & Terzian, 1992). Desta forma, para atender satisfatoriamente os consumidores, o fabricante deve estabelecer um processo que produza com valor de média superior à especificação de projeto.

É estabelecido por Norma (ABNT, 1996) que, na dosagem, o traço de concreto a ser produzido seja formulado para alcançar uma resistência média f_{cj} (resistência de dosagem) que assegure, com margem de segurança, que se obtenha na produção a resistência característica à compressão (f_{ck}) especificada em projeto. Esse é um valor estabelecido de tal forma que garanta que pelo menos 95% da produção de concreto possua valor igual ou superior ao valor de f_{ck} . Por definição, a resistência de dosagem é calculada conforme equação (2) e Figura 36 (ABNT, 1996):

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (2)$$

onde:

- f_{cj} – resistência de dosagem. Resistência média do concreto à compressão prevista para a idade de j dias, em megapascais.
- f_{ck} – resistência característica do concreto à compressão, em megapascais.
- S_d – desvio-padrão da dosagem, em megapascais.
- j – 28 dias, no caso em estudo.

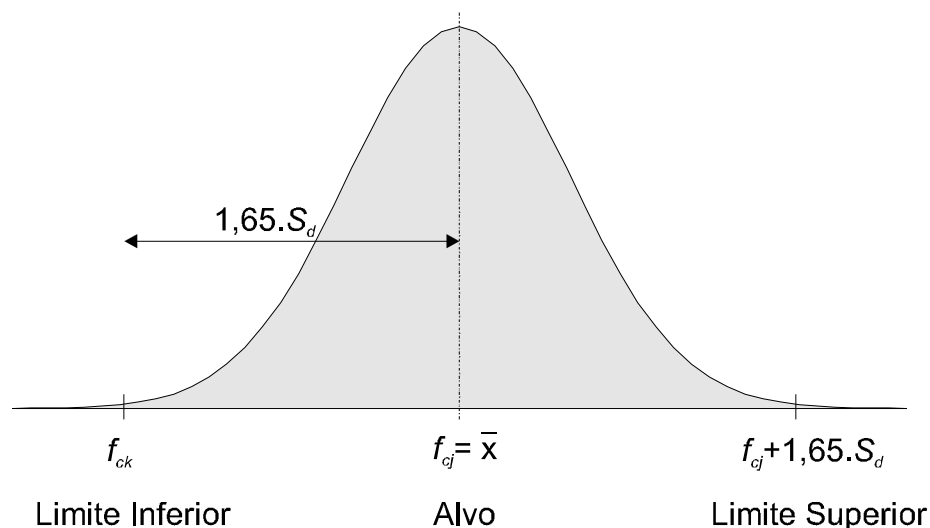


FIGURA 36 - Produção de concreto com alvo centrado na resistência de dosagem.

Desta maneira, para que a produção de concreto atenda às especificações de projeto, a dosagem da mistura será efetuada considerando-se que deve existir uma distância entre a resistência característica, f_{ck} , estabelecida pelo calculista da estrutura, e a resistência média, f_{cj} , que passa a ser o alvo da produção. A distância mencionada é medida em função do desvio padrão do processo de produção (S_d), conforme equação (2).

Logo, o processo de fabricação de concreto deve ser ajustado para uma produção com média f_{cj} (alvo). Para atender ao que se exige em projeto e não ser rejeitado por não possuir capacidade técnica, o processo deve fabricar com limite inferior dado por f_{ck} . Como a distribuição Normal é simétrica, o processo também apresenta um limite superior, dado por (ver Figura 36):

$$LES = f_{cj} + 1,65.S_d \quad (3)$$

Caso o processo opere sob condições normais de produção e atenda às prescrições de norma, a produção de concreto deve produzir com média e limites de acordo com essas especificações. Nessas condições, o produtor estará fornecendo concreto conforme o especificado no projeto estrutural.

A limitação descrita acima não é imposta por Norma. O que se estabelece em Norma (ABNT, 1996) é que não se aceite concreto que apresente resistência inferior a resistência de projeto. Todavia, todo fabricante de concreto deve ser capaz de produzir dentro das especificações mencionadas, na medida em que o cálculo da resistência de dosagem pressupõe que existam limites mínimos e máximos. Ressalta-se, que um processo que não

atenda a essas limitações impõe perdas aos consumidores. Essas perdas são comentadas adiante no texto.

O estudo da capacidade dos limites de produção refere-se a avaliação da capacidade do produtor em fabricar concreto que, aos 28 dias, apresente valores de resistência à compressão axial que atenda às especificações acima. Para o caso em estudo, as especificações do processo são as seguintes:

$$LEI = 18 \text{ MPa}$$

$$\text{Alvo} = f_{c28} = 18 + 1,65.S_d \quad (4)$$

$$LES = f_{c28} + 1,65.S_d \quad (5)$$

De acordo com a Norma (ABNT, 1996), quando o concreto for produzido com os mesmos materiais, mesmos equipamentos e sob condições similares de produção, o valor numérico de S_d deve ser calculado com base em, no mínimo, 20 resultados consecutivos obtidos no intervalo de 30 dias, em período anterior ao fornecimento. Em nenhuma circunstância, o valor de S_d pode ser inferior a 2 MPa.

Segundo essas indicações, o desvio-padrão da produção de concreto deve ser estipulado antes do seu fornecimento. Essa condição, na prática, somente pode ser aplicada pelos produtores do concreto, pois apenas eles têm o conhecimento de qual o desvio-padrão que sua produção apresenta antes de fornecer o material. Todavia, para o caso em análise, a elevada quantidade de valores de resistência à compressão do concreto aos 28 dias que se dispõe (Tabela 1, Anexo D), torna a amostra suficientemente representativa da produção, considerando-se que cerca de 80% da produção de concreto destinava-se ao fornecimento da empresa construtora analisada. Como o concreto foi produzido sob condições similares, por tratar-se de um único produtor, é possível utilizar o desvio-padrão da amostra de 374 valores da Tabela 1 como estimador do desvio-padrão do processo de produção (S_d). O Quadro 18 apresenta o resultado obtido, bem como outros dados estatísticos sobre os valores analisados, obtidos utilizando o *software* ProCEP (1999).

De acordo com o Quadro 18, $S_d = 3,6301$ (MPa). Este valor de S_d é 81,50% superior ao mínimo que a Norma (ABNT, 1996) prescreve, que é de 2 MPa. Esse fato, isoladamente, já sugere que o processo pode ser melhorado a partir da redução de sua variabilidade. Observa-se, também, que a distribuição apresenta uma mínima assimetria à esquerda (Média = 26,1941; Mediana = 26,2). No entanto, tal fato não é suficiente para rejeitar o pressuposto de que a distribuição segue um modelo Normal.

QUADRO 18 - Estatísticas dos dados analisados.

ESTATÍSTICAS DOS DADOS
Resistência aos 28 dias
Intervalo de análise: amostra 1 até 374
Período da análise: 22/09/99 08:30 até 27/04/00 14:00
Observações = 374
Média = 26,1941
Mediana = 26,2
(Distribuição assimétrica à esquerda)
Valor Mínimo = 18,2
Valor Máximo = 36,8
Amplitude = 18,60
Variância = 13,1776
Desvio padrão = 3,6301
Coeficiente de Variação = 13,8584 %

Substituindo $S_d = 3,6301$ na equação (4), tem-se:

$$\text{Alvo} = f_{c28} = 18 + 1,65 \cdot (3,6301) = 23,9897 \text{ (MPa)} \quad (6)$$

Substituindo o valor acima na equação (5), obtém-se:

$$\text{LES} = 23,9897 + 1,65 \cdot (3,6301) = 29,9794 \text{ (MPa)} \quad (7)$$

Tendo-se estabelecido os limites de especificação (limites de produção, no caso), passa-se a avaliação da capacidade do processo em atender essas especificações. A Figura 37 apresenta o estudo da capacidade dos limites de produção; nesta avaliação, foram retirados os valores correspondentes às causas especiais.

Observa-se, pela análise da Figura 37, que o processo não é capaz de produzir de acordo com as especificações. O índice C_{pk} informa que o processo efetivamente não é capaz ($C_{pk} < 1$); o processo produz somente 90,75% de itens dentro das especificações. O índice C_{pk} também informa que o processo está descentralizado ($C_{pk} < C_p$); no caso, a média do processo (26,3662 MPa) é superior ao alvo das especificações (23,9897 MPa). Nota-se, também, que o processo apresenta dispersão superior ao permitido pelas especificações ($C_p < 1$). Dessa forma, mesmo centrado no alvo, o processo efetivamente não seria capaz.

CAPACIDADE DO PROCESSO

Intervalo de análise: amostra 1 até 374

Intervalo de análise sem causas especiais.

Especificação Inferior = 18

Alvo = 23,9897

Especificação Superior = 29,9794

Média = 26,3662

Desvio padrão = 2,7127

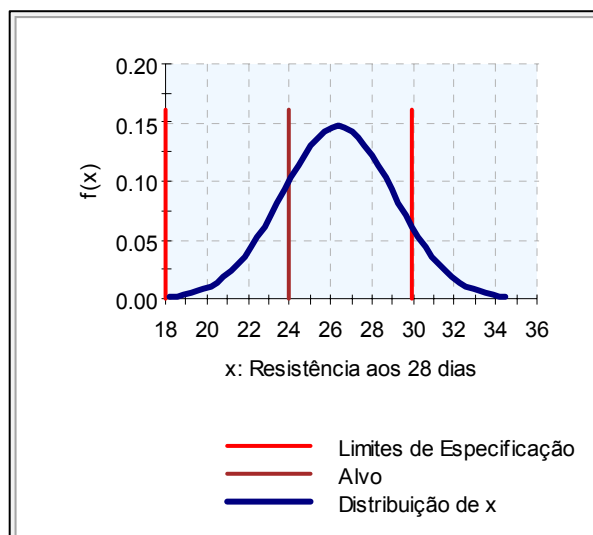
Média deslocada para cima do alvo.

$C_p = 0,736$

Processo potencialmente não capaz.

$C_{pk} = 0,444$

Processo efetivamente não capaz.



% acima das especificações = 9,1429

% abaixo das especificações = 0,1025

% fora das especificações = 9,2454

ppm (não conformes / milhão) = 92453,585

% dentro das especificações = 90,7546

FIGURA 37 - Avaliação da capacidade dos limites de produção sem causas especiais.

Como foi previamente comentado, a incapacidade do processo em atender às especificações (limites de produção) implica na imposição de perdas ao consumidor. Para o processo em análise, de acordo com a classificação de perdas do STP, essas perdas podem ser:

i) *Perdas por superprodução quantitativa*: perdas devidas à produção de concreto com resistência acima do limite de especificação superior do processo. Essa perda está associada ao consumo de cimento maior que o necessário para que o concreto atenda à especificação de projeto.

Por definição, toda a produção acima da especificação de projeto (f_{ck}) deveria ser considerada como perda por superprodução quantitativa. Contudo, como a produção de concreto segue uma distribuição Normal e o processo está ajustado para produzir com alvo f_{cj} superior ao f_{ck} , é da própria natureza do processo que se obtenha concreto com resistências acima do valor estipulado em projeto. Essa é uma restrição técnica que não pode ser evitada, apesar de poder ser melhorada, como se discute adiante. O que se coloca nessa dissertação é que existe um LES, inerente ao processo, estabelecido no cálculo da resistência de dosagem que, caso ultrapassado, impõe um ônus desnecessário aos consumidores do produto.

Mesmo sendo capaz de atender à especificação de projeto (apresentando capacidade técnica), o processo atual gera perdas aos consumidores. Na verdade, a resistência especificada em projeto é válida somente para critérios de aceitação do produto, ao passo que o custo real do concreto está relacionado com os materiais necessários para produzir uma certa resistência média (f_{cj}).

O custo de produção do concreto é função do custo dos seus materiais constituintes, notadamente, o cimento. Esse material é responsável pela maior parcela de custo do produto (Neville, 1997). Desta forma, para se produzir um concreto econômico, deve-se evitar, em sua dosagem, altos teores dessa matéria-prima. Como existe uma relação direta entre resistência e consumo de cimento, considerando-se uma trabalhabilidade pré-definida constante do concreto, constata-se que o fornecedor avaliado está onerando o consumidor por estar fabricando concreto com resistência acima das especificações, à medida que isso implica em maior consumo de cimento. Esse “excesso” de resistência é desnecessário para que a estrutura cumpra sua função e atenda às solicitações de carregamento impostas à mesma. Ou seja, o consumidor está pagando por um adicional de resistência que não lhe é útil e, ao contrário, pode ser prejudicial, como apresentado a seguir.

ii) *Perdas por fabricação de produtos defeituosos:*

A utilização de um concreto com altos teores de cimento pode proporcionar desvantagens técnicas aos consumidores. Caso o concreto não tenha sido dosado como concreto de alto desempenho, altos valores de resistência à compressão podem provocar manifestações patológicas nas peças estruturais devido ao elevado consumo de cimento. O alto calor de hidratação gerado pelo excesso de cimento na pasta do concreto pode dar origem a uma grande retração e subsequente fissuração (fato ocorrido em um dos canteiros de obras – ver Anexo A, e que motivou a presente aplicação do CEP). A presença dessas manifestações patológicas pode exigir retrabalho na estrutura (reforço estrutural, reconstrução), ou pode até mesmo condená-la à demolição. Ambas as opções caracterizam-se como perdas. Evidencia-se, assim, que não são desejáveis erros na forma de misturas mais ricas em cimento, mesmo ignorando-se o aspecto custo.

iii) *Perdas por espera:* perdas devido ao período ocioso na produção pela recuperação da estrutura devido à incidência da perda anterior.

Pelo exposto, observa-se que apesar do processo atual de produção de concreto apresentar capacidade técnica ($f_{ck} \geq 18$ MPa), o mesmo não apresenta capacidade de limites de produção o que acarreta em perdas para o consumidor. Portanto o processo atual deve ser

melhorado. Como comentado no Capítulo 4 (item 4.2.1.3), perdas por superprodução devem ser o principal foco de melhorias em um sistema produtivo, visto que auxiliam na geração de outros tipos de perdas. No caso em estudo, a incidência de perdas por superprodução (excesso de cimento na produção do concreto) é fato gerador das demais perdas que podem incidir no processo analisado, relativamente ao concreto. Desta forma, deve-se agir no sentido de eliminar as perdas por superprodução, oriundas do processo de fabricação do concreto. Para tanto, deve-se tornar o processo de produção do concreto capaz de produzir de acordo com as especificações (limites de produção).

Duas ações podem ser tomadas para tornar o processo capaz: *i*) redução da média de produção; *ii*) redução da variabilidade. Observa-se que reduzir a média do processo sem reduzir sua variabilidade, pode acarretar na fabricação de produtos defeituosos na medida que o processo apresenta dispersão maior que as especificações ($C_p < 1$). Portanto, sugere-se inicialmente, que a variabilidade do processo de produção seja reduzida, tornando-o potencialmente capaz ($C_p \geq 1$) de atender às especificações propostas (limites de produção). Em seguida, deve-se agir no sentido de centralizar o processo, que deve fabricar com alvo na resistência de dosagem, tornando o processo efetivamente capaz ($C_{pk} \geq 1$). Posteriormente, deve-se questionar as especificações atuais e, se possível, reduzi-las através de um processo contínuo de melhorias, de acordo com o ciclo de melhoria do CEP (ver Capítulo 3, item 3.4).

À medida que a variabilidade de produção vai sendo reduzida (menores desvios-padrão), a média do processo pode ser gradativamente deslocada para a esquerda, aproximando-se do limite de especificação inferior do processo, que é o próprio valor da resistência de projeto (f_{ck}). Assim, à medida que o processo de produção mantém-se estável ao longo do tempo e apresenta menor variabilidade, pode-se reduzir o valor da resistência de dosagem (alvo) para a produção do concreto, sem acarretar perdas para produtor e consumidor. O produtor pode fabricar um concreto mais barato (menor consumo de matérias-primas), beneficiando o consumidor com redução de preços e aumento da confiabilidade no material fornecido, ao passo que se beneficia com possível aumento de mercado consumidor, já que oferece um produto mais barato com maior qualidade intrínseca.

Deve-se destacar, por último, que análises específicas sobre como o produtor deve interferir em seu processo produtivo para efetivar as sugestões de melhorias citadas, foge do escopo desta dissertação. Novamente, o objetivo desta pesquisa é monitorar o fornecimento do concreto do ponto de vista do consumidor, melhorias que sejam necessárias na produção do concreto não se inserem nesse contexto.

5.3.2.5 Função de Perda Quadrática de Taguchi

De acordo com a definição de f_{ck} , é permitida uma proporção de 5% de concreto abaixo do valor característico. Essa condição é levada em consideração no cálculo da resistência de dosagem. A constante 1,65, na equação (2) foi estabelecida de forma que na fabricação de um certo volume de concreto, uma proporção de 5% possa estar abaixo da resistência característica. Essa quantidade não indica que o produtor está fabricando concreto de má qualidade ou esteja fornecendo intencionalmente concreto abaixo da especificação, visto que, por definição, permite-se que se fabrique concreto nessas condições. Contudo, essa é uma visão do produtor.

Do ponto de vista do cliente, de acordo com a Norma, não se deve aceitar concreto que esteja abaixo do f_{ck} . Conseqüentemente, o produtor deve ser capaz de oferecer um produto sob essa condição. Para o cliente não interessa concreto com valores abaixo do f_{ck} . Para atender a essa exigência, o produtor pode interferir em seu processo de fabricação de duas formas: *i*) elevando a média de produção; *ii*) reduzindo a dispersão dos dados. A média de fabricação foi previamente estabelecida pela resistência de dosagem (equação 2), de acordo com a Norma; portanto, em tese, não pode ser elevada. Dessa forma, a opção mais plausível é a redução do desvio-padrão do processo.

Reduzir o desvio-padrão do processo significa conhecer profundamente o processo de produção e todas as variáveis que influenciam nos resultados obtidos. Desta forma, a maneira mais fácil e difundida entre os produtores para atender à exigência dos clientes por um concreto com resistência maior ou igual ao f_{ck} é o aumento da média do processo de produção. Contudo, ao elevar-se a média da produção, o processo passa a não ser capaz de atender aos limites de produção, mencionados no item anterior. Sendo assim os clientes passam a arcar com os custos adicionais de produção devido à ineficiência do produtor.

Para quantificar a perda monetária dos consumidores utiliza-se a função de perda de Taguchi, apresentada na equação (26) do Capítulo 3. A utilização daquela função pressupõe o conhecimento da perda financeira associada a uma unidade de desvio do alvo (A). Para o caso do concreto, deve-se conhecer o custo adicional da produção do material com uma unidade de MPa acima ou abaixo do valor alvo. Estimou-se este valor como sendo igual a $A = 7,875$ (o preço médio de mercado para um concreto de 18 MPa é de R\$ 141,75/m³). A média observada para a resistência à compressão, conforme observado nas cartas de controle, é de 26,36 MPa e o valor estabelecido como alvo para esta característica é 23,98. Substituindo essas informações na equação (26), obtém um valor de perda de $L = \text{R\$ } 44,61/\text{m}^3$ de concreto

produzido. A estrutura da torre principal da obra analisada neste estudo de caso utilizou um volume de concreto da ordem de 1.300 m³. Com as características apresentadas pelo material, o excesso de desempenho do concreto implicou numa perda monetária de R\$ 57.454,00. Este custo adicional foi repassado ao consumidor, encarecendo o custo total da obra.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Considerações Iniciais

A realização desta dissertação permitiu a formulação de algumas conclusões a respeito da aplicação das ferramentas de qualidade na etapa de elevação da estrutura de concreto armado de edificações residenciais, para a empresa analisada. Também se observou a possibilidade de realização de outros trabalhos como forma de complementar este estudo.

6.2 Conclusões

O objeto de estudo desta dissertação foi a aplicação de ferramentas para o controle da qualidade e melhoria do processo de produção da etapa de elevação da estrutura de concreto armado de edificações habitacionais, em uma empresa de construção civil do subsetor de edificações, localizada em Porto Alegre – RS.

O estudo nasceu da iniciativa da referida empresa de melhorar seu sistema de manufatura com o objetivo de reduzir o tempo de produção de suas obras, tendo como embasamento teórico o Sistema Toyota de Produção (STP). Nesta dissertação comprovou-se que os conceitos e princípios do STP são amplos e genéricos podendo ser aplicados em ambientes distintos daqueles para os quais foram originalmente propostos. Através da aplicação desses conceitos e princípios pode-se alcançar melhorias fundamentais em sistemas de produção em geral e, em particular, na construção de edificações.

Com o uso do Mecanismo da Função Produção, principal ferramenta de melhorias do STP, que estabelece que a produção deve ser observada como uma rede de processos e operações, analisou-se o sistema de manufatura para a produção de um dos subprodutos de uma edificação (estrutura de concreto armado). Através dessa análise e de observações *in loco* no canteiro de obras com a participação dos operários, constatou-se que eram executadas atividades que não agregavam valor ao produto (perdas) e que, portanto, deveriam ser eliminadas.

Verificou-se que a falta de planejamento e a falta de domínio do processo de trabalho pela média e alta gerências incorriam no desencontro das equipes de trabalho em canteiro de obras e entre essas e o fluxo de materiais. A definição de como executar o trabalho, a

constituição das equipes, a programação e a alocação de tempos, o estabelecimento do ritmo de trabalho e o próprio controle da produção davam-se no interior da força de trabalho, sob a liderança do mestre e dos encarregados de cada equipe. Por outro lado, a falta de definição de padrões de trabalho fazia com que os trabalhadores de chão-de-fábrica (canteiro de obras) intervissem com sua experiência prática, traduzindo e adaptando os projetos na fase de execução, enquanto recorriam a conhecimentos tradicionais na utilização e aplicação de materiais e componentes. Um ambiente que opere sob tais condições está inevitavelmente sujeito a perdas que refletem nos prazos de conclusão e entrega de obra, podendo interferir no desempenho final das edificações.

Ainda considerando-se o uso do MFP, através dele foi possível distinguir dentre as atividades realizadas em canteiro de obras, quais pertencem ao eixo dos processos e quais pertencem ao eixo das operações. Essa distinção é de fundamental importância na medida em que permite análise de valor das atividades que são importantes e aquelas que não são, sob o ponto de vista de agregarem valor aos produtos finais. Constatou-se, então, que acompanhar o fluxo do concreto e do aço ao longo do tempo, refere-se à observância do eixo dos processos do MFP. Portanto, melhorias devem privilegiar esse fluxo de objetos de produção. Nesse sentido, foram aplicadas as ferramentas de qualidade CEP e *Poka-Yoke* nesta dissertação.

A aplicação dos dispositivos *Poka-Yoke* teve como foco facilitar e agilizar atividades produtivas em canteiro de obras favorecendo o eixo dos processos do MFP. Através de sua utilização, verificou-se como dispositivos simples podem auxiliar no processo de produção de uma edificação, atacando perdas existentes no processo.

A aplicação do CEP, por sua vez, teve como principal foco monitorar o fornecimento de concreto à obra. A idéia foi dispor de uma ferramenta que oferecesse ao consumidor, a habilidade de avaliar a capacidade do fornecedor do referido insumo de atender às suas necessidades.

Através do estudo realizado, pôde-se averiguar que, apesar do fornecedor estar oferecendo um concreto de acordo com a especificação de projeto, ele estava impondo ao consumidor um ônus desnecessário que, como visto na dissertação, pode ser perfeitamente evitável. Verificou-se que o consumidor está pagando por um excesso de resistência que não lhe é útil e, ao contrário, pode lhe ser prejudicial. O que se pode concluir é que o parâmetro atual para aceitação do concreto endurecido (f_{ck}), apesar de ser adequado do ponto de vista técnico, do ponto de vista financeiro e da Qualidade, não é suficiente. Ao não levar em consideração um limite máximo para a aceitação do concreto, o consumidor está arcando com

um custo devido à ineficiência do produtor de controlar seu processo de produção. Uma avaliação adequada do fornecimento do concreto deve levar em consideração não só um limite mínimo descrito pelo f_{ck} , mas também, um limite máximo de especificação. Tais limites mínimo e máximo foram denominados nesta dissertação por limites de produção.

Outro ponto importante a ser ressaltado é que se levando em consideração a existência dos limites de produção, o produtor pode constantemente avaliar seu processo de produção de acordo com esses parâmetros, reduzindo-os ao longo do tempo. Isso significa oferecer um produto com menor variabilidade e com valores mais próximos da especificação de projeto. Para o consumidor, significa receber um concreto que atenda às suas necessidades e com menor preço. Para o produtor, significa aumento de mercado consumidor pela oferta de um produto mais confiável e com maior qualidade intrínseca. No limite, pode-se cada vez menos depender de operações de ensaio de concreto (salvo o que é determinado por Norma) para aferir a qualidade do material consumido, o que também significa redução de custos de produção.

Finalmente, as ferramentas apresentadas nesta dissertação podem ser amplamente utilizadas na construção civil como meio de alcançar melhorias contínuas na construção de edificações, contribuindo para o desenvolvimento do setor. Contudo, cabe destacar, que essas ferramentas referem-se apenas a técnicas para melhorias de sistemas produtivos. Mais importante que a sua aplicação, é a constatação de sua necessidade pelo conhecimento de conceitos básicos que levem a optar por determinada técnica em particular. Os conceitos básicos não dizem respeito a técnicas. Enquanto as técnicas são específicas para determinadas situações, os conceitos têm aplicação universal. Quando esses conceitos são plenamente compreendidos, eles conferem às organizações a possibilidade de aplicar ou criar uma vasta gama de técnicas capazes de lidar com situações distintas. No caso apresentado, a necessidade de aplicação das ferramentas somente foi vislumbrada a partir de conceitos teóricos fundamentais que balizaram a opção por tais ferramentas e a sua própria aplicação. O desconhecimento desses conceitos como norteadores da aplicação de técnicas para melhorias, pode ter efeitos prejudiciais a sistemas de produção em geral.

6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

O estudo aqui desenvolvido pode ser explorado além dos limites desta dissertação de mestrado. Considerando-se a quantidade e complexidade das variáveis envolvidas durante todo o processo de construção de uma edificação, são listadas a seguir algumas sugestões para

maior aprofundamento nos temas abordados nesta dissertação, bem como sugestões para trabalhos futuros:

- Durante o processo de construção das edificações, a etapa de análise dos processos poderia ser mais aprofundada, com a exata quantificação dos tempos de execução dos elementos do processo e efetiva mensuração das perdas.
- A utilização do MFP destinou-se ao mapeamento do processo de produção durante a sua execução; sugere-se a utilização dessa ferramenta na fase de concepção do produto e planejamento da produção, de forma que possíveis pontos falhos sejam identificados antes do início da produção.
- O caso prático foi conduzido em uma única etapa construtiva. Sugere-se ampliar o estudo para outras etapas. A aplicação da metodologia de análise e identificação de perdas utilizada em outras etapas de construção permitiria verificar a validade dessa abordagem, bem como apresentar sugestões de aperfeiçoamento da metodologia de análise da produção e identificação de problemas.
- A aplicação do CEP para monitoração do fornecimento/recebimento do concreto levou a uma discussão importante sobre os atuais parâmetros de aceitação do produto, propondo uma nova abordagem para tanto. Sugere-se a ampliação da aplicação dessa ferramenta para o controle da qualidade de outros materiais de construção, bem como para monitoramento dos serviços executados em obra.
- Os dispositivos *Poka-Yoke* apresentados na dissertação tiveram objetivos básicos de aprimorar a execução de atividades produtivas em canteiros de obras e eliminar perdas existentes no processo de produção; sugere-se o desenvolvimento e aplicação de dispositivos para segurança dos trabalhadores. Também sugere-se a sua aplicação em outras etapas construtivas.
- Sugere-se ampliar o estudo a partir da lógica da Automação, para que seja dada autonomia aos operários de pararem o processamento à medida que sejam detectados problemas de produção. O intuito é encontrar a fonte dos problemas e eliminá-las para que não mais ocorram. Desta forma, pode-se colocar em prática na construção civil, um dos conceitos fundamentais do desenvolvimento do STP.
- Com o uso do MFP, verificou-se que as atividades referentes à montagem de fôrmas, pertence ao eixo das operações, sendo consideradas operações de *setup*. Dessa maneira, levando-se em consideração o desenvolvimento de trabalhos futuros, sugere-

se a aplicação dos conceitos e técnicas da troca rápida de ferramentas (TRF) para otimização das atividades de montagem de fôrmas.

- A divulgação e adaptação deste trabalho junto a outras empresas do setor, incluindo-se os fornecedores de matéria-prima, é outra sugestão para trabalhos futuros. Já que o setor da construção civil apresenta-se deficitário relativamente ao desenvolvimento e aplicação de conceitos e ferramentas de controle da qualidade e melhorias de produção ao ser comparando com outros setores industriais, o repasse das idéias e conceitos contidos nesta dissertação serviria como fonte de melhorias do setor através do conhecimento coletivo dos conceitos aqui apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. A Lógica das Perdas nos Sistemas de Produção; uma análise crítica. Revista Brasileira de Administração Contemporânea. Rio de Janeiro : ANPAD, v.1, n.7, p.35-371, 1995.
- 2 ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. Sistemas de Produção com Estoque Zero; o modelo japonês JIT/TQC. Porto Alegre, 1994b. Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 3 ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. Sistemas de Produção sem Estoque. Porto Alegre, 1994a. Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 4 ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. Em Direção a uma Teoria Geral do Processo na Administração da Produção; uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero. Porto Alegre, 1998. 399p. Tese de Doutorado em Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Controle Estatístico de Concreto: ACI 214-77. Tradução de Eduardo Santos Basílio. 3.ed. São Paulo : ABCP, 1984. 43p. (ET-25).
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto: Determinação da Consistência pelo Abatimento de Tronco de Cone: NBR 7223. Rio de Janeiro, 1992.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto: Preparo, Controle e Recebimento: NBR 12655. Rio de Janeiro, 1996.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado: NBR 6118. Rio de Janeiro, 1978.

- 9 BALLARD, Herman Glenn. The Last Planner System of Production Control. Birmingham, 2000. Tese de Doutorado em Engenharia, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, The University of Birmingham.
- 10 BARROS NETO, José de Paula. Modelo de Formulação de Estratégias de Produção para Pequenas Empresas de Construção de Edificações do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999. 116p. Projeto de Tese de Doutorado em Administração. Programa de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 11 BERK, Joseph; BERK, Susan. Administração da Qualidade Total; o aperfeiçoamento contínuo, teoria e prática. São Paulo : IBRASA, 1997.
- 12 BLACK, J. T. O Projeto da Fábrica com Futuro. Porto Alegre : Bookman, 1998.
- 13 BOOP, Keli. UFRGS e SEBRAE-RS Lançam Manual. Jornal do Comércio, Porto Alegre, 11 de out. 2000. Caderno Gestão & Negócios, p.2, c.1.
- 14 BOTHE, Davis R. Measuring Process Capability; techniques and calculations for quality and manufacturing engineers. New York : McGraw-Hill, 1997.
- 15 BREWER, Robert F. Design of Experiments for Process Improvement and Quality Assurance. Norcross : Engineering & Management Press, 1996.
- 16 CAMPOS, Vicente Falconi. Gerência da Qualidade Total; estratégia para aumentar a competitividade da empresa brasileira. Belo Horizonte : Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1990.
- 17 CORIAT, Benjamim. Pensar pelo Avesso; o modelo japonês de trabalho e organização. Rio de Janeiro : Revan/UFRJ, 1994.
- 18 CORREA, Wanderley Guimarães. Tratamento Estatístico de Resultados de Ensaios. In: SEMINÁRIO CONTROLE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO. 1980, São Paulo. IBRACON, 1980.
- 19 COSTA, Adriano Luis. Perdas na Construção Civil; uma proposta conceitual e ferramentas para prevenção. Porto Alegre, 1999. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Construção Civil), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- 20 DEVOR, Richard E. *et alli*. Statistical Quality Design and Control (Contemporary Concepts and Methods). New York : Maxwell Macmillan, 1994.
- 21 DUGAN, Roger C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; BEATY, Wayne H. Electrical Power Systems Quality. New York : McGraw-Hill, 1996.
- 22 DUNCAN, Acheson J. Quality Control and Industrial Statistics. 5.ed. Chicago : Irwin, 1986.
- 23 ENK, Idel. Aspectos Relativos ao Gerenciamento da Construção de Conjuntos Habitacionais. Porto Alegre, 1984. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Construção Civil), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 24 FARAH, Marta Ferreira Santos. Processo de Trabalho na Construção Habitacional; tradição e mudança. São Paulo : ANNABLUME, 1996.
- 25 FARAH, Marta Ferreira Santos. Tecnologia, Processo de Trabalho e Construção Habitacional. São Paulo, 1992. 297p. Tese de Doutorado em Sociologia. Departamento de Ciências Sociais da Faculdade de Filosofia, Universidade de São Paulo.
- 26 FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Anual da Indústria da Construção. Rio de Janeiro, 1998.
- 27 GHINATO, Paulo. Sistema Toyota de Produção; mais do que simplesmente *Just-in-Time*. Caxias do Sul : EDUCS, 1996.
- 28 GHINATO, Paulo. A Study on the Work Force Assignment in U-shaped Production Systems. Kobe, 1998. Tese de Doutorado em Engenharia, Graduate School of Science and Technology, Kobe University.
- 29 GHINATO, Paulo. Elementos para a Compreensão de Princípios Fundamentais do Sistema Toyota de Produção: Automação e Zero Defeitos. Porto Alegre, 1994. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- 30 GHINATO, Paulo. Produção Enxuta I. Porto Alegre, 1999. Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 31 GRANT, Eugene L.; LEAVENWORTH, Richard S. Statistical Quality Control. 7.ed. New York : McGraw-Hill, 1996.
- 32 GREIF, Michel. The Visual Factory; building participation through shared information. Portland : Productivity Press, 1991.
- 33 HAY, Edward J. Just-in-Time; um exame dos novos conceitos de produção. São Paulo : Maltese, Editorial Norma, 1992.
- 34 HELENE, Paulo R. L. Controle de Qualidade do Concreto. São Paulo : USP, 1986.
- 35 HELENE, Paulo R. L. Controle de Qualidade do Concreto. São Paulo, 1980. 129p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 36 HELENE, Paulo R. L.; TERZIAN, Paulo. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: PINI; SENAI, 1992.
- 37 HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. Factory Physics; foundations of manufacturing management. Boston : Irwin/McGraw-Hill, 1996.
- 38 HRADESKY, John L. Productivity and Quality Improvement; a practical guide to implementing statistical process control. New York : McGraw-Hill, 1988.
- 39 ISHIKAWA, Kaoru. Introduction to Quality Control. Tokyo : 3A Corporation, 1990.
- 40 ISHIKAWA, Kaoru. TQC – Total Quality Control; estratégia e administração da qualidade. São Paulo : IMC, 1986.
- 41 JURAN, J. M.; GRZYNA, Frank M. Quality Planning and Analysis; from product development through use. 3.ed. New York : McGraw-Hill, 1993.
- 42 KANNENBERG, Gustavo. Proposta de Sistemática para Implantação de Troca Rápida de Ferramentas. Porto Alegre, 1994. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Produção),

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- 43 KLIEMANN, F.J.; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. Proposta de um Processo de Custeio para Sistemas *Just-in-Time* de Produção. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE - AVALIAÇÃO E CUSTEIO, 1993, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre : FIERGS, 1993. p.138-151.
- 44 KLIPPEL, Altair Flamarion. O Sistema Toyota de Produção e a Indústria de Mineração; uma experiência de gestão da produtividade e da qualidade nas minas de fluorita do estado de Santa Catarina. Porto Alegre, 1999. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 45 KRAJEWSKI, Lee J.; RITZMAN, Larry P. Operations Management; strategy and analysis. 5.ed. New York : Addison-Wesley, 1999.
- 46 KUME, Hitoshi. Métodos Estatísticos para a Melhoria da Qualidade. 10.ed. São Paulo : Gente, 1993.
- 47 LESCHKE, John P. The Setup-Reduction Process; Part 1. P&IMJ, Virginia, v.38, n.1, 1997.
- 48 MAWAKDIYE, Alberto. Construbusiness; desperta, gigante. Construção, Região Sul, n.369, p.28-33, 1999.
- 49 MESEGUER, Alvaro Garcia. Controle e Garantia da Qualidade na Construção. São Paulo : Sinduscon-SP, 1991.
- 50 MONDEN, Yasuhiro. Sistema Toyota de Produção. São Paulo : IMAM, 1984.
- 51 MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. 3.ed. New York : John Wiley, 1997.
- 52 MOURA, Reinaldo A. Kanban; a simplicidade do controle da produção. São Paulo : IMAM, 1989.
- 53 NEVILLE, Adam M. Propriedades do Concreto. 2.ed. São Paulo : PINI, 1997.

- 54 OHNO, Taiichi. O Sistema Toyota de Produção; além da produção em larga escala. Porto Alegre : Bookman, 1997.
- 55 PARK, Sung H. Robust Design and Analysis for Quality Engineering. London : Chapman & Hall, 1997.
- 56 PICHI, Flávio Augusto. Sistema da Qualidade; uso em empresas de construção de edifícios. In: QUALIDADE E PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Rio de Janeiro : CNPq, 1997. p.13-36.
- 57 PICHI, Flávio Augusto. Sistema de Qualidade; uso em empresas de construção. São Paulo, 1993. Tese de Doutorado em Engenharia (Construção Civil e Urbana), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 58 PINTO, T. P. Perda de Materiais em Processos Construtivos Tradicionais. São Carlos : UFSCar, 1989. 33p.
- 59 PIRES, Verônica Tassinari. Implantação do Controle Estatístico de Processos em uma Empresa de Manufatura de Óleo de Arroz. Porto Alegre, 2000. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 60 PROCEP 99, versão 3.01: controle estatístico de processos. [s.l.] : Maxxi Gestão Empresarial, 1999. 4 disquetes.
- 61 RIBEIRO, José Luís Duarte; CATEN, Carla Ten. Controle Estatístico de Processos. Porto Alegre, 2000. Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 62 SCHMITT, Carin Maria. Por um Modelo Integrado de Sistema de Informações para a Documentação de Projetos de Obras de Edificação da Indústria da Construção Civil. Porto Alegre, 1998. 399p. Tese de Doutorado em Administração. Programa de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 63 SCHNAID, Fernando; CONSOLI, Nilo Cesar. Concepção de Obras de Fundações. Porto Alegre, 1999a. Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- 64 SCHNAID, Fernando; CONSOLI, Nilo Cesar. Introdução ao Estudo de Fundações. Porto Alegre, 1999b. Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 65 SHINGO, Shigeo. A Revolution in Manufacturing; the smed system. Portland : Productivity Press, 1985.
- 66 SHINGO, Shigeo. O Sistema Toyota de Produção; do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre : Bookman, 1996a.
- 67 SHINGO, Shigeo. Sistemas de Produção com Estoque Zero; o sistema Shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre : Bookman, 1996b.
- 68 SHINGO, Shigeo. Zero Quality Control; source inspection and the poka-yoke system. Cambridge : Productivity Press, 1986.
- 69 SILVA, Maria Angélica Covelo. Identificação e Análise dos Fatores que afetam a Produtividade sob a Ótica dos Custos de Produção de Empresas de Edificações. Porto Alegre, 1986. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Construção Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- 70 SILVA, Maria Angélica Covelo. Racionalização do Processo Produtivo de Edificações: do Projeto à Execução. In: Encontro Nacional da Construção, 10., 1990. Gramado. Anais. 2v.
- 71 SKOYLES, E. R. Materials Wastage; a minuse of resources. Building Research and Practice, p.232-243, july/aug. 1976.
- 72 SOIBELMAN, Lúcio. As Perdas de Materiais na Construção de Edificações; sua incidência e seu controle. Porto Alegre, 1993. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Construção Civil), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 73 SOUTO, Rodrigo da Silveira. Aplicação de Princípios e Conceitos do Sistema Toyota de Produção em uma Etapa Construtiva de uma Empresa de Construção Civil. Porto Alegre, 2000. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- 74 SOUZA, Francisco A. Petersen de. Organização da Construção de Edificações Enfocando as Filosofias e Princípios da Organização da Produção; um estudo de caso. Porto Alegre, 1997. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 75 SOUZA, Roberto *et alli*. Sistemas de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras. São Paulo : PINI, 1995.
- 76 SPIEGEL, Murray R. Estatística. 3.ed. São Paulo : Makron Books, 1993.
- 77 TAGUCHI, Genichi *et alli*. Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção. São Paulo : McGraw-Hill, 1990.
- 78 THIOLENT, Michel. Metodologia da Pesquisa-Ação. 8.ed. São Paulo : Cortez, 1998.
- 79 THIOLENT, Michel. Pesquisa-Ação nas Organizações. São Paulo : Atlas, 1997.
- 80 THOMAZ, Ercio. Trincas em Edificações: Causas e Mecanismos de Formação. In: TECNOLOGIA de edificações. São Paulo : PINI, 1988. p.555-560.
- 81 TREVISAN CONSULTORES. Construbusiness; habitação, infra-estrutura e geração de empregos. In: SEMINÁRIO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO, 3, 1999, São Paulo. Disponível na Internet via WWW. URL <http://www.trevisan.com.br/> em Serviços/Trevisan Consultores/CONSTRUBUSINESS. Capturado em jul. 1999.
- 82 VASCONCELOS, Paulo Henrique. Estudo da Adição da Micro-Sílica ao Concreto. In: QUALIDADE E PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Rio de Janeiro : CNPq; Fundação Roberto Marinho; Grupo Gerdau, 1997.
- 83 VOLLMAN, Thomas E.; BERRY, William L.; WHYBARK, Clay D. Manufacturing Planning & Control Systems. 4.ed. Boston : Irwin/McGraw-Hill, 1997.
- 84 WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. A Máquina que Mudou o Mundo. 11.ed. Rio de Janeiro : Campus, 1992.